

自己組織化特徴マップによる桁橋の景観評価支援

Supporting System on the Scenery Evaluation for Girder Bridge with SOM

保田敬一*, 白木 渡**, 伊藤則夫***, 堂垣正博****

Keiichi YASUDA, Wataru SHIRAKI, Norio ITO and Masahiro DOGAKI

*工博, (株)ニュージェック, 総合計画・環境部 (〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

**工博, 香川大学教授, 工学部信頼性情報システム工学科 (〒760-8526 高松市林町 2217-20)

***工博, (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 吹田市山手町 3-3-35)

The necessity for a visual expression tool that the evaluation which combined two or more design elements needed in the alternatives consensus building of an scenery design is shown visually is pointed out. In this research, scene composition elements, such as a color of a girder and shape of substructure, are developed on a map using SOM. And the system by which the alternatives to two or more adjectives developed from a design concept can be evaluated visually is built. Since a class division is not easy, in order to solve the problem that a map is hard to see, in that case, the concept of reinforcement learning was introduced and it tried to visualize evaluation intelligibly.

Key Words: SOM, Scenery Evaluation, Girder Bridge, Reinforcement Learning, Consensus Building

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²⁾。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³⁾(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⁾。ただし, 実際の景観設計の代替案提示段階で必要とされる複数のデザイン要素を組み合わせた評価を視覚的に提示するような支援ツールの開発までは至っていない。合意形成の場面で必要なのは関係者にいかに

してわかりやすい設計案を提示でき, わかりやすい評価を提示できることであり, そのための視覚的表現ツールの必要性が指摘されている。

本研究では, 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, 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視覚的に行うことのできるシステムを構築する。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。

2. 合意形成段階での景観評価支援ツール⁴⁾

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。

また, 社会資本整備の場合, 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。

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。

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。

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・評価のための支援ツールの必要性が示される。

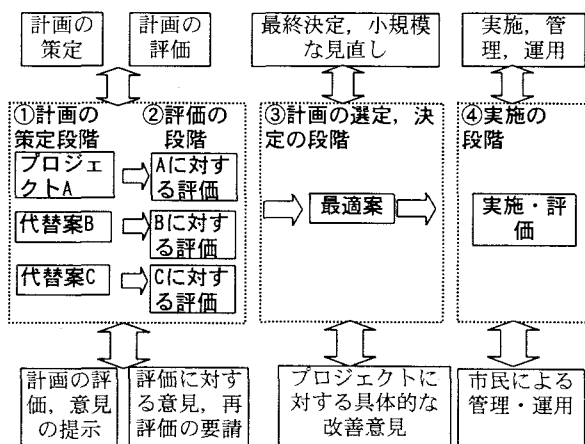


図-1 事業における市民参加の例

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⁹⁾。

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⁹⁾。

SOMの学習アルゴリズムをまとめると次のとおりである⁹⁾。

- ①入力層と競合層を結ぶ結合重みを適当な値で初期化する。
- 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回りに設定された近傍領域である。近傍領域の初期値および学習率の初期値には比較的大きな値を設定し、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。

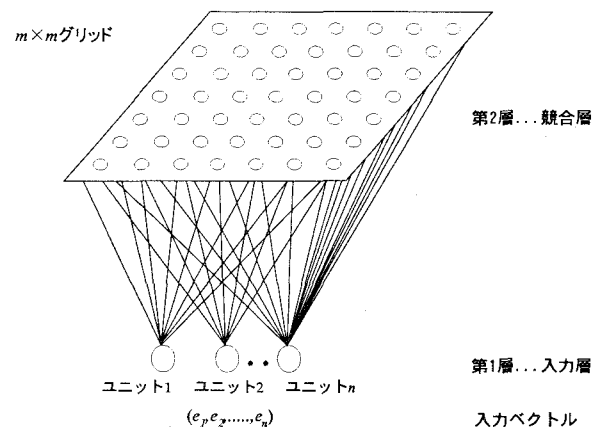


図-2 SOMの基本構造

4. 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⁹⁾。

著者等の過去の研究^{2),9)}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、出力にはアンケート結果の平均値を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。

表-1 アイテム／カテゴリ

No	アイテム	カテゴリ					
		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	アボリ	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				
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)の色彩	白	緑	青	茶		
17	背景(下層)の色彩	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

橋 No.1	アイテム																				評価ランク 1~4
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	16	17	18	19	20				
8	0	0	1	0	0	2	4	0	1	1	1	0	1	2	2	2	3	1			
12	0	0	0	0	1	2	4	1	0	0	1	0	1	2	1	2	0	1			
15	0	0	1	2	0	2	4	2	0	0	0	0	1	2	2	2	3	1			
25	0	0	0	2	0	2	4	1	1	0	1	0	1	2	1	2	0	2			
27	0	0	5	2	2	2	3	1	0	1	0	0	0	2	1	2	0	1			
28	1	0	5	2	2	2	3	1	1	0	1	0	1	2	2	0	3	2			
36	0	0	1	0	0	1	4	0	0	0	1	0	1	2	1	2	2	1			
46	0	0	2	0	1	2	2	0	0	1	0	0	1	2	1	2	1	2			
47	1	1	3	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	2	1	0	0	1			
50	0	0	1	2	0	2	3	2	1	0	1	1	1	2	1	0	0	3			
53	1	0	2	2	0	1	1	0	1	1	0	0	1	2	1	0	0	2			
54	0	0	3	2	0	1	3	2	0	0	1	0	1	2	0	3	1	2			
55	0	0	5	2	0	2	3	1	1	0	1	0	1	2	1	2	1	3			
61	0	0	1	1	0	2	2	1	1	0	1	0	1	2	1	0	1	1			
62	0	1	0	2	0	1	4	0	0	1	1	0	1	2	1	2	1	2			
68	0	0	1	2	2	2	4	2	1	0	1	0	1	2	2	0	2	4			
71	1	0	0	1	1	2	2	2	1	0	0	0	1	1	2	2	3	1			
72	0	1	0	2	1	1	1	1	0	1	0	0	1	2	0	1	0	3			
76	0	1	5	2	0	1	4	0	0	1	1	0	1	2	1	0	0	1			
77	0	0	2	0	3	2	2	0	1	1	1	0	1	2	1	2	0	1			
83	1	0	0	1	2	2	1	1	0	0	1	0	0	2	1	2	0	3			
85	1	1	0	1	2	2	0	1	1	0	1	0	1	2	1	2	1	1			
86	1	0	1	0	0	2	3	1	1	1	1	0	1	2	1	2	2	4			
90	1	0	1	2	1	2	4	2	1	1	1	0	1	2	1	2	0	3			

5. 景観評価への適用例

5.1 A橋の諸元

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-3に示す。

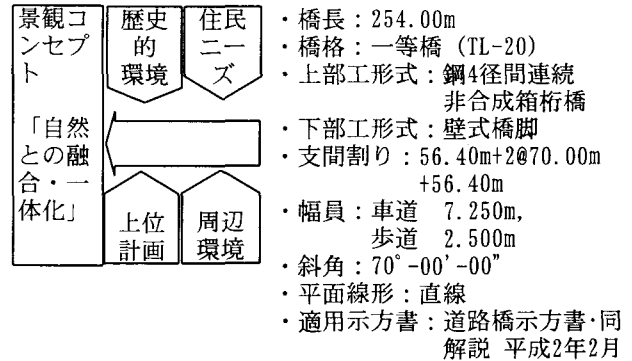


図-3 景観コンセプトおよび橋梁諸元

5.2 デザインコンセプトから形容詞への展開

図-3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⁹⁾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⁹⁾。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ない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。

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。

5.3 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((有)シー・エー・イー, Ver 1.4.10)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。

5.4 デザイン要素ごとのマップ

表2 のアイテム (デザイン要素) を入力データとして、SOM による学習を行った結果を図4～図6に示す。

図4 は、SOM のマップにクラスター分析を用いてラベリングを施したものである。マップ図のラベルは橋梁 No を表している。

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4 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5 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」に関する評価ランクによってラベリングを施している。また、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。これ以後の図で、評価ランクは①評価ランク1、②評価ランク2、③評価ランク3、④評価ランク4の4つのパターンで示している。

図5 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5(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5(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5(c))、全体に評価が厳しく、ランク4を得た橋梁は2橋のみである。しかし、評価基準については女子学生と似通っており、図5(c)は図5(a)を左にシフトしたような様子を示している。ただし、女子学生がランク4と評価しているクラスター4に属する橋梁は、橋梁技術者はランク2としており、大きな差が生じている。

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

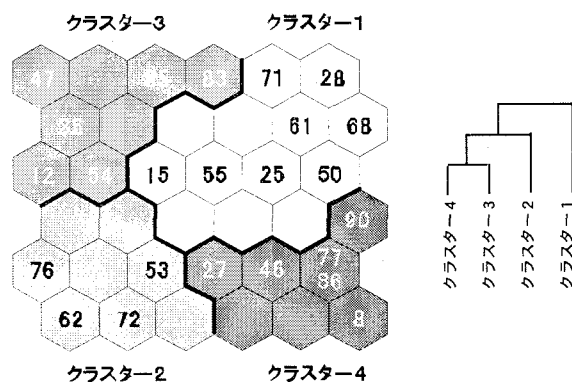


図4 クラスター分析によるマップ図

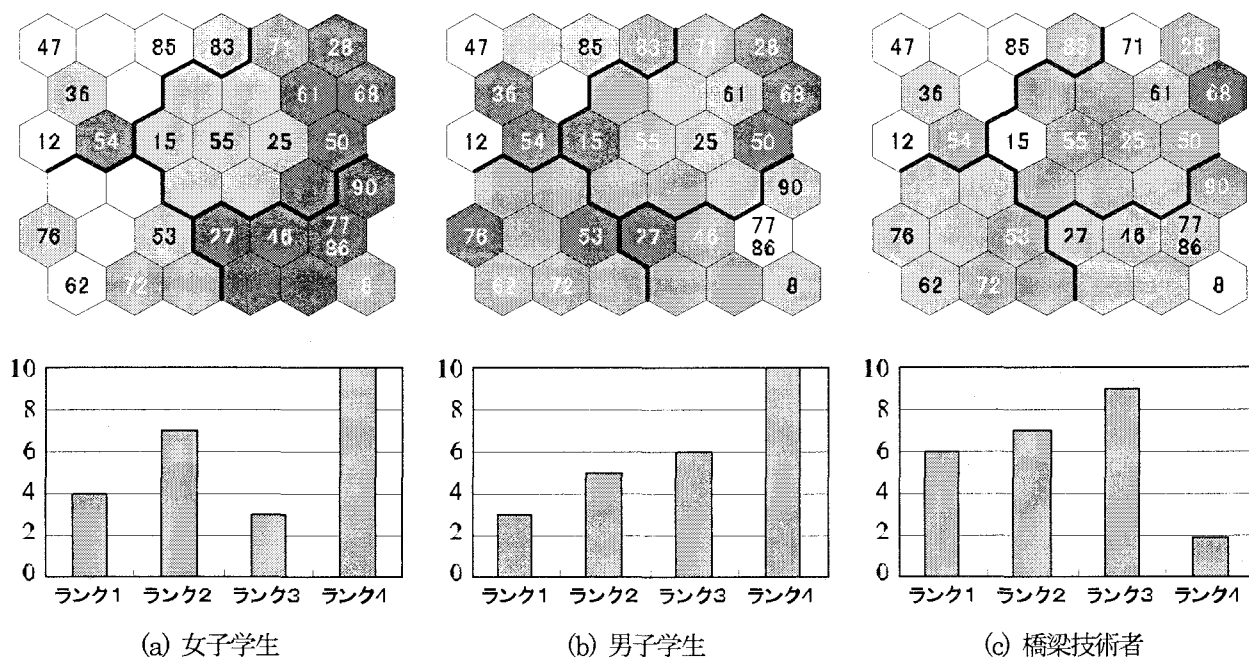


図5 マップ図 (風景に溶け込んだ)

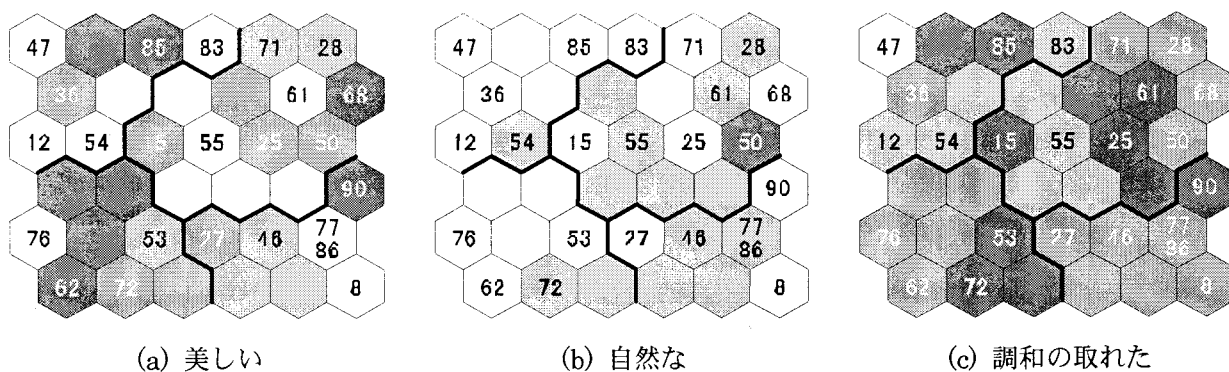


図-6 マップ図（女子学生）

図-6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ため明確な傾向が見られなかったものと考えられる。

5.5 形容詞の組合せ

橋梁に対する総合評価を調べるために、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の評価ランクを再定義した。評価ランク再定義の例を表4に示す。

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-7に示す。

女子学生の場合（図-7(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-5(a)よりさらに明確になっている。

男子学生の場合（図-7(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-7(c)），クラスター4 の評価が下がる傾向が図-5(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。

5.6 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

表4 評価の組合せによるランク

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	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	-0.3	2
12	-0.8	-0.7	-0.4	-0.3	-0.8	-0.3	-0.4	-0.3	-1.8	1
15	-1.1	0.3	-0.3	0.4	-1.1	0.1	-0.3	0.4	-0.8	2
25	-0.7	0.3	-0.2	0.7	-0.7	0.2	-0.2	0.7	0.0	2
27	-0.4	0.2	0.9	0.2	-0.4	0.1	0.9	0.2	0.7	3
28	-0.3	-0.3	0.5	0.3	-0.3	-0.1	0.5	0.3	0.3	3

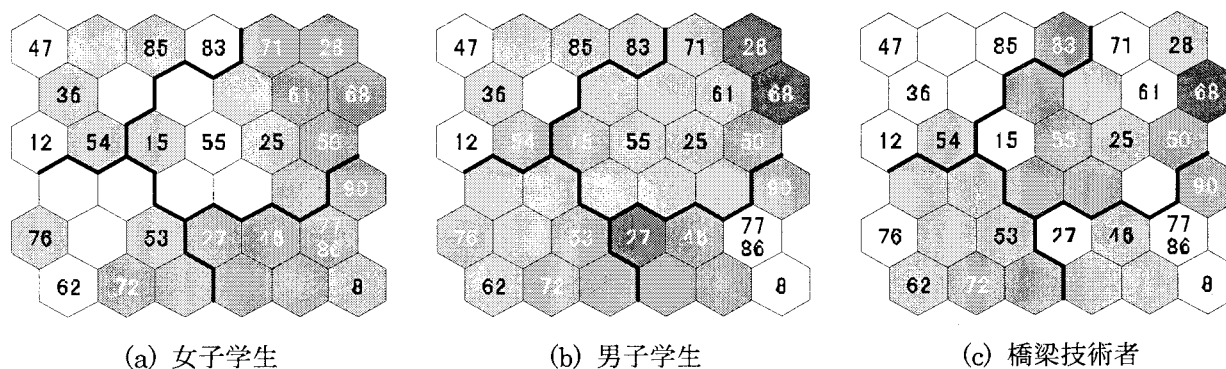
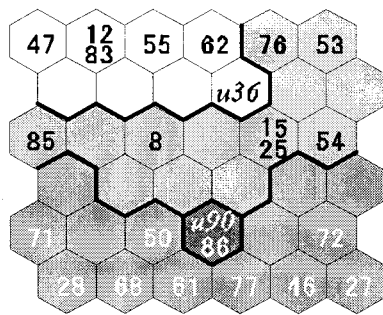
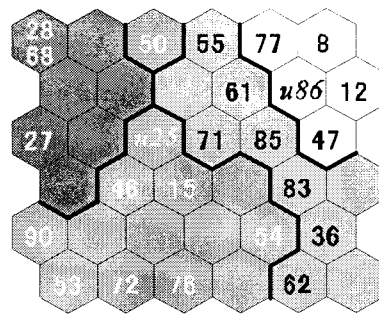


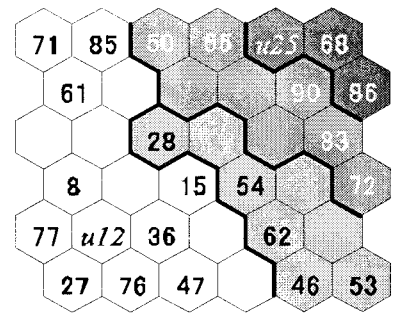
図-7 マップ図（形容詞の組合せ）



(a) 女子学生



(b) 男子学生



(c) 橋梁技術者

図-8 マップ図（強化学習による形容詞の組合せ）

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。

表-2のアイテムに5.5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。

評価ランクに与える重み付けは、あまり大きくすると他の要因の影響がマップに反映されなくなるため、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、比較した結果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結果ランクを用いてラベリングしたものが図-8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-5～図-7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-8に斜体で示した最初にuの付いた橋梁である。

図-8(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、周囲は全て評価ランク3であり、これもうまく予測できたといえる。

図-8(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-8(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は評価ランクは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、データ不足のため十分な予測精度を得ることができなかったものと思われる。

6. 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。

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，シュプリング・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) (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～，pp.5-40，2003.6.
- (5) 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.
- (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.103-116，2000.12.
- (7) 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.