原著論文

ラフ集合とフラクタル次元を用いた橋梁の景観評価の試み

勇 秀憲

高知工業高等専門学校環境都市デザイン工学科

An Evaluation Approach to Bridge Landscape Using the Rough Set and the Fractal Dimension

Hidegori ISAMI

Kochi National College of Technology, 200-1 Monobe-Otsu, Nankoku, Kochi 783-8508, Japan

Abstract : In recent years, landscape designs have been widely noticed because the quality of life has been one of main concerns for people. However, there are not many quantitative evaluation methods of landscape. Main purpose in this study is to present a quantitative evaluation approach of bridge landscape in relation to image-impression, *i.e.* Kansei. Firstly, the overall complexity of landscape including the bridge and its backgrounds is measured using the fractal dimension. Then, some interrelationships among image-impression, fractal dimension and several attributes such as color phase, construction locations, structural types and viewpoints are clarified by the Rough Set Theory in order to evaluate bridge sceneries in landscape design.

Keywords : Bridge landscape, Rough set, Fractal dimension

1. はじめに

近年の土木構造物に対する考え方は、高度経済成長における経済性や機能性重視の考え方から、土木施設と環境との調和や周辺環境への配慮など土木技術の中に環境的・景観的側面を取り入れるという考え方に変わってきた。こうした技術の導入の必要性が、環境に関する意識の高まりとともに社会的に広く認識されるようになってきた。平成16年には、都市、農村、漁村等における良好な景観の形成を図るために、「景観法」[1]が施行されるなど、景観を考慮した環境整備が各種事業に求められている。

土木構造物の中で、特に橋梁は、ほとんど公共構造物であり、永続性、公共性、環境性などを十分考慮して、設計・施行されなければならない。そこで、橋梁に対して人々が抱えている「美しい」や「力強い」といった定性的なイメージでの表現をいかに定量的に取り扱えるようにするかが、景観設計における課題の一つとなっている。さらに人々が橋梁に対して実際に要求している感性を把握することが重要となってきた。しかし、人々の感性と景観を結び付ける評価指標や基準は未だ十分に確立されていない[2]。

このような問題を踏まえ、景観、特にその評価に関する研究が多数報告されている。大野ら[3]は自然景観への、奥谷ら[4]は都市景観への色彩とフラクタル次元を用いた客観的な景観評価の手法の有効性を示した。また、ラフ集合理論を用いた感性評価に関する研究では、小村ら[5]、下原ら[6]は、歩行空間に対する人のイメージと空間の構成要素との関係性を明らかにすることを試みた。さらに、市坪ら[7]は、川づくり評価における河川景観の整備ルールをラフ集合により創出できる可能性を示した。石黒ら[8]は、

ラフ集合により住宅の外観評価の要因となる物理的属性の相互関係を明確にした。

橋梁景観のフラクタル次元は、背景を含めた景観属性（色相、架設場所、構造形式、視距離など）に大きく依存する。安達ら[9]は、アーチ橋では橋梁景観全体のフラクタル次元と感性評価との相関はほとんど認められないとし、分割画像と色彩情報を考慮した景観評価法の可能性を示した。また保田ら[10,11]は、桁橋を対象にフラクタル次元と感性評価との相関性を見出した。このように、限定された構造形式に対するフラクタル次元と景観属性や感性との関係は、ある程度明確になっている。しかしながら、構造形式を含む各種の景観属性と感性評価やフラクタル次元との総合的な関係は、まだ必ずしも確立されているとは言えない。

著者ら[12]は、本研究と全く同じ橋梁を対象に、橋梁景観のSDアンケート調査とその結果の因子分析により、橋梁景観のイメージ構造を4つの因子で表現し、日本カラーデザイン研究所のカラーイメージスケール[13]とのイメージ比較を行った。

本研究では、文献[12]と同じ橋梁を対象にして、背景を含む橋梁景観全体の形態情報をフラクタル次元により定量化する。そして、各橋梁の景観属性と文献[12]のSDアンケートの橋梁景観全体のイメージ評価との相互関連を、ラフ集合を用いて明らかにする。ラフ集合の決定ルールを、景観設計における定量的な評価指標として用いるための知見を得ることを試みるものである。

2. フラクタル次元と橋梁景観

2.1 フラクタル次元とは

フラクタルとは、1975年にマンデルブロによって提案された幾何学的な概念であり、自然の海岸線や樹木の形、川や

雲の形などをシミュレートするために提案された一つの数学的理想化である [14, 15]。海岸線は微視的に見ると複雑に入り組んだ形状をしているが、これを拡大するとさらに細かい形状が見えてくるようになり、結果的に拡大しても同じように複雑に入り組んだ形状をしている。そして、海岸線の長さを測ろうとする場合、より小さいものさしで測れば測るほど、大きなものさしでは無視される微細な凹凸が測定されるようになり、その測定値は長くなっていく。したがって、このような図形の長さは理論的な極限としては無限大になると考えられる。このような図形を評価するために導入されたのが、整数以外の値にもなるフラクタル次元である。

フラクタル次元は、無限ステップまでを考えたシルピンスキーのギャスケット (図1) [16] やコッホ曲線 (図2) [16] などの、部分と全体とが相似になるような幾何形態のみ厳密に定義されており、そのまま理論を用いるだけでは実在の形態を取り扱うことはほぼ不可能である。そこで、自己相似性の概念をゆるめて、新たにフラクタル次元を定義し、近似的に求める方法が実際には用いられている。前述の海岸線などの場合、フラクタル次元自体が測定値になる。つまり、比較的滑らかな海岸線では、フラクタル次元は線の次元である1に近い値となり、リアス式海岸などの複雑な海岸線では、それよりは大きな値となり、その値により図形の「複雑さ」が分かる。このような近似的な次元は比較的容易に算出できるため、形態評価の指標としてよく用いられている [15]。

2.2 フラクタル次元の算定方法

フラクタル次元は、一般に形態の「複雑さ」を表す指標とされている。フラクタル次元の上昇とともに、対象とする形態は単純な形態から入り組んだ複雑な構造を示すようになる。本研究では、ボックスカウンティング法を適用し、画像処理ソフトウェア fractal3 Ver3.4.7を用いて、背景要素を含む橋梁景観全体のフラクタル次元を測定した。

ボックスカウンティング法は、対象とする画像を正方格子で分割し、画像平面上にある形態と重なる格子数から空間に占める次元を求める方法である。輪郭を含んだ画像平面を一

図1 シルピンスキーのギャスケット [16]

図2 コッホ曲線 [16]

辺の長さ r の格子に分割し、少なくとも1つの点、もしくは線が存在する格子の個数を $N(r)$ とし、次式 (1) からフラクタル次元 D を求めるものである。

$$D = -\frac{\log N(r)}{\log r} \quad (1)$$

すなわち、直交する横軸 X 軸に $\log r$ を、 Y 軸に $\log N(r)$ をとり、分割する格子の一辺の長さ r を変えた場合の $N(r)$ の変化の様子を両対数グラフに展開し、その分布を直線回帰させたときの傾きを定量化しフラクタル次元とするものである。

本研究では対象橋梁として、「Bridges 田中賞の橋」[17]、「BRIDGES IN JAPAN」[18]、「橋梁年鑑」[19]の中から、著者ら[12]によりSDアンケート調査された32橋を用いた。

選出した32橋に対して画像処理を行い、フラクタル次元を算出した。算定手順は以下の通りである。

- (1) カラー画像をグレースケールに変換する。
- (2) グレースケールの輪郭を検出し、輪郭画像を得る。
- (3) 白黒画像に変換する。
- (4) 画像の縦横のサイズが2の階乗になるように画像のサイズを変更し、fractal3によって解析する。

白黒画像へ変換するとき、閾値の値によってフラクタル次元が異なるため、代表的な5橋の景観写真を用いて、閾値を192～212まで6段階に変化させ、建設工学を専攻する学生10名にどの白黒画像が元の写真のイメージに近いかというアンケートを行った。その結果、最頻値196、平均値197.5という結果が得られたため、本研究では閾値として198を用いた。

図3と図4は画像処理の例 (No.24 此花大橋) で、それぞれ元画像と変換された白黒画像である。図4のような白黒画像を対象にフラクタル次元を求めた。

2.3 橋梁景観のフラクタル次元

表1は、対象橋梁32橋についてのフラクタル次元の算定結果 (昇順)、構造形式、架設場所、視距離、SDアンケートによって導かれた橋梁景観のイメージ評価 [12] を示す。

図3 元の画像

図4 白黒画像

表1 フラクタル次元 (昇順)

橋梁 No.	フラクタル次元	構造形式	架設場所	視距離	イメージ
6	1.4944	アーチ橋	海浜部	中景	人工的な
10	1.4947	アーチ橋	山間部	中景	人工的な
14	1.5006	桁橋	山間部	中景	人工的な
13	1.5068	桁橋	海浜部	近景	静的な
24	1.5096	吊橋	海浜部	中景	人工的な
20	1.5199	斜張橋	海浜部	近景	美しい
31	1.5285	トラス橋	海浜部	中景	人工的な
1	1.5468	アーチ橋	海浜部	中景	簡素な
3	1.5538	アーチ橋	平野部	近景	現代的な
22	1.5573	斜張橋	山間部	中景	きやしゃな
8	1.5602	アーチ橋	平野部	近景	簡素な
17	1.5688	斜張橋	海浜部	中景	現代的な
12	1.5753	桁橋	海浜部	近景	丈夫な
19	1.5762	斜張橋	海浜部	近景	美しい
11	1.5795	アーチ橋	山間部	中景	静的な
29	1.5971	トラス橋	海浜部	中景	人工的な
27	1.6016	吊橋	海浜部	中景	調和している
30	1.602	トラス橋	山間部	近景	人工的な
2	1.6066	アーチ橋	平野部	中景	簡素な
26	1.6069	吊橋	平野部	近景	人工的な
18	1.6153	斜張橋	海浜部	中景	現代的な
4	1.6169	アーチ橋	海浜部	中景	調和している
21	1.617	斜張橋	海浜部	中景	丈夫な
16	1.6334	桁橋	山間部	中景	きやしゃな
15	1.6352	桁橋	都市部	近景	丈夫な
7	1.6937	アーチ橋	山間部	中景	あかるい
5	1.7086	アーチ橋	海浜部	中景	人工的な
9	1.7179	アーチ橋	山間部	中景	調和している
23	1.7288	吊橋	都市部	中景	人工的な
28	1.731	トラス橋	都市部	中景	人工的な
25	1.7574	吊橋	山間部	中景	調和している
32	1.7743	トラス橋	山間部	中景	調和している

2.4 フラクタル次元と景観属性

図5(a)～(c)は、文献[12]のイメージ評価との関連性を調べるために、橋梁景観全体のフラクタル次元を調べ、景観属性(構造形式、架設場所、視距離)ごとに表わしたものである。個々の橋梁のフラクタル次元と構造形式の間には、そのばらつきが大きいことから特徴的な関係は見られない。構造形式別での斜張橋や桁橋のフラクタル次元は、他の形式のそれに比べてその散らばりが小さくやや低めとなっている。また、視距離別の近景では中景に見られる高めのフラクタル次元が見られない。全体として、架設場所・視距離別とフラクタル次元とのそれぞれの直接的な明確な関係は見出せない。

フラクタル次元は、橋梁そのものよりも背景の要因も含めた景観属性に総合的に依存しており、橋梁全体の感性イメージに影響を及ぼしていることが考えられる。

図5 フラクタル次元と景観属性

2.5 フラクタル次元とイメージ評価

著者ら[12]は、本研究と同じ橋梁景観32橋を対象に、SDアンケート結果の因子分析により、22対のイメージ形容詞をActivity(活動性)、Harmony(調和性)、Stability(安定性)およびCulture(文化性)の4つの因子で整理し、橋梁景観のイメージ構造を示した。4因子による累積寄与率は86.7%であった。表2は、この4因子に対する22言語対の因子負荷量を示す。

この因子分析結果とフラクタル次元の関連を検討した。フラクタル次元を5段階(低い、やや低い、中、やや高い、高い)に分類し、因子分析によって判明したHarmony因子とCulture因子との相互関係を図6に示す。図中の番号は、表1の橋梁No.に対応している。Harmony因子は、好き、美しいなどのイメージを表わしており、この因子に対する得点が高い橋梁は人々に好まれるものと言える。また、Culture因子は、自然な、あたたかいなどの田園的なイメージと、人工的で、つめたいといった都会的なイメージを表わす二極型因子である。

フラクタル次元の高いNo.25杉並自然村歩道橋(図7(a))やNo.32下瀬大橋(図7(b))などの橋梁は、いずれも山間部で中景の橋梁で、山の木々を背景としており、Culture因子の得点が高い。フラクタル次元があまり高くないNo.6ムーンブリッジ(図8(a))やNo.14雷電廿六木大橋(図8(b))

表2 因子軸と因子負荷量

形容詞対	Activity	Harmony	Stability	Culture
8.華やかな・渋い	0.9592	0.0622	0.0762	-0.0345
7.あかるい・くすんだ	0.9270	0.1307	0.0799	0.0899
13.陽気な・陰気な	0.9270	0.2213	0.0883	-0.0019
17.派手な・地味な	0.9210	-0.0701	0.0368	-0.2071
12.あざやかな・くすんだ	0.9185	0.2520	0.0371	-0.2013
14.動的な・静的な	0.9048	0.1735	0.0178	-0.1067
5.洗練された・平凡な	0.5230	0.4886	0.0438	-0.5522
6.おちついた・あわただしい	-0.7800	0.4465	0.0725	0.2786
10.好き・嫌い	0.1983	0.9170	0.0991	0.0311
15.調和している・調和していない	-0.2396	0.8692	0.0694	0.1082
16.美しい・みにくい	0.3387	0.8681	-0.0969	-0.2364
2.親しみやすい・親みにくい	0.2042	0.7550	0.2329	0.5184
21.さわやかな・くどくどした	0.1074	0.7032	-0.1870	-0.3702
11.安全な・危険な	0.0483	0.0808	0.9692	-0.0502
9.丈夫な・きゃしゃな	-0.0606	-0.0585	0.9670	0.1788
20.安定した・不安定な	-0.0379	-0.0425	0.9365	0.0884
18.力強い・よわよわしい	0.1340	-0.0529	0.9254	0.1942
19.簡素な・複雑な	-0.2311	-0.2691	-0.5095	0.1497
3.柔和な・シャープな	0.0082	-0.1730	0.3885	0.8532
4.自然な・人工的な	-0.3414	0.2588	-0.0270	0.7866
1.あたたかい・つめたい	0.6262	0.0764	0.1486	0.7310
22.現代的な・伝統的な	0.4391	0.2211	0.1045	-0.7709

図6 フラクタル次元と因子空間

(a) No.25杉並自然村歩道橋 (b) No.32下瀬大橋

図7 フラクタル次元が高めの橋梁

(a) No.6ムーンブリッジ (b) No.14雷電廿六木大橋

図8 フラクタル次元が低めの橋梁

などは、それぞれ海浜部や山間部で架設場所は異なるが、橋梁は直線的や曲線的に広がり、一面的な空間を背景として浮かび上がっており、Culture 因子得点が低い。つまり、背景の情報量が多くフラクタル次元の高い橋梁景観を人々は、「自然的である」と感じ、背景の情報量が少ないすっきりとした景観では、その橋梁は「人工的である」と感じていると考えられる。橋梁景観全体のフラクタル次元を対象としていることから、フラクタル次元を橋梁の背景を含めた橋梁全体のイメージを評価する一つの指標として考えることもできる。

好ましい景観であるかどうかを判断する Harmony 因子とフラクタル次元の間には、特徴的な関連は見出せなかった。

フラクタル次元は「複雑さ」を定量的に表わす指標とされているが、カラー画像で行われたアンケートに用いられたイメージ言語「簡素な／複雑な」の評価得点と、白黒画像で算定したフラクタル次元との間の関連性を見出すことはできなかった。人々が景観の「複雑さ」を評価するとき、形状だけでなく色彩情報が重要な役割を果たしていると思われる。

3. ラフ集合を用いた橋梁景観の評価

3.1 ラフ集合とは

橋梁景観は橋とその背景・周辺要素などから構成される。橋梁景観のイメージに影響を与えるものとして、構造形式、架設場所、視距離の他にも、視点高さ、橋長、色など様々なものが考えられる。要因とイメージの関係を明らかにし、設計計画へ向けた具体的知見を得るため、近年感性工学の分野で注目を集めているラフ集合 [20] を用いた。

ラフ集合は、1982年にZ.Pawlakによって提唱され、ラフ集合理論として、医療データから病気と症状の因果関係を抜き出し、病気の原因となる症状を特定するために用いられた。ラフ集合理論は、ある対象を特定する際、その対象が属する集合の範囲の情報を正確に設けるのではなく、ラフに設定することによって、対象の集合のほどよい記述が求められる。つまり、商品企画やデザイン計画において、いくつかの少数の形態要素を同時にどのようにすれば、どのようなイ

メージになるかを知ることができる。荒い記述は、対象を十分に特定できないデメリットはあるが、一方、細かい記述は対象をより精密に特定するが、本質が見極め難くなるという欠点も持つ。したがって、現実的には、ほどよい記述の仕方が望ましいと考えられる [20]。

3.2 橋梁景観の分類

著者ら [12] による橋梁景観のSDアンケート調査の形容詞対の評価平均点をクラスター分析することによって、対象橋梁32橋を4つのクラスターに分類することができた。クラスターに属する対象がほぼ同数になる傾向を持ち実用的ですぐれた解法であるとされるウォード法 [21] を用いた。図9はクラスター分析の樹形図である。

各クラスターに属する橋梁の評価得点合計点の大きい形容詞からそのクラスターの特徴を決定した。以下に各クラスターの特徴と属する橋梁を示す。

(1) クラスター1 (No.1, 2, 8, 11, 13, 26)

簡素な造形でありつつ、静的で落ち着いた印象を与える橋梁で、図10(a)～(c)にその例を示す。

(2) クラスター2 (No.4, 7, 9, 12, 15, 21, 25, 32)

背景と調和しており、安定感のある力強い印象を与える橋梁で、図11(a)～(c)にその例を示す。

(3) クラスター3 (No.3, 5, 6, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 27, 29, 31)

現代的でシャープな印象を与え、比較的好まれる橋梁で、図12(a)～(c)にその例を示す。

(4) クラスター4 (No.10, 23, 28, 30)

人工的で、派手なため周囲との調和がとれてないように感じる橋梁で、図13(a)～(c)にその例を示す。

3.3 決定ルールの算出

フラクタル次元を含む橋梁景観全体の景観属性と感性イメージ [12] との関係性をラフ集合により調べるため、橋梁属性と属性値を表したものを表3に示す。対象とする32橋に対し、上記クラスターの4つの分類を結論部とした表4に示す決定表を使って、ラフ集合ソフトウェア Ver.1.0により分析を行い、決定ルールを算出した。表5は、クラスター1の場合の決定ルールの上位例を示す。算出された属性値の組合せの結果が、クラスター1に分類される橋梁のイメージとなる。

図9 クラスター解析の樹形図

(a) No.2 樺坂高架橋

(b) No.11 三貫目大橋

(a) No.4 松島橋(天草5号橋)

(b) No.15 夢の大橋

(c) No.26 たきかわ吊橋

(c) No.21 第2マクタン橋

図10 クラスター1の橋梁例

図11 クラスター2の橋梁例

(a) No.3 南風原高架橋

(b) No.19 名港西大橋

(a) No.10 ニセコ大橋

(b) No.28 港大橋

(c) No.27 安芸灘大橋

(c) No.30 ハケ岳高原大橋

図12 クラスター3の橋梁例

図13 クラスター4の橋梁例

表3 橋梁の分類

属性	属性値	記号
構造形式	アーチ橋	a1
	桁橋	a2
	斜張橋	a3
	吊橋	a4
	トラス橋	a5
架設場所	海浜部	b1
	平野部	b2
	山間部	b3
	都市部	b4
視点高さ	仰瞰景	c1
	平行景	c2
	俯瞰景	c3
用途	道路橋	d1
	歩行者専用橋	d2
	道路鉄道併用橋	d3
	歩道橋	d4
橋長(m)	0-200	e1
	200-400	e2
	400-1000	e3
	1000-	e4
視距離	近景	f1
	中景	f2
視線入射角	斜側面	g1
	側面	g2
色相	無彩色	h1
	赤系統	h2
	黄系統	h3
	緑系統	h4
	青系統	h5
フラクタル次元	1.49~1.54	i1
	1.55~1.60	i2
	1.61~1.66	i3
	1.67~1.72	i4
	1.73~1.78	i5

表4 橋梁の属性と分類

対象橋梁	属性/属性値										分類
1 生の浦大橋	a1	b1	c1	d1	e1	f2	g1	h1	i2	1	
2 樺坂高架橋	a1	b2	c2	d1	e2	f2	g2	h5	i3	1	
3 南風原高架橋	a1	b2	c1	d1	e3	f1	g1	h1	i2	3	
4 松島橋(天草5号橋)	a1	b1	c3	d1	e1	f2	g1	h2	i3	2	
5 大三島橋	a1	b1	c2	d1	e2	f2	g1	h5	i4	3	
6 ムーンブリッジ	a1	b1	c1	d1	e2	f2	g1	h4	i1	3	
7 千支大橋	a1	b3	c2	d1	e2	f2	g2	h2	i4	2	
8 大野川橋	a1	b2	c2	d1	e3	f1	g1	h4	i2	1	
9 不動沢橋	a1	b3	c3	d1	e1	f2	g1	h5	i4	2	
10 ニセコ大橋	a1	b3	c2	d1	e2	f2	g2	h3	i1	4	
11 三貫目大橋	a1	b3	c2	d1	e1	f2	g1	h1	i2	1	
12 浜名湖橋	a2	b1	c1	d1	e3	f1	g1	h2	i2	2	
13 パール1号橋	a2	b1	c1	d1	e2	f1	g1	h5	i1	1	
14 雷電廿六木大橋	a2	b3	c2	d1	e2	f2	g2	h1	i1	3	
15 夢の大橋	a2	b4	c3	d2	e2	f1	g1	h3	i3	2	
16 鷺見橋	a2	b3	c1	d1	e3	f2	g2	h1	i3	3	
17 樫石島橋	a3	b1	c3	d3	e3	f2	g1	h1	i2	3	
18 名港東大橋	a3	b1	c3	d1	e3	f2	g1	h5	i3	3	
19 名港西大橋	a3	b1	c1	d1	e3	f1	g1	h2	i2	3	
20 大芝大橋	a3	b1	c1	d1	e3	f1	g1	h1	i1	3	
21 第2マクタン橋	a3	b1	c3	d1	e3	f2	g1	h1	i3	2	
22 鮎の瀬大橋	a3	b3	c2	d1	e2	f2	g2	h1	i2	3	
23 若戸大橋	a4	b4	c3	d1	e3	f2	g1	h2	i5	4	
24 此花大橋	a4	b1	c2	d1	e3	f2	g1	h3	i1	3	
25 杉並自然村歩道橋	a4	b3	c2	d4	e1	f2	g1	h2	i5	2	
26 たきかわ吊橋	a4	b2	c2	d4	e2	f1	g1	h3	i3	1	
27 安芸灘大橋	a4	b1	c3	d1	e4	f2	g1	h1	i2	3	
28 港大橋	a5	b4	c3	d1	e3	f2	g1	h2	i5	4	
29 大島大橋	a5	b1	c3	d1	e4	f2	g1	h3	i2	3	
30 ハケ岳高原大橋	a5	b3	c3	d1	e3	f1	g1	h3	i2	4	
31 生月大橋	a5	b1	c3	d1	e3	f2	g1	h5	i1	3	
32 下瀬大橋	a5	b3	c3	d1	e1	f2	g1	h2	i5	2	

C.I. (Covering Index) とは、分類された橋梁のうち、ある決定ルールに当てはまる橋梁の占める割合を表す。C.I. が高いほど、信頼性の高い決定ルールであると言えるため、多数の決定ルールの中でどの属性値の組合せが重要かの目安となる。

クラスター1の場合、C.I. の最も高い決定ルールは、b2c2 (C.I.=0.500) であり、これを要約すると「平野部に建設された橋梁を平行から眺めたとき」、クラスター1の特徴である「簡素な造形であり静的で落ち着いた印象を与える」と言える。クラスター2～4についても同様に、いくつかの決定ルールとC.I. が得られた。

3.4 決定ルールの併合

決定ルールは最小組合せであり、C.I. が小さい。また、要素数が少ないため、実際の設計には応用するのが難しい。そこで信頼性を高めるために、決定ルールを効率良く併合し、新たな属性値の組合せである併合決定ルールを求める必要がある [20]。

併合決定ルールは、例として図14に示す併合方法 [20] を用いて求めた。図中のS.C.I. (Subject Covering Index) とは、併合決定ルールを満たす橋梁の占める割合を示す値であり、この値が大きくなるような組合せを求める。

例えば、併合されるべき決定ルールが表4における“b2c2” “e1h1” “e1i2” の3つであった場合、併合決定ルールは、これら3つの決定ルールを総当たりで併合させ求める。併合決定ルールを表示するとき、併合する2つの決定ルールをハイフンで結び、“b2c2”と“e1h1”を併合させた場合、“b2c2-e1h1”と表示する。この方法は、算出された決定ルール全てを総当たりで併合させ求めるが、“e1h1-e1i2”等の併合決定ルールのようにC.I. が併合後も大きくならない組合せは併合から除外した。また、“e1i2-b2c2”という組合せの場合、e1とe2は同じ属性内の値である。同じ属性の異なる属性値を同時に満たすことはできないため、この場合も併合から除いた。

表5 クラスター1の決定ルール例

決定 ルール	C.I.	該当するサンプルNo.						
		1	2	8	11	13	26	
b2c2	0.500		○	○				○
e1h1	0.333	○			○			
e1i2	0.333	○			○			
b2e2	0.333		○				○	
b2i3	0.333		○				○	
c2i3	0.333		○				○	
c2f1	0.333			○			○	
a1f2h1	0.333	○			○			
a1c2i2	0.333			○	○			
c2g1i2	0.333			○	○			
a1f2i2	0.333	○			○			
c1e1	0.167	○						
b2f2	0.167		○					
b2g2	0.167		○					
b2h5	0.167		○					
g2h5	0.167		○					
b2h4	0.167			○				
c2h4	0.167			○				
e3h4	0.167			○				
f1h4	0.167			○				
h4i2	0.167			○				

図14 併合ルールの例

3.5 各クラスターの併合決定ルール

決定ルールの併合を行い、構造形式、架設場所、視点高さ、用途、橋長、視距離、視線入射角、色相、フラクタル次元などの景観属性と、クラスター分析による4つの景観イメージとの関係性を併合決定ルールとして示すことができた。これにより、景観評価のための指標の一つとしてラフ集合を適用できると考えられる。

各クラスターについて求められた併合決定ルールの中で、S.C.I. の高かった上位の併合決定ルールを表6～9に示す。

(1) クラスター1

表6は、クラスター1の場合の併合決定ルールの上位を示している。クラスター1における併合決定ルールでS.C.I. の最高値は0.833であり、十分信頼性の高い結果を得られたと考えられる。クラスター1の特徴である「簡素な造形であり静的で落ち着いた印象を与える」要素の組合せ(決定ルール)を以下に示す。

- b2c2-e1h1 (S.C.I.=0.833)：平野部に建設され、橋長が短く無彩色な橋梁を平行に眺めるとき。
- b2c2-e1i2 (S.C.I.=0.833)：平野部に建設された橋長が短い橋梁を平行から眺め、その画像のフラクタル次元が小さいとき。
- b2c2-a1f2h1 (S.C.I.=0.833)：平野部に建設された無彩色のアーチ橋を中景の位置から平行に眺めるとき。
- b2c2-a1f2i2 (S.C.I.=0.833)：平野部のアーチ橋を中景から平行に眺め、そのフラクタル次元が小さいとき。

(2) クラスター2

表7はクラスター2の場合の併合決定ルールの上位を示している。クラスター2における併合決定ルールでS.C.I. の最高値は0.625であり、信頼性は高いと言える。クラスター2の特徴である「背景と調和しており、安定感のある力強い印象を与える」要素の組合せを以下に示す。

- c3e1-b3h2 (S.C.I.=0.625)：山間部に建設され、橋長が短く赤系統の橋梁を見下ろす位置から眺めるとき。
- e1h2-b3i4 (S.C.I.=0.625)：山間部に建設され、橋長が短く赤系統の橋梁で、そのフラクタル次元が大きいとき。
- b3h2-a1c3 (S.C.I.=0.625)：山間部の赤系統のアーチ橋を見下ろす位置から眺めるとき。
- c3e1-b3i4 (S.C.I.=0.500)：山間部の短い橋梁を見下ろす位置から眺め、そのフラクタル次元が大きいとき。

(3) クラスター3

表8は、クラスター3の場合の併合決定ルールの上位を示

している。クラスター3の特徴は「現代的でシャープな印象を与え、比較的好まれる橋梁」であり、ここで算出された併合決定ルール of the combination of the S.C.I. maximum value is 0.429 and it becomes a bridge that is preferred by people. However, the number of bridges belonging to cluster 3 is small, so the S.C.I. maximum value is 0.429. In this case, the reliability of the result is not high. Therefore, the combination of the S.C.I. is shown below.

- g2h1-e3i1 (S.C.I.=0.429) : 橋長400-1000mの無彩色の橋梁の側面から眺め、フラクタル次元が小さいとき。

- g2h1-b1c3i2 (S.C.I.=0.429) : 海浜部に建設された無彩色な橋梁の側面を見下ろす位置から眺めるとき。
- a3i2-c1e3h1 (S.C.I.=0.429) : 無彩色の斜張橋を下から見上げ、そのフラクタル次元が小さいとき。
- c1e3h1-b1f2i1 (S.C.I.=0.429) : 海浜部に建設された400-1000mの無彩色な橋梁を、中景から見上げ、そのフラクタル次元が小さいとき。

(4) クラスター4

表9は、クラスター4の場合の併合決定ルールの上位を示している。クラスター4に含まれる橋梁の数は少ないが、全

表6 クラスター1の併合決定ルール例

併合決定ルール	S.C.I	該当するサンプルNo.							
		1	2	8	11	13	26		
b2c2-e1h1	0.833	○	○	○	○	○	○		
b2c2-e1i2	0.833	○	○	○	○	○	○		
b2c2-a1f2h1	0.833	○	○	○	○	○	○		
b2c2-a1f2i2	0.833	○	○	○	○	○	○		
b2c2-a2h5	0.667		○	○		○	○		
b2c2-f1h5	0.667		○	○		○	○		
b2c2-a2b1i1	0.667		○	○		○	○		
b2c2-a2g1i1	0.667		○	○		○	○		
b2c2-d1e2f1	0.667		○	○		○	○		
b2c2-a2f1i1	0.667		○	○		○	○		
b2c2-e2f1i1	0.667		○	○		○	○		
b2c2-e2h5i1	0.667		○	○		○	○		
b2c2-a2d1e2g1	0.667		○	○		○	○		
e1h1-b2i3	0.667	○	○		○				
e1h1-c2i3	0.667	○	○		○				
e1h1-c2f1	0.667	○	○		○				
e1i2-c2f1	0.667	○	○		○				
b2e2-a1f2h1	0.667	○	○		○				
b2e2-a1c2i2	0.667		○	○		○	○		
b2e2-c2g1i2	0.667		○	○		○	○		
b2e2-a1f2i2	0.667	○	○		○				
b2i3-a1f2h1	0.667	○	○		○				
c2i3-a1f2h1	0.667	○	○		○				
e1h1-a1c2i2	0.500	○		○	○				
e1h1-c2g1i2	0.500	○		○	○				
e1h1-b2f2	0.500	○	○		○				
e1h1-b2g2	0.500	○	○		○				
e1h1-a4f1	0.500	○			○				

表7 クラスター2の併合決定ルール例

併合決定ルール	S.C.I	該当するサンプルNo.									
		4	7	9	12	15	21	25	32		
c3e1-b3h2	0.625	○	○	○				○	○		
e1h2-b3i4	0.625	○	○	○				○	○		
b3h2-a1c3	0.625	○	○	○				○	○		
c3e1-b3i4	0.500	○	○	○					○		
c3e1-a1h2	0.500	○	○	○					○		
c3e1-b3i5	0.500	○		○				○	○		
c3e1-d2	0.500	○		○		○			○		
c3e1-g2i4	0.500	○	○	○					○		
c3e1-g2h2	0.500	○	○	○					○		
c3e1-h2i4	0.500	○	○	○					○		
c3e1-a2i2	0.500	○		○	○				○		
c3e1-a2h2	0.500	○		○	○				○		
c3e1-a2b4	0.500	○		○		○			○		
c3e1-b4f1	0.500	○		○		○			○		
c3e1-b4h3	0.500	○		○		○			○		
c3e1-b4i3	0.500	○		○		○			○		
c3e1-a2h3	0.500	○		○		○			○		
c3e1-a4b3	0.500	○		○					○	○	
c3e1-b3d4	0.500	○		○					○	○	
c3e1-d4f2	0.500	○		○					○	○	
c3e1-d4i5	0.500	○		○					○	○	
c3e1-d4h2	0.500	○		○					○	○	
c3e1-a2g1i3	0.500	○		○		○			○		
c3e1-a3h1i3	0.500	○		○				○	○		
c3e1-b1h1i3	0.500	○		○				○	○		
c3e1-g1h1i3	0.500	○		○				○	○		
c3e1-a2f1i3	0.500	○		○		○			○		
c3e1-a3d1f2g1h1	0.500	○		○				○	○		

表8 クラスター3の併合決定ルール例

併合決定ルール	S.C.I	該当するサンプルNo.														
		3	5	6	14	16	17	18	19	20	22	24	27	29	31	
g2h1-e3i1	0.429				○	○				○	○		○	○		
g2h1-b1c3i2	0.429				○	○					○		○	○		
g2h1-c3f2i2	0.429				○	○							○	○		
g2h1-b1f2i1	0.429			○	○	○					○	○			○	
a3i2-c1e3h1	0.429	○				○	○		○	○	○					
f2g1i1-c1e3h1	0.429	○		○		○					○				○	
c1e3h1-b1f2i1	0.429	○		○		○					○				○	
g2h1-a3i2	0.357				○	○	○			○						
g2h1-e4	0.357				○	○					○		○	○		
g2h1-a3c1	0.357				○	○			○	○						
g2h1-a3f1	0.357				○	○			○	○						
g2h1-b1c2	0.357		○		○	○					○	○				
g2h1-a4b1	0.357				○	○					○	○				
g2h1-a5b1	0.357				○	○					○			○	○	
g2h1-b1e2f2	0.357		○	○	○	○					○					
g2h1-a1b1e2	0.357		○	○	○	○					○					
a3i2-e4	0.357						○		○			○	○			
a3i2-f1h1	0.357	○					○		○	○	○					
a3i2-e3h5	0.357						○	○	○		○				○	
a3i2-b1c2	0.357		○				○	○	○		○	○				
a3i2-b1h3	0.357						○	○	○		○	○		○		
a3i2-e2f2g1	0.357		○	○			○		○		○					
a3i2-b1e2f2	0.357		○	○			○		○		○					
a3i2-b1c3h5	0.357						○	○	○		○				○	
a3i2-f2g1h3	0.357						○		○		○	○		○		
e3i1-b1f2h5	0.357		○					○			○			○		
e3i1-a2b3	0.357				○	○				○					○	
e3i1-a2f2	0.357				○	○				○					○	

表9 クラスター4の併合決定ルール例

併合決定ルール	S.C.I	該当するサンプルNo.			
		10	23	28	30
b3h3-e3i5	1.000	○	○	○	○
b3h3-a4d1i5	0.750	○	○		○
b3h3-a4c3e3	0.750	○	○		○
b3h3-a4c3i5	0.750	○	○		○
b4d1-a1h3	0.750	○	○	○	
b4d1-g2h3	0.750	○	○	○	
b4d1-a5f1	0.750		○	○	○
b4d1-e2f2h3	0.750	○	○	○	
b4d1-e2h3i1	0.750	○	○	○	
b4d1-a5e3h3	0.750		○	○	○
b4d1-a5e3i2	0.750		○	○	○
b4d1-a1c2i1	0.750	○	○	○	
b4d1-a1g2i1	0.750	○	○	○	
b4d1-c3e3f1	0.750		○	○	○
b4d1-c3f1i2	0.750		○	○	○
b4d1-c3e3h3	0.750		○	○	○
b4d1-e3f1h3	0.750		○	○	○
b4d1-e3h3i2	0.750		○	○	○
b4d1-f1h3i2	0.750		○	○	○
b4e3-a1h3	0.750	○	○	○	
b4e3-g2h3	0.750	○	○	○	
b4e3-a5f1	0.750		○	○	○
b4e3-a1c2i1	0.750	○	○	○	
b4e3-a1g2i1	0.750	○	○	○	
b4e3-c3d1f1	0.750		○	○	○
b4e3-c3f1i2	0.750		○	○	○
b4e3-d1f1h3	0.750		○	○	○
b4e3-f1h3i2	0.750		○	○	○

参 考 文 献

ての橋梁に含まれる併合決定ルールを算出することができ、S.C.I.の最大値は1.000となった。クラスター4に属する橋梁の特徴は「人工的で、派手なため周囲との調和がとれてないように感じる橋梁」であり、どのような要素の組合せがそのように感じさせるのかを以下に示す。

- b3h3-e3i5 (S.C.I.=1.000)：山間部に建設された黄系統の橋梁で、フラクタル次元が非常に高いとき。
- b3h3-a1d1i5 (S.C.I.=0.750)：山間部に建設された道路橋として使用される黄系統のアーチ橋で、フラクタル次元が非常に高いとき。
- b4d1-a5f1 (S.C.I.=0.750)：都市部に建設された道路橋として使用されるトラス橋を近景から眺めるとき。
- b4e3-g2h3 (S.C.I.=0.750)：都市部の400-1000mの黄系統の橋梁を側面から眺めるとき。

4. ま と め

本研究は、橋梁の形態情報としてのフラクタル次元と橋梁の色彩、架設場所、構造形式、視距離などの景観に影響を与える要因や、SDアンケートによる橋梁景観のイメージとの関係性を、ラフ集合を用いて調べた。ラフ集合による決定ルールを、景観の定量的評価指標として景観設計に用いるための試みを行ったものである。本研究のまとめは、以下の通りである。

- (1) 橋梁景観全体のフラクタル次元と構造形式などの景観属性との関係性を調べた。各景観属性におけるフラクタル次元のばらつきが大きく、その相関性は明確には見出すことができない。フラクタル次元は、橋梁景観全体の感性イメージと関連していると思われる。
- (2) SD法を用いたアンケートの結果のクラスター分析により、対象橋梁32橋を、4つの橋梁景観イメージ（クラスター）に分類し、その特徴を明らかにした。
- (3) 4つの橋梁景観イメージと架設場所、構造形式などの景観要素やフラクタル次元の相互関係を、ラフ集合の決定ルールを使って定量的に関連づけることができた。4つの橋梁景観イメージ（クラスター）を持つ橋梁景観全体の創出において、この決定ルールを景観設計に活用する指標として適用できる可能性を示した。
- (4) 今後は、ラフ集合を用いた本研究の景観評価法を、数量化Ⅰ類や数量化Ⅱ類などの多変量解析に基づく景観評価法と比較することで、景観属性やフラクタル次元の相互関係をより明確にし、本評価法の有用性を検討する必要がある。

謝 辞

本研究のまとめにあたり、(株)ニチゾウテックの中越智紀氏の助力をいただいた。また本研究の一部は、平成23年度科学研究費助成事業（基盤研究(C)）（課題番号23560583）の援助を受けた。ここに感謝します。

- [1] e-Gov（イーガブ）：景観法，総務省（法令検索），<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H16/H16HO110.html>.
- [2] 岡島延康，白木 渡，保田敬一，安達 誠，伊藤則夫，堂垣正博：色彩と形態を融合した橋梁景観評価法の提案，構造工学論文集，50A，pp.277-286，2004.
- [3] 大野研，大野博之，鈴木勝士，葛西紀巳子：色彩・形状の観点からみた数値的景観評価の試み，土木学会論文集，695/Ⅳ-54，pp.31-44，2002.
- [4] 奥谷巖，高瀬達夫：色彩を用いた各種フラクタル次元による景観評価に関する研究，土木情報システム論文集，10，pp.221-228，2001.
- [5] 小村尚毅，安山宜之：ラフ集合理論を用いたデザイン計画法の試案，日本建築学会九州支部研究報告，45，pp.553-556，2006.
- [6] 下原祥平，島崎敏一：ラフ集合理論を用いた歩行空間の評価，土木計画学研究講演集，30，(64)，2004.
- [7] 市坪誠，西野達夫，長町三生，西川宗一郎：ラフ集合のランドスケープデザインへの適用，第8回日本感性工学大会予稿集，pp.281，2006.
- [8] 石黒紘介，細入万美恵，門内輝行：ラフ集合理論を用いた住宅外観の評価の要因分析－建築環境の意味の記号論的评价(その2)，平成20年度日本建築学会近畿支部研究報告集，5018，pp.69-72，2008.
- [9] 安達誠，白木渡，近田康夫，保田敬一，堂垣正博：フラクタル次元と色彩を考慮した橋梁景観の感性評価に関する研究，構造工学論文集，48A，pp.299-306，2002.
- [10] 保田敬一，白木渡，角野大樹，堂垣正博：フラクタル次元を用いた桁橋の景観評価に関する研究，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.11-16，1999.
- [11] 保田敬一，白木渡，角野大樹，堂垣正博，安達誠：桁橋の景観設計における感性評価とフラクタル次元の適用に関する研究，構造工学論文集，47A，pp.327-334，2001.
- [12] 勇秀憲，安岡鮎：橋梁景観のカラーイメージスケールに関する基礎的研究，土木情報利用技術論文集，12，pp.21-32，2003.
- [13] 小林：日本カラーデザイン研究所（編），カラーイメージスケール，1990.
- [14] B.B. マンデルブロ，広中平祐訳：フラクタル幾何学，日経サイエンス社，1984.
- [15] 高安秀樹：フラクタル，朝倉書店，1986.
- [16] Wikipedia: Fractal dimension.
- [17] 土木学会：Bridges 田中賞の橋，鹿島出版会，1999.
- [18] 土木学会：橋 BRIDGES IN JAPAN，1993～1999.
- [19] 日本橋梁建設協会：橋梁年鑑，1989～1998.
- [20] 森典彦，田中英夫，井上勝雄：ラフ集合と感性「データからの知識獲得と推論」，海文堂出版，2004.
- [21] 菅民郎：多変量解析の実践（下），現在数学社，2004.

勇 秀憲（正会員）

1986年 京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了。現在、高知工業高等専門学校環境都市デザイン工学科教授。工学博士。この間、カタストロフィー理論、構造解析、数値解析、景観工学、感性工学等に関する研究に従事。2001年～2003年土木学会誌編集委員。2004年～2008年土木学会四国支部商議員。2009年～2010年 高知工業高等専門学校校長補佐（研究・連携推進担当）。2010年4月から高知工業高等専門学校教育改善推進室長。