

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

A study on the scenery evaluation of arched bridge by fractal dimension and color

安達誠*, 白木渡**, 近田康夫***, 保田敬一****, 堂垣正博*****

Makoto ADACHI, Wataru SHIRAKI, Yasuo CHIKATA, Keiichi YASUDA and Masahiro DOGAKI

*工修 復建調査設計(株), 総合計画部 (〒732-0052 広島市東区光町 2-10-11)

** 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 高松市林町新町 2217-20)

*** 工博 金沢大学大学院助教授, 自然科学研究科システム創成科学専攻 (〒920-8677 金沢市小立野 2-40-20)

**** 博(工) 株式会社ニュージエック, 総合計画・環境部 (〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

***** 工博 関西大学教授, 工学部土木工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

The difference of impressions people receive from the landscape of a bridge is due to the fact that they are largely effected by the physical characteristics of the bridge's landscape. In this paper, the author's attention is focussed on the fractal dimension and color distribution as the graphical descriptors (quantitative description of physical characteristics obtained from a photograph). First, by means of processing the photographic data of a bridge, the fractal dimension of the whole photograph and the segment photograph are determined and the analysis of the relationship between the fractal dimension and Kansei (sensitivity) is made. In addition, the mean color value of the segment photograph is calculated and the relationship between the graphical descriptors and Kansei (sensitivity) is analyzed by means of multiple regression analysis.

Key Words: fractal dimension, Kansei engineering, aesthetic of landscape, $L^*a^*b^*$ キーワード: フラクタル次元, 感性工学, 景観評価, $L^*a^*b^*$

1. はじめに

近年の社会資本整備に対する住民の不満の高まりは、高度成長期において、経済性や機能性重視で住民の感性をあまり考慮しないで社会資本整備が行われてきたことにもその一因があるものと考えられる。このような背景から、人々が持つ感性やイメージを具体的な商品として実現するための工学的手法である感性工学手法を、土木構造物の評価や設計支援に適用するための研究が増えてきている^{1)~3)}。

しかし、感性工学手法を用いるためには、感性データベースの構築が必要不可欠であるが、これには多くの人々に対して多数の写真を対象に、数十個のイメージ形容詞を用いて感性評価実験を行わねばならず、感性の把握に膨大な時間と労力を必要とするという問題点が指摘されている。

人が橋梁景観を見たときに感じる印象の違いは、景観が持つ物理的特性の影響を受けているものと考えられる。感性と物理的特性との対応関係を明らかにすることができれば、今後、感性データベースを構築する際に、感性評価実験の写真数やイメージ形容詞数を減らすことができ労力の大幅な軽減が可能になるものと考えられる。

橋梁景観の物理的特性には、色、形など様々なものがあ

り、形を表す画像特徴量(画像から得られる物理的特性を定量化したもの)であるフラクタル次元⁴⁾を用いて橋梁の景観評価を試みた研究が行われている⁵⁾⁶⁾。しかし、これらの研究においては、橋梁景観画像全体のフラクタル次元を用いているため、フラクタル次元が同じ値を示しても感性評価結果が大きく異なる場合があるのではないかとすることは容易に想像できる。さらに、これまでの研究においては、フラクタル次元だけで橋梁景観の評価尺度を提案しようとしていたが、感性評価実験ではカラーの橋梁景観写真を用いているため、評価結果は色彩の影響を受けているはずであり、形態を表す指標であるフラクタル次元だけを用いて橋梁景観評価尺度とすることは無理がある。

そこで、本研究では、以下の2点を考慮した新たな橋梁景観評価尺度の提案を試みる。①画像全体ではなく、領域分割した画像の画像特徴量を用いることにより、画像特徴量の分布を考慮した橋梁景観評価尺度とする。②形態を表す画像特徴量であるフラクタル次元に加えて、色彩を表す画像特徴量を定量化し、両者を組み合わせた新たな橋梁景観評価尺度とする。

本研究の手順を以下に示す。始めに、橋梁画像データを画像処理することにより、画像全体のフラクタル次元を算定した。画像全体のフラクタル次元と感性との関係を分析

することにより、画像全体のフラクタル次元だけを橋梁景観評価尺度として使用することの問題点を確認した。次に、第1の提案である分割画像の画像特徴量を用いることの有効性を確認する目的で、領域分割した画像のフラクタル次元を算定し、感性との関係を分析した。そして、最後に、分割画像の色彩を数値化し平均値を算出することにより、分割画像の画像特徴量（フラクタル次元と色彩）と感性との関係を重回帰分析を用いて分析し、色彩とフラクタル次元の両方を考慮した新たな橋梁景観評価尺度の提案を試みている。

2. 感性評価実験の概要

本研究で用いた橋梁景観から受けるイメージ（感性）は、筆者らが過去に行った感性評価実験結果を用いた²⁾。その実験概要を以下に記す。

- ・ 実験方法：5段階のSD尺度による感性評価実験
- ・ 刺激画像：橋梁年鑑等から選定したA4サイズのアーチ橋写真88枚
- ・ イメージ形容詞：予備アンケートにより抽出した橋梁に対するイメージを表現する43個の形容詞対
- ・ 実験方法：部屋に写真を並べ、被験者が自由に歩き回ることにより自分のペースで評価を行う。
- ・ 被験者：53名（鳥取大学学生18名、国立呉工業高等専門学校学生20名、土木専門家13名）

3. フラクタル次元の算定

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る。フラクタル次元は、形態の複雑さを表す指標とされる。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。このように、フラクタル次元は、形態の情報理論的なパラメータに相当する指標であると考えられる。

形態評価の指標として用いられているフラクタル次元の定義は数多く存在するが、本研究では、過去の研究においても比較的好く用いられているボックスカウンティング（Box-counting）法を用いた。この方法は、粗視化の度合を変える方法で、単純で手軽なため、一次元および二次元パターンのフラクタル次元を求めるのにしばしば用いられる。まず、図-1のように対象画像を方眼紙上に置く。たとえば、トレーシングペーパーの方眼紙に対象物を写したり、対象画像自体を分割したりする。つぎに、用いる方眼の長さ l （格子の大きさ）を決め、対象物の輪郭が含まれる方眼の数 n をカウントする。同一の対象画像について、方眼の大きさをさまざまに変え、輪郭部を含む方眼の数をそれぞれカウントする。その l 、 n をそれぞれ x 軸と y 軸にとり、両対数グラフ上にプロットする。これを直線回帰させ、その負の傾きがフラクタル次元 α である。この方法は、数学的な図形の被覆を技術的に近似したもので、フラクタル次元の定義に基づいたものである。

なお、筆者らが過去に行った研究では、手作業によりフラクタル次元を算出していたが、本研究では画像処理によりフラクタル次元を算出した。画像処理によるフラクタル次元の算定手順は、以下のとおりである。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画像を得る。出力画像では輪郭部はより黒く、非輪郭部は白くなる。③モノクロ画像にする。ピクセル値が閾値以下のときは黒に、閾値以上の時には白にする。閾値は入力値であり、その範囲は0~255であるが、閾値をいくりにするかによってフラクタル次元の値が異なる。そこで、閾値の決定に際し、90橋の桁橋景観写真を用い、閾値の値を229、233、237、241、245、249と変化させて得られた輪郭画像を作成し、どの輪郭画像が元の写真のイメージに近いと感じるかというアンケート調査を、関西大学の学生19名に對し行った⁷⁾。その結果、最頻値237、平均値237.6という結果が得られたため、本研究では閾値として238を用いることにした。④Box-counting法で輪郭線を含む格子の数を数える。ここで、注意すべきはBox-counting法でフラクタル次元を計算しているため、画像の縦と横のピクセル数は、その公約数がある程度得られないとならないということである。さらに本研究では、後述するように分割画像のフラクタル次元も算定しているため、分割画像についても同様の公約数が必要である。そこで、画像サイズが、縦480ピクセル×横720ピクセルとなるようにトリミングを行った。

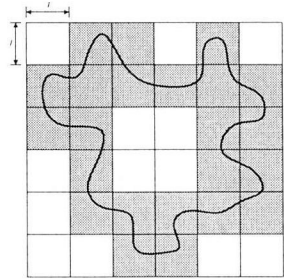


図-1 Box-counting 法によるフラクタル次元の算定

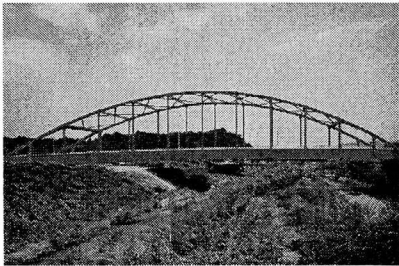


図-2 元画像 (No.10 江尻橋)

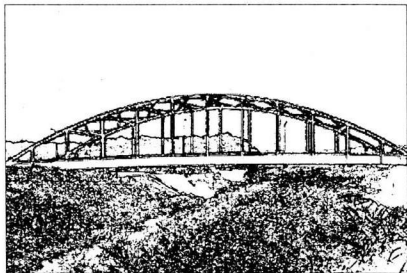


図-3 輪郭画像 (No.10 江尻橋)

4. 画像全体のフラクタル次元

4. 1 画像全体のフラクタル次元の算定

これまでに行われてきたフラクタル次元を景観評価に適用する研究は、画像全体のフラクタル次元と「美しい」、
「複雑な」などのイメージとの対応関係を検討したものである。しかし、フラクタル次元は形態を表す指標のため、
背景の影響などにより画像全体のフラクタル次元は同じでも明らかに異なる印象を与える場合がある。

表-1 にアーチ橋景観画像 88 枚について算定した画像全体のフラクタル次元 f_{r0} を示す。表-1 では、フラクタル次元の昇順に並べている。表-1 を見ると、今回、算定した画像全体のフラクタル次元においても、網掛けで示すように同じフラクタル次元を示す画像が多数あることがわかる。

表-1 画像全体のフラクタル次元（昇順）

橋梁	f_{r0}	橋梁	f_{r0}	橋梁	f_{r0}
No.57	1.456	No.67	1.693	No.53	1.818
No.33	1.517	No.82	1.695	No.04	1.819
No.86	1.559	No.54	1.701	No.05	1.820
No.88	1.576	No.35	1.716	No.11	1.823
No.43	1.581	No.71	1.729	No.90	1.826
No.85	1.589	No.21	1.730	No.19	1.831
No.25	1.595	No.59	1.733	No.61	1.831
No.34	1.598	No.84	1.733	No.44	1.839
No.41	1.598	No.48	1.745	No.31	1.842
No.51	1.604	No.32	1.757	No.30	1.844
No.29	1.605	No.03	1.759	No.16	1.846
No.13	1.608	No.22	1.763	No.42	1.850
No.26	1.620	No.58	1.767	No.55	1.852
No.70	1.620	No.45	1.768	No.64	1.863
No.68	1.628	No.73	1.771	No.07	1.866
No.62	1.633	No.49	1.774	No.37	1.873
No.87	1.633	No.39	1.777	No.83	1.873
No.38	1.638	No.60	1.779	No.18	1.878
No.77	1.644	No.02	1.783	No.50	1.882
No.81	1.644	No.17	1.788	No.12	1.886
No.47	1.646	No.78	1.790	No.08	1.887
No.52	1.646	No.10	1.796	No.75	1.887
No.76	1.646	No.36	1.797	No.06	1.892
No.46	1.663	No.63	1.800	No.15	1.894
No.01	1.664	No.79	1.801	No.20	1.900
No.66	1.674	No.09	1.802	No.14	1.920
No.56	1.675	No.80	1.804	No.74	1.922
No.40	1.678	No.27	1.808	No.23	1.950
No.69	1.678	No.65	1.810	No.24	-
No.89	1.682	No.72	1.817	No.28	-

注) No. 24, No. 28は欠番

そこで、画像全体のフラクタル次元が同じ値を示す景観について比較した結果を表-2、表-3に示す。表中の f_{r0} は全体のフラクタル次元を、「美しい」の欄には感性評価実験の「美しい」の評価得点（美しい：5点⇔美しくない：1点）を表す。画像全体のフラクタル次元が同じ値を示しても、表-2に示すように極めて類似した景観を表す場合がある一方で、表-3に示すように全く異なる景観を表す場合があることがわかる。

このことから、画像全体のフラクタル次元を、そのままアーチ橋の定量的評価尺度として用いることには、問題があることがわかる。

表-2 フラクタル次元が同じ値を持つ橋梁景観①

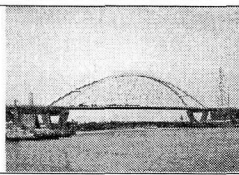
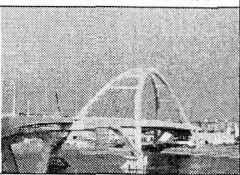
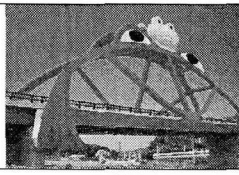
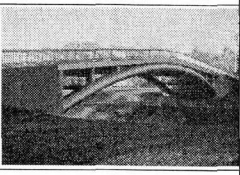
	No.34 新浜寺大橋	No.41 岸和田大橋
橋梁		
f_{r0}	1.598	1.598
美しい	3.566	3.566
差 0.000		

表-3 フラクタル次元が同じ値を持つ橋梁景観②

	No.77 かえる橋	No.81 真駒内中央橋
橋梁		
f_{r0}	1.644	1.644
美しい	2.308	3.604
差 1.296		

4. 2 画像全体のフラクタル次元と感性との比較

筆者らが過去に桁橋を対象に行った研究によれば、視点を統一することにより、感性とフラクタル次元との相関が認められている⁴⁾。

ここでは、過去の研究においてフラクタル次元との相関が高かった[視距離：近景、視線入射方向：斜側方、視点高さ：水平]のアーチ橋景観写真 22 枚について感性との相関を調べた。表-4 に 43 個のイメージ形容詞と画像全体のフラクタル次元の相関係数を示す。相関係数は、最も高い「自然な」でも 0.602 であり、全体的に桁橋に比べ低い値となっている。これは、桁橋とアーチ橋という対象構造物の違いもあるが、フラクタル次元の算定方法の違いの影響もあるものと思われる。従来の研究においては、フラクタル次元を算定する際の輪郭画像の抽出を手作業で行っていたのに対し、本研究では画像処理で機械的に行っている。画像処理で輪郭画像の抽出を行う場合、背景の樹木、建物、空や雲の影などの僅かな変化など、手作業では輪郭として抽出しないような細かい部分まで、輪郭として認識しているため、全体的に手作業で行うよりもフラクタル次元の値が高くなる傾向にある。人が景観を見て印象を感じる場合、山の形など大まかな輪郭を認識しているものと思われるが、画像処理では山に生えている樹木の葉っぱの輪郭まで抽出しているため、感性との相関が低くなってしまうのではないかと考えられる。なお、本研究においては、画像処理によるフラクタル次元のみを用いて分析を行っているため、手法の違いによるフラクタル次元の差異は問題としない。

ここで、表-4に示す画像全体のフラクタル次元と感性との関係について若干の考察を述べる。フラクタル次元は形態を表す指標であるため、形やバランス（風景との調和）を表す形容詞との相関が強くなるものと思われる。表-4

を見ると、自然な (0.602)、風景に溶け込んでいる (0.409)、バランスの取れた (0.335)、飽きのこない (0.386)、機能的な (0.400)、地域性を含んだ (0.441)、日本的な (0.483) という形容詞において、正で比較的高い相関係数となっているため納得できる結果といえる。

表4 画像全体のフラクタル次元と感性との相関

イメージ形容詞	相関係数	イメージ形容詞	相関係数
女性的な	-0.071	ソフトな	-0.094
若々しい	-0.328	可愛い	0.011
安定感のある	0.024	重量感のある	-0.085
自然な	0.602	上品な	0.228
実用的な	0.372	丈夫な	-0.026
直線的な	0.287	豪華な	-0.038
モダンな	-0.412	地域性を含んだ	0.441
都会的な	-0.499	日本的な	0.483
洒落た	0.094	洗練された	0.178
存在感のある	-0.168	カラフルな	0.116
親しみやすい	0.183	優美な	0.230
美しい	0.173	遊び心のある	-0.130
風景に溶け込んでいる	0.409	個性的な	-0.141
すっきりとした	0.256	風格のある	0.180
暖かみのある	0.265	象徴的な	-0.190
印象的な	-0.111	開放感のある	0.086
バランスの取れた	0.335	芸術的な	0.029
素材感のある	0.125	快適な	0.219
ゆとりのある	0.186	調和のとれた	0.265
立体感のある	-0.304	ダイナミックな	-0.202
飽きのこない	0.386	好ましい	0.206
機能的な	0.400		

次に、感性評価実験結果を因子分析することにより得られる因子得点とフラクタル次元との相関を調べた。視点場が「近景-斜側方-水平」のアーチ橋景観 22 枚について「好ましい」を除く 42 形容詞について因子分析を行った結果を表5に示す。因子分析とは、多くの変数をいくつかの因子により説明する手法である、

因子分析の結果、4つの因子軸が抽出されたため、第1軸を「美的調和性」、第2軸を「アート性」、第3軸を「力動感」、第4軸を「自然重視」の軸と命名し、それぞれの因子得点を算定した。算定した因子得点のうち第1軸（美的調和性）を横軸に、第2軸（アート性）を縦軸にとり、散布図で表した結果を図-4に示す。図-4には、橋梁番号と、因子分析に加えていない「好ましい」の評価結果のランクを示す。ランクは「好ましい」の評価結果が上位 1/3 のものを「好ましい景観」、下位 1/3 のものを「好ましくない景観」として表示した。この図を見ると、美的調和性、アート性ともに因子得点が高い景観が、人々に好まれていることがわかる。このことより、本研究では、この因子得点とフラクタル次元との関係を分析することより、アーチ橋の定量的評価尺度としてのフラクタル次元の有効性を検証する。

因子得点と画像全体のフラクタル次元との相関係数を算定した結果を表6に示す。フラクタル次元と因子得点との相関はあまり高くないが、「美的調和性」、「自然重視」で正の相関があり、「アート性」はほとんど無相関であり、「力動感」は負の相関があることがわかる。したがって、フラクタル次元は、自然重視や調和性の感性に対しては定量的評価尺度として使える可能性があるが、その他の感性の定量的評価尺度としては単独では使えないことになる。

表5 因子分析結果

		因子			
		1	2	3	4
美的調和性	美しい	0.940	0.216	0.076	-0.166
	上品な	0.940	0.173	0.027	-0.003
	快適な	0.930	0.240	0.179	-0.058
	調和のとれた	0.923	-0.176	0.215	0.130
	洗練された	0.922	0.144	0.113	-0.277
	飽きのこない	0.900	-0.061	0.291	0.232
	優美な	0.863	0.407	0.018	-0.024
	ゆとりのある	0.832	0.250	0.086	0.027
	すっきりとした	0.784	-0.425	-0.160	-0.190
	洒落た	0.750	0.550	0.108	-0.256
	バランスの取れた	0.741	-0.382	0.315	0.352
	芸術的な	0.715	0.562	0.145	-0.236
アート性	風景に溶け込んでいる	0.685	-0.418	0.096	0.475
	開放感のある	0.637	0.186	-0.402	-0.480
	遊び心のある	0.088	0.891	-0.146	-0.359
	個性的な	0.153	0.883	0.039	-0.350
	印象的な	0.129	0.851	0.307	-0.284
	象徴的な	0.191	0.847	0.332	-0.316
	可愛い	0.304	0.813	-0.413	-0.172
	暖かみのある	0.143	0.813	-0.058	0.455
	機能的な	0.440	-0.793	0.048	0.259
	ソフトな	0.212	0.762	-0.460	-0.218
	実用的な	0.317	-0.760	0.178	0.408
	親しみやすい	0.430	0.748	0.187	0.299
力動感	豪華な	0.433	0.744	0.374	-0.151
	カラフルな	-0.359	0.712	-0.393	0.189
	直線的な	-0.119	-0.686	-0.060	0.481
	女性的な	0.122	-0.675	-0.639	-0.125
	重量感のある	0.064	-0.136	0.916	0.234
	ダイナミックな	0.051	0.180	0.882	-0.272
	丈夫な	0.161	-0.296	0.874	0.250
	安定感のある	0.146	-0.080	0.794	0.466
自然重視	立体感のある	0.213	0.359	0.763	-0.277
	風格のある	0.570	0.028	0.760	0.235
	存在感のある	0.043	0.629	0.718	-0.161
	素材感のある	0.532	-0.091	0.684	0.258
自然重視	モダンな	0.115	0.157	-0.172	-0.929
	日本的な	-0.104	-0.363	0.040	0.862
	都会的な	0.315	0.141	0.077	-0.859
	自然な	0.405	-0.128	0.025	0.844
	若々しい	0.133	0.426	-0.192	-0.833
	地域性を含んだ	0.496	0.070	0.266	0.605

寄与率 (%)	28.6	26.9	17.2	16.7
累積寄与率 (%)	28.6	55.5	72.7	89.4

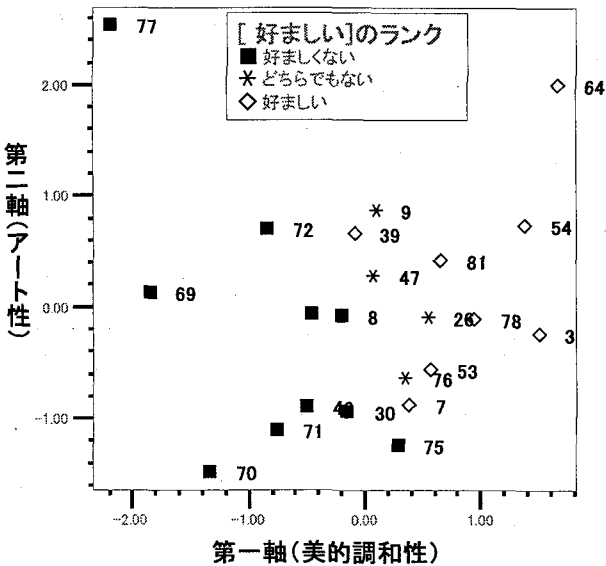


図4 因子得点散布図

表-6 画像全体のフラクタル次元と因子得点との相関

因子軸	相関係数
第1軸 美的調和性	0.305
第2軸 アート性	-0.049
第3軸 力動感	-0.192
第4軸 自然重視	0.519

5. 分割画像の画像特徴量

5.1 分割画像のフラクタル次元

前章において、画像全体のフラクタル次元のみを橋梁景観評価尺度とすることには限界があることが確認された。しかし、フラクタル次元は、形態を表す指標として極めて有効な指標と考えられる。ここでは、色彩の影響を考慮する前に、画像を分割することの有効性を確認する目的で分割画像のフラクタル次元を算定し、感性との関係进行分析する。ここで、画像の分割方法としては図-5に示す様に三角分割や四角分割が考えられ、分割数も多数考えられるが、本研究では、対象とした橋梁景観が準路景観等と異なり一点透視の空間構造ではないため四角分割とした。また分割数は、4分割では粗すぎると思われるため、9分割（3×3）及び16分割（4×4）についてフラクタル次元を算定した。

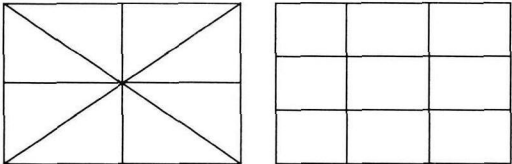


図-5 画像の分割方法（左：三角分割、右：四角分割）

図-6に9分割の場合の例を示す。分割画像のフラクタル次元の算定により、例えば画像の上部に空があれば、上部のフラクタル次元が低い値を示し、上部に山林があれば、上部のフラクタル次元が高い値を示すというように背景の影響を考慮することが可能になる。また、アーチ橋が存在する部分のフラクタル次元をより正確に算定することも可能になる。

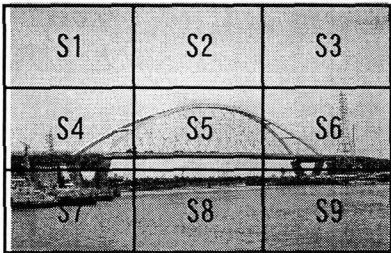


図-6 分割画像の領域（9分割）

以下に、9分割画像のフラクタル次元を例に、分割画像のフラクタル次元の意味を考察する。図7の江尻橋は背景の上部に空があり下部に草木があるランガー橋である。ま

た、図8の無数原大橋は背景が全て草木であるローゼ橋である。図7及び図8の右側には、それぞれの分割領域におけるフラクタル次元を示す。図7を見ると画像上部のフラクタル次元（fr1,fr2,fr3）は0.96から1.01と低い値を示している。一方、下部（fr7,fr8,fr9）はフラクタル次元が1.90程度と高い値を示している。また、図8のフラクタル次元は、上部も下部もフラクタル次元の値が高くなっている。これらのことより、分割画像のフラクタル次元の算定は、背景の影響を示す指標として極めて有効であることがわかる。次に、画像中央部のフラクタル次元（fr4,fr5,fr6）を見ると、図7、図8とも上部と下部の中間的な値となっていることがわかる。図7については上部の空と下部の草木の中間的な値となるのは当然の結果であるが、図8において中間的な値となるのは、アーチ橋の影響を受けているということである。このことは、分割画像のフラクタル次元を多数算定し分析することにより、アーチ橋のデザインがフラクタル次元に及ぼす影響について明らかにすることが可能であることを示唆している。

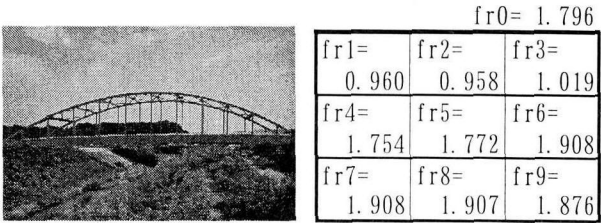


図-7 江尻橋（No.10）のフラクタル次元

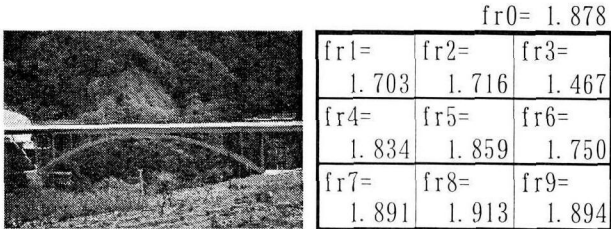


図-8 無数原大橋（No.18）のフラクタル次元

5.2 分割画像のフラクタル次元と感性との比較

(1)分割画像のフラクタル次元の算定

視点場が[近景－斜側方－水平]のアーチ橋景観 22 枚について、9分割及び16分割のフラクタル次元を算定した結果を表-7に示す。表-7には、画像全体のフラクタル次元fr0と、分割画像のフラクタル次元の統計量（最大値、最小値、平均、分散）を示している。画像全体のフラクタル次元fr0と分割画像のフラクタル次元の平均値を比較すると、全体、9分割、16分割の順でフラクタル次元の値が小さくなっている。また、9分割よりも16分割の方が分散が大きくなっている。このことより、分割数を多くするほど、画像の特徴をより捉えていることが確認できる。

しかし、分割画像のフラクタル次元は、画像の分割数だけあるため、感性との関係を探るためには工夫が必要である。本研究では、分割画像のフラクタル次元の平均値を使う方法と分割画像のフラクタル次元全てを使う方法の2

通りの方法で、感性との関係を分析した。

表-7 分割画像のフラクタル次元

橋梁	全体	9分割画像				16分割画像			
		max	min	平均	分散	max	min	平均	分散
2	1.783	1.906	0.948	1.640	0.087	1.926	0.860	1.596	0.096
3	1.759	1.873	1.201	1.624	0.053	1.887	0.894	1.592	0.060
7	1.866	1.902	1.461	1.787	0.019	1.938	1.217	1.756	0.031
8	1.887	1.944	1.339	1.802	0.038	1.957	1.158	1.776	0.045
9	1.802	1.903	0.963	1.648	0.101	1.919	0.992	1.610	0.106
26	1.620	1.779	0.934	1.409	0.096	1.728	0.880	1.384	0.085
30	1.844	1.888	1.630	1.776	0.009	1.897	1.497	1.751	0.012
39	1.777	1.884	1.391	1.671	0.024	1.911	1.007	1.617	0.045
46	1.663	1.727	1.206	1.517	0.034	1.730	1.036	1.460	0.042
47	1.646	1.811	1.146	1.510	0.043	1.836	1.045	1.441	0.059
53	1.818	1.914	1.072	1.623	0.150	1.937	0.869	1.601	0.158
54	1.701	1.707	1.367	1.602	0.013	1.767	0.875	1.483	0.085
64	1.863	1.959	1.580	1.796	0.019	1.960	1.049	1.749	0.053
69	1.678	1.793	0.930	1.445	0.134	1.852	0.779	1.369	0.156
70	1.620	1.732	0.856	1.415	0.114	1.732	0.877	1.365	0.100
71	1.729	1.832	1.119	1.618	0.044	1.807	0.889	1.557	0.069
72	1.817	1.858	1.607	1.724	0.008	1.845	1.479	1.687	0.013
75	1.887	1.889	1.724	1.839	0.003	1.895	1.660	1.822	0.005
76	1.646	1.759	1.129	1.537	0.031	1.772	1.000	1.462	0.046
77	1.644	1.783	1.024	1.502	0.058	1.863	1.030	1.459	0.053
78	1.790	1.772	1.538	1.697	0.005	1.819	1.507	1.659	0.009
81	1.644	1.629	1.399	1.528	0.005	1.685	0.834	1.390	0.078

(2) 平均値と感性との関係

まず、分割画像のフラクタル次元の平均値と感性の因子得点との相関係数を算定した。表-8を見ると、分割数を増やしても感性との相関が高くなることがわかる。せっかく、分割して情報量を増やしたのに、平均化すると意味がないようである。

表-8 フラクタル次元の平均値と感性との関係

因子軸		相関係数		
		fr0	9分割	16分割
第1軸	美的調和性	0.305	0.371	0.369
第2軸	アート性	-0.049	-0.015	-0.064
第3軸	力動感	-0.192	-0.123	-0.222
第4軸	自然重視	0.519	0.392	0.491

(3) 分割画像のフラクタル次元と因子得点との重回帰分析

次に、算定した分割画像のフラクタル次元を説明変数、因子得点を目的変数とし重回帰分析を行うことにより、分割画像のフラクタル次元と感性との関係を分析する。しかし、分割画像のフラクタル次元は、隣り合う領域のフラクタル次元同士の相関が非常に高いため、全ての変数をそのまま説明変数にすることは多重共線性の問題がある。そこで、各々のフラクタル次元を主成分に回帰することにより、多重共線性がおこらない方法で重回帰分析を行う。その方法は以下の手順で行う⁸⁾。①分割画像のフラクタル次元を、相互に関係のない(直交した)いくつかの固有ベクトルで表す。②求められた固有ベクトルと各サンプルのデータから、サンプル毎に主成分得点を算出する。③目的変数と主成分得点の重回帰分析を行う。主成分得点は互いに無関係なので、ここで行う重回帰分析は多重共線性の問題がない。④重回帰分析の偏回帰係数と固有ベクトルの積和により、回帰係数を求める。

主成分分析の結果得られた各主成分に含まれる領域を、

図-9、図-10に示す。図-9に示す9分割の場合は、fr5~fr9が第1主成分に、fr1~fr4が第2主成分となった。また、図-10に示す16分割の場合は、fr5~fr8が第1主成分、fr9~fr12が第2主成分、fr1~fr4が第3主成分、fr13~fr16が第4主成分となった。累積寄与率は、9分割の場合73%、16分割の場合80%であり、概ね情報を損なうことなく抽出された主成分で説明可能であることがわかる。なお、今回このように層状にきれいに主成分が抽出されたのは、視点高さが水平からの写真を用いているため、上部に空があり、橋が写真中央部に水平に位置している景観が多かったためと思われる。

fr1	fr2	fr3	←第2主成分
fr4	fr5	fr6	
fr7	fr8	fr9	←第1主成分

図-9 9分割画像の主成分

fr1	fr2	fr3	fr4	←第3主成分
fr5	fr6	fr7	fr8	←第1主成分
fr9	fr10	fr11	fr12	←第2主成分
fr13	fr14	fr15	fr16	←第4主成分

図-10 16分割画像の主成分

主成分得点を説明変数、感性の因子得点を目的変数として重回帰分析を行った結果を表-9に示す。表-9を見ると、9分割よりも16分割の方が全体的に重相関係数が高くなっている。16分割程度では、まだ重相関係数が低いため、フラクタル次元だけでは感性評価を行うことはできない。表-9は、今後、分割数を増やすことにより、フラクタル次元だけでも、感性評価を行うことが可能となることを示しているが、分割数をどの程度まで増やせばよいか等の問題がまだ残されている。

表-9 分割画像のフラクタル次元と感性との関係

因子軸		重相関係数	
		9分割	16分割
第1軸	美的調和性	0.383	0.537
第2軸	アート性	0.213	0.518
第3軸	力動感	0.280	0.390
第4軸	自然重視	0.590	0.605

6. 色彩及びフラクタル次元と感性との関係

本研究の目的は、フラクタル次元と色彩を組み合わせた新たな橋梁景観評価尺度の提案である。これまでに、フラクタル次元を対象に、画像特徴量を算定する際に画像を分割することが有効であることと、画像を分割してもフラク

タル次元のみを用いたのみでは、橋梁景観評価尺度としては、問題を有していることが確認できた。本章では、これまでに得られた分割画像のフラクタル次元に、分割画像の色彩の平均値を加え、感性との関係を明らかにする。

6. 1 分割画像の色彩

色を数値化する方法には、人間の目の知覚に基づいた HSI (色相・彩度・明度) や、光で色を作り出す色光の三原色である RGB (Red・Green・Blue) などがあるが、本研究では、L*a*b*表色系を用いて数値化を行う。L*a*b*表色系は、均等色空間(UCS:Uniform Color Space)の代表的なものである。均等色空間とは、心理的 (色を見たとき) に、同じ色違いに見える色同士の距離 (心理的な距離感) を均等にしてある色立体 (色空間) である。L*a*b*表色系は、マンセル表色系をモデルとして改良されてきたものであり、その値は以下の様な意味を持つ。本研究では、緑や青などの色の違いが感性に影響を与えていると考え、L*a*b*表色系を用いることにした。

- L* : 明度を表す。マンセル Value の 10 倍にほぼ等しい。
- a* : 正の値で数字が大きいほど赤、負の値で数字が小さいほど緑。
- b* : 正の値で数字が大きいほど黄、負の値で数字が小さいほど青。

本研究では、画像データの信号を 1 ピクセルずつ取り出し L*a*b*に変換した。そして、各分割領域毎に L*, a*, b*の平均値を算定した。ここで、RGB 信号から L*a*b*への変換は、XYZ 表色系を介して行った。RGB から XYZ への変換式を式(1)に、XYZ から L*a*b*への変換式を式(2)に示す^{9,10)}。なお、RGB から XYZ への変換式はデバイスにより異なるが、本研究ではハイビジョンテレビの RGB 信号の変換式を用いている。

$$\left. \begin{aligned} X &= 0.41219R + 0.35763G + 0.18054B \\ Y &= 0.21254R + 0.71525G + 0.07222B \\ Z &= 0.01932R + 0.11921G + 0.95084B \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad ; \frac{Y}{Y_0} > 0.008856 \\ a^* &= 500 \left\{ \left(\frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right\} \\ b^* &= 200 \left\{ \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right\} \end{aligned} \right\} (2)$$

なお、平均値をとることにより画像が持つ色情報の多く

は失われることになるが、本研究では、人の感性はある程度おおまかな色情報の影響を受けているという仮定のもとに分割画像の平均値を算定した。つまり、景観画像を見た場合、1 ピクセルずつ認識している訳ではなく、例えば、背景に緑が多いとか青が多いと言うように、ある程度おおまかな認識をしているという仮定を行った。

以上により、領域それぞれが 4 つの画像特徴量 (フラクタル次元、L*の平均、a*の平均及び b*の平均) を持ち、画像全体では 9 分割の場合 36 個 (9×4)、16 分割の場合 64 個 (16×4) の画像特徴量を持つことになる。

6. 2 画像特徴量と感性との関係

算出した画像特徴量と感性との関係は、フラクタル次元の場合と同様に、画像特徴量を主成分に回帰した結果を説明変数とし、感性の因子得点を目的変数として重回帰分析を行うことより分析した。

9 分割画像の画像特徴量 36 個を主成分分析にかけたところ、累積寄与率 87% で第 8 主成分まで抽出された。同様に 16 分割画像の画像特徴量 64 個を主成分分析にかけたところ、累積寄与率 93% で第 13 主成分まで抽出された。

ここで、各主成分がどのような画像特徴量を含んでいるかを 9 分割の場合を例にとり考察する。表-10 に抽出された主成分に含まれる画像特徴量とその寄与率・累積寄与率を示す。寄与率とはその主成分の支配力を示す割合であり、この値が大きいほど、その主成分で画像全体の特徴を表現できていることになる。表-10 の画像特徴量の欄は、アルファベットが画像特徴量の種類 (F: フラクタル次元、L: L*の平均値、A: a*の平均値、B: b*の平均値) を、その後ろの数字が画像特徴量の位置 (左上から順番) を表している。第 1 主成分には、a*のほとんど (9 つのうち 7 つ) が含まれているため、画像全体の赤ー緑の色の変化を表す主成分となる。また、残り 2 つの a*は第 2 主成分に含まれているため、a*は画像の特徴を表す重要な値と考えられる。フラクタル次元は、第 2、第 3、第 6 及び第 7 主成分に散らばって含まれているが、橋梁を含む画像中央部のフラクタル次元 (F4, F5, F6) は、第 3 主成分に含まれており寄与率も 13.1% あるため、画像全体の特徴に及ぼす影響が比較的高いことがわかる。

表-10 画像特徴量の主成分分析結果 (9 分割画像)

	画像特徴量	寄与率 (%)	累積寄与率 (%)
第1主成分	A4, A6, A2, A5, A7, A8, A9	15.9	15.9
第2主成分	A3, L1, L2, A1, L3, F1, F2	15.4	31.3
第3主成分	L9, F6, F5, L8, F4, B6	13.1	44.5
第4主成分	B8, B7, B5, B4, B9	10.8	55.2
第5主成分	B2, B3, B1	9.8	65.0
第6主成分	F7, F8, F9	7.6	72.6
第7主成分	L7, F3	7.5	80.1
第8主成分	L6, L5, L4	6.7	86.8

主成分分析の結果得られた主成分得点を説明変数とし、感性の因子得点を目的変数として重回帰分析を行った結果を表-11 に示す。

表-11 画像特徴量と感性との関係

因子軸		重相関係数	
		9分割	16分割
第1軸	美的調和性	0.758	0.818
第2軸	アート性	0.834	0.883
第3軸	力動感	0.692	0.849
第4軸	自然重視	0.779	0.837

表-11を表-9と比べると、9分割、16分割ともに、フラクタル次元のみを用いた場合に比べ、重相関係数の値がかなり高くなっている。特に16分割の場合、全ての因子軸で重相関係数が0.8を上回っており、分割画像のフラクタル次元に色情報を加えることにより、かなりの相関が得られることがわかった。次に重回帰分析の結果得られた予測式が、新たな橋梁景観の予測に役立つかどうかを検定する。16分割の美的調和性の場合、重相関係数は0.818と比較的高い値を示しているが、検定の結果 $F=1.24 < 5.6 = F_{0.01}(13,8)$ となり、重回帰モデルは予測に役立たないことがわかった。他の因子軸も同様の結果となったが、これは、重回帰分析に用いたサンプル数が22個と少なかったためであり、今後、サンプル数を増やすことにより、感性評価に使用可能なモデル式を構築することが可能になるものと思われる。

7. おわりに

本研究では、アーチ橋の感性評価実験結果と、分割画像の画像特徴量（フラクタル次元と色彩）との関係を分析することにより、新たな橋梁景観評価尺度の提案を試みた。

本研究で得られた結論は、以下のとおりである。

- ①従来の研究で用いられていた、画像全体のフラクタル次元は、明らかにイメージが異なる景観においても、フラクタル次元の値が全く同じ値となる場合がある。したがって、画像全体のフラクタル次元を、アーチ橋の定量的評価基準として用いる場合には、なんらかの条件設定が必要である。
- ②画像処理により算定した画像全体のフラクタル次元と感性との相関は、ほとんど認められなかった。これは、画像処理でフラクタル次元を算定する場合、輪郭の抽出が細かすぎることによる要因があるものと思われる。つまり、人は、山の形など大まかな輪郭を認識しているのに対し、画像処理では山に生えている樹木の葉っぱの輪郭までとらえてしまうためであると思われる。人の印象に近い輪郭線の抽出は今後の課題である。
- ③分割画像のフラクタル次元は、背景や橋自体の形態をより忠実に表現することができる指標であることが確認できた。
- ④画像特徴量を算定する場合の分割数は、9分割よりも16分割の方が、感性との相関が高いことがわかった。どの程度まで分割すれば良いのかは、今後の課題である。

⑤分割画像のフラクタル次元に、色彩の情報を加えることにより、対象を評価することが、ほぼ可能となることがわかった。

⑥多数ある画像特徴量を持つ情報をできるだけ損なわずに、感性との関係を分析する方法として、画像特徴量の主成分得点を用いることの有効性を示すことができた。しかし、サンプル数の制約から画像特徴量と感性との関係を表すモデル式を構築することができなかった。今後、サンプル数を増やし、モデル式を構築することができれば、感性アンケートを行う際のイメージ形容詞の削減が可能になるものと考えられる。

今回、フラクタル次元と色彩という2つの画像特徴量を用いたが、画像処理により得られる画像特徴量には、他にも、ゆらぎ値や局所自己相関係数などがある。今後、サンプル数を増やすとともに、他の画像特徴量と感性との関係を分析することにより、設計で使用可能な評価尺度を同定していく必要がある。

参考文献

- 1) 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, 1999.3.
- 2) 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, 1999.3.
- 3) 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.
- 4) 高安秀樹：フラクタル、朝倉書店、1986.
- 5) 保田敬一、白木渡、角野大樹、堂垣正博、安達誠：桁橋の景観評価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、Vol.47A, pp.327-334, 2001.3.
- 6) 吉岡正泰、岩松幸雄、原田隆郎、阿久澤孝之：フラクタル次元・1/f ゆらぎを応用した橋梁の景観性評価支援システム、土木情報システム論文集、Vol.2, pp.73-80, 1993.
- 7) 安達誠、保田敬一、白木渡、堂垣正博：桁橋の景観評価のためのフラクタル次元の算定方法に関する一考察、土木学会第56回年次学術講演会講演概要集I-B104, 2001.10.
- 8) 菅民郎：多変量解析の实践、現代数学社、1993.
- 9) 高木幹雄、下田陽久 監修：画像解析ハンドブック、東京大学出版会、1993.
- 10) 正田英介監修、常深信彦編：画像エレクトロニクス、オーム社、1998.

(2001年9月14日受付)