

(3) フラクタル次元を用いた桁橋の景観評価に関する研究

A STUDY ON ASSESSMENT OF AESTHETICS OF LANDSCAPE WITH GIRDER BRIDGE USING FRACTAL DIMENSION

保田敬一*, 白木 渡**, 角野大樹***, 堂垣正博****

Keiichi YASUDA, Wataru SHIRAKI, Daiki KAKUNO, Masahiro DOGAKI

*博士(工学) (株)ニュージェック, 情報技術部 (〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

**工博 香川大学教授, 工学部安全システム建設工学科 (〒760-8526 高松市幸町 1-1)

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

****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)

In assessment of aesthetics of landscape with bridges, questionnaire is generally used to get evaluations of users. Questionnaire is usually performed showing a lot of photography to a lot of people. Thus, it has such a shortcoming as consuming enormous time and effort. It is interested in a fractal dimension as a quantitative index to evaluate landscape. It has been shown that as fractal dimension takes a large value, a good landscape evaluation can be got. In this study, fractal dimension is calculated for photography of bridges using questionnaire, and these results are compared with those of questionnaire. The possibility to reduce number of photography using questionnaire is examined.

Key Words: Fractal dimension, aesthetic of landscape, girder bridges

1. はじめに

社会資本である橋梁構造物は、高度成長期の経済性や機能性重視の考え方から 1980 年代に入って周辺景観への配慮や環境との調和など、質を重視した整備が望まれるようになってきた。また、景観を配慮した設計法などの指針も示されるようになってきており、景観の重要性が社会的にも広く認識されるようになってきたことから、橋梁に対して人々が抱いている「美しい」とか「周辺環境と調和している」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関しての課題である。さらに、近年、住民のユーザーニーズの多様化や、土木に対する住民の参加意識の向上などを受けて、人々が実際に橋に対して要求している感性を把握することが重要になってきている。このような状況をうけて、人々が橋梁構造物に対して望んでいる「しゃれた」や「親しみやすい」などの感性を分析し、橋のデザイン要素との関係を数量化理論によって具体的に数値で結び付けるといった感性工学手法による橋梁景観の評価が近年増加してきている^{1)~9)}。しかしながら、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についてアンケートに答えなければならず、アンケート調査に膨大な時間と労力が必要といった問題点が指摘されている。

フラクタル次元は自己相似な景観を定量化したもので

あり、それがあある値を示すとき、比較的良い景観評価が得られることがこれまでの研究^{7)~14)}で明らかになっている。これらの研究では、橋梁の景観設計における定量的評価規準を算出することを目的に、各種の橋梁における周辺景観のフラクタル次元解析から、フラクタル次元とアンケート調査結果との比較検討が行われている。ただし、これらの研究では、アンケート調査が「美しい」、「複雑な」、「心地よい」など、限定されたイメージに対してしか行っていない。このように、フラクタル次元とアンケート調査結果との関連を調査すれば定量的評価が可能になると考えられる。さらに、この結果から対象とする評価写真の分類が可能となり、感性データベースを構築していく上で問題となるアンケート調査の多大な労力を少なくでき、アンケートの際の写真数を少なくすることができると考えられる。

本研究では、前述の桁橋の感性工学手法による適用結果から、43 項目のイメージ形容詞による 5 段階のアンケート調査結果を用いて、フラクタル次元解析を行った結果との比較を試みた。そして、フラクタル次元と橋梁景観アンケート調査結果との相関性を検討した。

2. アンケート調査

2.1 アンケートの作成および実施

アンケートの作成にあたって、SD 尺度（意味微分法：Semantic Differential）を用いた。SD 尺度は、1958 年に心理学者のオスグッドが証明した評価尺度のことで、「女性

的な⇔男性的な」などの対語を両極として、その間を5段階なり7段階に分けて評価する方法である。SD法は、人間の受ける刺激の情緒的意味を測定する技法として今日では多くの分野で活用されている。この方法は、測定方法として十分な客観性、信頼性、妥当性を備え、かつ、多様な被験者や種々の概念を持つ領域にも適用が可能であるといわれている¹⁹⁾。

評価対象となる橋梁は、被験者に判断しやすいように写真が見やすく撮れていることや、全体的な構図の構成がとれていることなどより、橋梁年鑑¹⁹⁾から選定した。橋梁年鑑は視点場が統一されていないなどの問題点はあるが、近景や遠景、視線入射角などを分類する項目に加えることでそれぞれの分類ごとの分析や評価が行えることから、本研究では橋梁年鑑の写真を使用した。次に、その中から橋梁の色彩や規模、周辺の風景のバリエーションなどがバランス良く含まれる写真を選定して、最終的に90枚にとりまとめ、見やすい大きさの評価用写真(A4サイズ横)を作成した。

イメージ形容詞 (桁橋)		写真No.	
1	女性的な	☐	男性的な
2	若々しい	☐	若々しくない
3	安定感のある	☐	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	存在感のある	☐	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	素材感のある	☐	素材感のない
19	ゆとりのある	☐	ゆとりのない
20	立体感のある	☐	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	重量感のある	☐	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(シボリックな)	☐	象徴的でない
38	開放感のある	☐	圧迫感のある
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-1 アンケート用紙

次に、これらの90枚の評価用写真を用いて5段階のSD尺度で、図-1の調査票を用いてアンケート調査を行った。被験者は関西大学工学部土木工学科の学生、女子20名、

男子20名である。また、評価に用いた橋梁写真の一部を図-2に示す。

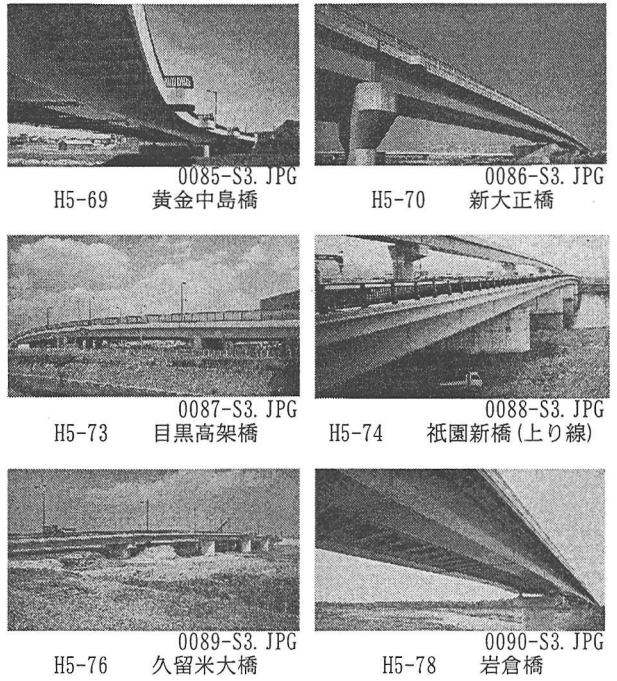


図-2 桁橋の景観評価用写真の一例

2.2 アンケート結果

アンケート調査の結果の一部を表-1に示す。ここに、横軸は43項目のイメージ形容詞で、縦軸は90橋の橋梁である。表中の数値は、被験者全体(40名)の平均値を示し、大きい値が全体的に良い印象を、逆に低い数値が良い印象を持たれていないことを示す。

表-1 アンケート評価結果(全体)の一部

橋梁名	イメージ形容詞					
	1 女性的	2 若々しい	3 安定感	4 自然な	5 実用的	6 直線的
1 新浜厚真橋	-0.375	-0.9	0.85	-0.45	0.625	0.7
2 新川黒部大橋	0.175	1.05	1.05	-0.175	0.725	1.375
3 北川5号橋	-0.275	-0.05	0.325	0.275	0.625	1.425
4 大森沢橋	0.2	0.225	0.025	-0.05	0.625	0.5
5 崎田大橋	0.175	0.75	0.85	0.475	0.7	-0.4
6 御蔵橋	0.7	0.125	0.425	-0.325	0.3	0.575
7 司野橋	-0.1	0	0.1	-0.275	0.55	1.5
8 町屋橋	-0.925	0.2	1.2	-0.85	0.975	1.2
9 武雄高架橋	0.8	0.525	0.6	0.35	0.3	-0.975
10 山賀高架橋西	0.125	0.875	0.925	-0.6	0.95	1.725
11 小瀬川橋	0.925	1.075	0.025	-0.575	0.175	-1.1
12 笹目橋	-0.8	-0.8	1.15	-0.85	0.925	1.475
13 小梁川橋	0.25	0.175	-0.375	-0.475	0.65	1.625
14 東鷹ノ巣橋	-0.375	0.05	0.75	-0.325	0.85	1.1
15 新吉野川大橋	-0.875	0.75	1.05	-1	0.925	1.525
16 中島大橋	0.225	0.175	0.925	-0.2	0.9	1.125
17 備作大橋	0.975	0.375	0.1	-0.15	0.475	-1.275
18 恭仁大橋	-0.5	0.125	0.8	-0.15	0.7	0.65
19 女の都ランプ2号橋	1.05	1.1	-0.375	-0.65	0.025	-1.7
20 焰硝倉橋	-0.275	-0.8	0.725	-0.125	0.6	0.925

3. フラクタル次元の計算

3.1 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る。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^{17)~18)}。海岸線のようにランダムなパターンにも、どんなに小さな部分にも全体と相似な構造となっているという自己相似性、すなわち、単純な拡大と縮小に関する規則性が存在する場合があることが知られている。フラクタル次元は、無限ステップまでを考えたコッホ曲線(図-3 参照)やシルピンスキーのギャスケット(図-4 参照)と呼ばれる、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。よって、実際には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用いられている。このような近似的な次元は比較的容易に算出することができるため、形態評価の指標として従来の研究でよく用いられている。

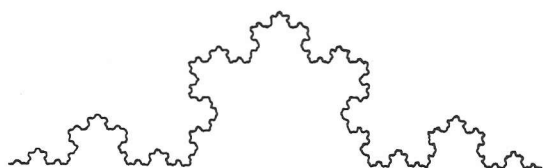


図-3 コッホ曲線

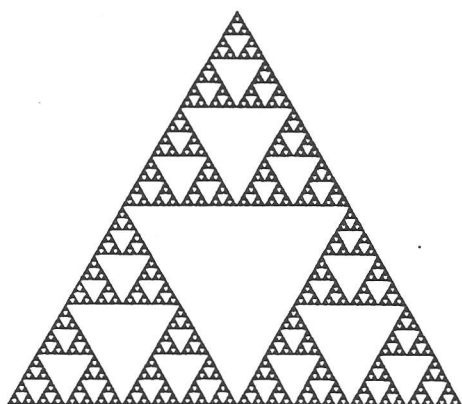


図-4 シルピンスキーのギャスケット

フラクタル次元は、一般に形態の「複雑さ」を表す指標とされる。実際に、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、フラクタル次元もまた、形態の情報理論的なパラメータに相当する指標であることを示していると考えられる。

前述の近似的なフラクタル次元の定義は数多く存在するが、2次元の形態解析の場合には、容量次元と呼ばれる定義が使われる。ランダムなパターンを有する図形におけるフラクタル次元の求め方には種々の方法が知られている。本研究においては、過去の研究においても比較的良好に用いられているボックスカウンティング(box counting)法¹⁹⁾を用いた。この方法は、対象とする画像を正格子で分

割し、画像平面上にある形態と重なる格子数から次元を求める方法である。ここで、形態とは、輪郭のことである。具体的には、輪郭を含んだ画像平面を1辺の長さが 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、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、X軸に $\log r$ を、Y軸に $\log N(r)$ をとり、分割する格子の1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時の傾きをフラクタル次元とするものである。

3.2 桁橋の写真におけるフラクタル次元の計算

本研究では、アンケート調査に使用した桁橋の写真に対して、1辺の長さ r を30mm、15mm、10mm、5mmの格子で分割し、輪郭が載っている格子の数： $N(r)$ をそれぞれ求め、写真ごとのフラクタル次元を算出した。図-5は橋梁No.57の写真を10mmの格子で分割した例で、図-6は同橋梁の形態(輪郭)である。

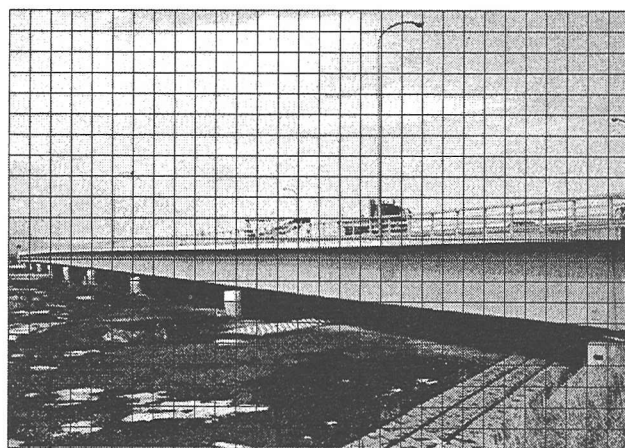


図-5 10mmの格子分割(橋梁No.57)

橋梁No.57におけるフラクタル次元の計算例を表-2に示す。同表の $\log r$ をX軸に、 $\log N_r$ をY軸にプロットしたものが図-7である。この例の場合、橋梁No.57のフラクタル次元は直線の傾きの絶対値の $r=1.36166$ となる。

本研究では、表-1に示される43項目の形容詞ごとの40名の評価点の平均値を用い、43項目の評価点平均値の総和が各橋梁の全体評価を表していると考え、橋梁評価の順位付けを行った。実際には、「美しい」、「調和のとれた」などの形容詞については点数の高い評価が良いものとして取り扱えるが、「直線的か曲線的か」、「女性的か男性的か」などはコンセプトによって評価は変わるし、地域性を表現している形容詞もあり、43項目の平均値の総和がその橋梁の評価点を正確に表現しているとは限らない。ただし、SDプロフィールを見た場合、43項目の平均値の総

和の高い橋は、全体的に評価が良い方にグラフが寄っているし、評価点の総和が低い橋は、グラフが全体的に評点の低い方に寄っている。地域性を含んだ形容詞やコンセプトに関わる形容詞についての若干のSDプロフィール上での凹凸はあるが、全体的には評価点の総計での順位付けは橋梁の評価順位としては正確ではないが、的はずれではないと考えられる。また、図-8に「美しさ」の評点と43項目の評価点平均値の関係を示す。この図より、「美しさ」の評点と43項目の評価点平均値とはかなりよい相関にあることがわかる。「美しさ」を総合評価であると捉えれば、43項目の評価点平均値（合計値）を使用して評価順位を算出することは妥当であろう。

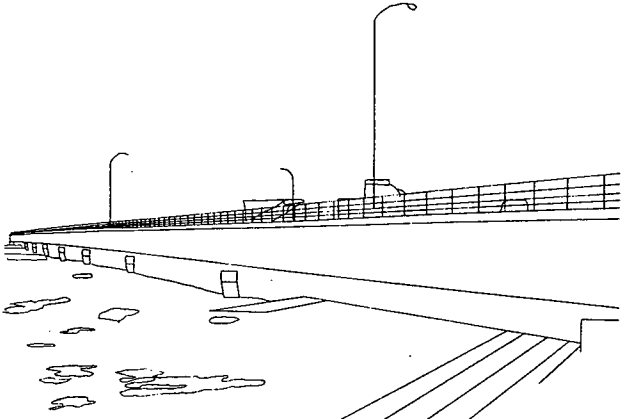


図-6 橋梁 No.57 の形態

表-2 橋梁No. 57におけるフラクタル次元

r	$\log r$	Nr	$\log Nr$
30	3.4011974	38	3.6375862
15	2.7080502	99	4.5951199
10	2.3025851	170	5.1357984
5	1.6094379	437	6.0799332

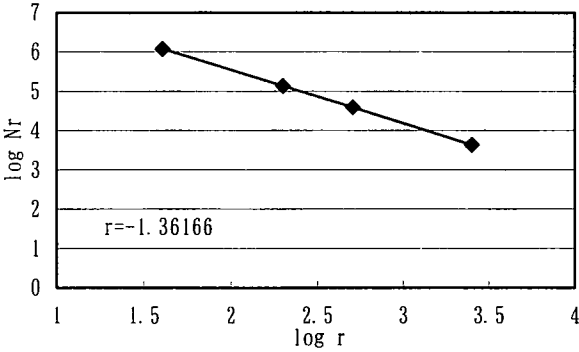


図-7 フラクタル次元の計算例（橋梁No. 57）

この43項目の評価点合計値により、No.1～90までの橋梁の順位付けを行ったうち、評価点合計値の高い順に上位10橋（順位：1～10）と下位10橋（順位：81～90）のフ

ラクタル次元を算出した結果を表-3に示す。
 今回のフラクタル次元の値が既往の研究成果^{7)~14)}に比べて若干高くなっている理由としては、高欄の細かい模様や遠景の細部、影に隠れた部分なども輪郭として格子の数をカウントしたためであろうと考えられる。

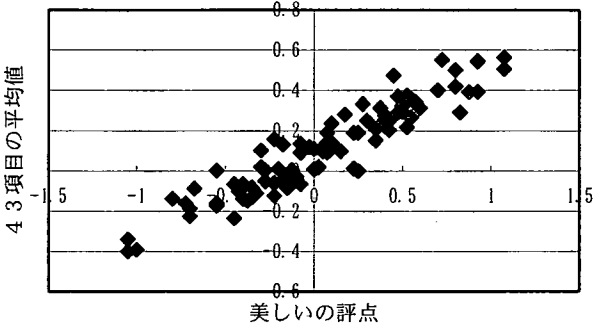


図-8 評価点合計と美しいとの関係

表-3 フラクタル次元

評価点 合計値 の順位	橋梁名	r				フラクタル 次元
		30	15	10	5	
1	静橋	48	146	283	941	1.65941
2	長井橋	61	220	476	1375	1.74673
3	湊大橋	43	146	278	827	1.6471
4	信玄橋	64	190	354	1008	1.53843
5	緑川橋	47	130	240	668	1.4828
6	座主橋	57	197	387	1137	1.67023
7	野村橋	44	141	259	738	1.57013
8	小瀬川橋	58	177	347	942	1.56086
9	黄金中島橋	52	166	334	895	1.59478
10	女の都 ^{ラッ} 2号橋	46	130	246	756	1.56289
81	武雄高架橋	35	100	199	567	1.5613
82	祇園新橋（I期）	51	144	260	690	1.45397
83	築瀬橋	57	156	285	714	1.41449
84	鱒取川橋	56	178	326	831	1.50475
85	寿橋	52	146	230	654	1.39883
86	祇園新橋（上り線）	51	144	265	694	1.45933
87	下花水橋	43	132	225	532	1.39958
88	苦東大橋	38	99	170	437	1.36166
89	藤陽北跨道橋	56	186	321	782	1.46534
90	新浜厚真橋	41	115	200	528	1.42327

4. フラクタル次元と評価結果との比較

前述の評価点合計値の上位10橋と下位10橋について、横軸に順位を、縦軸にフラクタル次元をとれば図-9を得る。全体的に、評価点の合計が高い（上位の）橋梁は高いフラクタル次元を示している。一方、評価点の合計が低い（下位の）橋梁は低いフラクタル次元を示している。
 一方、「美しさ」のイメージ形容詞に関しても、その評価点とフラクタル次元との比較を行った。「美しさ」に関する評価点とフラクタル次元との関係を図-10に示す。この図でも、「美しさ」の評価点が正の数の場合と負の数の場合でフラクタル次元が高いか低いかはほぼきれいに分

離されていることがわかる。ここで、「美しさ」の評価点が負の数に該当する橋梁は、その全てが表3に示す評価点合計値の順位が81～90の橋梁である。また、「美しさ」の評価点が正の数に該当する橋梁は、そのすべてが評価点合計値の順位1～10の評価点の高い橋梁であり、「美しさ」というイメージが総合的な景観評価として捉えられている。このことから興味深い結果が得られた。このように、フラクタル次元と景観に対する意識にはかなりの相関があることが確認された。また、景観設計における判断基準にフラクタル次元を用いることは、有効な手段の一つとなりうるということがわかった。

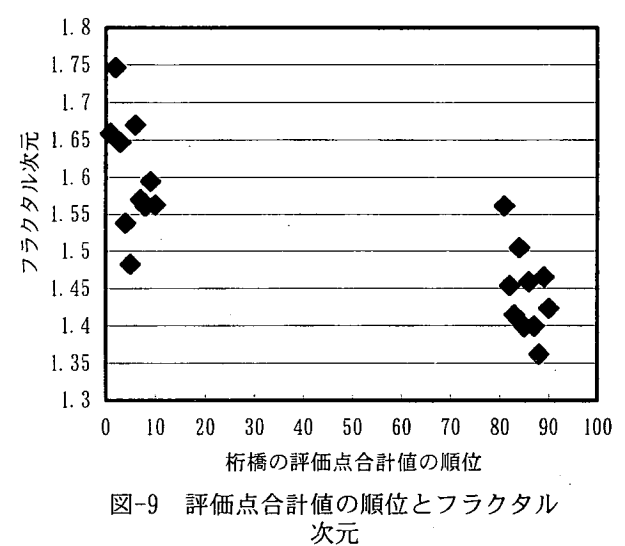


図-9 評価点合計値の順位とフラクタル次元

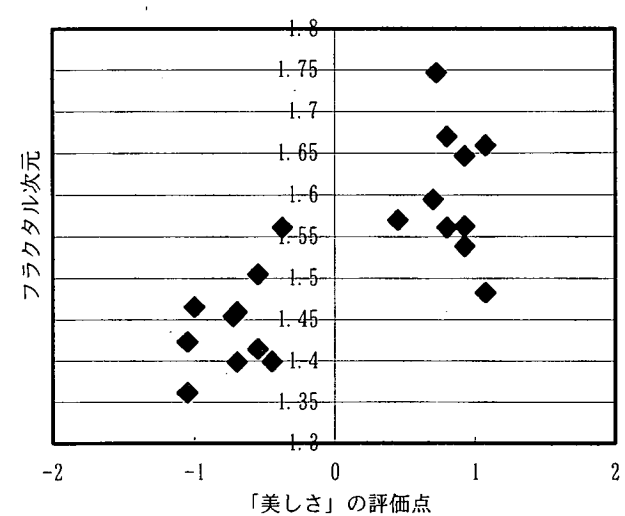


図-10 「美しさ」とフラクタル次元

フラクタル次元は、複雑さを定量的に表現できる尺度である。今回のアンケート調査では「複雑な」というイメージ形容詞を取りあげていない。なお、類似のイメージ形容詞「すっきりした／＼ごみごみした」の評価点とフラクタル次元との間に、はっきりした関係が見いだせなかった。

また、同じ橋であっても視点場（視距離、視線入射角、

視点高さなど）が異なれば、フラクタル次元の値は変わる。もちろん、視点場が異なれば風景も違ったものになるため、フラクタル次元の値も変化する。表4に評価点合計値の上下位10橋のフラクタル次元と、視点場の情報との関係を示す。視点場の情報とは、視距離（近景、中景、遠景）、視線入射角（側面、斜側方）、視点高さ（上、水平、下）である。表4はフラクタル次元の高い順に並べ直してあるが、この表からではフラクタル次元と視距離、視線入射角および視点高さとの関係は特定できなかった。

また、今後収集・充実していかなければならないユーザーの感性データベースを構築していく上で、問題となるアンケート調査の負担を軽減させるために、フラクタル次元をいかに活用するかについては、今回の研究では方向性を見いだせなかった。

表-4 フラクタル次元と視点場との関係

評価点 合計値 の順位	橋梁名	フラクタル 次元	視距離	視線入 射角	視点高 さ
2	長井橋	1.74673	近景	斜側方	上
6	座主橋	1.67023	近景	斜側方	上
1	静橋	1.65941	近景	斜側方	水平
3	湊大橋	1.6471	近景	斜側方	水平
9	黄金中島橋	1.59478	近景	斜側方	下
7	野村橋	1.57013	近景	斜側方	水平
10	女の都ラフ2号橋	1.56289	中景	斜側方	下
81	武雄高架橋	1.5613	中景	斜側方	水平
8	小瀬川橋	1.56086	中景	斜側方	下
4	信玄橋	1.53843	近景	斜側方	水平
84	鱒取川橋	1.50475	近景	斜側方	下
5	緑川橋	1.4828	近景	斜側方	水平
89	藤陽北跨道橋	1.46534	近景	斜側方	下
86	祇園新橋(上り線)	1.45933	近景	斜側方	水平
82	祇園新橋(1期)	1.45397	近景	斜側方	水平
90	新浜厚真橋	1.42327	近景	斜側方	水平
83	築瀬橋	1.41449	近景	斜側方	下
87	下花水橋	1.39958	中景	側面	水平
85	寿橋	1.39883	近景	斜側方	水平
88	苦東大橋	1.36166	近景	斜側方	水平

5. おわりに

本研究では、橋梁年鑑から作成した90橋の桁橋の評価用写真を用いて、大学生40名を被験者にした43項目のアンケート調査を行い、フラクタル次元解析との比較を行うことで、桁橋の定量的評価基準としてのフラクタル次元の有効性を検証した。

アンケート調査の結果とフラクタル次元との分析から、既往の研究でも指摘されているとおり、橋梁本体と周辺環境との調和が重要な要素であり、43項目の評価点平均値が高い橋梁はフラクタル次元が高い数値を示し、逆に、評価点平均値が低い橋梁はフラクタル次元が低い値をとるという結果が得られた。また、43項目の評価点平均値ではなく、「美しい」というイメージ形容詞の評価点とフラクタル次元との関係も43項目の評価点平均値と同じ傾向が見られた。したがって、フラクタル次元と景観に対する

ユーザーの意識とはかなりの相関が存在することが推定される。今後は、他のイメージ形容詞とフラクタル次元の関係、背景分類や色彩分類などとフラクタル次元との関係を検討し、設計で用いることのできる評価基準を同定していく必要がある。一方、今回の研究では、フラクタル次元と視距離、視線入射角および視点高さとの関係は特定できなかった。

なお、今後、感性データベースを構築していく上で問題となる、膨大なアンケート調査の負担を軽減させるためのフラクタル次元の活用については今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 白木 渡, 伊藤則夫, 保田敬一, 安達 誠: 感性工学手法による橋梁の景観評価に関する研究, 第5回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp.79-84, 1997.12.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) (社)土木学会 中国支部 ちゅうごく土木未来委員会 感性工学手法に基づく土木構造物の評価・設計システムに関する研究小委員会: 感性工学手法に基づく土木構造物の評価・設計システムに関する研究(中国地方における土木の今後のあり方に関する調査) 平成10年度報告書, 1999.3.
- 5) 河津圭次郎, 保田敬一, 白木 渡, 堂垣正博: 感性工学手法による桁橋の景観評価に関する研究, 平成11年度土木学会関西支部年次学術講演会概要, pp. I-79-1~I-79-2, 1999.5.
- 6) 保田敬一, 白木 渡, 安達 誠, 堂垣正博: 桁橋の感性データベースを用いた景観評価・設計, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, I-A103, pp.206-207, 1999.9.
- 7) 吉岡正泰, 岩松幸雄, 原田隆郎, 阿久澤孝之: 周辺環境を含む橋梁の景観設計のための評価指標の提案 その2 $1/f$ ゆらぎの橋梁形式選定への適用, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集, I-556, pp.1260-1261, 1993.9.
- 8) 西藤康浩, 岩松幸雄, 原田隆郎, 山口允朗, 阿久澤孝之: $1/f$ ゆらぎによる橋梁の景観性評価に関する研究, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集, I-207, pp.412-413, 1994.9.
- 9) 吉岡正泰, 岩松幸雄, 原田隆郎, 山口允朗, 阿久澤孝之: フラクタル次元による橋梁の景観性評価に関する研究, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集, I-208, pp.414-415, 1994.9.
- 10) 福島宏幸, 五郎丸英博, 浪越 勇, 三浦金作, 土方吉男: フラクタル次元と $1/f^{\beta}$ ノイズによる橋空間の解析, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, I-A353, pp.704-705, 1997.9.
- 11) 深井隆史, 小幡卓司, 林川俊郎, 佐藤浩一: フラクタル次元による橋梁景観の定量的解析に関する一考察, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, I-A277, pp.554-555, 1998.10.
- 12) 瀬尾高宏, 五郎丸英博, 福島宏幸: フラクタル次元と $1/f^{\beta}$ ノイズによる橋空間の定量的評価, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, I-A278, pp.556-557, 1998.10.
- 13) 丸田哲也: 2次元構造形態の評価手法と形態生成に関する研究, 東京工業大学大学院総合理工学研究科 平成10年度修士論文, 1999.2.
- 14) 寺澤朋代, 五郎丸英博: フラクタル次元による橋景観の定量的評価, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, I-A104, pp.208-209, 1999.9.
- 15) 長町三生: 感性工学, 海文堂, 1989.
- 16) (社)日本橋梁建設協会: 橋梁年鑑, 昭和62年~平成5年
- 17) 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.
- 18) 高安秀樹: フラクタル, 朝倉書店, 1986.