原著論文

橋梁景観の定量的評価法に関する比較検討

清水 茂

信州大学工学部

COMPARISON OF QUANTITATIVE ESTIMATION METHODS OF BRIDGE AESTHETICS

Shigeru SHIMIZU

Shinshu University, Wakasato 4-Chome, Nagano, 380-8553 JAPAN

Abstract: In this paper, discussion is made on the quantitative estimation methods of bridge aesthetics. To estimate the bridge aesthetics, a lot of methods are proposed. In this paper, three quantitative methods are selected, and their results are compared. The methods discussed in this paper are (1) the method using the psycho-vectors, (2) the method using fractal dimensions of states and (3) the method to estimate the aesthetic measure using the colour harmony theorem. The method (1) and (2) are provided to estimate the shape and the formation of the bridges and their background, and the method (3) is to evaluate the colour of the bridges, and 21 scenes including a bridge are tested. From this study, followings are found; bridges having the arch structure are generally well estimated by the psycho-vector method and the fractal dimension method, (2) the psycho-vector method gives lower evaluation on the cable stayed bridges, (3) relatively low evaluations are made by the fractal dimension method for the near and medium view rather than the distant view.

Keywords: Bridge aesthetics, Quantitative estimation, Psycho-vectors

1. はじめに

本研究は、複数の橋梁景観評価法を同一の橋梁画像に対して適用し、それぞれの評価法から算出される評価値の傾向を把握することで、総合的な評価をするための基礎的資料を得ることを目的とする。

近年、土木構造物に対する人々の関心はかなり高まっており、その構造形式や形状、細部構造などの決定にあたっては、「美しさ」が判断基準の一つとなる場合が多くなっている。公共物である土木構造物の景観評価は、多様な観点から行われる必要があるが、その景観の評価方法は未だ確立されていない。現状では、多くの場合、土木構造物（特に橋梁）の景観設計は、一部の人間、特に発注者から設計を依頼された設計会社に所属する担当者の感性にまかせるなど、一方的に行われていることがほとんどである。ある程度の規模の橋梁の場合、学識経験者や地元住民代表などからなる景観検討委員会が設置されることも多いが、この場合においても、設計会社が提示するいくつかのデザイン案の中から選択することとなる場合が多い。これは、経済性や安全性などのように比較的定量的な判断が容易なものに比べ、景観性という要素を定量的に判断するのが困難であることが、一つの理由であると考えられる。

ところで、橋梁は、さまざまな土木構造物の中でも造形的な自由度が高く、特に長大橋の場合、その規模、形から、架設地域における景観を大きく左右する土木構造物である。また、一般的には周辺環境に対して橋梁をどのようにして調和させるかが問題になるが、場合によっては、橋梁特有のシン

ボル性・サイン性を利用して逆に周辺環境に対して強調させることもある。このように、橋梁は景観という観点において、さまざまな土木構造物の中でも、特に注目されるべき構造物であるといえる。

このようなことから、現在までに橋梁の分野においても、さまざまな景観評価法が提案されている。ここで、橋梁景観の主観的な見解等については、専門家による景観の良否の判断をするためのさまざまな意見が現在までに出版されている。その一方、客観的な判断の方法は、主観的な判断方法に比べると、数としてははるかに少ない。しかし、近年、客観的な判断手法に関する研究は多くの専門家らによって行われてきている。

杉山らは、サイコベクトルを用いた景観評価に関する研究を行っており、安定感やスレンダー感などを定量的に評価する手法を考案している [1] [2]。また、清水はこの杉山らの方法を改良し、一つの橋を複数の視点場から見た場合の景観性について調べている [3]。白木らは、ニューラルネットワークを橋梁景観の分野に適用し、主にアーチ橋を対象として景観の総合的な良否を判断する評価法を提案している [4]。原田らは、景観以外の分野でも多く用いられている「1/f ゆらぎ」と景観性の関係に関する研究を行っている [5]。松本らは、斜張橋を対象として、その造形因子・美的因子に関する研究を行っている [6]。五郎丸ら [7] や白木ら [8] は、フラクタル次元と景観性の相関に関する研究により評価法を提案している。近田らは、色彩調和論を橋梁景観の分野に適用し、色彩の定量的評価を試みている [9]。著者らも、色彩調和論を用いて、橋梁の、特に塗装の褪色に注目した美度の評価を試みている [10]。

このように、橋梁景観に関する評価法は、数多く提案されているが、その評価対象や評価項目はそれぞれ異なる。例えば、景観の視覚的な要素は、「かたち」と「色」に大別される。前述の過去の研究のうち、[1] から [8] までは「かたち」のみを評価対象とした手法、また [9] および [10] は「色」のみを評価対象とした手法である。

橋梁を含む画像（あるいは橋梁を含む風景）を人が見て、その印象を判断する場合、その印象には、「かたち」と「色」の両方の要素が影響していると考えるのが自然である。しかしながら、上で概観したように、これまで提案されている橋梁景観の評価法は、「かたち」あるいは「色」いずれかのみを評価の対象としており、「かたち」と「色」を総合的に評価する手法は未だ提案されていないようである。

そこで本研究では、「かたち」と「色」を含めた総合評価の可能性について考察するための基礎的な資料を得ることを目的とする。実際には、同一の橋梁画像に対して、複数の景観評価手法を適用してその結果を比較検討し、それぞれの評価値の傾向を把握することを、本研究の目的とする。

具体的な手法としては、本研究では、既存の橋梁景観評価法の中から、多くの研究事例があり、また、形と色彩それぞれに関する評価手法である、サイコベクトルを用いた手法、フラクタル次元を用いた手法、色彩の美度を用いた手法の3つの手法を用いることにする。

2. 評価手法の概要

2.1 サイコベクトル

橋梁のサイコベクトルは、1976年に山本 [11] によって提案された概念であり、事物の形態が持っている、視覚を刺激して人々の関心を引き寄せる心理的な誘導力のことである。杉山らによるサイコベクトルを用いる方法 [1] [2] は、画像中のサイコベクトルを定量的に定義して、安定感 i 、スレンダー感 j 、造形感 k と呼ばれる3つの量の値を求め、これらの値から、評価値が定量的に得られるようにしたものである。具体的には、次の手順で評価値を求める。

まず、評価対象の画像から、その画像中に確認できる輪郭線を抽出する。この輪郭線がサイコベクトルとなる。ついで、そのサイコベクトルを、①橋梁本体の基本サイコベクトル（主桁や橋脚などの幹線部材を示すベクトル）、②橋梁本体の補助サイコベクトル（吊り橋のハンガーなど視覚上、基本サイコベクトルの動勢を助けるベクトル）、③環境・背景のサイコベクトルに分類し、各々の鉛直成分・水平成分の値を求める。さらに、得られたそれらのサイコベクトルの鉛直成分・水平成分の値を安定感・スレンダー感・造形感の定義式に代入することにより、上述の安定感 i 、スレンダー感 j 、造形感 k の値を得ることができる [1] [2]。

これら安定感 i 、スレンダー感 j 、造形感 k のうち、安定感 i は、橋としての安定性すなわち構造物としての落ち着きを表現する要素であり、サイコベクトルの鉛直成分と水平成分の比、路面より下の部分のベクトルと上の部分のベクトルの

値の比などをもとに定式化されている。スレンダー感 j は、橋梁本体のプロポーションに関係する要素であり、サイコベクトルの鉛直成分と水平成分の比に、画面の中で橋の占める面積と桁下の面積の比を加味した定式化がなされている。また造形感 k は、橋のさまざまな造形を表現する要素であり、補助サイコベクトルの鉛直方向と水平方向の比、基本サイコベクトルの、桁をはさんだ上下のバランスなどをもとに決められている。

杉山らの方法によると、これら安定感・スレンダー感・造形感の理想値は、それぞれ $i = 1.67$, $j = 0$, $k = \infty$ となる。これらのうち、安定感の理想値 1.67 は黄金比を元に決めたものである。

例として、図1(a)に示す橋梁の画像の場合、明らかに輪郭線と認められる線を抽出すると、図1(b)のようになる。この輪郭線の、画像内での鉛直成分・水平成分の大きさ、及び橋梁面積、桁下空間の面積を測定し、安定感、スレンダー感、造形感の公式に代入すると、それぞれの評価値が求まる。なお、この図1の橋は、後で説明する表1中の、(1) 六甲アイランド大橋の画像である。

ただし、この杉山らの方法は、複数の画像の相対的な評価の順位を得ることを目的としている。著者の研究 [3] は、杉山らの方法を改良し、絶対的な評価値を得ることを試みたも

(a) 橋梁モデル（六甲アイランド大橋）

(b) 抽出された輪郭線

図1 橋梁画像と輪郭線

のである。この清水の方法は、杉山らの3つの評価値 i, j, k を次のように修正している。

すなわち、安定感 i については

$$b_1 = \exp(-11.67 - i) \quad \dots\dots\dots (1)$$

スレンダー感 j については

$$b_2 = \exp(-j) \quad \dots\dots\dots (2)$$

造形感 k については

$$b_3 = \exp(-1/k) \quad \dots\dots\dots (3)$$

により求めた b_1, b_2, b_3 をそれぞれ安定感・スレンダー感・造形感の評価値としている。このような修正により、これら3つの評価値の理想値は、いずれも1となる。本研究では、サイコベクトルによる評価値は、このような修正を加えたもので示す。[3]では、こうして得られた安定感、スレンダー感、造形感3つのサイコベクトルの評価値に、それぞれ0.4, 0.4, 0.2の重みをつけた上で合計して一つの値にし、それを総合評価値として橋梁景観を評価することを試みている。しかし、後述するように、橋梁によってはこれら3つの評価値すべてを求めることができない。そこで、本研究では、主として、安定感、スレンダー感、造形感の3つの評価値を別個に評価することとし、それらを統合した評価値は、参考程度にとどめることとする。

2.2 フラクタル次元

フラクタル次元とは、図形の複雑さの度合いを表現している数値である。本来、フラクタル次元は、フラクタルに関する議論でしばしば紹介されるコッホ曲線などのような、部分と全体とが相似になるような幾何形態にのみ厳重に定義されており、そのままの理論を用いるだけでは、自然界に実在する形態を取り扱うことはほぼ不可能であるとされている。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はよく用いられている。

橋梁景観の分野では、白木らが「粗視化の度合いを変える方法（ボックスカウンティング法）によってフラクタル次元の計算を行っており[8]、本研究でもそれと同じ方法を用いる。この方法は、対象とする画像を正方形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。なおここでの形態とは、本研究では輪郭線のことである。具体的には、輪郭を含んだ画像平面を一辺の長さが 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 $N(r)$ とし次の式よりフラクタル次元 D を求める。

$$D = -\frac{\log N(r)}{\log r} \quad \dots\dots\dots (4)$$

すなわち、 x 軸に $\log r$ を、 y 軸に $\log N(r)$ をとり、分割す

図2 画像のメッシュ分割例

る格子の一辺の長さが r を変えた場合の $N(r)$ の変化の様子を両対数のグラフにプロットし、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。

本研究では、橋梁を含む画像に対して、格子の一辺の長さ r を、30mm, 15mm, 10mm, 5mmとしたメッシュ画像を作成し、そのメッシュ内の輪郭が含まれる格子の数 $N(r)$ を求め、画像ごとのフラクタル次元を算出している。

ここで、本研究では、フラクタル次元の算出に用いる画像の輪郭線については、サイコベクトルの算出に用いたモデルがそのまま使用できるものとしている。前出の図1の画像について、画像上で10mmメッシュに分割した場合の例を図2に示す。

2.3 色彩の美度

本研究では、色彩調和を定量化する方法として、ムーン・スペンサーの色彩調和論[14]の概念を用いる。この色彩調和論は、ムーン（moon）とスペンサー（Spencer）によって考案されたもので、色彩調和を定量的な値で示していることと、総括的科学的な取り扱いをしている点に特徴がある。この手法において、ムーンとスペンサーは、色彩調和の良否の度合いを表す評価値として美度の概念を用いている。なお、ムーン・スペンサーの色彩調和論における色空間は、マンセル表色系に準拠している。

バークホフ（G.D.Birkhoff）は、「美は複雑さの中の秩序である」というギリシャ以来の考え方を公式のかたちで定義している[14]。美度（aesthetic measure）を M 、秩序の要素（element of order）を O 、複雑さの要素（element of complexity）を C とすれば美度は次式で表すことができる。

$$M = O / C \quad \dots\dots\dots (5)$$

すなわち、美度は秩序の量を複雑さの量で割った量で表す。ムーンとスペンサーはこのバークホフの公式を色彩調和論に適合し、色彩の定量的な美的評価手法を確立している。なお美度 M の値が0.5以上の場合、一般的に調和に達しているものとされており、美度が高ければ高いほど美的に優れているものとされている。

この方法による場合、評価の対象となる画像から、複数の色を取り出してマンセル値を求めた上で、それぞれの色の組

図3 評価対象橋梁の位置

表1 評価対象画像

番号	橋梁名	橋梁形式	立地条件	画像	視点距離(m)	視線入射角(°)
(1)	六甲アイランド大橋	アーチ橋	臨海地区	①	475	28
(2)	東神戸大橋	斜張橋	臨海地区	①	1050	54
(3)	神崎川大橋	アーチ橋	河川下流	①	300	70
				②	400	10
(4)	中島川大橋	アーチ橋	河川下流	①	375	21
				②	450	54
(5)	淀川大橋	桁橋	河川下流	①	750	60
				②	400	20
(6)	常吉大橋	斜張橋	臨海地区	①	675	90
				②	150	20
(7)	夢舞大橋	アーチ橋	河川下流	①	525	83
(8)	正蓮寺川大橋	桁橋	臨海地区	①	900	62
				②	450	62
(9)	なみはや大橋	桁橋	臨海地区	①	1075	86
				②	425	15
(10)	南港大橋	アーチ橋	河川下流	①	250	58
(11)	千本松大橋	桁橋	臨海地区	①	150	28
				②	125	19
(12)	新木津川大橋	アーチ橋	臨海地区	①	1500	70
				②	275	22
(13)	かもめ大橋	斜張橋	臨海地区	①	250	35
				②	225	9
(14)	大和川大橋	斜張橋	河川下流	①	600	37
				②	300	12
(15)	浜寺大橋	アーチ橋	臨海地区	①	400	15
				②	700	33
(16)	高石大橋	桁橋	臨海地区	①	100	65
(17)	岸和田大橋	アーチ橋	河川下流	①	125	40
				②	250	28
(18)	二色浜大橋	桁橋	-	①	100	15
				②	100	60
				③	100	35
(19)	長柄橋	アーチ橋	河川中流	①	125	18
				②	125	55
				③	300	55
(20)	菅原城北大橋	斜張橋	河川中流	①	250	90
				②	125	22
(21)	豊里大橋	斜張橋	河川中流	①	150	20
				②	675	90

み合わせ(色対)を作り、美度を算出する。本研究では、まず、画像をパーソナルコンピュータに取り込んだ上で、画像内から代表的な色を有すると考えられる箇所を選定する。図1の画像の場合、橋のアーチ部・橋桁部のほか、空、背景の建物、橋脚、基礎のケーソン部、および海の計7色を抽出し、それらの組み合わせ21組の色対を用いて評価している。ここで、例えば空の色を抽出する場合、空の中の複数の点の色を調べ、それらの平均値を空の色としている。本研究では色の抽出には汎用画像処理ソフト Picture Publisher を用いている。

3. 評価モデル

本研究では、大阪周辺の斜張橋6橋、桁橋6橋、アーチ橋9橋の、計21橋を評価の対象とした。ただし、同一の橋について、視点距離や視線入射角を変えた複数の画像を撮影したものもあるので、評価対象の画像数としては38画像である。ここで、視点距離とは、視点場すなわち写真の撮影位置と対象となる橋との距離、視線入射角は、視点位置と対象の橋とを結ぶ直線が橋軸方向となす角度 α の部分である。すなわち、橋梁を真横から見る場合の視線入射角は 90° となる。

また、本研究では、各橋梁は、その立地条件別に、橋梁の所在地を①「河川下流」、②「河川中流」、③「臨海地区」の三種に分類し、考察することとする。このうち、①の河川下流部は、河川幅が広いため背景に構造物があまり存在しないという特徴がある。また、②の河川中流では、河川下流部に比べると、河川幅が狭く堤防や後背地の立地した構造物が目立つ。③の臨海地区は、背景に工場、倉庫群、煙突等の構造物が混在し、鉛直方向のサイコベクトルが多く存在するとともに、河川の輪郭などによる水平方向のサイコベクトルが少なくなる。

評価の対象とした各橋梁の詳細は、表1に示す。表中、画像欄の①②等は、同一の橋梁について、視点距離や視線入射角を変えた複数の画像がある場合にそれを区別するための番号である。また、二色浜大橋の立地条件欄が「-」となっているのは、この橋の立地が、臨海部、河川下流部、河川上流部のいずれにも分類ではなかったことを示す。これらの橋の位置は、図3の地図中に、表1の橋梁欄の(1)～(21)の番号を用いて示している。なお、視点場の位置は、対象物からの視点距離、視線入射角、俯角・仰角などにより決定される。本研究では視点距離、視線入射角の2つに着目し、視点距離については、600mより大きい場合を「遠景」、300mを超え600mまでを「中景」、300m以下の場合を「近景」と、また視線入射角については、 0° 以上 30° 未満の場合を「橋軸」、 30° より大きく 80° 以下の場合を「斜方向」、 80° を超える場合を「側面」と呼ぶこととする。

本研究で用いた橋梁画像の例を、図4に示す。図4は、桁橋の例として、表1中の(9)なみはや大橋②、および斜張橋の例として同表の(13)かもめ大橋②について、それらの写真と写真を元に抽出した輪郭線を示したものである。

図4 橋梁画像の例

4. 評価結果

4.1 サイコベクトルによる評価

調査の対象とした橋梁画像のサイコベクトルの値を、橋梁形式別に表2に示す。ここで、杉山らの定義[1][2]によ

表2 サイコベクトルの値

(a) 斜張橋のサイコベクトル値

画像名	安定感	スレン ダー感	造形感	総合評価
豊里大橋①	0.67	0.29	0.80	0.54
豊里大橋②	0.04	0.41	0.81	0.34
東神戸大橋①	0.01	0.02	0.83	0.18
大和川大橋①	0.48	0.40	0.73	0.50
大和川大橋②	0.01	0.40	0.83	0.33
菅原城北大橋①	0.12	0.03	0.66	0.19
菅原城北大橋②	0.02	0.07	0.84	0.20
常吉大橋①	—	0.05	0.76	0.17
常吉大橋②	—	0.32	0.79	0.29
かもめ大橋①	—	0.03	0.85	0.18
かもめ大橋②	0.04	—	0.92	0.20

(b) 桁橋のサイコベクトル値

画像名	安定感	スレン ダー感	造形感	総合評価
淀川大橋①	0.53	0.79	×	×
淀川大橋②	—	0.87	×	×
二色浜大橋①	0.06	0.30	0.90	0.32
二色浜大橋②	—	0.45	0.88	0.36
二色浜大橋③	0.03	0.60	×	×
千本松大橋①	0.47	0.90	×	×
千本松大橋②	0.81	0.90	×	×
正蓮寺川大橋①	0.47	0.94	×	×
正蓮寺川大橋②	1.00	0.89	×	×
高石大橋①	0.34	0.71	×	×
なみはや大橋①	0.34	0.96	×	×
なみはや大橋②	0.38	0.98	×	×

(c) アーチ橋のサイコベクトル値

画像名	安定感	スレン ダー感	造形感	総合評価
六甲アイランド大橋①	0.32	0.51	0.93	0.52
夢舞大橋①	0.98	0.74	×	×
南港大橋①	0.77	0.49	×	×
浜寺大橋①	0.35	0.01	0.85	0.31
浜寺大橋②	0.63	0.55	0.79	0.63
中島川大橋①	0.03	0.81	0.49	0.43
中島川大橋②	0.10	0.86	0.79	0.54
長柄橋①	0.31	0.44	0.80	0.46
長柄橋②	0.24	0.64	0.78	0.51
長柄橋③	0.27	0.94	0.46	0.58
神崎川大橋①	0.01	0.95	0.57	0.50
神崎川大橋②	0.16	0.87	0.52	0.52
新木津川大橋①	0.28	0.91	×	×
新木津川大橋②	0.65	0.29	0.84	0.54
岸和田大橋①	0.01	0.62	0.88	0.43
岸和田大橋②	—	0.46	0.84	0.35

—は 10^{-4} 以下のごく小さな値となったことを、×は造形感の定義に合わず算出できなかったことを示す。

ると、造形感を算出する式においては、橋梁本体の補助サイコベクトルの水平成分が分母となる。しかし、特に桁橋を中心とした一部の橋では、補助サイコベクトルの水平成分が存在せず、造形感の算出ができなかった。このような橋については、表2の造形感および総合評価の欄を「×」としている。

斜張橋では、全ての橋梁画像において造形感の値は0.6～0.9程度の評価値を示しており、評価値のばらつきが小さいことがわかる。また安定感、豊里大橋①、大和川大橋①では評価値が0.67, 0.48であり、斜張橋の中では比較的高い傾向を示しているが、その他の画像の安定感は低く、ほとんどの画像において0に近い評価値が算出されている。ただし、これら二つの画像のうち豊里大橋①は近景、大和川①は遠景で、特に共通点は見いだすことはできなかった。さらに、スレンダー感も、安定感と同様に常吉大橋②、大和川大橋①、大和川大橋②、豊里大橋①、豊里大橋②の5つの橋梁では評価値が0.3～0.4程度の値を示したが、その他の画像では評価値が0に近い。この斜張橋のスレンダー感は、後述の桁橋、アーチ橋に比べ、小さな値となる傾向があるようである。

桁橋では、スレンダー感は、二色浜大橋の3つの画像を除くと、スレンダー感は0.7以上の評価値を示している。また、安定感の評価値は、最小値が 1.87×10^{-5} で最大値は1であり、非常にばらついていることがわかる。桁橋では、多くの場合、斜張橋のケーブルやアーチ橋の吊り材など補助ベクトルとなり得る部材がなく、前述したように、造形感の算出不可能な画像が多かった。造形感の算出が可能な橋梁画像は、二色浜大橋の2つの画像のみであった。

アーチ橋では、各画像における造形感、スレンダー感は0.5以上の値を示している画像が多い。また、安定感の評価値は最小値が 2.18×10^{-5} 、最大値が0.98で、桁橋の場合と同じく非常にばらついている。

表2の結果を、表1と対照させながら視距離に対して見ると、造形感、近景および中景で大きな値となる傾向が見られる。しかし、安定感およびスレンダー感では、視距離の影響は明瞭ではない。

総合評価値を橋梁形式別に見ると、造形感が算出できなかったモデルをのぞき、全体的に、アーチ橋で高い結果が見られる。斜張橋の場合は、豊里大橋や大和川大橋をのぞくと、アーチ橋に比べ評価値は小さいものが多い。

4.2 フラクタル次元による評価

本研究では、背景の有無がフラクタル次元にどの程度影響するかを把握するため、フラクタル次元は、橋梁と背景を含む画像全体、および、その画像から橋梁のみを取り出した画像の二種類について算出した。表3に、フラクタル次元を算出した結果を示す。表中、「全体」欄の値は、背景を含む画像全体に対するフラクタル次元値を、「橋梁」欄の値は橋梁のみについて求めたフラクタル次元値である。また、%欄は、橋梁のみおよび画像全体についてそれぞれ求めたフラクタル次元値の比である。

なお、既存の研究[7][8]によると、フラクタル次元が高くれば美的評価も比例して高くなる傾向があること、および橋梁景観の場合フラクタル次元の値は1.0～1.8程度とすることがわかっている。

斜張橋の場合、画像全体に対して評価したフラクタル次元値は1.4～1.7程度の値を示している。ことがわかる。「橋梁」

表3 フラクタル次元の計算値

(a) 斜張橋のフラクタル次元値

橋梁名	フラクタル次元		
	全体	橋梁	%
豊里大橋①	1.41	1.43	101
豊里大橋②	1.42	1.37	96
東神戸大橋①	1.40	1.33	95
大和川大橋①	1.45	1.31	90
大和川大橋②	1.44	1.64	114
菅原城北大橋①	1.38	1.12	81
菅原城北大橋②	1.53	1.63	107
常吉大橋①	1.49	1.25	84
常吉大橋②	1.50	1.54	103
かもめ大橋①	1.55	1.53	99
かもめ大橋②	1.64	1.71	104

(b) 桁橋のフラクタル次元値

橋梁名	フラクタル次元		
	全体	橋梁	%
淀川大橋①	1.20	1.21	101
淀川大橋②	1.61	1.50	93
二色浜大橋①	1.47	1.41	96
二色浜大橋②	1.53	1.47	96
二色浜大橋③	1.41	1.36	96
千本松大橋①	1.49	1.45	97
千本松大橋②	1.33	1.27	95
正蓮寺川大橋①	1.44	1.25	87
正蓮寺川大橋②	1.59	1.48	93
高石大橋①	1.37	1.28	93
なみはや大橋①	1.26	1.05	83
なみはや大橋②	1.38	1.42	103

(c) アーチ橋のフラクタル次元値

橋梁名	フラクタル次元		
	全体	橋梁	%
六甲アイランド大橋①	1.62	1.57	97
夢舞大橋①	1.44	1.40	97
南港大橋①	1.40	1.39	99
浜寺大橋①	1.65	1.50	91
浜寺大橋②	1.40	1.56	111
中島川大橋①	1.36	1.42	104
中島川大橋②	1.35	1.40	104
長柄橋①	1.48	1.41	95
長柄橋②	1.49	1.56	105
長柄橋③	1.33	1.21	91
神崎川大橋①	1.31	1.31	100
神崎川大橋②	1.36	1.32	97
新木津川大橋①	1.44	1.06	74
新木津川大橋②	1.48	1.57	106
岸和田大橋①	1.59	1.55	97
岸和田大橋②	1.59	1.57	99

の評価値は1.1～1.7程度である。また、「橋梁」のみのフラクタル値が画像全体を対象とした場合に比べ低い値を示したのは、11画像中6画像あった。特に菅原城北大橋①と常吉大橋①は、橋梁のみのフラクタル次元値が画像全体の値に対してそれぞれ81%、84%と、かなり小さな値となっている。これら二つの橋梁は、いずれも遠景であり、また、植栽や工場により橋の一部が隠れていたため、このことの影響も考えられる。一方、大和川大橋②は、橋梁のみのフラクタル

値が14%大きな値となっている。

桁橋では、「全体」の評価値は1.2～1.6程度の値を示していることがわかる。また、「橋梁」の評価値は1.1～1.5程度である。うち、淀川大橋については、淀川大橋②の評価値が、画像全体で1.61、橋梁のみの場合で1.50で、ともに、この表中で最高の評価値を示していたのに対し、淀川大橋①の場合、画像全体の評価値が1.20で表中で最低、橋梁のみの画像についても1.21と比較的低い評価値となった。一方、なみはや大橋①については、画像全体でも1.26、橋梁のみでは1.06の最低の評価値が得られた。他の画像についても同様に検討すると、近景で視線入射角が小さい（すなわち視点場が橋軸に近い）画像、あるいは遠景の画像で、小さな評価値が得られる傾向があるようである。

アーチ橋では、新木津川大橋①の橋梁のみの画像を除き、フラクタル次元は1.2～1.7程度ある。新木津川大橋①では、橋梁のみの画像の場合、フラクタル次元は1.06と表中で最低の値であった。また、長柄橋③においても、橋梁のみの場合のフラクタル次元は1.21で、比較的低い値であった。この二つの画像はいずれも遠景で、画像中で橋本体の占める領域は他の画像に比べかなり小さい。

全体を通じ、画像全体のフラクタル次元と比較して、橋梁のみを対象としたフラクタル次元は、小さくなる画像が多かった。しかし、橋梁のみに対するフラクタル次元の値が良いものについては画像全体についてのフラクタル次元の値もよい場合が多い傾向が伺える。

4.3 色彩の美度による評価

色彩の美度は、橋梁を含めた景観全体を対象とした場合と、橋梁を除いた背景のみを対象にした場合について計算を行っている。これは、背景に橋梁を挿入した場合の美度の変動を確認するためである。前述したように、色彩の美度は「かたち」ではなく「色」を対象にした評価値であり、アーチや桁などの橋梁形式は結果に影響しない。そのため、本節では、橋梁形式による区別なしに結果を整理する。

なお、一般的に、美度の計算においては面積効果を考慮する必要があるとされている。しかし、近田らの研究[9]によると、面積効果は大きくない。そこで、本研究でも、面積効果を考慮しないことにして美度を計算している。

それぞれの画像からは、その画像内で主要と思われる構成要素の色を抽出した。例えば六甲アイランド大橋の場合は前述したように計7色、また、かもめ大橋①の画像では、橋梁部分からは、主塔、桁、橋脚の色の計3色を、また背景からは、遠方の煙突、建物、近景の岸壁及び空、海の計5色、総計8色を抽出した。美度は、このように抽出された色のマンセル値を用い、橋梁を含む景観全体について求めたほか、橋梁が存在することの影響を知るために、背景のみにについても求めた。それぞれの画像ごとに、抽出した色数と美度の計算結果を表4に示す。表4の色数欄の橋梁部分とは、その画像中、橋梁部分から抽出した色数であり、全体とは、橋梁部分も含め、当該画像から抽出した色数の総数である。

表4 色彩の美度

画像名	抽出色数		美度	
	全体	橋梁部分	全体	背景
かもめ大橋①	8	3	1.61	1.48
かもめ大橋②	7	3	1.53	1.38
なみはや大橋①	7	2	1.35	1.20
なみはや大橋②	8	2	1.04	1.13
岸和田大橋①	4	1	0.67	0.47
岸和田大橋②	7	2	1.44	1.06
高石大橋①	8	3	1.34	1.35
常吉大橋①	9	3	1.44	1.12
常吉大橋②	8	4	1.49	1.36
新木津川大橋①	10	1	1.22	1.20
新木津川大橋②	5	1	1.28	1.37
神崎川大橋①	8	4	1.27	1.36
神崎川大橋②	8	4	1.35	1.24
菅原常北大橋①	8	3	1.29	1.21
菅原常北大橋②	8	5	1.29	1.01
正蓮寺川大橋①	9	3	1.63	1.21
千本松大橋①	9	4	1.31	0.86
千本松大橋②	7	2	1.60	1.58
大和川大橋①	10	3	1.33	1.18
大和川大橋②	6	3	1.52	1.15
中島川大橋①	8	4	1.51	1.41
中島川大橋②	7	4	1.64	1.74
長柄橋①	10	3	1.57	1.30
長柄橋②	6	3	1.10	1.07
長柄橋③	8	3	1.17	1.33
東神戸大橋①	10	1	1.41	1.20
南港大橋①	10	4	1.55	1.48
二色浜大橋①	7	2	1.48	1.61
二色浜大橋②	6	2	1.37	1.32
二色浜大橋③	8	2	1.21	1.12
浜寺大橋①	10	4	1.38	1.27
浜寺大橋②	10	3	1.17	0.94
豊里大橋①	6	2	1.20	0.98
豊里大橋②	9	3	1.43	1.13
夢舞大橋①	8	3	1.38	1.46
淀川大橋①	6	2	1.05	1.35
淀川大橋②	6	4	1.24	0.93
六甲アイランド大橋①	7	4	1.28	1.55

また、美度欄の全体とは橋梁も含む画像全体に対して求めた美度、背景は背景のみにについて求めた美度である。なお、正蓮寺川大橋の場合、①と②の画像は視点場が近く、目に入る色情報がほとんど同じであるため、美度の計算は①の画像についてのみ実施した。

第2章で述べたように、ムーン・スペンサーの色彩調和論では、美度が0.5以上であれば、その配色は調和しているとされている。表4を見ると、岸和田大橋①の背景のみを対象とした場合を除き、すべての橋梁画像において、景観全体の美度、背景のみの美度ともに、0.5を上回っており調和に達していることがわかる。また、背景のみの美度に比べ、橋梁が存在することにより美度が増加した画像が中島川大橋②をはじめ28、減少した画像が淀川大橋①をはじめ10画像であり、約1/3の画像において美度が上昇していることが分かる。

5. 考 察

本研究は、橋梁景観を評価する手法として提案されているいくつかの手法のうち、形についてはサイコベクトルおよびフラクタル次元による評価法、色については色彩の美度について、その評価結果の特徴や傾向など、いわゆる評価法の“くせ”を考察することを試みた。ここではまず、形を評価する手法であるサイコベクトルおよびフラクタル次元について考察する。そこで、まず、表2および表3により、二つの評価手法の全体的な傾向を考察する。一方、本研究では、上記のように、評価法の全体的な傾向を把握することを目的としているため、個々の景観画像について個別の考察を行うことは、直接の目的とはしていない。そこで、個々の画像に対する個別の考察は、サイコベクトルおよびフラクタル次元で評価結果が大きく異なった二つの画像についてのみ行うこととする。

表2および表3から、サイコベクトルおよびフラクタル次元の評価値が良かった橋を画像別に調べてみる。全39画像中、サイコベクトルおよびフラクタル次元ともに評価が高かったのは、六甲アイランド大橋①であり、そのサイコベクトルの値は0.52で全39画像中第6位、またフラクタル次元の値が1.62で第3位であった。このほか、新木津川大橋②は、サイコベクトルが0.54で第3位、フラクタル次元1.48、15位)が、サイコベクトル・フラクタル次元ともに評価が高い部類と言える。

浜寺大橋の場合は、②の画像でサイコベクトルの評価値が第1位の0.63であったが、この画像のフラクタル次元の値は1.40(第26位)であり、また、①の画像はフラクタル次元による評価値が1.65で39画像中最大であったが、サイコベクトルの値は0.31で19位であった。このように、サイコベクトル、フラクタル次元ともに高い評価値であった画像には、アーチ系の形式を持つ橋が多かったことが特徴である。

サイコベクトルの評価値が小さかった橋梁は常吉大橋①(サイコベクトルの値0.17)、東神戸大橋①(同じく0.18)、かもめ大橋①(0.18)、菅原城北大橋①(0.19)を始め、下位7画像をすべて斜張橋が占めていた。これは、斜張橋の場合、タワーやケーブルなどサイコベクトルの鉛直成分となる構成要素が多いことが関係しているものと思われる。ただし、同じく斜張橋である豊里大橋①ではサイコベクトルの評価値が第4位の0.54であるなど、若干の例外も見られた。

桁橋では、サイコベクトルの値を計算できたものは二色浜大橋①、同②の2画像のみであり、的確な評価は難しい。

フラクタル次元による評価が高かった画像をみると、浜寺大橋①(アーチ橋、フラクタル次元値1.65)、かもめ大橋②(斜張橋、同1.64)、六甲アイランド大橋①(アーチ橋、同1.62)、淀川大橋②(桁橋、同1.61)などが挙げられる。この場合、評価値の大きかった上位に、アーチ橋、斜張橋、桁橋のいずれの形式も含まれており、フラクタル次元による評価では、橋梁形式による差はあまり認められない。一方、フラクタル次元の値が大きかった画像はいずれも近景または中景であ

り、遠景の画像は含まれていない。

一方、中景・近景の画像は、フラクタル次元による評価の下位も多く占めている。フラクタル次元による評価の最下位2画像は、いずれも遠景(淀川大橋①、フラクタル次元値1.20、および、なみはや大橋①、同1.26)であったが、下位より第3位から11位までは中景・近景が占めている。すなわち、中景・近景の画像は、フラクタル次元によると、評価がよいものと悪いものの両極に分かれる傾向が見られると言える。

要約すると、サイコベクトルの評価値は、橋梁形式のような、橋梁全体の形状が影響しているようである。また、フラクタル次元の場合、橋梁形式よりも対象物までの距離、さらに言うと、いわゆるディテールまで確認できる状態か否かが評価値に影響していることが考えられる。

次に、サイコベクトルの評価値が低く、フラクタル次元の評価値が高いかもめ大橋②(サイコベクトル0.20で第21位、フラクタル次元1.64で第2位)、逆に、サイコベクトルの評価値が高く、フラクタル次元の評価値が低かった長柄橋③(サイコベクトル0.58で第2位、フラクタル次元1.33で第35位)の2画像について、その内容を調べてみる。図5に、長柄橋③の画像及び抽出した輪郭線を示す(かもめ大橋②は図4に掲載してある)。

表1および図4にあるように、かもめ大橋②は近景で視線入射角はほぼ橋軸である。そのため、かもめ大橋の場合、橋梁本体のサイコベクトルは、鉛直成分が卓越し、安定感、

図5 長柄橋③

スレンダー感がともに小さな値となった。造形感は、近景であることにより比較的大きな値となっているが、サイコベクトルの評価値は安定感とスレンダー感が寄与する割合が大きいことから、結果として評価値が低くなっている。一方、フラクタル次元の場合、画像中の輪郭はベクトルとして捉えるのではなく、各メッシュに対して、単に輪郭の有無として、言い換えるとドットの集合としてのみ寄与する。この画像の場合、ケーブルが画像の広い範囲に分布しており、細かいメッシュの場合、輪郭を含むメッシュ数が相対的に多くなり、高いフラクタル次元値をもたらししている。

一方、長柄橋③は、距離は近景と中景の境界であるが、画像としては、橋が画像中央部に小さく移り混んでいる状態である。この画像では、橋本体のサイコベクトルについてはその鉛直成分に比べ水平成分が多く、これが、かなり高いスレンダー感をもたらししている。その結果、この画像ではサイコベクトルの評価値が高くなった。

一方、この画像の場合、画像下側は河川敷となっており、目立った輪郭線をとることは出来ない。また、画像上部は空であり、元々輪郭線が存在しない。そのため、この画像で輪郭線が存在するのは、その中央部のみであり、特に細かいメッシュに対して、輪郭線が存在するメッシュ数が少なくなり、フラクタル次元値を引き下げている。

色彩の美度については、橋梁部分を含む画像全体を対象とした場合、今回扱ったすべての画像でその値が0.5をこえており、色彩は、調和の域に達していると言える。これらの画像の中で、岸和田大橋①では、画像全体を対象として求めた美度が0.67、橋梁部分を無視して背景のみについて求めた美度が0.47であり、他の画像に比べ、極端に小さな美度が得られた。この橋の画像の場合、近景に灰色の駐車場があり、それが画像の下半分を占めていた。また、橋本体から抽出できた色は白色1色のみであった。このことが、美度が他の画像と比べ小さいことの原因と考えられる。また、千本松大橋①の場合、背景のみ画像では美度の値が0.86で、岸和田大橋①について美度が小さかったが、橋梁を含めた画像全体で評価すると美度は1.31となり、他の画像と遜色のない値となった。橋梁の有無による美度の増減に注目してみると、背景のみを対象とした場合（すなわち橋梁がない場合）の美度の値に比べ、橋梁を含む画像全体を対象とした美度の値が大きくなった画像は39画像中29画像であった。ただし、そのうち半数以上の16画像では、美度の値の増加は20%程度以内であった。また、橋梁があることにより美度が減少した画像についても、その差は20%程度であった。このことから、本研究で扱った範囲では、橋梁の存在が色彩の美度に与える影響はそれほど大きくない場合が多いと言える。なお、表4に示した結果によると、美度の評価値が1.6を超えている画像は、いずれも、抽出できた色数が7色以上であり、逆に最も評価値の低い画像では抽出できた色数が4色のみであった。このことから、色数がわずかしき抽出できない画像では評価値が低くなる傾向が窺える。しかし、色数が多い画像であっても評価値が低い場合もあったうえ、抽出できた

色数が少ない画像も少数であったことから、これについては明確な考察はできなかった。

次に、サイコベクトル、フラクタル次元および色彩の美度の三種類の評価値について、それら相互の関係を調べてみる。

まず、表2および表3をもとに、サイコベクトルの評価値のうちの造形感と、フラクタル次元の画像全体に対する評価値の間の相関係数を、造形感が算出できた画像のみについて求めたところ、およそ0.75であり、造形感の値とフラクタル次元値にはある程度の相関があることがわかる。この造形感とは、橋梁のみについて求めたフラクタル次元に対して、相関係数は0.63となっていた。一方、それ以外の例えばサイコベクトルのうちの安定感とフラクタル次元の相関は-0.18、サイコベクトルの総合評価値とフラクタル次元との相関は-0.37で、相関はほぼ全くみられない。

色彩の美度とサイコベクトルおよびフラクタル次元の評価値との相関係数は、それぞれ-0.3と0.03であり、色と形との相関は全く見られなかった。

以上のことから、サイコベクトルとフラクタル次元は、橋梁を含む画像に関しては、一般的には別の評価をしていると言えるが、サイコベクトルの造形感のみは、フラクタル次元と何らかの関係があるようにも見受けられる。

サイコベクトルを用いた評価では、安定感、スレンダー感、造形感ともに、その算定のもととなる画像中の輪郭線の各サイコベクトル成分は、当然のことながら共通であり、評価値の定義式のみが異なっている。うち、安定感、スレンダー感とは、定義や算定式の形そのものはかなり異なっているものの、基本的には、サイコベクトルの鉛直成分と水平成分の比をもとにして算出されるものである。これに対し、造形感とは、サイコベクトルの鉛直成分について、路面より上にある部分と下にある部分との比を重視した定義となっており、安定感、スレンダー感とは定義がかなり異なっている。一方、フラクタル次元値は、画像をメッシュに細分した場合の、各メッシュに輪郭線が存在するかどうかを算出に用いており、輪郭線の評価において、サイコベクトルを用いた評価方法と共通する所は存在しない。サイコベクトルの3要素のうち造形感のみがフラクタル次元値とある程度の相関を持ったことについては、偶然とも考えられるが、現象としては興味深いところであり、今後、他の橋梁画像などによる検証も含め、検討していきたい。

なお、サイコベクトルを用いた場合では、一部の橋梁で、造形感の算出ができず、評価が不可能となった。これは、サイコベクトルによる評価法で必要となる造形感の定義において、補助サイコベクトルの大きさが分母となる式が存在するためである。この事実は、サイコベクトルを用いた方法のみではすべての橋を評価することはできないことを示している。橋梁の輪郭を構成するサイコベクトルには、主桁や主塔を構成する輪郭線のように、明らかに基本ベクトルとして扱うべきものも多い。しかし、輪郭線の中には、例えば遠景における斜張橋のケーブルのように、基本ベクトル、補助ベクトルのいずれに判別すべきか迷う場合も少なくない。この場

合、それをどちらに判別するかは、多くの所、主観に依存する。そして、その判別の結果、ある橋梁画像について補助サイコベクトルが確認できないと、この手法は適用できないということになってしまう。サイコベクトルを用いた評価法は、それ自身、特徴を有しており、排除できるものではないが、この問題点については、今後さらに検討する必要がある。

結 論

橋梁の形と色は密接に関係しながら、それを見る人の印象を形成している。そのため、橋梁景観を評価する場合、本来は、橋梁の形と色の双方を同時に評価できる手法を用いる必要がある。しかしながら、著者の知る限り、色と形の双方を評価する手法はまだ開発されていない。

本研究では、このような背景を考慮しつつ、形を評価する2種類の手法と色を評価する1種類の手法を用い、大阪湾岸を中心に撮影された橋梁を含む画像の評価を行った。その結果、次のことがわかった。

- ① サイコベクトル、フラクタル次元いずれの手法によっても高い評価値を示した画像は、アーチ系の形式を持つ橋が多い。
- ② サイコベクトルの評価値が小さかった橋梁はすべて斜張橋である。これは、斜張橋の場合、タワーやケーブルなどサイコベクトルの鉛直成分となる構成要素が多いことが関係しているものと思われる。
- ③ 中景・近景の画像はフラクタル次元による評価が低い傾向がある。
- ④ サイコベクトルの評価には橋梁形式など橋梁全体の形状が、フラクタル次元の評価には橋梁の細部構造が、それぞれ影響しているようである。
- ⑤ 桁橋を主体に、一部の橋では補助サイコベクトルが確認できず、サイコベクトルによる評価ができない。そのため、サイコベクトルのみですべての橋梁を評価することはできない。
- ⑥ 色彩の美度に関しては、橋梁の存在が与える影響はそれほど大きくない。
- ⑦ ①で述べたような場合を除き、一般的には、サイコベクトル、フラクタル次元、および色彩の間には、相関は見られず、これらのそれぞれ全く別の評価をしている。ただし、サイコベクトルのうち、造形感については、ある程度の相関が見られた。

対象物の色と形の双方を評価できる手法については、その開発にはまだ相当の困難があると考えられることから、橋の色や形状を評価する場合、当面は、本論文で取り上げたような手法を並列的に用いることとなろう。この場合、橋の全体的な形状については、輪郭線をもとに、主としてその鉛直成分・水平成分を用いて評価するサイコベクトルを、細部については画像のメッシュ分割により輪郭線の細部まで評価対象とするフラクタル次元により評価し、色については別途考慮

することが現実的と考えられる。

本研究では、数多く提案されている橋梁景観の評価方法から、形状に関する評価法を2種類、色に関する評価法を1種類取り上げ、それら3種類の評価法の、評価の傾向、いわゆる評価法の“くせ”を考察することを試みた。その結果、いずれの評価法もそれぞれ特徴を有しており、本研究の段階では、これら3種類の評価値との間に明確な関係を見出すことはできなかった。今後は、さらに多くの橋梁画像について同様の研究を進めるとともに、アンケートなどを併用し、画像の状態と評価値との関係について、より詳細に調べる必要がある。

参 考 文 献

- [1] 杉山利幸, 深沢康晴, 辻 和政, 高橋良武; サイコベクトルを用いた橋梁景観の定量的評価, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.523-532, 1989
- [2] 杉山俊幸, 深沢泰晴, 清水克彦, 中村哲也; 加重目的決定分析法を用いたサイコベクトルによる橋梁景観の定量的評価, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.677-686, 1991
- [3] Shimizu, S. : Estimation of Bridge Aesthetics from the Multi Points of View, Proc. of 2nd International Conference on New Dimensions in Bridges and Flyovers, Ipoh, Malaysia, pp.187-194, 1994
- [4] 白木 渡, 松保重之, 高岡宣善; ニューラルネットによるアーチ橋の景観評価システム, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.687-697, 1991
- [5] 原田隆郎, 吉岡正泰, 岩松幸雄, 阿久澤孝之; 周辺環境を含む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
- [6] 松本 勝, 羽田大作, 元好 茂, 牧田 通; 橋梁景観が有する美しさの評価手法に関する基礎的研究, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, I-A99, pp.198-199, 1999
- [7] 五郎丸英博, 寺澤朋代; フラクタル次元による橋梁景観の定量的評価, 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
- [8] 白木 渡, 保田敬一, 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, Vol.47A, pp.327-334, 2001
- [9] 近田康夫, 城戸隆良, 宇野正高, 小堀為雄; 橋梁景観の色彩調和分析に関する研究, 土木学会論文集, No. 489, I-27, pp.139-146, 1994
- [10] 清水 茂, 橋口貴志, 高尾大介; 色あせに伴う橋梁の美度の変化に関する研究, 感性工学研究論文集, Vol.3, No.1, pp.29-34, 2003
- [11] 山本宏; 橋梁のサイコベクトル, 土木学会誌, pp.60-68, 1976

- [12] Mandelbrot; フラクタル幾何学, 日本サイエンス社, 1989.
- [13] 日本色彩学会編; 新編色彩化学ハンドブック, pp.592-595, 東京大学出版会, 1982
- [14] 増山英太郎; バーコフの美しさの公式をめぐる実験的研究, 数理科学, No.307, pp.28-34, 1989
- [15] 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

清水 茂 (正会員)

1979年 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻博士後期課程単位取得退学,

1982年 工学博士.

専門は, 橋梁工学・構造工学. 特に鋼構造物の座屈・耐荷力, および橋梁景観に関する教

育・研究に従事. 長野県林務部 林道大川線奥裾花橋梁景観検討委員会 委員長 (1998 - 1999), 長野県 都市計画審議会 委員 (2006 ~) などを歴任.