

色彩・形状の観点からみた数値的景観評価の試み

大野研¹・大野博之²・鈴木勝士³・葛西紀巳子⁴

¹正会員 農博 三重大学助教授 生物資源学部 (〒514-8507 三重県津市上浜町 1515)

²正会員 工博 応用地質株式会社 技術本部 (〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5)

³株式会社カギテク 下水道部 (〒515-0055 三重県松坂市田村町 341-1)

⁴有限会社色彩環境計画室代表取締役 (〒102-0051 東京都中央区佃 2-22-6)

近年、土木事業においても自然環境を保全・創出することが求められるようになり、自然環境や景観に配慮した土木事業が実施されるようになってきた。しかし、実際の施設の周辺環境との調和については、客観的な景観評価の方法がほとんどなく、設計者などの主観的な評価で主に実施されている。

本研究では、フラクタル理論を基に、自然環境と調和した構造物の景観の評価法を色彩と形状の観点から検討した。その結果、自然な景観と人工的な景観とでは、形状と色彩のフラクタル性やフラクタル次元が異なることが示された。このことは、自然と調和した景観を作り出すための一つの指針としてフラクタル特性が利用できることを示唆している。

Key Words: *evaluation of landscape, fractal, constructions and nature fitting in a harmonious way, color and shape*

1. はじめに

これまでの建設事業は、利便性、安全性、経済性を重視し、そのもとで、道づくり、鉄道づくり、港づくりなどの国づくり、河川改修、砂防事業、海岸事業などの防災に大きな成果を上げてきた。しかしながら、建設事業が、こうした機能をもたせたものを造るあまり、その地域特有の景観が忘れ去られてきたという傾向があったのも事実である¹⁾。

永い歴史を通して、人々は住んでいる場所を尊重し、その土地に合わせた土地利用・空間利用を行ってきた。地域性を生かした土地利用、空間利用に基づいて形成された景観は、その地域にしかない固有の景観形成を生み出してきたといえる。

近年、構造物、河川改修、道路などの設計にあたって、利便性、安全性、経済性ばかりでなく、地域の人々の生活の質を向上させるという意味で、景観を考慮した設計が増えてきている。失われた自然環境を再び取り戻していく試み、あるいは地域性に着目した環境づくりは、多方面で数多く実践され、成果を上げようとしている。こうしたものは、「美しい景観、目に優しい環境」というキャッチフレーズが

付くことによって、かなりの付加価値を高めているものと考えられる。特に、河川が身近で自然とふれ合うことの多い場所として注目され、近自然的な河川の景観設計が行われるようになってきた。

しかし、ただ斬新なデザインのもの、植生豊かなだけのものなどもみられ、その場所に対する解釈や意味づけが不十分なものも見受けられる。本来、景観を考慮した設計を行う場合には、その場所の持つ環境と調和させる必要があるが、現状の景観設計では設計者や建築家の熟度や自然観に依存しがちで、人によって評価が異なるといったような問題がある。

こうした問題を踏まえ、景観、特にその評価に関する論文は多数報告されている。

例えば、良い景観の代表として風景画を取り上げ、それを客観的なデータで表そうという試みがいくつか見られる。萩島ら²⁾による19世紀ヨーロッパ風景画を最適な景観と考えて定量化した分析、坂井ら³⁾による浮世絵風景画を用いた宿場の景観構成についての考察、鶴ら⁴⁾による浮世絵風景画に見る樹木の構造的機能に関する考察などの研究が挙げられる。

一方、東久保・山路⁵⁾、藤井⁶⁾、庄野ら⁷⁾などはアンケートや計量心理的方法であるSD法を用いて

実際の景観の評価を行っている。また大野⁸⁾は景観の構成要素のフラクタル性を利用した景観評価を検討している。さらには、ニューラルネットワーク⁹⁾や遺伝的アルゴリズム¹⁰⁾を用いた景観評価も見受けられる。

より良い景観を創出するためには、計画段階で比較的受け入れやすい客観的な評価が可能となることが望ましい。こうした評価に対して、過去の研究は有意義なものが多い。

しかし、アンケートを基にした評価の場合、庄野らによって指摘されているように、アンケートを行う主体によって、評価が異なり、景観設計の代替案を考えるたびにアンケートを行わなければならないという欠点もある。一方、遺伝的アルゴリズムやニューラルネットワークを利用した評価の場合は、景観設計の代替案に対して自動的に評価が行えると思われるが、遺伝的アルゴリズムやニューラルネットワーク構築の際に用いられた教師データに依存するうえ、景観設計の代替案を考える際の助けにはなりにくい。

これに対して、フラクタル解析を用いると、ある程度人間の主観を廃した客観的な景観評価が可能となり、設計の代替案を考える際の支援ツールとしても有効であると思われる。

人は風景を感じるとき、はじめに「形」と「色」この2つの要素を認識する。したがって、景観を考えるにあたり形状と色彩が高い要因を占めていると考えられる。しかし、過去に行われた研究では形状に関してのみ評価・設計するものが多かった。風景画の研究においても、風景画の「構図」にのみ着目し、実際の景観設計で重要となるもう一つの要素「色彩」に関する検討が行われていない。このように、色彩に関するものは小川ら¹¹⁾などごく限られた例が見受けられるのみであった。

小川らのものは、「形状」と「色彩」の両者についてフラクタル解析を行っており、総合的な景観評価を試み、自然物(自然的な河川)と人工物(道路舗装)との間のフラクタル特性に明確な違いがあることを示している。しかし、色彩のフラクタル次元を求めるにあたって、セミバリオグラムを利用した方法を使用している。セミバリオグラム法は空間分布を評価するのに非常に優れた方法であるが、方向による依存性が非常に強く、同じ写真の縦横の依存性が大きい手法であり、必ずしも良い結果を導き出すことができない場合がある。特に様々な方向から撮られた写真を比較するには困難な場合がある。

そこで、筆者らは、形状に関しては小川らと同じくボックスカウンティング法を用い、色彩に関して

はスケール変換解析とパワースペクトル解析を行い、より総合的な景観評価手法の確立を目指した。その結果、有意な知見が得られたのでここに報告する。

2. フラクタルを用いた景観評価方法

(1) 自然に見られるフラクタル

自然環境に配慮した施設などを建設する場合、その多くは、実際に出来上がった施設が、周辺の自然と調和した景観を形成しているかどうかを客観的に判断評価することはなく、現在のところ主観的な評価が行われているのが現状である。つまり、設計者や施工者などの自然観が優先されている状況と言える。

では、本当に、自然と調和した景観を客観的に評価することは出来ないのであろうか？

自然を、その形や配置、色の配合などと言った観点に着目するならば、複雑さを定量的に表現するフラクタル理論を用いて、その自然との調和の程度を評価することも可能となると思われる。

フラクタルとは、1975年にマンデルブローが新しく作った造語で、部分と全体との関わりで扱うことのできる図形、構造、現象、分布を指す言葉である。このフラクタルを通じて、複雑なパターンをフラクタル次元によって定量的に扱うことが可能となった。

こうした考え方を基に自然を眺めると、そこここにフラクタル的なパターンが見受けられる。海岸線の形、雲の形、渦の形、動物の血管系など、その形態はフラクタルである。また、地域の自然と調和した建造物の外観と背景の自然の形態との間には、同じフラクタル次元が見られるという報告^{12),13)}や親しみやすい自然の持つ色彩にもフラクタル性が成り立つという報告¹⁴⁾もある。

こうしたことは、逆に、その場の環境の自然らしさの景観評価にフラクタルを利用できる可能性を示唆している。ここでは、こうした背景のもと、フラクタルによる自然らしさの景観評価を試みた。

(2) フラクタル解析

フラクタル解析の詳細については各種の文献があるのでそちらを参照してもらうこととし、ここでは、本検討で用いたスケール変換解析法とパワースペクトル解析法、及びボックスカウンティング法について述べる。

スケール変換解析法及びパワースペクトル解析法は色彩の解析に用い、ボックスカウンティング法は形状の解析に用いた。



写真画像 (RGB 座標系)

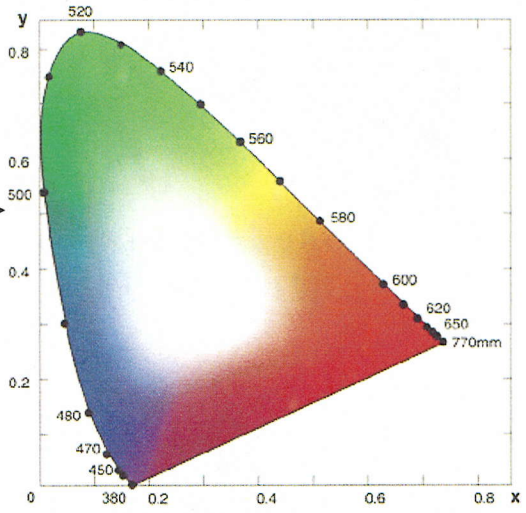
Eq. $r=R/(R+G+B), g=G/(R+G+B), b=B/(R+G+B)$

$x=(0.49r+0.31g+0.2b)/m$

$y=(0.17697r+0.8124g+0.01063b)/m$

$z=(0.01g+0.99b)/m$

$m=0.66697r+1.1324g+1.20063b$

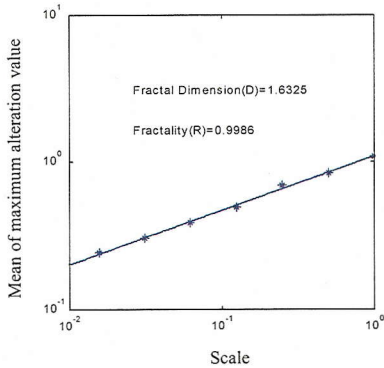


CIE 座標系 (x,y)

(a) RGB 画像の CIE 座標変換

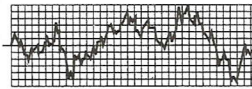


スケール変換解析

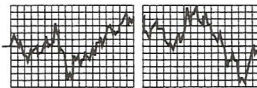


時間的 (空間的) に分割していく

スケール

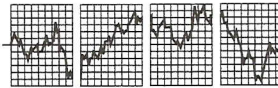


最大変動値 12



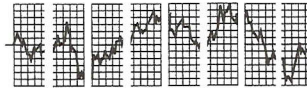
1/2

最大変動値 10 最大変動値 11.5
最大変動値の平均 10.75



1/4

最大変動値 8.5 10 6.75 10.5
最大変動値の平均 8.938



1/8

最大変動値 4 8.5 5.5 5 4.75 6.75 8.5 5.75
最大変動値の平均 6.094

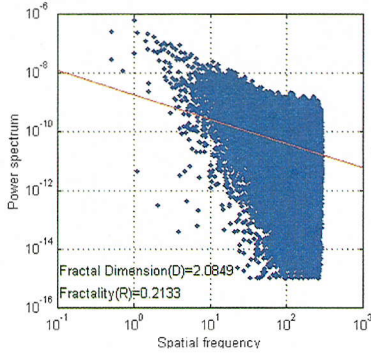
スケール変換解析の考え方¹³⁾

(b) スケール変換解析による景観の色彩解析

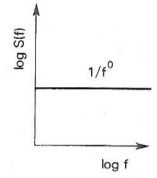
図-1 色彩と形状のフラクタル解析の例



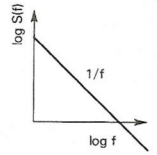
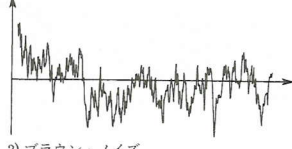
二次元離散コサイン変換
 ↓
 パワースペクトル解析



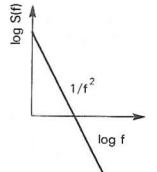
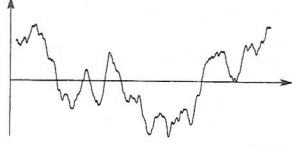
1).ホワイト・ノイズ



2).ピンク・ノイズ (1/f ノイズ)



3).ブラウン・ノイズ

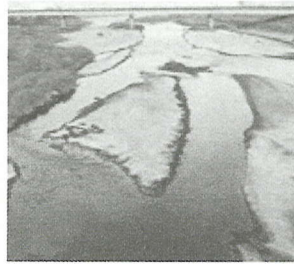


パワースペクトル解析結果の考え方 14)

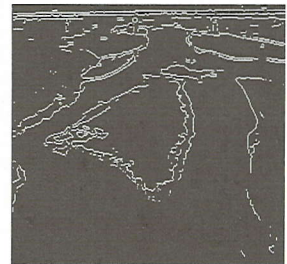
(c) パワースペクトル解析による景観の色彩解析



RGB 画像

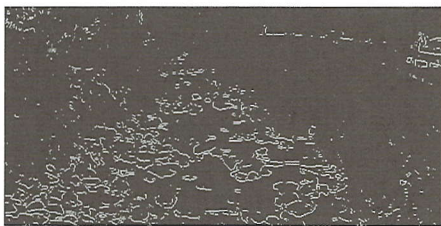


グレースケール画像



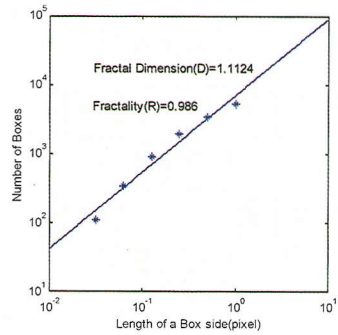
エッジ処理画像

(d) RGB 画像からのエッジ抽出処理



エッジ処理画像

⇒
 ホックスカウン
 ティング法



(e) ボックスカウンティング法による景観の形状解析

図-1 色彩と形状のフラクタル解析の例

色彩の解析にあたっては、コンピュータ上で取得されている画像の RGB 座標値を、人間の色の感覚に近いとされている CIE 座標系の xyz の値に変換したものをを用いる(図-1(a)).

a) スケール変換解析

スケール変換解析法は、以下のような方法である。まず、画像全体の CIE 座標上において、3つの原点(それぞれ赤色、緑色、青色を原点とする)から各ピクセルの持つ色までの距離を求める。そして、あるスケール S を定め、そのスケールにおいてそれぞれの原点からの距離の最大値と最小値の差(原点距離の差)を算出する。最後に、この3種類の原点距離の差の中で、最大の値を最大変動値とし、あるスケール S での最大変動値の平均 \bar{L} が、

$$\bar{L} \propto S^{(2-D_{cs})}$$

の関係になった時の D_{cs} が「色彩のスケールのフラクタル次元(ここではスケール次元と呼ぶ)」であり、その相関係数 R_{cs} が「色彩のスケールのフラクタルティエー」である。

この解析は、具体的には次のようなことを行う。

r, g, b 座標系における赤色、緑色、青色は、それぞれ(1,0,0), (0,1,0), (0,0,1)という点で表されるが、CIE xyz 座標系においては、これらはそれぞれ、(0.68969,0.26533,0), (0.27375,0.71741,0.0088308), (0.19875,0.0088537,0.82457)となる。これを原点として、画像上のある画素の色彩(x,y,z)との差を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} \delta r &= \sqrt{(x-0.68969)^2 + (y-0.26533)^2 + z^2} \\ \delta g &= \sqrt{(x-0.27375)^2 + (y-0.71741)^2 + (z-0.0088308)^2} \\ \delta b &= \sqrt{(x-0.19875)^2 + (y-0.0088537)^2 + (z-0.82457)^2} \end{aligned}$$

$A \times B$ 画素の元の画像をスケール S で分割したときに、 $\alpha \times \beta$ 画素の小さな画像が $(1/S)^2$ 個できるとする。このとき、この小さな画像の中にある $\alpha \times \beta$ 画素のそれぞれの $\delta r, \delta g, \delta b$ の内、最大の $\delta r, \delta g, \delta b$ を、それぞれ $\max \delta r, \max \delta g, \max \delta b$ とし、最小の $\delta r, \delta g, \delta b$ を、それぞれ $\min \delta r, \min \delta g, \min \delta b$ とする。

原点距離の差は、これより、

$$\begin{aligned} \Delta r &= \max \delta r - \min \delta r \\ \Delta g &= \max \delta g - \min \delta g \\ \Delta b &= \max \delta b - \min \delta b \end{aligned}$$

と定義する。そして、最大変動値 L はこの $\Delta r, \Delta g, \Delta b$ の内の最大値をとる。すなわち、

$$L = \max[\Delta r, \Delta g, \Delta b]$$

である。これより元の画像全体に対する最大変動値の平均 \bar{L} は

$$\bar{L} = \frac{(1/S)^2}{\sum_{i=1}^N L_i} / (1/S)^2$$

となる。

よって、スケール次元 D_{cs} は、以下のように定義できる。

$$2 - D_{cs} = \lim_{S \rightarrow \infty} \frac{\log \bar{L}}{\log S}$$

b) パワースペクトル解析

パワースペクトル解析では、画像の1画素が持っている CIE 座標上の位置ベクトルの大きさを、その画素の値とした。画像は2次元平面であるから、波数におけるスペクトル密度、すなわちパワースペクトル $S_p(f)$ を求めるにあたっては2次元離散コサイン変換を行って求め、波数は空間合成周波数 f とし、スペクトル密度 10^{-15} 以上の空間合成周波数を対象として、 $S_p(f)$ と f との両対数グラフ上の傾き -1 から「色彩のスペクトルのフラクタル次元(ここではスペクトル次元と呼ぶ) $D_{cp} = (5 - \lambda) / 2$ 」が求まり、その時の相関係数 R_{cp} が「色彩のスペクトルのフラクタルティエー」である。

具体的には次のようなことを行う。

1つの画素が持っている CIE xyz 座標上の色の値(x,y,z)の位置ベクトル \vec{v} の大きさは、

$$|\vec{v}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

取り扱う二次元平面画像を $A \times B$ 画素とし、その画像は上記の位置ベクトルの大きさを持つ関数 $f_i(\alpha, \beta)$ で表せるとすると、2次元離散コサイン変換は、

$$F_c(\mu, \nu) = \frac{2}{\sqrt{AB}} \kappa(\mu) \kappa(\nu) \sum_{\alpha=0}^{A-1} \sum_{\beta=0}^{B-1} f_i(\alpha, \beta) \cos\left\{\frac{\pi\mu}{2A}(2\alpha+1)\right\} \cos\left\{\frac{\pi\nu}{2B}(2\beta+1)\right\}$$

ここで、 μ : α 方向の空間周波数、 ν : β 方向の空間周波数である。また、 $\kappa(a)$ は以下のようになる。

$$\kappa(a) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & a = 0 \text{ のとき} \\ 1 & a > 0 \text{ のとき} \end{cases}$$

画像 $f_i(\alpha, \beta)$ における2次元離散コサイン変換 $F_c(\mu, \nu)$ は、 α - β 平面の空間領域を μ - ν 平面の周波数領域に変換することを意味する。この変換 $F_c(\mu, \nu)$ は、次のような複素関数としても表せる。

$$F_C(\mu, \nu) = R(\mu, \nu) + jI(\mu, \nu)$$

ここで、 $j = \sqrt{-1}$ である。

従って、スペクトル密度 $S_p(\mu, \nu)$ は、

$$S_p(\mu, \nu) = |F_C(\mu, \nu)|^2 = \{R(\mu, \nu)\}^2 + \{I(\mu, \nu)\}^2$$

となる。このままでは、 $\mu \cdot \nu$ 平面上の波なので、空間周波数 μ, ν の2乗した平均を合成周波数 f として、スペクトル密度を $S_p(f)$ に変換する。

つまり、合成周波数 f を以下のように定義する。

$$f = \sqrt{\mu^2 + \nu^2}$$

よって、スペクトル次元 D_{cp} は、以下のように定義できる。

$$2D_{cp} - 5 = \lim_{f \rightarrow 0} \frac{\log S_p(f)}{\log(1/f)}$$

c) ボックスカウンティング法

ボックスカウンティング法は、その名の通り、空間内のボックスの数を数える方法である。この方法では景観の形状を評価する。図-1(d)に見られるように、まず、写真画像の輪郭処理(エッジ処理)を行い、景観を形成している輪郭の形態を把握する。この時画像全体を覆う格子を考える。1つの格子をある大きさ($\gamma \times \gamma$)に区切ったとき、輪郭部を含む格子の数を M を数えていく。これを両対数グラフ上にプロットした時に、その傾きの絶対値が「形状のフラクタル次元(ここではボックスカウンティング次元と呼ぶ) D_0 」であり、相関係数 R_0 が「形状のフラクタルティール」である。

以上のことを式で表せば以下のようになる。

$$D_0 = \lim_{\gamma \rightarrow 0} \frac{\log M(\gamma)}{\log(1/\gamma)}$$

(3) 各種フラクタル解析の違い

ここでは、前述した3つの方法を用いて、自然らしい景観の評価について検討する。

色彩に関するフラクタル解析においては、これまでにあまり多くの例がなく、どの手法が色彩の特徴を捉えるのに最も適した手法であるかはわかっていないのが現状である。一方、形状に関しては、その多くがボックスカウンティング法を用いており、この方法が有効と考えられている。

このようなことから、ここでは、色彩のフラクタル解析として、スケール変換解析とパワースペクトル解析の2種類を用いた。この他にも小川らの用いたセミバリオグラム解析も色彩を解析する上で、ある程度有効な手段と考えられるが、縦横の方向性を

考える必要のある関数を取り扱うので画像の持つ方向性が問題となる。ここでは、その方向性までは検討しないで論じるために、このセミバリオグラム解析は用いなかった。

これらの色彩に関するフラクタル解析が、それぞれ何を意味するのかをここでは考えたい。

一般に、大野¹⁵⁾が示したように、フラクタル次元には、パラメータの取り方だけ異なった次元が存在する。対象物が同じであってもパラメータをどうとるかでフラクタル特性(フラクタル次元やフラクタルティール)は異なる。例えば、ある平面内に分布する点を解析する場合でも、それをボックスカウンティング法で解析する場合と情報エントロピーで解析する場合とは異なるフラクタル特性を示す場合が多い。これは大野¹⁵⁾によれば、次のようなことが原因である。

ボックスカウンティング法による次元 D_0 は、以下のように定義できた。

$$D_0 = \lim_{\gamma \rightarrow 0} \frac{\log M(\gamma)}{\log(1/\gamma)}$$

一方、情報エントロピーによる次元 D_1 は、以下のように定義される。

$$D_1 = \lim_{\gamma \rightarrow 0} \frac{H(\gamma)}{\log(1/\gamma)}$$

ここで、情報エントロピー $H(\gamma)$ は、次式により求められる。

$$H(\gamma) = -\sum_i P_i(\gamma) \cdot \log P_i(\gamma)$$

ここで、 $P_i(\gamma)$: i 番目の格子($\gamma \times \gamma$ の大きさ)に含まれる点の確率である。

各格子の中に含まれる点の数が同じ場合には、点を含む格子の総数が $M(\gamma)$ であるから、 $P_i(\gamma) = 1/M(\gamma)$ となり、どのボックスも同じ確率なので、 $H(\gamma) = \log M(\gamma)$ となる。したがって、この場合には $D_0 = D_1$ となるが、通常の点の分布の場合、各格子の中に含まれる点の数は同じではなく、確率 $P_i(\gamma)$ は i の値によって異なる。したがって、 $D_0 \neq D_1$ となる。

高安¹⁶⁾によれば、対象物が同じ場合でも取り扱うパラメータが異なるフラクタル次元においては、以下のような不等式が成り立つことを述べている。

$$D_q \leq D_1 \leq D_0 \leq d$$

ここで、 d : ユークリッド次元、 D_q : q 次の情報次元である。

ここで用いた色彩のフラクタル解析も、これと同じようにパラメータが異なるので、そのフラクタル特性も異なることは何ら矛盾を含むものではない。

表-1 フラクタル解析結果

		平均	標準偏差	備考
人工的な 河川	色彩のスケール次元	1.720	0.075	全10ヶ所
	スケールのフラクタリティー	0.991	0.006	
	色彩のスペクトル次元	2.149	0.197	
	スペクトルのフラクタリティー	0.179	0.098	
	ボックスカウンティング次元	1.156	0.073	
	形状のフラクタリティー	0.990	0.004	
自然な 河川	色彩のスケール次元	1.765	0.053	全25ヶ所
	スケールのフラクタリティー	0.986	0.013	
	色彩のスペクトル次元	2.088	0.172	
	スペクトルのフラクタリティー	0.205	0.083	
	ボックスカウンティング次元	1.130	0.050	
	形状のフラクタリティー	0.986	0.003	

スケール変換解析については、CIE 座標上の原点からの距離を表したものであるのに対して、パワースペクトル解析は CIE 座標のベクトルの大きさを表している。従って、まず色彩の捉え方が異なる。さらに、スケール変換解析では画像を通常の空間領域で捉えているが、パワースペクトル解析では画像を周波数領域で捉えている。このように同じ色彩を捉えていても、その扱い方は異なったものとなっている。さらに、パワースペクトル解析で得られるフラクタル次元とゆらぎ解析で用いられる $1/f$ とには関連性が見られることが知られているが、それ以外のパラメータにより解析されたフラクタル次元との関連性はないと考えられている。

本論では、こうした点を踏まえて各種のフラクタル特性について検討した。

3. 実際の河川景観の自然らしさ

(1) 使用データ

小川らが示したように、自然な河川景観と街路舗装景観との違いが、フラクタル次元やフラクタリティーの違いとして表れる可能性がある。そこで、近年生物環境にやさしく、景観の観点からも良いといわれている多自然型工法¹⁷⁾¹⁹⁾で取り上げることが多い河川景観についての検討を行った。

河川景観を評価する上で、三重県内の 60 ヶ所の地点を例に取り上げた。これらの地点の景観を写真に撮り、512×256 ピクセルのデジタル画像にし、色彩及び形状のフラクタル解析を行った。なお、写真の撮影にあたっては、季節的な影響を省くために同一時期(秋季)に撮影し、昼間のなるべく晴れた日を選んだ。

また、これらの画像について、人の受ける印象を把握するためのアンケート調査(実際に画像を被験者に見てもらいその印象を聞く調査)を実施した。ここでは、一般的な SD 法を実施することを目的としたアンケート調査ではなく、土木工学、特に景観を専門とする学生 5 名を対象者としたデルファイ法によるアンケート調査を実施した。

デルファイ法は未来予測の手法の一つとして良く知られている。この手法は、同じアンケート(質問)を複数回にわたって(通常は 3 回程度)、対象者を同じにして行うものである。2 回目以降のアンケート調査時には、前回実施したアンケート結果を対象者に提示して、その結果を踏まえたアンケートを行う。これによって、アンケート対象者の意見のばらつきを小さくしていくことができる。未来予測は、それ

ぞれの専門家により意見が異なり、意見をまとめ専門家のコンセンサスを得た予測をすることが難しい。そこで、専門家同士の意見のばらつきを小さくし、予測を立てやすいようにするために、このデルファイ法が用いられることになる²⁰⁾。景観が自然であるか人工的であるかという命題も未来予測と同じように、人による意見のばらつきが大きい。従って、一般にアンケート対象者を多くし、その平均を探る方法が用いられるが、対象者を多く取れないような場合などにも、このデルファイ法が有効な手法となる。

このデルファイ法による調査では、60 ヶ所の画像を最終的に人工的な河川、比較的人工的な河川、比較的自然な河川、自然な河川の 4 種類に分類できるように 3 回のアンケートを実施して、5 名のそれぞれの評価(つまりは、4 つの分類の結果)を収斂させた。なお、このデルファイ法によって得られた分類結果は、その後実施した 44 名を対象とした一般的なアンケートの結果による分類とほとんど変わらない結果を得た。

アンケートの結果、60 ヶ所の河川景観は、人工的な河川が 10 ヶ所、比較的人工的な河川が 14 ヶ所、比較的自然な河川が 11 ヶ所、自然な河川が 25 ヶ所に分類された。

以上の方法によって求められた、フラクタル解析結果とデルファイ法によるアンケート結果を図-2~4 に示す。図-2 はスケール変換解析法による色彩の解析結果、図-3 はパワースペクトル解析法による色彩の解析結果、図-4 はボックスカウンティング法による形状の解析結果である。また、表-1 に人工的な河川と自然な河川のフラクタル特性の平均と標準偏差を示した。

(2) スケール変換解析法

まず、スケール変換解析の結果である。

図-2 に見られるように、自然な河川がスケール次元、スケールのフラクタリティー共に高い値に集中している(図中右上の楕円は、自然+比較的自然な河川 36 ヶ所の内の約 63%が含まれる。この楕円は、

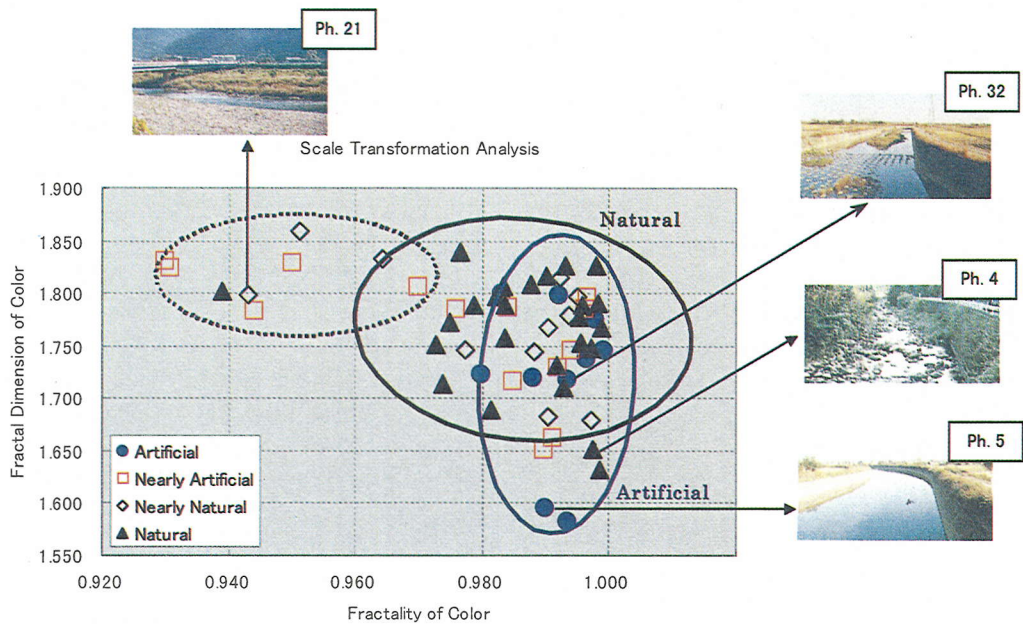
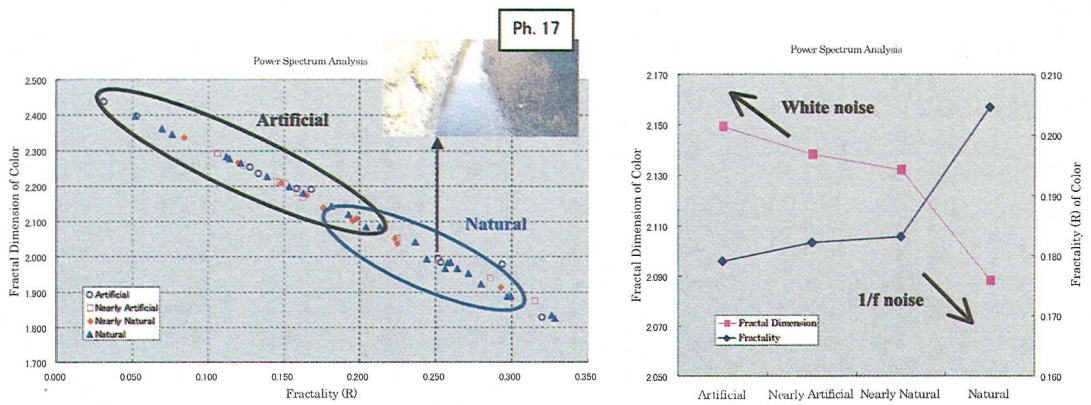


図-2 河川景観における色彩のスケール変換解析結果



(a) 色彩のスペクトルのフラクタルティとフラクタル次元

(b) 河川景観の状況とフラクタル特性

図-3 河川景観における色彩のパワースペクトル解析結果

自然な河川だけについてみた場合の、スケール次元とスケールのフラクタルティの平均 m と標準偏差 σ における $m \pm 2\sigma$ の時の同時確率密度関数の範囲の楕円である)。一方、人工的な河川については、自然な河川とはやや異なり、スケール次元がやや小さくなる(この楕円も、同じく $m \pm 2\sigma$ の楕円)。

スケールのフラクタルティだけに注目すると 0.970 以下に集まっている写真(図中左の点線の楕円の範囲)は Photo 21 のように自然が多い中にギザギザした人工物が存在しているのがみられる。事例は少ないが、これらの人工物の影響で色彩のまと

まりがなくなり、フラクタルティが低くなったと考えることもできる。

スケール次元に注目すると低い値をもつ河川(図中右下の楕円の範囲)は Photo 5 に代表されるように、堤防などによって規則正しく色が集まっている人工的な河川、または、自然な河川でも Photo 4 のような同色系で成り立っているものが含まれている。

以上のようにフラクタルティやスケール次元が小さい景観は、人工物等、何らかの関係で周辺の景観との調和が悪くなった景観の可能性はある。

Box Counting Method

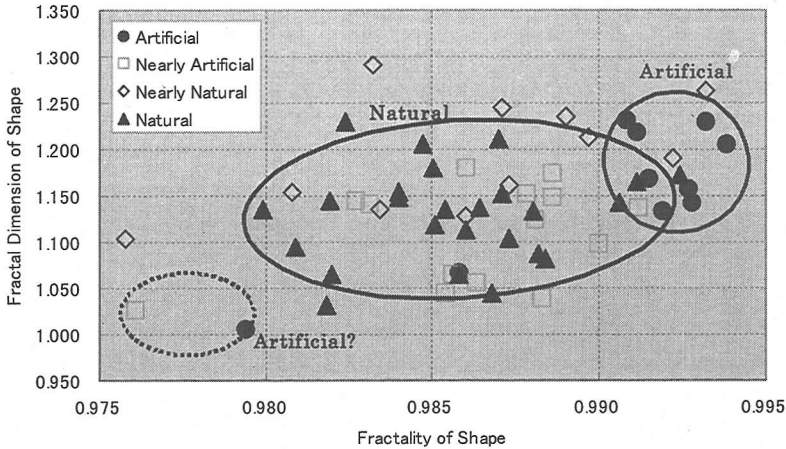


図-4 河川景観における形状のボックスカウンティング法解析結果

(3) パワースペクトル解析法

次に、パワースペクトル解析法による結果である。

図-3(a)には、自然な河川と比較的自然な河川に分類した全 36ヶ所の内の約 58%を含む範囲と、人工的な河川と比較的人工的な河川に分類した全 24ヶ所の内の 60%を含む範囲を示した。つまり、自然と人工のそれぞれが 6割程度含まれる範囲がどこになるのかを示したものである。

この図を見ると自然な河川がスペクトル次元 2 の付近に多く集まっている。特に、景観が良いと思われる河川はスペクトル次元が 2 付近に位置している。一方、人工的な河川は自然な河川と比較するとスペクトル次元が全体的に高い値を示している。

図-3(b)は、河川の状況の 4つの分類毎のスペクトル次元とスペクトルのフラクタリティーの平均を取ったものである。これに見られるように、人工物から自然に移るに従ってスペクトル次元が 2 に近づき一方、スペクトルのフラクタリティーは増加していることがわかる。

なお、パワースペクトル解析の場合、他のフラクタル解析に比べて、フラクタリティーの値が一般的に小さくなる。特に、空間合成周波数を用いた場合には、通常解析よりも非常に小さなフラクタリティーとなる。

(4) ボックスカウンティング法

最後に、形状の解析結果である。

図-4に見られるように、形状のフラクタリティーが高い値の部分に人工的な河川が集まっていることが特徴的である(右上の楕円の範囲で、人工的な河川の 80% : この 80%のデータだけを取ったボックス

カウンティング次元の平均 1.186, 形状のフラクタリティーの平均 0.992 を用いた時の $m \pm 2\sigma$ の範囲)。一方、自然的な河川はフラクタリティーが低いものから高いものまで存在する(中央の楕円で囲まれた範囲 : 自然な河川の $m \pm 2\sigma$ の範囲)。ただし、人工的な河川及び自然な河川のいずれの値を見ても、形状のフラクタリティーは全体的に 0.970 以上と高い値を示し、高い値の中での違いとも言える。

ボックスカウンティング次元に着目した場合には、人工的な景観では、やや高い値の他、ごく一部ではあるが非常に低い値を示しているものもある。これに対して、自然な景観はその中間の値を示している。

なお、ここで示される形状のボックスカウンティング次元は 1.000~1.300 と比較的小さな値を示している。ボックスカウンティング法で求めたフラクタル次元は、その値が 2 であれば平面を覆い尽くした点の集合であることを示しているが、ここで求められた形状のフラクタル次元は 1.300 以下と小さく一見すると計算を間違ったのではないかと思いがちである。しかしながら、大野ら²¹⁾が示したように割れ目の粗さ 10 という極めて大きな凹凸形状を示すものでもその粗さのフラクタル次元は 1.05 程度、河川の水際線の場合も最大 1.10 程度となり、1 に近い値を示していることが知られている。

今回の河川景観を画像から抽出した形状は、水際線や人工物の輪郭など、線的なものの集合である。従って、形状としては、線の集合となっており、面を覆うほどのものは存在するとは考えにくいので、ここに示す程度の次元の値となることは十分考えられることである。

大野¹⁵⁾が述べたように、フラクタル次元というも

のは、そのパラメータの取り方を理解し、ものの考え方に注意しないと、何を取り扱っているのかがわからなくなる場合がある。特に、これまでどのような次元もフラクタル次元と単に呼ばれていたのに、そのパラメータの取り方に留意されてこなかった傾向がある。従って、これまでに報告されているフラクタル次元を、パラメータに留意しないで比較し論じるのは禁物である。

ここで用いた画像から抽出された形状は、ある一定のしきい値のもとでの輪郭の抽出(エッジ処理)である。従って、このしきい値の取り方によって輪郭の出方は異なってくる。ここで比較をしたいのは、けしてフラクタル次元の絶対値ではなく、あるしきい値のもとでの、自然な景観と人工的な景観との比較である。ゆえに、しきい値の取り方を一定にすることで、その比較は十分に事足りるものと考えられる。

次章では、こうした考え方にたつて、ここで求められたフラクタル特性について考察する。

4. 考察

(1) 色彩からみた景観

ここで示したフラクタル解析によって、自然な河川と人工的な河川との間にある程度の違いがみられたことは、小川らが示したものと同様に色彩において人工的な景観と自然な景観との違いをフラクタル特性で区別できる可能性を示唆している。

しかしながら、これは一概に言えるものではない。スケール変換解析の結果である図-2のPhoto32等のように、人工物が、周辺と違和感の無い色彩を呈していれば(形状は別として)、フラクタル性は十分に高い値を示す。このことは、人工物でも周辺と調和のとれたものとそうで無いもので、フラクタル性の違いで区別ができる可能性もあることを示している。

一方、パワースペクトル解析によって得られたフラクタル次元は、その値が2に近いほど、「1/fゆらぎ」となり人間にとって心地よいものとなることが知られている。また、フラクタル次元が2.5のときはホワイトノイズとなり、次元が2よりも大きくなるほどランダムさが増すことを意味し、1.5のときはブラウンノイズとなり、次元が2よりも小さくなるほど単調さが増すとされている²²⁾。

このことからスペクトル次元が2付近の河川は色の配置が人間にとって心地よいものとなっており、景観の視点から考察しても良いものとなっているも

のと思われる。

こうした観点から図-3の結果を見ると、自然な景観ほど1/fゆらぎに近くなる傾向があり、人間にとって心地よい色彩のばらつきとなっている。

後藤・亀谷²³⁾の研究においても、整備後に感じの良くなった公園景観において、色彩のパワースペクトルが1/fゆらぎを示す可能性が指摘されている。

ただし、このパワースペクトル解析の場合にも、スケール変換解析同様、自然な河川景観と人工的な河川景観を一概に区別することはできない。Photo17等のように人工的な景観もほぼ1/fゆらぎを示すことがある。小川らの色彩のセミバリオグラム解析による研究においても、街路景観と自然景観とをフラクタル次元とフラクタル性から区分しているが、やはり自然景観に近いグループに入る街路景観が存在している。

こうしたことは、人工的な景観の中にも自然な景観のように良い印象を与える色彩配置のものがあり、そうした景観の場合に自然な景観グループに近いフラクタル特性を示すのではないかと考えられる。こうした点については、今後他のアンケート項目も考慮に入れSD法等を組み合わせてより詳細に検討して行く必要がある。

以上の結果に見られるように、色彩の観点からは、それが人間にとって感じの良いものであれば、色彩のスペクトルのフラクタル性は高く、1/fゆらぎないしはそれに近いゆらぎを示す。一方、違和感のある人工物などが存在する場合には、色彩のスペクトルのフラクタル性は低く1/fゆらぎからはずれだす、といった傾向が見られる。このことは、色彩のフラクタル特性を利用して、周辺環境と調和した色彩であるかどうかの評価が行えることを示唆している。

なお、スケール変換解析及びパワースペクトル解析ともに、今回のデータでは自然な河川と人工的な河川との明確な区別はできなかった。従って、どちらの解析が色彩に適しているのか(言い換えれば、色彩の何に着目するのが最も良いのか)を明確に判断することはできていないので、今後、SD法等を組み合わせた検討を通して、この点についても検討する必要がある。

(2) 形状からみた景観

大野²⁴⁾は、河川を平面的に見れば、その形状と配置が人工物であるものと自然であるものとは、フラクタル性とフラクタル次元が異なることを指摘している。これは、河川景観として河川を横から見た場合にもフラクタル理論を用いて形状の自然らしさ

を評価できる可能性を示唆している。

また、小川らの街路景観の研究においても；自然な景観と人工的な街路景観・カラー舗装ともに形状のフラクタル性は高いことが示されている。一方、形状のフラクタル次元はカラー舗装の方が自然な景観・街路景観よりも高いが、自然な景観と街路景観ではほとんど同じ次元であることが示されている。

本研究では、自然な河川景観と人工的な河川景観は、共にフラクタリティーは高いが、人工的な河川は、自然な河川よりもフラクタリティーがより高い値を示している。またごく一部ではあるがフラクタリティーが自然な河川よりも小さな人工的な河川も存在している。一方、ボックスカウンティング次元については、自然な河川で 1.130、人工的な河川で 1.180(人工的な河川の8割)と 1.037(人工的な河川の2割)となり、自然な河川よりも人工的な河川の方が、やや高いかやや低い次元となっている。

小川らの結果が示すように、人工的なカラー舗装は色彩が周辺と明らかに異なり、輪郭線が自然景観よりも明確に表れることが考えられる。これに対して、自然な河川景観では、色彩の差が明瞭に表れないような景観が多く、輪郭線が不明瞭な部分が多くなる。本研究とのしきい値との違いがあり、次元の絶対値の比較はできないが、こうした理由から、自然景観の中央値が 1.5、カラー舗装の中央値が 1.8 と大きな差が示されたと考えられる。

これに対して、本研究で扱った河川景観は、人間が人工的と感じた景観でも、明瞭な色彩の差(特に彩度の面で)が表れにくいと考えられる。このため、小川らのカラー舗装と自然景観ほどの差が現れていない。同様に、小川らの結果でも街路景観と自然景観を比べた場合には、やや街路景観の方が大きい、ほぼ同じ次元となっている(街路景観の中央値が 1.55、自然景観の中央値が 1.50 である)。

形状のフラクタリティーについてみた場合、小川らのそれは1近くとしか示されず、その細かい値が論じられていない。そのため、本研究との比較はできないが、ここでの結果も河川景観の全ての形状のフラクタリティーが 0.975 以上であり、小川らの結果と同様ほぼ 1 に近い値と考えることもできる。

しかしながら、大野ら²¹⁾の示した形状のフラクタリティーは、対象は異なるが同じように 0.970 以上と大きな値を示し、その中での違いが論じられている。従って、形状のフラクタリティーの違いを論じる場合には、大きな値の中での違いを論じる必要があると考えられる。

以上のようなことを考慮に入れると、人工的な河川景観については、次ぎのように考えることができ

る。

コンクリート構造物などの角ばったものをボックスカウンティング法で解析しても、角ばったものは角ばったものとしてフラクタリティーは自然な景観と同様に高い値を示す。一方、人工であるがゆえに、余りにも複雑な角ばかりかたになると自然のボックスカウンティング次元とは異なりやや大きな値をとり、そのために輪郭線の面を埋める割合が増しフラクタリティーは高くなる傾向が示される。逆に余りにも単調な角ばかりかただとやや小さな次元となり、そのために面内のある箇所だけに輪郭線が現れるという偏りが生じるのでフラクタリティーがやや低下するということが考えられる。

以上のことから、この場合の河川景観では、自然な景観のボックスカウンティング次元及びフラクタリティーは中庸的な値を示し、人工的な景観はそれよりも大きすぎるか小さすぎる値となったのではないかと考えられる。

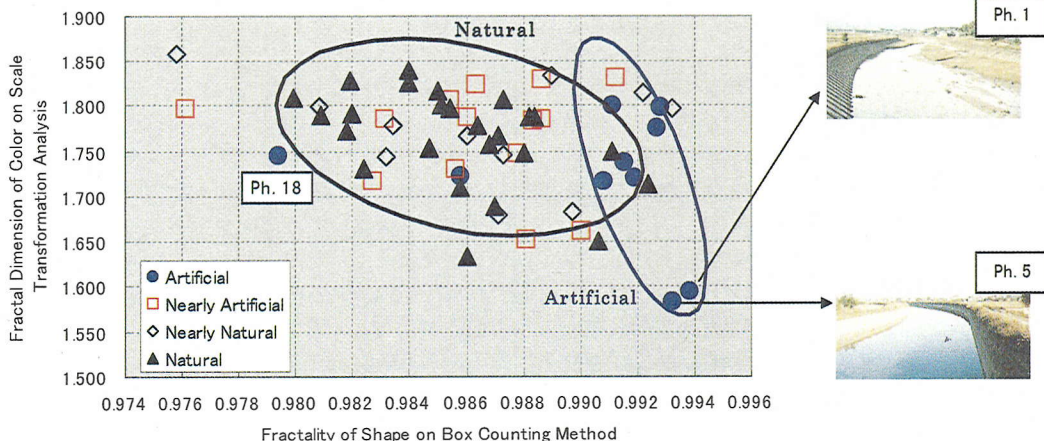
(3) 河川景観の評価

前節までは、色彩と形状を分離して考察した。しかし、景観において、形状と色彩は簡単に分離できないもので、人間はこの二つを同時に評価している。従って、本来、河川景観を評価しようと言う場合には、形状と色彩を同時に評価する必要がある。

図-5(a)はボックスカウンティング法による形状のフラクタリティーとスケール変換解析による色彩のスケール次元との関係図である。非常に人工的な河川(右側の大きな楕円の範囲で人工的な河川の内の 80%が含まれる:この 80%のデータにおける形状のフラクタリティーとスケール次元の平均を中心とした $m \pm 2\sigma$ の楕円)でも形状はフラクタル性が良く成り立つが、その中でも色彩が単調である Photo1, 5 はスケール次元が低い値を示しており特に人工的な河川景観であることがわかる。形状のフラクタリティーが 0.986 付近で色彩のスケール次元が高い値を示している集合(真ん中の楕円の範囲で自然河川の 92%、比較的自然的な河川の 72%を含む:この楕円は自然な河川の $m \pm 2\sigma$ の楕円)は自然な河川が多い。一方、形状のフラクタリティーが 0.980 以下まで下がると図に見られるように景観の良さがなくなってくるのではないかとと思われる。

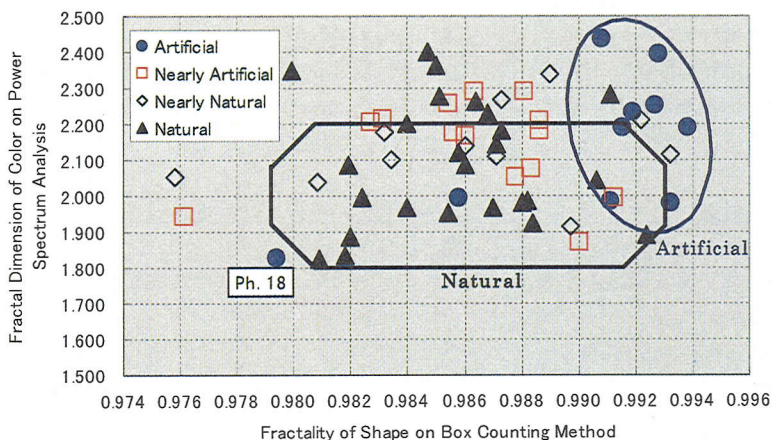
図-5(b)はボックスカウンティング法による形状のフラクタリティーとパワースペクトル解析による色彩のスペクトル次元との関係図である。前述したように自然な景観のスペクトル次元は 2 に近い値を示す。そこで、試みにスペクトル次元が 1.800~2.200 の自然な河川の範囲を抽出すると、図中の中

Box Counting Method and Scale Transformation Analysis



(a) 形状のフラクタリティーと色彩のスケール次元

Box Counting Method and Power Spectrum Analysis



(b) 形状のフラクタリティーと色彩のスペクトル次元

図-5 河川景観における形状と色彩のフラクタル解析結果

中央付近のような矩形の範囲となる。この矩形で囲まれる範囲には、自然な河川の内72%が含まれ、そのほとんどが $1/f$ ゆらぎかそれに近いゆらぎを示しており、心地よい色彩配置となっていると考えられる。このとき、形状のフラクタリティーは 0.980~0.993 の範囲に含まれ、図-5(a)の場合とほぼ一致する。これに対して、人工的な景観の80%は形状のフラクタリティーが 0.990 以上で色彩のスペクトル次元も自然な河川より大きなものが割合として多く(図中の右の楕円で人工的な河川は全体の80%を含む)、自然な景観とは異なったフラクタル特性を示す。

このように自然な河川と人工的な河川をみた場合には、フラクタル特性の違いによりある程度の区分

が可能と思われるが、比較的自然的な河川や比較的人工的な河川といったグレーゾーンは、区別がしにくい。この傾向は、図-2~図-5のすべてに当てはまる傾向であり、人間がやや中途半端な判断をしたものについては、フラクタル特性のばらつきが大きいことを示している。

一方、小川らの結果では、色彩のフラクタル次元(セミバリオグラム次元)が人工的な街路景観と自然な河川景観とで大きく異なり、自然な河川景観の次元のほうが小さい。また、形状のフラクタリティーについては、街路景観・自然景観ともにほぼ1に近い値を示すことを述べている。小川らの場合には、街路景観と自然な河川景観で明確な景観の違いを表

すことができたために、フラクタル特性、特に色彩のセミバリオグラム次元に大きな違いが表れたと思われるが、河川景観の中での自然らしさと人工らしさは、小川らの比較よりも微妙な差を検討することになると思われる。その微妙な差に対して、自然な河川と人工的な河川の両極の河川景観についてフラクタル特性の違いがある程度表れたことは、有意な結果が示されたものと考えられる。

以上示したように、形状のフラクタル特性と色彩のフラクタル特性を組み合わせた場合も、自然な河川景観と人工的な河川景観の区別がある程度できる可能性がある。しかし、自然な景観のグループの中にも人工的な景観が存在するという点は、前述したとおりであり、今後、景観から受ける人の感じ方と合わせて、より詳細に分析する必要がある。

また、今回は河川景観について流軸景・対岸景を分けずに考えたが、この違いも何らかのかたちでフラクタル特性に影響している可能性も考えられ、今後はこの点も含めた詳細な検討が必要となろう。

4. おわりに

ここでは、自然景観を、その形状や色彩などと言った観点に着目し、フラクタル理論を用いた評価手法について検討した。

その結果、景観の持つ形状や色彩について、そのフラクタル特性を利用してより客観的に景観を評価できる可能性がみえてきた。

しかし、河川景観の中での自然な景観と人工的な景観を明確に区分することは今のところ難しい。これは、フラクタルによる景観評価が、周辺環境との調和や心地よさといったところまで評価し、人工的な景観でも、調和の取れたものは自然な景観に近い評価になってしまっていることが一つの原因と思われる。

今後は、この結果をもとに、計量心理的な方法であるSD法などをとおして、景観に対する人間の心理的な評価とフラクタルによる定量的な評価との比較を行い、主観性と客観性との関連を検討していく必要がある。これにより、本手法による評価について、景観評価としての適性を検討できる。

また、最近、フラクタルや1/fゆらぎを用いた景観設計の方法がいくつか提案されてきているが(24)~(28)、それらは景観の形状のみに着目したものであり、色彩も含めた総合的な設計支援ツールにはなっていない。これに対して、本研究は、将来的に、フラクタルを用いた景観設計・評価の方法をより総合

的なものにてできると考えられる。

なお、本論文は、科学研究費補助金(基盤研究(B)(1)課題番号11556043)による研究の一部を報告したものである。

参考文献

- 1) 竹林征三：風土工学・意味空間の設計、明日へのJCCA, Vol.199, pp.20-23, April, 1998.
- 2) 萩島哲, 大貝彰, 金俊栄, 岩尾襄：19世紀ヨーロッパ風景絵画にみる都市景観に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.413, pp.83-93, 1990.
- 3) 坂井猛, 出口敦, 朴鍾, 萩島哲, 菅原辰幸：広重の浮世絵風景画にみる景観分類に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.461, pp.165-174, 1994.
- 4) 鳩心治, 萩島哲, 出口敦, 坂井猛, 趙世晨：広重の浮世絵風景画に描かれた河川景観の構図に関する一考察, 日本建築学会計画系論文報告集, No.482, pp.155-163, 1996.
- 5) 東久保健次, 山路永司：公園施設の景観イメージ構造の把握, 農業土木学会誌, Vol.62, No.8, pp.729-733, 1994.
- 6) 藤井良夫：景観デザインの数量的評価の一手法, 農業土木学会誌, Vol.62, No.8, pp.723-728, 1994.
- 7) 庄野豊, 井上義之, 中園真人, 中川浩二：高速道路の景観設計評価における評価主体依存性, 土木学会論文集, 第553号/VI-33, pp.93-102, 1996.
- 8) 大野博之：自然物の分布様式による環境評価の試み, 土木学会論文集, 第664号/VII-17, pp.119-126, 2000.
- 9) 長谷川高士, 工藤藤介, 石井将幸：ニューラルネットワークを用いたコンクリートダム景観の定量的評価, 農業土木学会論文集, 179, pp.31-37, 1995.
- 10) 大貝彰, 池田朋子, 萩島哲：遺伝的アルゴリズムを用いた都市景観構成要素配置の評価手法, 日本建築学会計画系論文報告集, No.523, pp.211-218, 1999.
- 11) 小川進, 清原徹也, 阿部忠行：舗装を主体とする街路景観のフラクタル解析, 土木学会論文集, 第520号/V-28, pp.135-141, 1995.
- 12) Bechhoefer, W. and Bovil, C. : Fractal Analysis of Traditional Housing in Amasya, Turkey., Proceedings of the Fourth Conference of the International Association for the Study of Traditional Environments, 1994.
- 13) カール・ボーヴィル：建築とデザインのフラクタル幾何学, 鹿島出版会, 1997.
- 14) H.-O.パイトゲン&D.ザウペ編/山口昌哉監訳：フラクタル・イメージ, シュプリングァー・フェアラーク東京, p.36, 1990.

- 15) 大野博之：地球科学分野へのフラクタルの応用，応用地質，第38巻，第3号，pp.159-173，1997.
- 16) 高安秀樹：フラクタル，朝倉書店，176p.，1986.
- 17) クリスチャン・ゲルディ，福留脩文：近自然河川工法の研究－生命系の土木建設技術をもとめて－，信山社サイテック，1994.
- 18) バイエレン州内務省建設局／編：道と小川のピオトーブづくり，集英社，1993.
- 19) オーバーフランケン行政局，バンベルグ農村整備局／編：私たちの田園－南ドイツの新しい町づくりの考え方と実例－，集英社，1994.
- 20) 例えば，文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向研究センター：第7回技術予測調査，NISTEP REPORTT, No.71，2001.
- 21) 大野博之，安田実，丹澤純：河川構成要素にみられるフラクタル特性の分析，環境情報科学，第26巻，第1号，pp.68-78，1997.
- 22) 武者利光：ゆらぎの発想，pp.24-32，NHK出版，1994.
- 23) 後藤恵之輔，亀谷一郎：空間周波数解析による人
心地よい公園景観の定量化の試み，地盤工学における生態系を考慮した環境評価に関するフォーラム発表論文集，地盤工学会中部支部，pp.39-42，1999.
- 24) 関克己，佐々木春喜，鈴木輝彦，大野博之：自然のフラクタル性を利用した景観設計の検討，環境情報科学，Vol.24，No.2，pp.87-94，1995.
- 25) 関克己，佐々木春喜，鈴木輝彦，大野博之：フラクタルを用いた河川景観の設計支援，土木学会論文集，第555号/IV-34，pp.51-60，1997.
- 26) Ohno,H., Otsuka,Y., Yasuda,M. & Tanzawa,J.: River landscape design using fractal concept, Proc. Inter. Sympo. on Eng. Geology and the Environment, pp.285-291, 1997.
- 27) 小栗ひとみ：1/f ゆらぎを導入した景観設計，土木技術資料，Vol.40，No.2，pp.2-3，1998.
- 28) 徐英大，森本幸裕，守村敦郎：フラクタルを用いた日本庭園のエキスパート CAD システムに関する研究，第12回環境情報科学論文集，pp.137-142，1998.

(2001. 2. 6 受付)

NUMERICAL EVALUATION OF LANDSCAPE BASED ON COLOR AND SHAPE FEATURES

Ken OHNO, Hiroyuki OHNO, Katsushi SUZUKI and Kimiko KASAI

In recent years, landscape designs have been focused on because quality of life had been a main concern of people. However, there are few objective evaluation methods of landscape. Landscape designs depend on subjective evaluations by designers.

The purpose of the study was to develop the objective evaluation method of landscape. The study used fractal measures for appraising color and shape features of landscape. Results indicated that there was a difference between artificial landscapes and natural landscapes. It suggests that the fractal measures can be a practical guide to the landscape design harmonizing with nature.