

# 舗装を主体とする街路景観のフラクタル解析

小川 進<sup>1</sup>・清原徹也<sup>2</sup>・阿部忠行<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京都水道局経営計画部技術開発室主任 (〒163-01 新宿区西新宿 2-8-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 パシフィックコンサルタンツ(株)

<sup>3</sup>正会員 東京都土木技術研究所主任研究員

街路景観の定量的評価をフラクタルにより試みた。景観の評価は色彩と形態の2因子で行い、いずれもフラクタル次元を算定した。この結果、街路景観のフラクタル次元は色彩と形態のいずれも自然景観よりも高く、かつフラクタル性(相関係数)が低いことが判明した。さらに、CADにより環境調和を考慮した街路景観の修景設計を試みたが、フラクタル性は環境調和を定量的に評価しうる量と考えられる。

**Key Words :** CAD, colored pavement, fractal, landscapes, townscapes

## 1. はじめに

近年、景観を考慮した街路等の都市施設の設計が増え、景観設計の指針類<sup>1)~9)</sup>も数多く出版され、景観設計は今や土木技術者にとって必須要件となってきた。しかしながら、一般に景観設計は設計者の主観的な美的感性が前提として行われてきており、設計基準そのものがなじみにくい。そこで、多くの場合、2つの代表的手法が採られている。1つは、計量心理学的手法によるアンケート調査であり、もう1つが、景観シミュレーションである。前者は、SD法<sup>10)</sup>に示されるように、景観に対する個々の主観的な判断の定量化をはかったものであり、多数の被験者の回答から統計的処理により、最終的な決定を下している。それに対し、後者は、CAD等を用いて、竣工予想図をあらかじめ作成し、少数の被験者により是非の判断を下す。両者は相補的に設計に反映されるが、費用と時間がかかる。したがって、設計担当者レベルで、景観を考慮した街路設計を簡便に行える手法が求められている。そこで、著者はこれらの手法を踏まえて、フラクタルによる新たな景観評価手法を提案するものである。

フラクタルとは自己相似性を有する不規則な形態の図形を意味し、自然界の中に多く見出される<sup>11)~13)</sup>。フラクタル幾何学では、形態の複雑さはフラクタル次元で定量的に特徴づけられる。さらに、フラクタルは自己アフィン変動と呼ばれる、不規則なスペクトル波形も対象とする。

一方、人間の視覚は網膜における2つの異なる光受容細胞から視神経を経由して大脳視覚領において対象の形態及び色彩を識別する<sup>14)</sup>。すなわち、大脳への景観の入力

は、この2つの形態及び色彩を感知する光受容細胞からデジタル信号で送られることになる。大脳視覚領においては、これら入力信号の再構成が行われ、生理的、心理的応答により景観に対し、快感や不快感といった感性的な反応が生起される。したがって、形態と色彩の定量的かつ客観的評価が、景観評価にとって重要な因子になると考えられる。

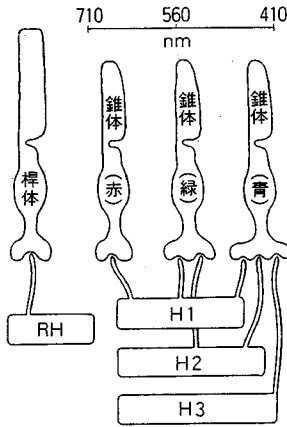
そこで、フラクタル理論により景観の形態及び色彩のフラクタル次元を求めることを試みた。対象は都内の街路、河川及び公園であり、写真撮影したものをイメージリーダによりデジタル情報として解析した。形態についてはRGB信号をモノクロに変換し、ボックスカウンティング法によりフラクタル次元を算定した。色彩についてはCIE色度図<sup>15)</sup>により色座標を与え、2次元空間座標を合わせたアフィン空間上での非整数ブラウン関数でフラクタル次元を算定した。この2つの解析結果をもとに、景観の定量的評価を行った。

本論では、またパーソナルコンピュータによりCAD(Computer Aided Design)を用いた街路設計にも言及した。すなわち、現状の景観に新しい街路をディスプレイ上で合成し、完成予想図を作成し、この景観の評価にフラクタルを用いて、定量的評価を試みた。

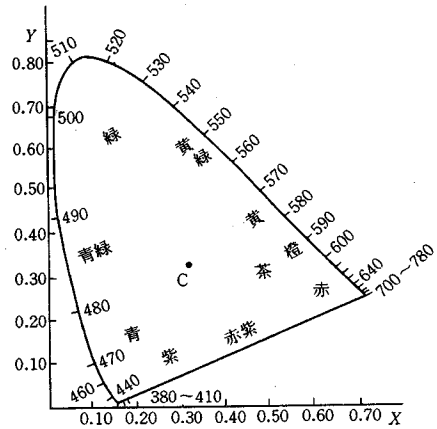
本論は、フラクタル理論による都市景観の客観的、定量的評価、特に街路景観における形態及び色彩の評価を行ったものであり、また、環境に調和した街路景観の設計に1つの手法を提示したものである。

## 2. 視覚構造とCIE色度図

景観は対象の性質だけでは決らない。人間が対象を認



図一 光受容細胞



図二 CIE 色度図

識して初めて景観たりうる。つまり人間の視覚構造が客体たる対象と作用して、画像となり、そこで感性的評価となる。従来、景観工学では、可視、距離、視線入射角、不可視深度、俯角・仰角、奥行および日照等が、視覚構造の指標であった。しかし、近年の色彩および形態心理学の進展に伴い、さらに視神経のマイクロ構造の研究が進み、人間の視覚に対する理解は急速に進展している<sup>14)</sup>。

一つは光の受容機構が解明されたこと、もう一つは色彩心理学により色に対する心理学的応答の種々の仮説が整理され、CIE 色度図が完成したことである<sup>15), 16)</sup>。これらの知見が景観工学に与える影響はきわめて大きいと考えられるので、ここで視覚に関する最近の研究を概説する。

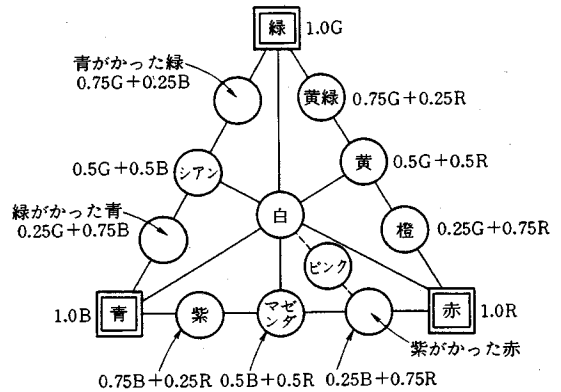
まず、視覚は網膜の光受容細胞で光を受け、電気信号に変換し、視神経を経由し、大脳視覚領に情報を伝達することで生じる。光受容細胞は図一に示すように、明暗に応答する桿体細胞と色相を判別する錐体細胞からなる。

錐体細胞は、赤、緑、青の3つの色を感知し、感度は低い、解像度は高い。しかも網膜の中心、黄点に集中し、狭い視野(2°程度)で色彩の分布に鋭い識別をする。

一方の桿体細胞は、解像度が犠牲にされ、感度の向上がはかれる。また網膜の周辺に分布し、対象の形状の輪郭を広い視野で感知し、その感度は高い。

そのため、景観をながめるとき遠景(遠距離景、視角2~10°)では、対象の形態よりも色の分布の方が感度が高く、中・近景(中距離ないし近距離景、視角10°~)では、逆に色の分布よりも形態の方が感度が高くなる。

CIE 色度図<sup>15)~17)</sup>とは、このような人間の視覚の構造を反映して作成された、赤、緑、青を単位ベクトルとする3次元空間のことである(図二)。任意の色が空間上の点で表現され、光のスペクトルはヨットの帆型の外縁に連続的に位置する。ところが、テレビ等で使用されている色は赤、緑、青の3原色を単位ベクトルにとり、一



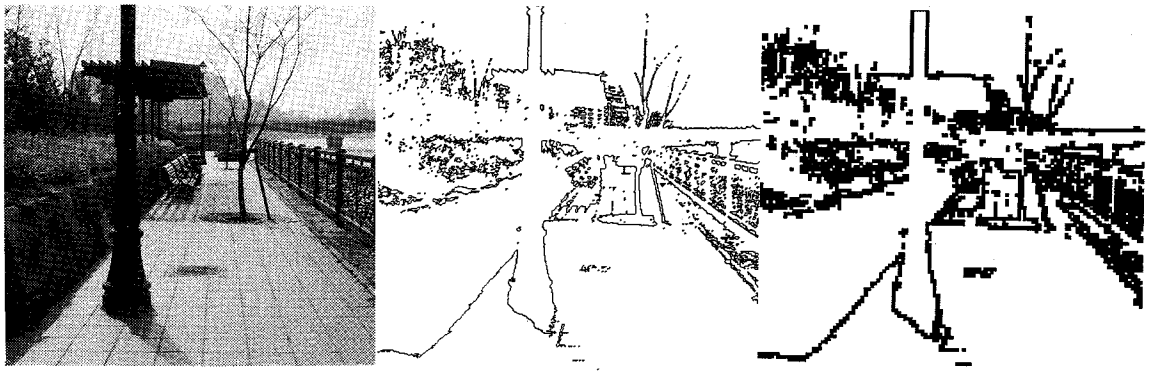
図三 色の3原色(減算混合)

定比率で合成している(図三)。したがって、その分布は線形的であり、人間の視覚構造とは異なる。こうした視覚の非線形性を取り入れるにはCIE色度図に基づく赤、緑、青の単位ベクトルを使用しなければならない。本論では、イメージリーグで読取った色は図三に示す3原色に還元した後、視覚での印象を考慮して、図二に示すCIE色度図で再現した。すなわち、2つの異なる座標系を用いることで、機械的な読取りと人間の視覚とを区別した。

### 3. フラクタル解析

#### (1) 自己相似と1/fゆらぎ

フラクタルは非線形力学系を取扱う理論であり、自己相似な不規則な形状を非整数次元(フラクタル次元)で表示する幾何学であり、その図形も意味する。本論では景観を定量化する手法として使用する。フラクタルは大別して本来の自己相似図形と自己相似を拡張した自己アフィン変動とに分けることができる。自己相似はいうま



図一四 景観からの線情報の抽出

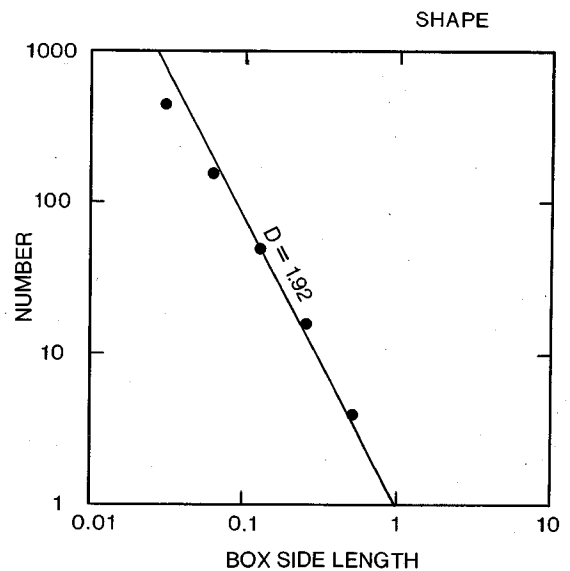
でもなく、縮尺を変えて図形を見ても同形であることで、雲、河川、亀裂等がその例である。自己アフィン変動とは、時系列ないしは空間変動でそのスペクトルが時間軸ないし空間軸の縮尺を変えても同形である変動であり、降雨変動、株価変動等がその例である。ところで景観は、既に述べたように人間の視覚には網膜内の錐体細胞より色彩の分布として、また桿体細胞より図形の形態としてそれぞれ認識される。すなわち、色と形とで捉えられる。自然の形態の多くはフラクタルであることが知られ、自己相似は景観の要素とまでいわれている<sup>18)</sup>。また、ピカソに代表される抽象絵画はスペクトル解析の結果、 $1/f$ ゆらぎ<sup>19)</sup>と呼ばれる特殊な明暗の分布をしていることがわかっている。 $1/f$ ゆらぎはフラクタル次元 $D=2.0$ の自己アフィン変動である。ところが、ルノールに代表される印象派絵画では、 $1/f$ ゆらぎでなく、 $f^{-2}$ ゆらぎが確認されている。これはフラクタル次元 $D=1.5$ に相当する。いずれも絵画はこの範囲( $1.5 \leq D \leq 2.0$ )に収まっている。

いずれにせよ、自然の形態に自己相似が認められ<sup>11)</sup>、快適の尺度として $1/f$ ゆらぎが確認されている<sup>19)</sup>ことから、フラクタルが景観評価に使えることが示唆される。

## (2) 形のフラクタル

フラクタルは自然の中の不規則な形態を表現する。その不規則さは自己相似として説明され、フラクタル次元で特徴づけられる。写真撮影した景観は、イメージリーダで読み込むかデジタルタイザにより、図一四に示すように線情報となる。この線情報は景観の形態であり、ボックスカウンティング法によりフラクタル次元が算出される(図一五)。著者は、既に舗装ひびわれの評価にボックスカウンティング法を用いたが<sup>20)</sup>、ここでは、景観の線情報を対象にこの方法を適用する。これにより、景観の形態的複雑さが定量的に評価されることが期待される。

対象とする景観は、全て写真をイメージリーダより読み込むので、そこで扱われる図形は点や線であり、ユー



図一五 ボックスカウンティング法

グリッド幾何学では1次元である。しかしフラクタル幾何学では1から2の間の非整数次元となる。おおよそ、1に近い場合、直線的で2に近づくにつれて平面を充填する面的な形状となる。ここでは、イメージリーダで読取った図形は、RGB信号(光の3原色である赤、緑、青の画素を示す情報)で表示されるので、これをモノクロに変換し、線情報とし、ボックスカウンティング法で $N-r$ 関係からフラクタル次元を算定する。

ところで、河道網のフラクタル解析において、自然状態でフラクタル次元が1.1~1.3であるのに対して、人工的な都市河川ないし下水道では、それぞれ1.0および1.3~と分裂した形状に変わることがわかっている<sup>21)</sup>。こうしたアナロジーから類推して、都市景観の形態も自然景観の形態から変化し、それはフラクタル次元の変化として捉えられることが予想される。

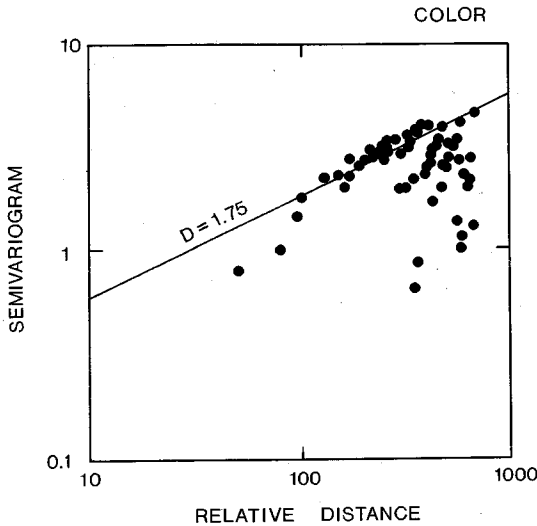


図-6 セミバリオグラム

### (3) 色のフラクタル

色が3原色で表示されるのは、人間の光受容細胞がたまたま赤、緑、青の3種類であるためである。他の動物では光受容細胞の種類が異なり、2原色であったり、また他の3原色で認識される。しかもこの3原色は既に述べたように感度が異なるため、図-3のような正三角形ではなく、図-2の歪んだヨットの帆型の図形、すなわちCIE色度図となる(厳密には、赤、緑、青の3ベクトルによる3次元空間)。さらに色は、光の直射と反射とがある。反射には正反射と乱反射とに分けられる。物の色は、通常、この乱反射光をさすが、光の色や照度、入射角度により当然、物の色も変化する。景観は、人間の視覚の非線形性に加え、この光の多様さが加わり、同一の対象でも時々刻々変化する。そこで、本論では、日昼、太陽光の直射を避け、視角 $10^\circ$ 以上の中・近景を対象にする。ちなみに視角 $10^\circ$ は立位での標準的視野であり、36mmフィルム使用カメラでは、広角35mmレンズにほぼ相当する。

写真撮影からイメージリーダ入力のプロセスで、色に変質するが、ここではその点を問わずに、RGB信号のフラクタル解析を実行する。RGBのベクトルは、CIE色度図上の各座標値を与える。したがって、各画素は3次元ベクトルで表示され、これらが空間分布することになる。この空間分布を非整数ブラウン関数で回帰し、フラクタル次元を算定する<sup>12)</sup>。

著者は、既に舗装の縦断凹凸の評価に非整数ブラウン関数を適用したが<sup>24)</sup>、ここでは色の空間分布の評価に応用する。

さて、色の分布をこの非整数ブラウン関数で回帰する

には、空間相関関数であるセミバリオグラム<sup>22),23)</sup>を利用する。すなわち、空間変動を相対距離ごとに色差(CIE色度図上の距離)の分散を計算し、両対数表示し、その勾配からフラクタル次元 $D$ を算定するものである(図-6)。すなわち、

$$2\gamma(h) = E[z_{x+h} - z_x]^2 = h^{2H} \quad (1)$$

$$D = 2 - H \quad (2)$$

ここで、 $\gamma(h)$ :セミバリオグラム、 $h$ :画素間の相対距離、 $E$ :色差の期待値で、色度ベクトルの距離の平均値、 $z_{x+h}$ 、 $z_x$ :画素の位置 $x$ 、 $x+h$ における色度ベクトルである。指数 $H$ はハースト数であり、式(2)により $D$ と関係づけられる。

以上により、色の空間分布がフラクタル次元 $D$ で表現されることになる。非整数ブラウン関数の性質として、 $0.5 < H < 1.0$ 、すなわち、 $1.0 < D < 1.5$ では、変動は持続的で増し分が無限にわたり、ブラウン運動より滑らかな確率過程となる。それに対し、 $0 < H < 0.5$ 、すなわち、 $1.5 < D < 2.0$ では、変動は非持続的で原点に戻る傾向があり、ブラウン運動からピンクノイズにかけての確率過程となる。したがって、色の分布においても同様の傾向が予想され、自然景観から都市景観に推移する過程がフラクタル次元の変化として捉えられることが期待される。

## 4. 解析対象および解析フロー

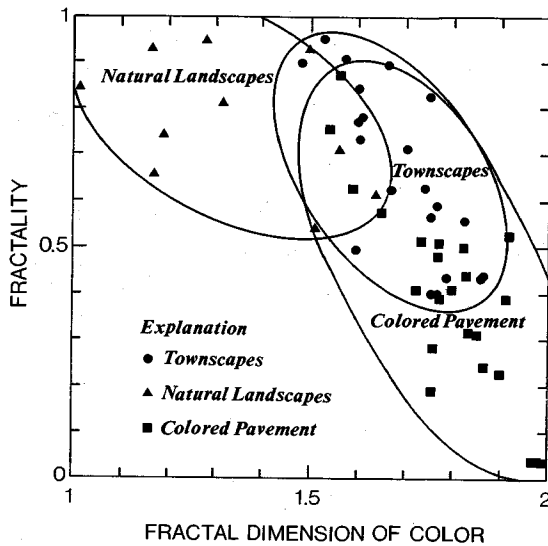
都内の街路、公園および河川の景観を抽出し、野外撮影した写真及びカラー舗装のカタログを解析対象とした。撮影に使ったカメラは、全自動小型カメラで広角レンズ( $f \approx 35$ mm)である。晴天時に順光で、できるだけ人間の視線に近いアングルで、中・近景(距離 $\sim 1$ km)をねらった。写真は六切りに拡大し、カラー・イメージリーダにてハードディスクに画像情報として入力した。画像情報は、画素ごとにディスプレイの世界座標およびRGBの8階調が与えられている。

まず、形態のフラクタル次元の算定にはRGB信号から線情報に変換する。変換には、CIE色度図により8階調を色度ベクトル表示し、しきい値により上下をきり、線情報とする。線情報は、そのままボックスカウンティング法で被覆し、フラクタル次元を算定する。

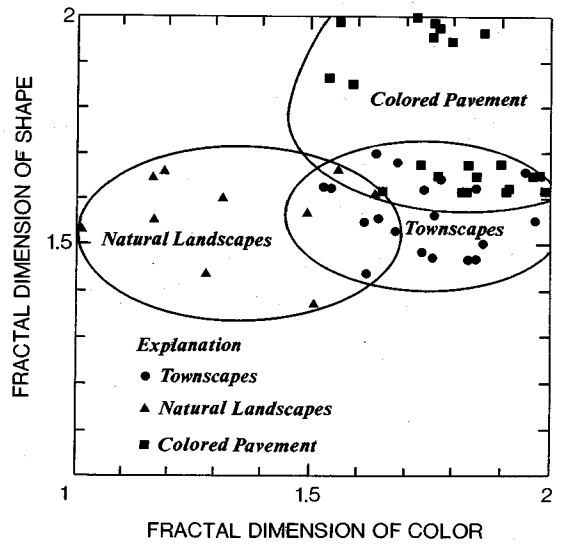
次に、色のフラクタル次元の算定ではRGB信号をCIE色度図でベクトル変換し、ベクトル間の距離を変動量とする。変動量はセミバリオグラムで空間相関を求め、その勾配よりフラクタル次元を算定する。

## 5. 解析結果

カラー舗装(23種類)、街路景観(22地点)及び自然



図一七 色彩のフラクタル次元と相関係数



図一八 形態と色彩のフラクタル次元の相関

表一 フラクタル次元一覧 (r: 相関係数)

対象	形態のフラクタル次元	色彩のフラクタル次元
自然景観	$1.3 < D_s < 1.7 (r \approx 1)$	$1.0 < D_c < 1.7 (0.5 < r < 1)$
街路景観	$1.4 < D_s < 1.7 (r \approx 1)$	$1.5 < D_c < 1.9 (0.4 < r < 1)$
カラー舗装	$1.6 < D_s < 2.0 (r \approx 1)$	$1.5 < D_c < 2.0 (0 < r < 1)$

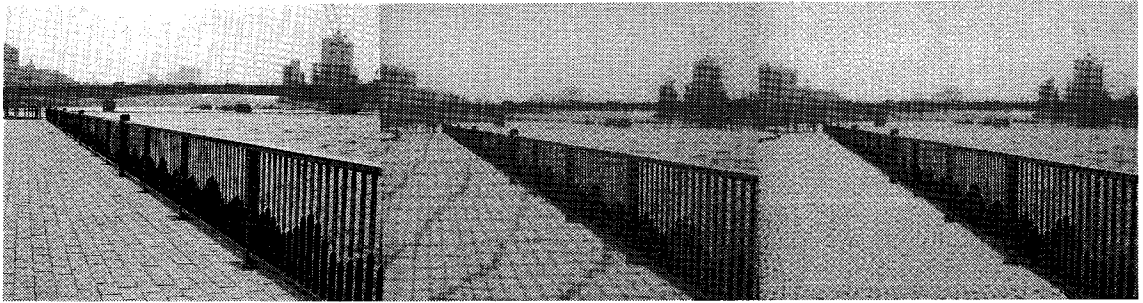
景観(10地点)を解析対象とし、撮影した写真をイメージリーグより入力した後、解析プログラムにより形と色のフラクタル次元を算定した。その一覧を表一に示す。形態のフラクタル次元 $D_s$ は $1.3 < D_s < 2.0$ の範囲であった。自然景観と街路景観とはほぼ同じ範囲で、カラー舗装がそれらより大きい。形態のフラクタル次元の増加は、その複雑さの増加を意味するが、この結果は、舗装体が平面的に空間を充填しているためと理解される。形態のボックスカウンティング法の相関係数は、 $N$ と $r$ の相関の程度を表わし、自己相似の評価を与えるが、ほぼ1であり、フラクタルであることを意味する。すなわち、自然景観も街路景観も形態的にはフラクタル、つまり自己相似が認められ、差はない。

一方、色彩のフラクタル次元 $D_c$ は $1.0 < D_c < 2.0$ と広く分布し、自然景観が小さく、街路景観とカラー舗装とはこれより大きい。色彩のフラクタル次元の増加は、CIE色度図上の色の変動の激しさの増加を意味するが、色のコントラストが強くなり、げげげしくなっていることを裏付けている。ところが、色彩の相関係数 $r$ は、セミパリオグラムの相対距離と色差の相関の程度を表し、完全なフラクタルでは1となるが、 $0 < r < 1.0$ の範囲で広く分布し、形に関してはフラクタルであるが、色に関し

ては、フラクタルと非フラクタルとがあることを意味する。非フラクタルとは、ホワイトノイズに近い波形である。つまり、不規則な色の空間変動を意味している。このように、ボックスカウンティング法あるいはセミパリオグラムの直線回帰での相関係数 $r$ は、フラクタル性(fractality)を定量的に表現している。すなわち、 $r=1.0$ のとき、対象は完全にフラクタルであり、 $r=0$ のとき、非フラクタルである。したがって、本論ではこの相関係数でフラクタル性を議論することとする。

図一七に示すように、色のフラクタル次元 $D_c$ はセミパリオグラムの相関係数 $r$ と負の相関が認められる。すなわち、色のフラクタル次元が1.5付近では、フラクタル性が強く( $r \approx 1.0$ )、マクロな色の分布(コントラスト)とマイクロな色の分布に自己相似が認められる。しかし、2.0に近づくにつれて、フラクタル性が失われ( $r \approx 0$ )、ホワイトノイズに近くなり、統計的にランダムな状態になる。さらに、この図は自然景観がほぼフラクタルであるのに対し、街路景観及びカラー舗装体がフラクタル性の低いものを多く含んでいることも示している。

また、図一八に示すように、形態と色彩のフラクタル次元の関係をみると、自然景観、街路景観及びカラー舗装はそれぞれ3つのクラスターに分布していることがわかる。すなわち、自然景観は $D_c=1.4$ 及び $D_s=1.5$ 付近に中心があるクラスター、街路景観は $D_c=1.7$ 及び $D_s=1.6$ 付近に中心があるクラスターそしてカラー舗装は $D_c=1.8$ 及び $D_s=1.8$ 付近に中心があるクラスターである。絵画の濃淡のフラクタル次元が、 $1.5 \leq D \leq 2.0$ の分布をし、ルノアールの絵画が $D=1.5$ 、ピカソの抽象画が $D=2.0$ である<sup>19)</sup>こととも対応していると考えられる。



(a) Original Picture:  $D_c=1.53(r=0.90)$       (b) Blue Tile;  $D_c=1.47(r=0.94)$       (c) Red Tile;  $D_c=1.56(r=0.89)$

図-9 CADを用いた街路設計と解析例

## 6. 考 察

地表の断面（自己アフィン）はフラクタル次元が1.2～1.3程度であり<sup>24)</sup>、雲のそれ（自己相似）は約1.3である<sup>25)</sup>。これより自然地形の景観の形態のフラクタル次元は1.2～1.3に収まりそうである。しかし、実際にはこれよりも大きな値で分布している。この原因は、視覚による遠近感にあると考えられる。同一の形状のものが、等間隔に並んでいるとすると、景観的には自己相似が表われ、したがって、フラクタルとなる。そのことは形態のフラクタル次元が、相関係数でほぼ1.0であることから支持される。特に都市景観において、平板、タイルといった舗装あるいは欄干は形態のフラクタル次元が2.0であるので、景観全体のフラクタル次元を押し上げる。その意味で人工構造物はフラクタル次元を増加させる。

自然景観に色取りを与えているのは、植生である。植生は緑を基調に赤、黄とゆるやかな色の変動を示す。ルノアールの絵画の濃淡がフラクタル次元1.5であることは、その色彩の分布もまた同じく1.5であってもおかしくない。つまり、カラー映像をモノクロに変換するとき、RGBを一定割合で混合する。緑が多く混合されているので、緑の信号だけを取り出してもモノクロとほぼ同じ図柄になる。自然景観よりも街路景観の色彩のフラクタル次元が大ききことは、舗装を含めた人工構造物により景観のフラクタル次元が増加し、そのフラクタル性を失う傾向を示していることが示唆される。

## 7. フラクタルによる景観設計

### (1) CAD

景観の定量化自体、きわめて重要な意義があるが、これにより設計が簡便に行えれば、その影響は大きいといえる。現在、パーソナルコンピュータが高精度、高速度、大容量となり、最新機種は大型汎用機と比較しても遜色のないものとなっている。そこで、従来、大型機ないしは

ワークステーションで行われていたCADがパソコンでできるようになってきた。CAD、すなわちコンピュータ支援設計は、広くはコンピュータを使用した設計全般をさし、狭くは自動設計といわれる図化機を意味する。ここでは、フォトモンタージュが可能なCADをさす。すなわち、景観設計を写真入力で簡便に行うシステムである。写真は現場写真でもカタログでもイメージリードで入力し、形状の変換の後、合成する。種々の写真の組合せが可能で、例えば、街路の設計等は次項のようにきわめて簡便にできる。

### (2) 設計例

CADを用いて、街路に舗装材料のはめ込みを行った。街路は幅員と周辺環境の異なるものを選択し、舗装材料としては、平板、タイル、インターロッキング、レンガである。CADは市販のソフトでパソコンはPC-9801 RA（インテル80386, 80387使用）、これにカラーイメージリードおよびハードディスクないし光磁気ディスクを使用した。まず、はじめに写真をイメージリードより入力し、ハードディスク（ないしは光磁気ディスク）に保存する。既設街路写真に対し、舗装部のマスキングにより既設舗装体を写真から取除く。次に舗装材料の写真に形状の変換を施し、街路写真中にはめ込み、合成を完了する。舗装材料と街路はあらかじめ、フラクタル解析をしてフラクタル次元を求めておく。合成による新たな写真もまたフラクタル解析する。

図-9に設計例を示す。現状は、(a)茶系のタイルであるが、(b)青系タイルと(c)赤系タイルをはめ込んだ。色のフラクタル次元はそれぞれ1.53（相関係数 $r=0.90$ ）、1.47（ $r=0.94$ ）、1.56（ $r=0.89$ ）となった。相関係数からみると、現状の茶系タイルよりも青系タイルが最も周囲と調和しており、逆に、赤系タイルが周囲よりやや浮いていることがわかる。こうして、色の判断が定量的に行うことができる。ただし、ここでは色彩調和の中の類似調和が実現したわけである。

## 8. 結 論

街路景観のフラクタル解析による景観の定量化を行った。さらにパソコンCADを使用して、定量的かつ簡便な街路景観設計をも試みた。以下に本論の結論を述べる。

- (1) 街路景観をフラクタル解析により形態と色彩の分布の評価として、定量化に成功した。形態はボックスカウンティング法で、色彩は非整数ブラウン関数でそれぞれ行い、各フラクタル次元と相関係数を求めた。
- (2) 街路景観の形態は、フラクタルであり、そのフラクタル次元は1.4~1.7であった。舗装材料およびストリートファニチャー等の幾何学的形態の材料の使用により、形態のフラクタル次元は増加することが示唆された。
- (3) 街路景観の色彩のフラクタル次元は1.5~1.9で、次元の増加とともにフラクタル性を失い、統計的にランダムな分布状態に遷移する。
- (4) 街路景観の形態および色彩のフラクタル次元は、自然景観よりも高いことが示され、舗装を含めた人工構造物の存在でフラクタル次元が増加し、環境との不調和が増してきたことが推定される。
- (5) 環境調和の街路景観設計をCADにより、フラクタル次元と相関係数を指標に試みた。これにより、簡便で定量的な街路景観設計が行えた。

本論は、街路景観の定量的評価をフラクタル理論により行ったものであるが、まだその第1歩にすぎない。今後、より広い都市景観を対象にし、理論ならびに手法の完成をめざす所存である。

### 参考文献

- 1) Eckbo, G.: Land Landscape for Living. F.W. Dodge Co., 1950 (ガレット・エクボ: 風景のデザイン, 鹿島出版会, 1986)。
- 2) 樋口忠彦: 景観の構造, 技報堂出版, 1975。
- 3) 小柳他: 土木工学大系13, 景観論, 彰国社, 1980。

- 4) 土木学会: 街路の景観設計, 技報堂出版, 1985。
- 5) 土木学会: 水辺の景観設計, 技報堂出版, 1988。
- 6) 花輪恒: 都市景観のデザイン, 鹿島出版会, 1989。
- 7) 石井, 元田: 景観工学, 鹿島出版会, 1990。
- 8) 土木学会: 港の景観設計, 技報堂出版, 1991。
- 9) 関西道路研究会: 人道橋の景観設計, 鹿島出版会, 1991。
- 10) Osgood, C.E., Suci, G.J. and Tannenbaum, P.: The measurement of meaning, Univ. Illinois Press, Springfield, 1957。
- 11) Mandelbrot, B.B.: The Fractal Geometry of Nature, W.H. Freeman & Co., New York, 1983. (広中平祐監訳『フラクタル幾何学』日経サイエンス社)
- 12) 高安秀樹: フラクタル, 朝倉書店, 1986。
- 13) 高安秀樹: フラクタル科学, 朝倉書店, 1987。
- 14) 前田章夫: 視覚, 化学同人, 1986。
- 15) 金子隆芳: 色彩の科学, 岩波書店, 1988。
- 16) 金子隆芳: 色彩の心理学, 岩波書店, 1990。
- 17) 色のはなし編集委員会: 色のはなしI, 技報堂出版, 1986。
- 18) 淵上季代絵: CG・かたち・フラクタル, サイエンス社, 1992。
- 19) 武者利光: ゆらぎの世界, 講談社, 1980。
- 20) 阿部忠行, 小川進: 舗装ひびわれのフラクタル解析, 土木学会論文集, No.442/V-16, pp.119-126, 1992。
- 21) 小川進: 多摩ニュータウンの都市化に伴う流出変化とフラクタル, 水工学論文集, 第35巻, pp.129-134, 1991。
- 22) Burrough, P.A.: Multiscale sources of spatial variation in soil. I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation, *Journal of Soil Science*, 34, 577-597, 1983。
- 23) Orey, S.: Gaussian sample functions and Hausdorff dimension of level crossing, *Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie und Verwandte Gebiete*, 15, 249-256, 1970。
- 24) 小川進, 阿部忠行: 舗装の縦断凹凸のフラクタルによる評価, 土木学会論文集, 490, V-23, 131-136, 1994。
- 25) 小川進, 平野宗夫, 森山聡之, 安道竜也: レーダ雨量の時空間分布のフラクタル解析, 水工学論文集, 第37巻, pp.21-26, 1993。

(1994.6.20 受付)

## FRACTAL ANALYSIS FOR THE TOWNSCAPES OF COLORED PAVEMENT

Susumu OGAWA, Tetsuya KIYOHARA and Tadayuki ABE

The townscapes of colored pavement can be evaluated for the qualities of their colors and shapes by fractal. While the fractal dimensions for shapes are calculated with box-counting method, the fractal dimensions for colors are computed with the semivariograms constructed by color vectors in CIE chromatograph and space vectors. Both the fractal dimensions of townscapes are greater than ones of natural landscapes. However, the fractality of colors for the former is less than for the latter. In landscape design, fractal dimensions and fractality can be the indicators for evaluating conformity of landscapes and urban construction.