

I-25 色彩を用いた各種フラクタル次元による景観評価に関する研究 A study of landscape value by using various fractal dimensions of a color

奥谷 巖

Iwao OKUTANI

高瀬 達夫

Tatsuo TAKASE

【抄録】景観分析は従来さまざまな角度からなされてきているが、対象空間そのものの表現は具体的物理要素により行うのが一般的である。しかし、たとえ構成要素が同じ空間であってもそれらの配置や色彩などによってそれぞれの風合いが変わってくる。そこで我々は空間に固有な指標を用いて景観特性を抽出するために、フラクタル次元という概念を導入することとした。本研究は景観における色彩の各種フラクタル次元を求めるとともに、人の心理的評価との関連性を探り、新たな景観形成時における心理的評価値予測を行うための指標となりうる可能性を検討する。

【Abstract】 Although the landscape analysis has been done from various angles, the expression of object space is general to do by a physics element. However, feelings of each space will change by those arrangements and color etc. even if two spaces have the same constitution elements. So we innovate the concept of fractal dimension, to analyze the landscape feature by using an internal indicator in space. This research is to analyze various fractal dimensions of a color point in landscape and to search the relativity of psychological score to fractal dimensions.

【キーワード】

フラクタル次元, 景観特性, 空間ゆらぎ

【Keywords】

fractal dimension, landscape feature, spatial fluctuation

1. まえがき

景観の評価はその景観の特性と対置されることで設計指針構築に繋がってゆくことになる。したがって景観をどのように捉えるかは景観分析上重要なテーマとなる。

従来、一つの景観が与えられたとき、その特性は景観を構成する物理要素の面積、高さ等の諸元並びに予め準備された状態や範疇によって表すというのが一般的であった。しかしながら、景観は単にそうした物理要素の組み合わせだけで評価が定まるとい

う程単純なものではなく、建物の材質や質感あるいは風化による歴史性や寂び、陰影と光の交錯が織りなす綾、色彩の連続性と変化などにより、その雰囲気は大きく異なる。

したがって、景観特性の抽出に際し、我々は、恣意性が不可避である従前の要素分解に加え、何らかの方法で景観総体の特性を客観的に把握する方法を持つことが期待される。

以上のような観点から、本研究では、まず景観全体をデジタル情報としてパーソナルコンピュータに

連絡先：〒380-8553 長野市若里 4-17-1 信州大学工学部社会開発工学科, TEL:026(269)5307

取り込み、対象景観を画像というピクセルの集合体で捉えることを考える。そして、景観の光と陰、色彩の広がりと分布に潜むルールを、ピクセルの赤、緑、青（以下、R,G,B と記す）3 原色の輝度やそれらで表される色彩に基づいて探り出そうとするものである。具体的には周波数ゆらぎや容量・情報次元といった各種フラクタル次元をもちいて人の心理的評価との関連性を探り、景観評価への客観的指標としての有効性を検討する。

2. フラクタル次元の種類と特性及び既存の研究

身近にある様々な物や図形の全体的な特性を単純な一つの指数で表すことをフラクタル解析の目的の一つとしており、その指数を一般にフラクタル次元と呼ぶ。そしてフラクタル解析の対象や目的に応じて以下に示すようないくつかの種類の次元が定義されている¹⁾。

(a)容量次元

デバイダーやボックスの大きさを変えながら対象とする点や曲線をカバーしてゆき、大きさとカバーに必要なデバイダーまたはボックスの個数の関係を規定する指数を求める。この指数のことを容量次元と呼ぶが、一般的には対象物の偏在性を表すとされている。

(b)大きさの次元

対象物の大きさを表す次元で、与えられたパラメータとそれより大きい対象物の個数の関係を規定する指数を見出すことによって求められる。

(c)情報次元

ボックスカウンティング法により被覆された対象物の情報エントロピーとボックスの大きさとの間に成り立つ関係を規定する指数で、例えば色彩の濃淡を含めた対象物の偏在性を示す量となる。

(d)周波数次元

対象物の時間、あるいは空間の周波数の変化状況を示す指数で、周波数スペクトルと周波数の関係を規定する係数として求められる。

(e)相関次元

対象とする点について、2 点間の距離の分布を規定する指数で、容量次元や情報エントロピーでフラクタル次元を求められないような場合に利用される。

これまで行われた研究は、大野・小島²⁾³⁾が岩盤の割れ目にフラクタル解析を導入して行なった研究や関ら⁴⁾や大野ら⁵⁾が河川における河床の石や樹木や水際線を対象にして、容量・情報・大きさの次元を求めた研究が主として挙げられる。また毛ら⁶⁾は乾海苔の特性を周波数次元を用いて表した研究を行っている。

本研究ではこれまでなされてこなかった街路や公園といった都市景観を対象とし、また従来研究とは異なり景観内の色彩に対してフラクタル次元解析を行っていることが大きな特徴である。

3. 色彩点の捉え方とフラクタル次元

3.1 色彩点の捉えかた

景観には樹木や建物といった様々な物理的構成要素が含まれており、それらの構成要素が樹木や建物であると認識されるのは、背景等の他の構成要素との間に境界が存在するからである。この境界は色の違いや明度の違いから生ずるものであり、人はこのような色彩の違いを認識することによって、それらの要素が何であるかを判断することが出来る。

そこで色彩点の捉え方として色彩の濃淡を示す輝度を用いる場合と、われわれが認識している緑や赤といった色そのものを抽出して用いる場合の二つをここでは取り上げる。

(1) RGB 色空間における色差

景観における色彩の濃淡の変化は、 $R \cdot G \cdot B$ それぞれの輝度を用いて三次元空間（色空間）で表すことが出来る。言い替えれば、図 1 に示すようにある画素における色は $R \cdot G \cdot B$ の輝度値を成分とする RGB 色空間のベクトルとして表現できる。

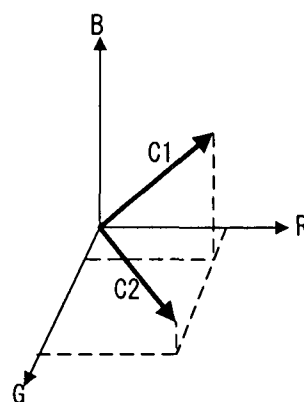


図 1 RGB 色空間

その絶対値が対象景観の容量次元を与える。

なお、 $M(r)$ の求め方として、本研究で扱う点が画素単位であり、あまりにも小単位の特性点であることを斟酌し、あるマス目 i の対象点の個数 $N_i(r)$ が下限値 N_L に対して

$$N_i(r) > N_L \quad (5)$$

となったとき、はじめて $M(r)$ にくみ入れるという方法を採用した。

(2) 情報次元

(1)と同様な手法によりマス目の1辺の長さが r であるときのマス目 I あたりの対象点の個数 $N_i(r)$ が求められたとき、その総和に対する比 $P_i(r)$ を計算する。すなわち

$$P_i(r) = N_i(r) / N_T \quad (6)$$

ただし

$$N_T = \sum_i N_i(r) \quad (7)$$

これより、情報エントロピー $H(r)$ が次のようにして求められる。

$$H(r) = - \sum_i P_i(r) \log P_i(r) \quad (8)$$

マス目の1辺の長さ r とエントロピー $H(r)$ の間で回帰分析を行い

$$H(r) = a \log(r) + b + \varepsilon(r) \quad (9)$$

を満たす回帰係数 a の絶対値を求めると、その値が情報次元となる。

これら情報次元と容量次元は $0 \sim 2$ の非整数で表され、 0 に近いほど対象物は1点に集中し、 1 に近いほど線的な分布を示し、 2 に近いほど対象物は面内に均一に分布していることを示す。

(3) 周波数次元

この項目では、空間周波数という概念を取り入れて空間ゆらぎ⁸⁾を求める。空間周波数とは、光の濃淡を波としてとらえることによって波の波長が1メートルあたりにいくつあるかを示すものである。そしてこの概念を用いて、空間自身に固有なスペクトル密度やゆらぎ指数を求める。ゆらぎ指数とは、スペクトル密度の対数値を縦軸、空間周波数の対数値を横軸とした場合の高周波領域における直線の傾きのことであり、その数値が-1に近いほど「意外性がある」という数値である。⁸⁾

ゆらぎ指数は次の手順に従って求められる。

- 1) まず空間の画素ごとの輝度のデータを図4に示すように、水平方向または垂直方向にそれぞれ一つの空間系列データにする。ここで注意したことは例えば水平方向ならば、ただ単純に1行ずつ左から右へデータを読み取り系列化して行くのではなく、ある行を左から右へ読み取って行ったならばその次の行は逆に右から左に折り返して読み取ってデータの系列化を行った。これはもし単純にすべての行を左から右へ読み取って行ったならば、行替えの部分で画像の右端から左端へ急に飛んでしまうことになり、不自然さを感じることは否めないからである。また、垂直方向に読み取って系列化する際にも、同様のことに留意して行った。

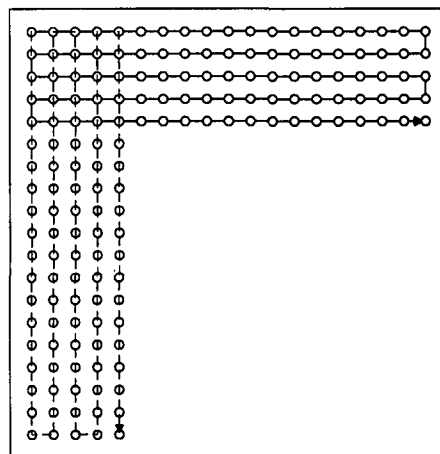


図4 画素データの読み取り手順

- 2) このようにして系列化された画素データを縦軸に輝度（または色差）、横軸を空間系列としてグラフにすると、輝度（または色差）の大小による波が出来ることがわかる。ここでは実際の景観において先の手順を用いて系列化された輝度値データの一部を例として図5に示し、これを用いて手順を進めて行くものとする。

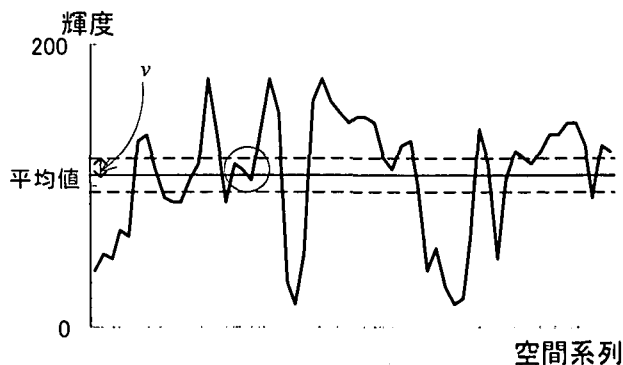


図5 系列化されたデータによる波

図5からも明らかなように、この系列化された輝度データの波は大小様々な波が混在して成り立っていることがわかる。しかし周波数分析を行うには一つの波が何処から何処までなのかをはっきりと定めておく必要がある。そこでこの輝度データの平均値を求めた後、すべてのデータからこの平均の値を引くことにより、0を中心とした波に変換することができる。またこの波の1周期を設定する必要があるが、ここではデータの値が負の値から正の値に変わる点（ゼロと交差する点）から次に同じように負の値から正の値に変わる点までを1周期とした。この様にして図5を変換させたものが図6である。この図6は図5に比べずいぶん滑らかになっているが、これはゼロ点と交差しない様な小さな波はノイズとして無視しているからである。

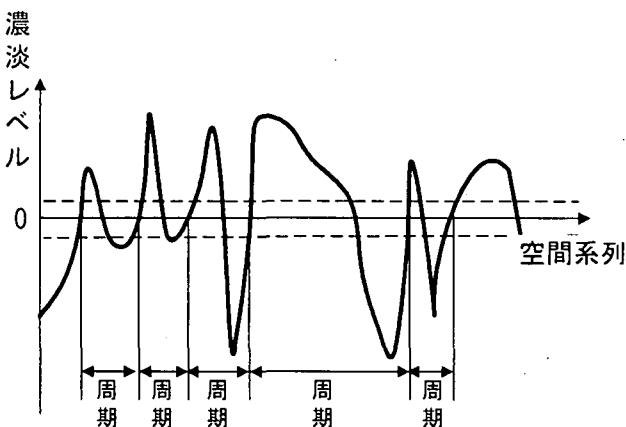


図6 ノイズを取り除いたあとの波

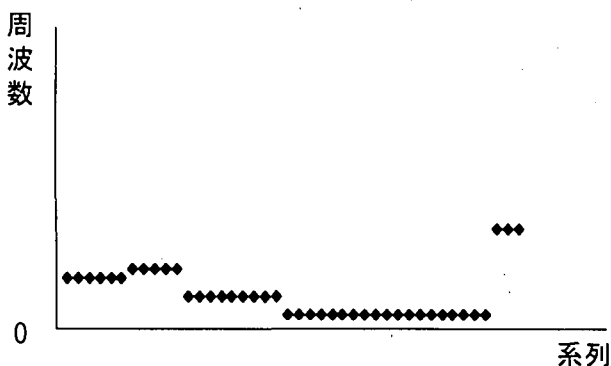


図7 周波数の点過程系列

したがって本研究では図5や図6に破線で示したような上限と下限（図中では ν ）を設定して、波の振幅がこれらの値を越えないときは無視することとした。

- 3) つぎに図6において縦横の軸の交点に最初の波の始まりが来るように調整したのち、一つ一つの波ごとに周波数を求め、それぞれの波に含まれている画素点にその値を代入する。このような過程を踏まえて図6の波の周波数点過程系列を求めたのが図7である。
- 4) こうして求められた周波数の点過程時系列に対してFFT法によるスペクトル解析を行い、空間周波数に対するスペクトル密度を求める。求められたスペクトル密度を平滑化し、そのスペクトル密度の対数値を縦軸、空間周波数の対数値を横軸としてグラフに表したものが図8である。

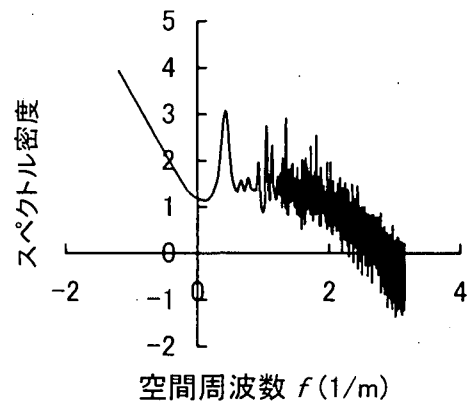


図8 パワースペクトル

- 5) 図8のパワースペクトルのグラフより変曲周波数(低周波域と高周波域の境となる点)を求め、高周波数域について回帰分析を行いゆらぎ指数を求める。

4. 景観のフラクタル次元の測定

4.1 対象景観の設定とデータの作成

本研究では長野市内及びその近郊地域から、代表的な都市空間として街路、公園(オープンスペースも含む)、水辺環境の3分類計88箇所を対象として分析を行った。また対象とする景観の選定時には、できるだけ異なった空間を抽出するよう心がけた。例えば街路空間においては、繁華街、路地、交通量の多い主要国道、住宅街や自然の中の道といった立地性の異なる空間を選択した。

そして、これらの景観画像をパソコンに取り込み、入力した画像を縦横等間隔に 512 画素、計 25 万画素に分割し、そしてそれぞれの画素ごとに RGB の輝度の数値データを抽出した。しかしながら、この画素ごとのデータの読み取りは現在のシステムでは 1 ラインごとに走査し、データを取り込んで行く必要があるため、莫大な時間と作業を必要とするので、補助画像変換として垂直・水平に隣り合う 4 個ずつのデータを平均化して最終的には縦横 256×256 のマトリックスデータを作成した。この方法によって作成された景観データであっても、画像の認識にはほとんど影響はないので本研究ではこのデータを用いることとした。

4.2 フラクタル次元の測定

本研究では景観における色彩の濃淡を考慮するために、3 章で述べた RGB 色空間における色差を用いて、空間ゆらぎすなわち周波数次元を求めた。一方、われわれが視覚的に認識している色に着目した分析を行うために、XYZ 表色系色度図より求められる緑色・赤色・青色をそれぞれ対象点として容量次元と情報次元を測定した。

まず空間ゆらぎは水平方向に読み取って得られた系列データにより求められるゆらぎ指数(以下水平方向のゆらぎ指数)と垂直方向の系列データにより求められるゆらぎ指数(以下垂直方向のゆらぎ指数)を測定し、分類ごとのゆらぎ指数を図 9～11 に示した。また測定された水平方向と垂直方向のゆらぎ指数の間の相関は非常に小さい値であった。

これらの図より街路空間と公園に比べて水辺環境では水平方向のゆらぎにばらつきが大きいことが読み取れる。また、垂直方向と水平方向のゆらぎ指数の値の大きさを比較してみると、公園以外の景観では水平方向の値の方が垂直方向に比べて全体的に小さくなっていることが解る。

次に容量次元と情報次元は緑・青・赤の三色を対象点として測定した。対象点間の相関係数を表 1 に示したが、対象点間の相関は小さいことがわかった。また同一の色の容量次元と情報次元の間の相関係数も求めたが、総じて非常に高い値が得られた。

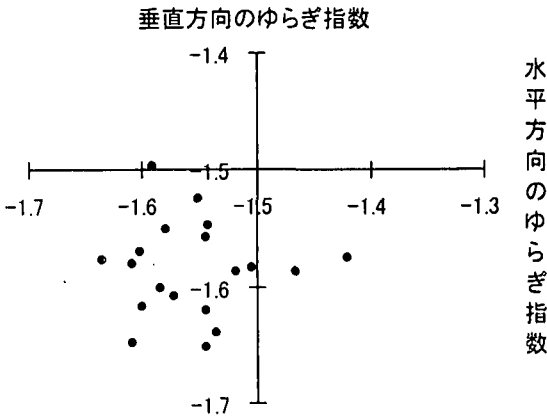


図 9 街路空間の空間ゆらぎ

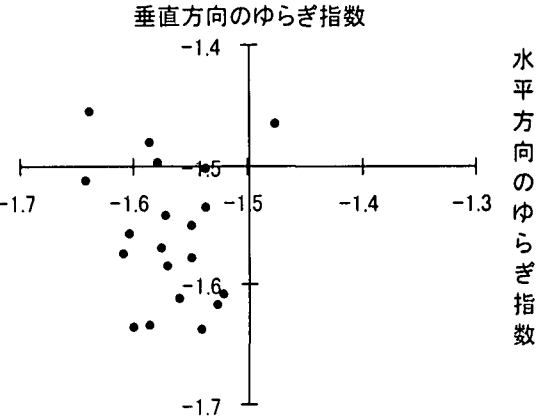


図 10 公園の空間ゆらぎ

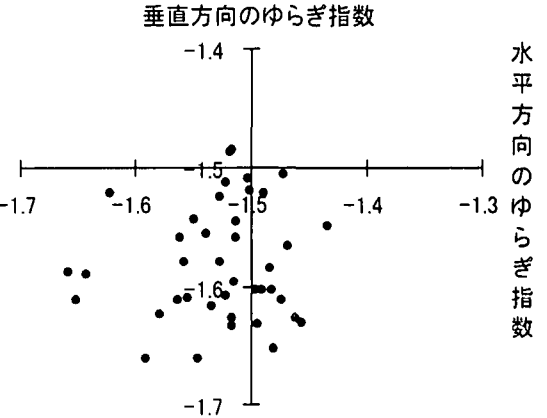


図 11 水辺環境の空間ゆらぎ

表 1 各次元における対象点間の相関係数

容量	緑	青	赤	情報	緑	青	赤
緑	1	-0.07	-0.11	緑	1	-0.31	-0.40
青	-0.07	1	-0.35	青	-0.31	1	-0.31
赤	-0.11	-0.35	1	赤	-0.40	-0.31	1

5.景観の心理的評価値とフラクタル次元の関係

5.1 景観に対する人の心理的評価値

前章で測定した各種フラクタル次元が景観の客観的評価指標となりうる可能性を探るためには、人の心理的評価との関連性を検討することが必要であろうと考え、本研究ではまず58名の被験者を対象として、すべての対象景観を提示し、美しさ・心の和み・整然性・総合的満足度についてそれぞれ9段階評価してもらった。そして対象景観の評価を示す値として対象景観及び評価項目ごとに平均値と分散を求めた。

5.2 心理的評価値と各種フラクタル次元の関係

人の心理的評価値と各種フラクタル次元の関係を表すためにはまずどのような解析手法を取り入れるかを考慮する必要がある。まず容量次元と情報次元では対象とする色ごとの偏りを表していることから、景観内にどのように分布させればよいかを示せるかが重要となってくる。次に周波数次元では4.2における測定結果からも解るように数値にあまりばらつきがみられない。しかし、われわれは一般に景観を認識する際、上下左右を潜在的に判断している。言い換えれば、水平方向と垂直方向では認識の仕方が異なっているということである。そこで水平方向と垂直方向との大小関係とその大きさについて論ずることが重要となってくる。こうしたことを考慮して、本研究では心理的評価値と各種フラクタル次元の関係を簡潔に表現できる重回帰分析を用いてモデル化することとした。

モデル化にあたっては先にも述べたように情報次元と容量次元の間の相関が高いのでそれぞれ別々に分析を行った。また今回は非説明変数を心理的評価値だけでなく、評価のばらつきの関係も検討するために、分散値についても同様な分析を併せて行った。

本モデルで説明変数として用いた情報次元と容量次元は数値間の差をより明確に表すために2乗してもちいた。また周波数次元については、水平方向のゆらぎ指数から垂直方向のゆらぎ指数を引いた値（以下ゆらぎ差と記す）を用いた。

そして対象点として用いた赤・青・緑色それぞ

れについてフラクタル次元が成立している景観を用いて回帰モデルを作成し、結果を表2～5に示した。これらの結果は必ずしもすべて有意な値を示した訳ではないが、比較的有意な値を取っているパラメータについて焦点を当て検討を行った。それによると景観内に緑色を空間全体に分布させることにより高い総合的満足度を得られることや、赤色をアクセントとして用いればすべての評価項目で評価値を高く出来ることがわかった。また整然性については、水平方向のゆらぎ指数を大きく

表2 回帰分析結果（平均評価値）

	総合的満足度	美しさ	心の和み	整然性
定数項	5.00 (3.6)	5.36 (3.8)	5.89 (4.1)	4.30 (3.5)
公園ダミー	0.515 (2.2)	0.477 (2.0)	0.356 (1.4)	0.895 (4.2)
緑色の情報次元の2乗	0.428 (1.3)	0.300 (0.9)	0.289 (0.8)	0.103 (0.4)
青色の情報次元の2乗	-0.291 (-1.1)	-0.311 (-1.1)	-0.401 (-1.4)	0.085 (0.4)
赤色の情報次元の2乗	-0.721 (-2.8)	-0.697 (-2.6)	-0.836 (-3.1)	-0.243 (-1.1)
ゆらぎ指数の差	2.37 (1.2)	1.83 (0.9)	0.512 (0.3)	3.35 (1.8)
寄与率R ²	0.45	0.40	0.43	0.50
サンプル数 N=25				

但し、0内はt値を示す

表3 回帰分析結果（評価分散）

	総合的満足度	美しさ	心の和み	整然性
定数項	3.02 (4.1)	3.13 (3.2)	3.58 (3.5)	3.72 (4.0)
公園ダミー	-0.253 (-2.0)	-0.192 (-1.2)	-0.211 (-1.2)	-0.007 (-0.1)
緑色の情報次元の2乗	-0.137 (-0.8)	-0.241 (-1.0)	-0.144 (-0.6)	-0.390 (-1.7)
青色の情報次元の2乗	0.013 (0.1)	-0.006 (-0.1)	-0.357 (-1.7)	-0.149 (-0.8)
赤色の情報次元の2乗	-0.372 (-2.7)	-0.232 (-1.3)	-0.283 (-1.5)	-0.320 (-1.9)
ゆらぎ指数の差	-2.24 (-2.1)	-2.23 (-1.6)	-1.29 (-0.9)	-1.33 (-1.0)
寄与率R ²	0.45	0.20	0.23	0.21
サンプル数 N=25				

但し、0内はt値を示す

表 4 回帰分析結果 (平均評価値)

	総合的 満足度	美しさ	心の 和み	整然性
定数項	5.25 (3.8)	5.79 (4.0)	6.09 (4.2)	5.00 (3.8)
公園ダミー	0.544 (2.3)	0.513 (2.1)	0.370 (1.5)	0.907 (4.1)
緑色の容量 次元の2乗	0.453 (1.3)	0.334 (0.9)	0.265 (0.7)	0.066 (0.2)
青色の容量 次元の2乗	-0.438 (-1.6)	-0.628 (-2.2)	-0.342 (-1.2)	-0.327 (-1.3)
赤色の容量 次元の2乗	-0.835 (-3.1)	-0.788 (-2.8)	-1.01 (-3.5)	-0.250 (-1.0)
ゆらぎ指数 の差	1.82 (0.9)	0.622 (0.3)	0.819 (0.4)	1.47 (0.8)
寄与率R ²	0.45	0.43	0.43	0.51
サンプル数 N=26				

但し、0内はt値を示す

表 5 回帰分析結果 (評価分散)

	総合的 満足度	美しさ	心の 和み	整然性
定数項	3.20 (4.6)	3.13 (3.2)	3.58 (3.5)	3.72 (4.0)
公園ダミー	-0.245 (-2.1)	-0.192 (-1.2)	-0.211 (-1.2)	-0.007 (-0.1)
緑色の容量 次元の2乗	-0.113 (-0.7)	-0.241 (-1.0)	-0.144 (-0.6)	-0.390 (-1.7)
青色の容量 次元の2乗	-0.077 (-0.6)	-0.006 (-0.1)	-0.357 (-1.7)	-0.149 (-0.8)
赤色の容量 次元の2乗	-0.442 (-3.2)	-0.232 (-1.3)	-0.283 (-1.5)	-0.320 (-1.9)
ゆらぎ指数 の差	-2.84 (-2.7)	-2.23 (-1.6)	-1.29 (-0.9)	-1.33 (-1.0)
寄与率R ²	0.51	0.20	0.23	0.21
サンプル数 N=26				

但し、0内はt値を示す

置し、また水平方向の色彩の濃淡を明確にすることによって評価値を高くすることが出来る。また赤色をアクセントとして配置することは評価値を高めることにつながるが、被験者間で評価が分かれてしまうため、景観設計の際には注意が必要である。

6.まとめ

本研究では景観に固有な特性値を求めるためにフラクタル次元解析の手法を導入した。そして色彩に対する各種フラクタル次元の計算方法を明示し、実際に測定を行った。そしてこれらの指標の景観評価に対する有効性を検証するために、人の心理的評価値と各種フラクタル次元を用いて回帰モデルを作成した。その結果景観評価との関連性を見いだすことが出来た。本研究で得られた結果を用いることにより、景観設計の時点であらかじめその景観に対する人の心理的評価を予測することが出来るだけでなく、現存する景観においても改良点を明らかにすることが出来る。

今回の研究では対象点とした3色すべてにおいてフラクタル性が成立している景観のみで分析を行ったため、余りサンプル数は多くない。そこで今回はパラメータ値の大きさについて言及することは避けたが、値の正負に関しては信頼性が高いと思われるので一般的な方向性としては問題ない筈である。今後はサンプル数を増やすことによりパラメータ値の大きさについても検討材料に加えていきたい。

参考文献

- 1)小川泰:フラクタルとは何か,岩波書店,1987
- 2)大野博之・小島圭二:岩盤の割れ目のフラクタル(その1),応用地質,33(3),pp.133-146,1992
- 3)大野博之・小島圭二:岩盤の割れ目のフラクタル(その2),応用地質,34(2),pp.12-26,1993
- 4)関克巳他: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 24・2,pp.85-94,1995
- 5)大野博之他:河川構成要素に見られるフラクタル特性の分析,環境情報科学 26・1,pp.68-78,1997
- 6)毛峽他:ゆらぎ分析による乾海苔カラー画像の特徴抽出,電学論 C117 巻 2 号,pp.205-206,1997
- 7)太田登:色彩工学,東京電機大学出版局,1993
- 8)武者利光:ゆらぎの世界,講談社,1980

(-1に近く)かつ垂直方向との違いを明確にすることが高評価につながる事がわかった。また被験者間の評価の散らばり具合を表す分散は、総合的満足度では赤色やゆらぎ指数の差を大きくすることにより、小さくなることを示している。その他の評価項目については寄与率が小さいことから、ここでは検討しないものとする。

以上のことから総合的に判断すると、一般に緑色すなわち緑の樹木や芝生等を空間内に均等に配