

ゆらぎ理論の適用による風景画に描かれた景観の特性分析

村田 潤一

1. はじめに

1-1. 研究の背景

美しいと呼ばれる景観には多数の人に共有される何らかの基準があるはずであり、より良い景観をつくり上げるために様々な研究が行われてきた。美しい景観を表したものの代表として、風景画があげられる。これは優れた美的センスを持ち、それを表現する技術を持った画家によって描かれた芸術作品として、一定の美的水準を満たしていると考えられる。市街地の復興及び修復においても絵画を活用した都市は数多く存在していることから、風景画の景観特性を定量的に理解することは、これからの街並み保存や景観計画を考える上でも非常に重要であると考えられる。

一方、近年コンピュータ技術の飛躍的な向上により、写真や絵画といった画像解析の研究が注目を集めている。その中でも二次元フーリエ変換による解析は複雑な画像においてその画像の潜在的な特性を表現する手法として確立している手法である。しかし、二次元フーリエ変換によって出力された結果は人間が見ることで定性的な判断を下す必要がある。そこで周波数解析の評価に用いられるゆらぎ理論に着目し、二次元フーリエ変換においても適用することで定量的に画像の特性について把握することができると考えられる。

1-2. 研究の目的

本研究では優れた景観を表現したものとして風景画を取り上げ、二次元フーリエ変換を行い空間周波数に分解し、ゆらぎ理論を適用することで風景画に描かれた景観全体のもつ特性を定量的に把握することを目的とする。また複数の風景画について解析を行い、算出されたゆらぎ値と景観構成要素との関係性を確認し、ゆらぎ値の変化が何に起因しているか明らかにする。

2. 研究の方法

2-1. 1/fゆらぎについて

“ゆらぎ”というのはある平均に従いながらも部分的にランダムな空間的、時間的変化の起こる状況のことである。“1/fゆらぎ”が初めて観測されたのは物理学において真空管の中を流れる電子電流のノイズの測定中に見つかったものであり、生体や自然界において

も「1/fゆらぎ」が存在し、あらゆる現象に関わっていることから、物理学や電子工学、医学など様々な分野で成果をあげている。ゆらぎの大きさを定量的に表すのにゆらぎ値という尺度がある。物理の分野において周期的な現象を解析するには周波数領域に変換して行くと本質的なものが見えてくるということが知られており、フーリエ変換によってスペクトルに分解し、その分解されたスペクトルがどのように分布しているかを示したものがゆらぎ値である。このゆらぎ値が-1となるのが“1/fゆらぎ”と言われるものである。

2-2. 二次元フーリエ変換

フーリエ変換の基本的な概念は「すべての信号は三角関数の和として表現できる」というところにある。これは二次元画像に対しても言える。図1のように、二次元画像を色の濃淡を振幅とする二次元波と捉えることで、二次元画像にもフーリエ変換が適用できる。画素数M×Nの画像上において、任意の画素の位置(m, n)における濃度値を $f_{m,n}$ 、横方向・縦方向の空間周波数k, lをパラメータとするフーリエ係数を $F_{k,l}$ とすると、 $F_{k,l}$ は(1)式によって表現される。これを二次元フーリエ変換という。

$$F_{k,l} = \frac{1}{MN} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} f_{m,n} e^{-j\frac{2\pi}{M}km - j\frac{2\pi}{N}ln} \quad (1)$$

二次元フーリエ変換による出力は、二次元の空間周波数(k, l)、およびパワースペクトル $P_{k,l}$ の三次元情報によって表現される。このときパワースペクトル

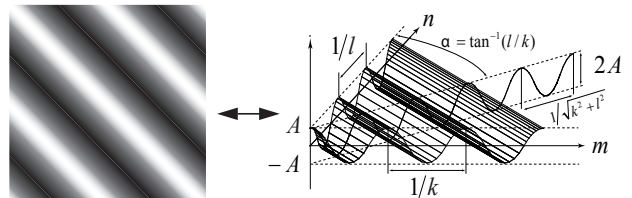


図1 二次元画像における空間周波数の概念

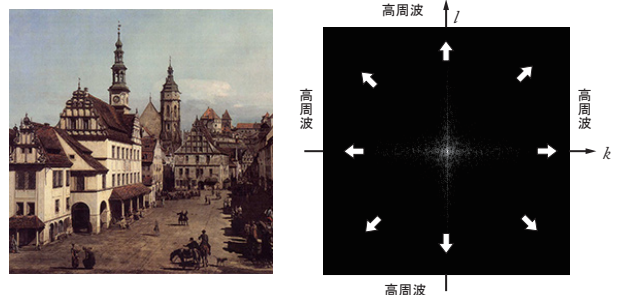


図2 左-元画像 右-パワースペクトル画像

$P_{k,l}$ は $P_{kl} = |F_{kl}|^2$ と定義することができ、これを1枚の画像に濃淡で表現したものをパワースペクトル画像という(図2)。この時スペクトル画像内の白で表現される画素が明るいほどパワースペクトル $P_{k,l}$ が大きことを表し、暗いほど $P_{k,l}$ が小さいことを表す。また縦軸が水平方向の成分を、横軸が垂直方向の成分を多く含んでいることを意味し、中心部に近づくほど低周波であり、外側へ広がるほど高周波となる。二次元フーリエ変換では画素の濃淡を振幅として捉えるため、グレースケールに変換して解析を行う。

2-3. 空間周波数におけるゆらぎ解析の基本構造

ゆらぎ解析は前節で求めたパワースペクトルを用いて行う。空間周波数を横軸に、パワースペクトルの値を縦軸にとり、両方の対数グラフをとることで右下がりの直線で近似できるグラフを得ることができ、その時のグラフの傾きが“ゆらぎ値”である。ゆらぎ値は値(x)の大きさによって特徴づけることができ、一般的に以下のように分類することができる(図3)¹⁾。

$x > -1$ のとき ランダムで複雑性が高くなる特徴があり、特にxが0に近いとき『白色ゆらぎ』と呼ばれ、どの周波数も同程度のパワースペクトルを含む。

$x = -1$ のとき 『1/fゆらぎ』と呼ばれ、適度な意外性と規則性が均等につりあった状態となる。

$x < -1$ のとき 低周波数に比べて高周波数のパワースペクトルが小さく、単調で規則性の高い特徴をもつ。

このように“ゆらぎ値”は周波数とパワースペクトルの関係を示したもので、高周波成分のパワースペクトルが大きくなるほどゆらぎ値は大きくなる。本研究では解析によって得られた値そのものを評価をするのではなく値の大小を比較しながら

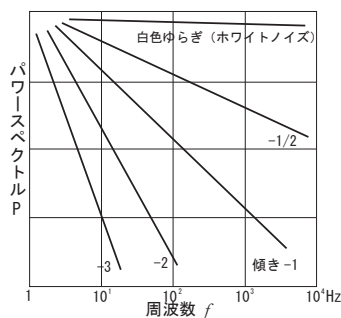


図3 周波数とパワースペクトルの関係

から相対的に絵画のもつ景観の特徴を明らかにする。

3. ゆらぎ理論の定義と風景画へのゆらぎ理論の適用

3-1. 解析対象

本研究では、ベルナルド・ベロットによって描かれた風景画を研究の対象とする。ベロットは、建築物や自然の眺望を精巧に描写していることで知られ、ほとんど現実に近い景観を表現している点で本研究に適していると考えられる。そこでベロットによって描かれたピルナの都市11点を対象として解析を行う(図4)。

3-2. 解析画像の作成と解析手順

二次元画像におけるゆらぎ値を算出するための解析手順を以下の通りに従って行う。

- i) 解析対象となる絵画の写真を解像度200dpiでスキャンし、JPEGデータで保存する^{注1)}。
- ii) 解析用にスキャンしたデータを256×256pixelのサイズにトリミングし、BMP形式で保存する^{注2)}。
- iii) BMP形式で保存した画像を二次元フーリエ変換を行い、パワースペクトルを求める^{注3)}。この時、画像は256階調のグレースケールに変換する。
- iv) 空間周波数をx軸、パワースペクトルをy軸とした対数グラフを作成し、最小二乗法を用いて直線を求める。得られた直線の傾きがゆらぎ値となる。

3-3. 画像におけるゆらぎ理論の特徴

画像において本解析手法により得られるゆらぎ値の基本的な定義について五枚のテスト画像(図5)を用いて考察を行う。この時、ゆらぎ値について値そのものよりも値の挙動に注目して検証を行う。まず11枚の風景画のほとんどが上半分に空が描かれていることを考慮して上半分を薄いグレー(空の平均濃度値)、下半分を濃いグレー(陸地の平均濃度値)のパターン1を作成する。二次元フーリエ変換によってパワースペクトル画像を求めるとパワーを示す白点は中心から垂直方向に表れた。これは元画像に強い水平方向の成分を持っていることを表す。次に下半分に垂直方向の



図4 ベロットによって描かれた11点の風景画(対象地:ピルナ)

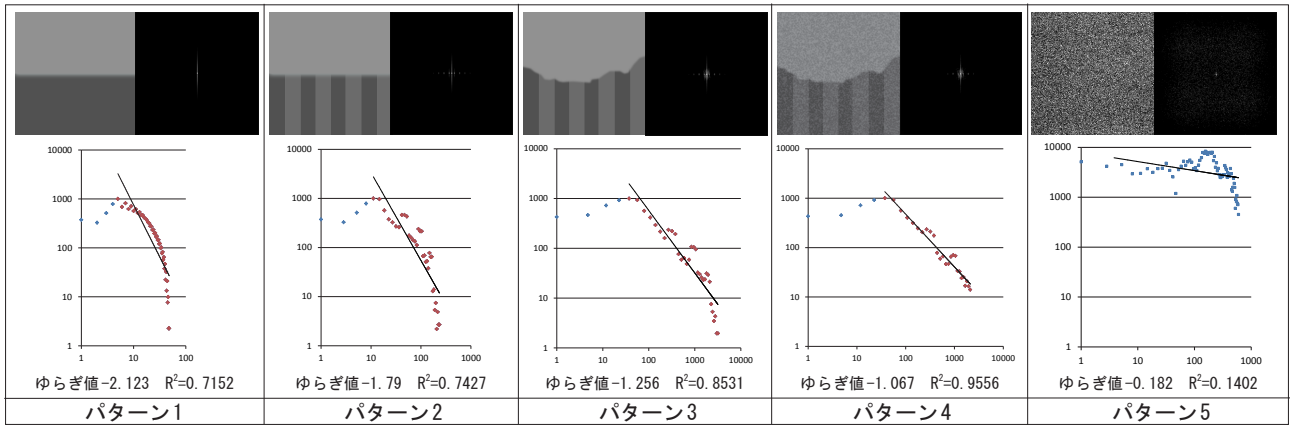


図5 画像を変化させたときのゆらぎ値の挙動

模様を加えたパターン2を作成したところ、パワースペクトル画像には垂直方向に加え、水平方向にも白点が表れた。ゆらぎ値はパターン1に比べ大きくなり、別方向の直線の要素が加わることでゆらぎ値は大きくなることがわかった。パターン3では実際のスカイラインに模して変化をつけた。パワースペクトル画像をみると垂直、水平方向以外にも白点が分散し、ゆらぎ値はパターン2に比べさらに大きくなった。このことから曲線などによって一定の方向だけでなく様々な方向性を持つことでゆらぎ値は増加するということがわかる。パターン4はパターン3にテクスチャー（ノイズ）を加えたものであり、さらにゆらぎ値は増加した。これはグラフで示すようにテクスチャーの付加によって細かい変化である高周波成分が増加したことが影響している。最後にノイズ画像について解析を行ったところパワースペクトル画像は白点が画面全体に分散し、低周波と高周波がほとんど均等に分布された。ゆらぎ値は他の画像に比べてかなり大きい値となった。以上の結果より①画像に階調の変化がなく均一な部分が多く占める場合ゆらぎ値は小さくなる②一定の方向性を持った画像はゆらぎ値は小さく、画像に様々な方向性を付加することでゆらぎ値が増加する傾向がある③画像にディテールが描かれることによってゆらぎ値が増加する、ということがわかった。本研究ではこれらの特性をふまえて解析を行う。

3-4. ベロットによって描かれた風景画の解析

ベロットによって描かれたピルナの風景画11点について実際に解析を行ったところ表1に示す結果となった。得られたゆらぎ値は約-1.1~-1.6となり、

絵画	ゆらぎ値	相関係数R ²	P6	-1.124	0.9231
P1	-1.149	0.963	P7	-1.157	0.9053
P2	-1.235	0.9048	P8	-1.238	0.9202
P3	-1.15	0.911	P9	-1.153	0.9163
P4	-1.339	0.9155	P10	-1.236	0.8814
P5	-1.561	0.7086	P11	-1.254	0.9621

表-1 解析結果

平均は-1.24と1/fゆらぎに近い値となった。スペクトルの分布の傾きが-1付近のものは“1/fゆらぎ”と呼ばれ、適度に相関をもちながらも変化に意外性と期待性を合わせ持つゆらぎであると述べたが解析結果より風景画において1/fゆらぎに近い値をもつものが多いことがわかった。次に算出されたゆらぎ値について何がゆらぎ値を決定しているのか、風景画の景観構成要素によって分類を行った上で解析結果の考察を行う。

4. 景観構成要素と解析結果の関係性

4-1. 景観構成要素について

絵画中の景観構成要素に着目し、ベロットの絵画から構図の抽出を行うことで、ピルナの都市景観の構成要素を視覚的・定量的に把握していく。景観構成要素は人工系の要素として「建築物」と「道路」、自然系の要素として「緑」と「水」の基本的な4種の要素に分け、それらに「空」を加えた全5種類で分類を行った。表-2はピクセル数を元に各要素の割合をまとめたものを示している。また、景観の構成要素を基にウォード法によるクラスター分析を行った結果を図6に、クラスターの種類については表-7に示した。

4-2. 解析結果と景観構成要素の関係性

各クラスターについてゆらぎ解析によって得られた結果と比較しながら関係性について述べる。

〈cluster-1〉

cluster-1は緑の占める割合が高いクラスターである。ゆらぎ値はP1,P9それぞれ-1.149, -1.153となり、

視点場	建物	道路	緑	水	空	Total
P1	6.7	0	33.5	6.4	53.4	100.0
P2	3.9	1.0	16.2	19.2	59.7	100.0
P3	17.2	3.5	8.3	17.9	53.1	100.0
P4	7.3	0	13.5	30.6	48.6	100.0
P5	40.6	22.6	0	0	36.8	100.0
P6	13.4	29.5	5.9	0	51.2	100.0
P7	6.0	28.0	20.1	0	45.9	100.0
P8	15.6	17.8	13.7	0	52.9	100.0
P9	9.1	0	40.0	0.3	50.6	100.0
P10	13.2	0	36.8	1.0	49.0	100.0
P11	47.0	0	3.8	0.7	48.5	100.0

表-2 景観構成要素

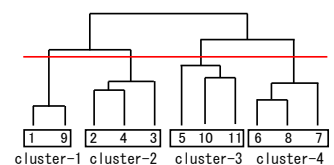


図6 クラスター分析

cluster-1	緑の占める割合が非常に高いクラスター
cluster-2	水の占める割合が比較的高いクラスター
cluster-3	建物の占める割合が非常に高いクラスター
cluster-4	全体的にバランスのとれたクラスター

表-7 クラスターの種類



図7 建物と緑地が交じり合っている (P1)

ゆらぎ値が-1である1/fゆらぎに近い値となった。どちらもゆらぎ値が大きくなったのは構成要素の緑の占める割合が大きかったことが影響している。特に、近景、中景に描かれている樹木は細かいところまで描かれており、階調の細かい変化が生じることで高周波成分のパワースペクトルが大きくなりゆらぎ値が大きくなったと考えられる。P1, P9は中景に建物がまともに描かれ、緑と建物が交じり合って配置されていることで直線の成分が少ないことが特徴である (図7)。

〈cluster-2〉

cluster-2は水の占める割合が高いクラスターである。ゆらぎ値はP2, P3, P4それぞれ-1.235, -1.15, -1.339となり、P3のみ比較的-1に近い値となった。まず、P2, P4についてみるとP2はエルベ川右岸の上流方向、P4は下流方向からピルナの町を眺めた構図である。いずれもエルベ川の水の占める割合が高く、空と水の割合が約8割程度と画面のほとんどを占めている。空と水の部分は広範囲にわたり階調値が均一であり変化が小さくなったことで単調となりゆらぎ値は小さくなったと考えられる。一方、P3が1/fゆらぎに近い値となったのはどの構成要素もバランスよく描かれ、近景と中景に描かれる樹木や建物、人物が細かく描かれることで階調に細かな変化を生み出されたことが影響していると考えられる。また他2枚に比べスカイラインの変化が大きいことでゆらぎが生じ、値も大きくなったと考えられる。

〈cluster-3〉

cluster3は建築物の占める割合が高いクラスターである。このクラスターのゆらぎ値はP5, P10, P11それぞれ-1.56, -1.236, -1.254と小さく、特にP5は11枚の中でもっとも小さい値となった。まずP5についてみると、緑の要素が一切描かれておらず、半分以上が建物と道路といった人工物によって構成されている。また建物は中景に描かれ、ファサードに見える窓は一定間隔で配置されており、これにより垂直方向の成分が強調され、ゆらぎ値は小さくなったと考えられる。パワースペクトル画像をみても横軸に白点が多く

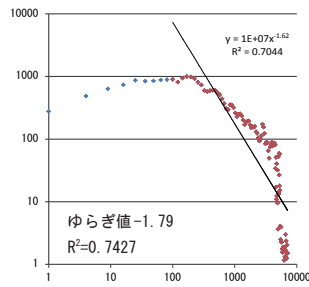


図8 P5におけるゆらぎ値と相関係数 R^2

含まれ、垂直成分が多く含まれていることが確認できる。しかし、相関係数が0.7086と相関はあるものの他の11枚と比べ最も低いことから、この解析の妥当性についても低いといえる (図8)。一方P10, P11は建物の構成要素の割合が高いがファサードが見えるのは近景の建物のみで、半分以上はピルナの街並みを俯瞰した構図で描かれた切妻の屋根である。屋根の方向性が一定でないことが景観にゆらぎを生み出し、その結果P5と比べてゆらぎ値が小さくなったと考えられる。

〈cluster-4〉

cluster-4は比較的バランスよく描かれたクラスターである。P6, P7は1/fゆらぎに近い値となったが、P8はそれに比べてゆらぎ値は小さくなった。P6, P7, P8いずれも建物、道路、緑の構成要素がバランスよく描かれており、建物の屋根に注目してみるとP6, P7は妻側に建物が向いて描かれているものが多い。一方、P8では建物が長手方向を正面に描かれており、水平成分が強調され方向性のばらつきが少ないことで値が小さくなったと考えられる。

5. 総括

本研究ではゆらぎ理論を風景面に適用することで、ベロットによって描かれた11枚の絵画においてゆらぎ値を得ることができた。また、解析結果より風景面は概ね1/fゆらぎの性質を持っていることを明らかにした。次に風景面を景観構成要素によってクラスター分析を行い、ゆらぎ値の特徴を検討するための4つのクラスターを得た。クラスターによってゆらぎ値に特徴が見られたことから、景観構成要素とゆらぎ値に関係性があることがわかった。この関係性については以下のことが明らかとなった。

- 1) ゆらぎ値に樹木が大きく影響しており、樹木の存在がゆらぎ値を大きくする効果があり、特に建物の間に樹木が織りなすように配置されることによって建物の輪郭が覆われ、景観にゆらぎをもたらしている。
- 2) 建物の占める割合が大きいほどゆらぎ値は小さくなったのは人工的営みによって生み出される直線の要素が同一方向をもって描かれたことで規則性が生まれゆらぎ値が小さくなったと考えられる。しかし、建物においても屋根が多く描かれる場合、屋根の傾斜によって方向性が分散し、ゆらぎ値は大きくなることも確認できた。

注1) 萩島哲著のバロック期の都市風景画を読むからスキャンを行った。
 注2) 元画像の中心を中心としたとき、最大の正方形となるようにトリミングをおこなった。また高速フーリエ変換を実行するうえで画像サイズが $2^8 \times 2^8$ pixelである必要があったため、 256×256 pixelに設定した。
 注3) 2次元フーリエ変換のプログラムはMicrosoft Visual C#を用いた。

参考文献

- 1) 武者利光：ゆらぎの発想 (1995)
- 2) 萩島哲：バロック期の都市風景画を読む九州大学出版会 (2006)