

周波数解析による景観，テクスチャパターン および絵画のゆらぎの評価

齋藤益美，森 俊夫

岐阜女子大学家政学部生活科学科生活科学専攻

(2013年9月19日受理)

Evaluation of Fluctuation of Landscape, Textural Patterns and Painting Arts Using Frequency Analysis

Department of Home and Life Sciences, Faculty of Home Economics,
Gifu Women's University, 80 Taromaru, Gifu, Japan (〒501-2592)

SAITO Masumi, MORI Toshio

(Received September 19, 2013)

Abstract

The Discrete Fourier Transform (DFT) is applied to characterize features of landscape, patterns, textures of fabrics and painting arts. A two-dimensional (2-D) power spectrum is derived from DFT of a digitized image. To describe the radial frequency(f) distribution of the 2-D power spectrum, a one-dimensional power spectrum, $P(f)$ is derived from the 2-D power spectrum. Since there is a good linear relation between $\log P(f)$ and $\log f$ for all the images used in this study, we estimated the slope of a line, α for each of them. The α -value is the coefficient of the $1/f^\alpha$ fluctuation. Although several kinds of fluctuation are observed in samples, these are mainly divided into three groups by the α -value, i. e. $\alpha = 0, 1$ and 2 . The $1/f^\alpha$ fluctuation is discussed in relation to randomness and regularity.

Key words: $1/f^\alpha$ fluctuation, frequency analysis, landscape, pattern, texture, painting art

要 旨

景観，パターン，布テクスチャや絵画の画像を試料として，これらの性状を特徴づけるために離散フーリエ変換を行なった。これらのデジタル画像にどのような周波数成分が含まれているかを調べるために，2次元（2-D）パワースペクトルを求めた。2-Dパワースペクトルの原点から等しい半径上にあるパワースペクトルの周波数（ f ）分布を調べるために，1次元パワースペクトル $P(f)$ を導いた。本研究で用いられたすべての試料に対して， $P(f)$ と f の両対数プロットの間にはよい直線関係が見出されたので，直線の傾きから $1/f^\alpha$ ゆらぎの係数である α 値を算出した。各試料に対していくつかのゆらぎが観察されたが， α の値によって主に3つのグループ即ち $\alpha=0, 1, 2$ に分類された。 $1/f^\alpha$ ゆらぎをランダム性規則性との関係から検討した。

〈キーワード〉 $1/f^\alpha$ ゆらぎ 周波数解析 景観 パターン テクスチャ 絵画

1. 緒言

われわれはそれぞれの感性や嗜好に様々な違いがあるにもかかわらず、同じような美しさや心地良さを感じる。昔から多くの日本人は移ろいゆくものや変化していくことの中に永遠に変わることのない美しさや心のやすらぎを求めてきた。雲の形態や動きが正確に繰り返されていたら、美しいとは思わない。星の瞬きも点滅信号のように規則正しく繰り返されたら、神秘的な美しさなどは感じられない。人工的なものと自然のものとの間には言葉を超えた違いがある。われわれは体の中のリズムが自然のリズムに共鳴したときに、最もやすらぎ、理想的な美を感じる。山の形もみな同じように見えるが、微妙に違って、同じものは一つもない。小川のせせらぎも頬をなでるそよ風も繰り返しているようで、同じ変化を繰り返すことはない。

自然界の複雑な現象や形態には予測不可能な微妙な違いや不規則な乱れが含まれるため、これまで科学の対象からはずされてきた。しかし、この偶発的に起きる複雑な現象も不規則な形状もあるゆらぎの規則に従うことが報告されている^{1)~4)}。

自然界には無数のゆらぎが見られるが、小川のせせらぎ、小鳥のさえずり、木目の模様などは人に快適な感じを与える1/fゆらぎとして知られている。われわれの心拍や脳波などの生体のゆらぎにも、天才の作曲した音楽や絵画の作品などにも1/fゆらぎが多く見られる^{1), 4)}。このようなゆらぎの刺激は心地良く、美しさや自然らしさを決める重要な役割を果たしている。

ゆらぎは時間や場所が変化するにつれて、物理的な性質や状態が変化する現象であるので、景観、テクスチャや絵画などの色調や濃淡の変化、形態などのいろいろな要素に着目

すると、同じ要素の繰り返し、異なる要素のランダムな現れ方、不均一でコントラストの異なる複雑な形態などの変動はゆらぎ現象と考えられる⁴⁾。ゆらぎの規則性を見出すにはフーリエ変換の方法を用いる。これは、ある変動が見かけ上、複雑に不規則に変化しているかのように見えても、それらは規則的にゆったりと変化している性質と、規則的にせわしく変化している性質をいろいろのせわしさかげんをもったたくさんの変化を重ね合わせることによって表現でき、ゆらぎの規則性を調べることが可能となっている⁵⁾。本研究では景観、パターン、テクスチャや絵画を試料として、これらのデジタル画像について離散フーリエ変換を適用し、形態あるいは色の濃淡の変化などがゆらぎに及ぼす影響を検討した。

2. 実験

2.1 画像の取り込み

試料としてデジタルカメラを用いて撮像した景観写真 (LS) の画像16種類をFig. 1に示した。また、Fig. 2にはAdobe Photoshop CS(2)のフィルター機能を用いて作成したパターン (PT) 7種類、スキャナ (Canon Scan 8600F) から取り込んだ色柄布のテクスチャ (T) 5種類およびインターネットから読み込んだ絵画 (P) 4種類の各画像を示した。景観については雑木林写真8種類 (LS1~LS8)、ビル写真3種類 (LS9~LS11)、ビルに木々を加えた写真2種類 (LS12, LS13)、道路沿いの写真2種類 (LS14, LS15) および航空写真1種類 (LS16) を、パターンでは、100%ガウス分布画像 (PT1)、モザイクタイル画像 (PT2)、ステンドグラス画像 (PT3)、三角図形画像 (PT4)、縦棒画像 (PT5)、墨絵画像 (PT6) およびストライプ画像 (PT7) を、テ

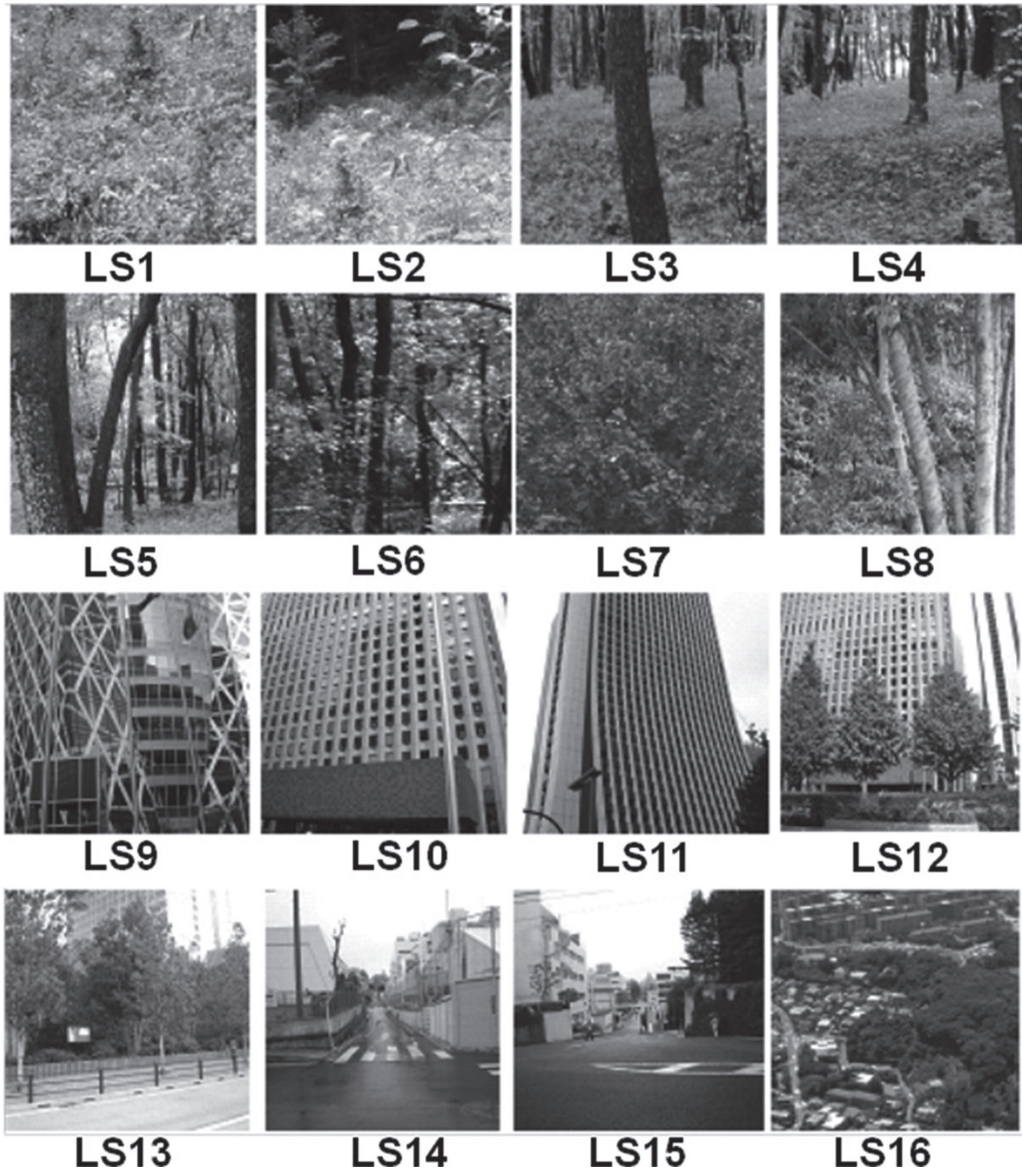


Fig. 1 Samples of landscape

クスチャでは綿白布 (T1)，花柄模様 (T2)，有松絞りの巻上げ絞り (T3) と蜘蛛絞り (T4)，伊予紜 (T5) を，絵画では，ゴッホの夜のカフェテラス (P1)，ルノアールのブランコ (P2)，ボッティチェリの受胎告知 (P3)，ピカソのアヴィニョンの娘たち (P4) の作品を試料として選んだ。いずれの画像も解像度 72dpi の条件で 512x512pixels の大きさの色彩

画像として使用した。カラー画像は光の 3 原色である sRGB の信号から構成されるので，色彩情報は画素位置ごとに RGB に分けて R 画像，G 画像および B 画像の各色濃度を 2 次元配列として 0~255 の 256 階調で保存した。

画像は各画素の平面における位置での濃淡の値が空間的にどのように存在しているかによって規定される情報である。カラー画像は

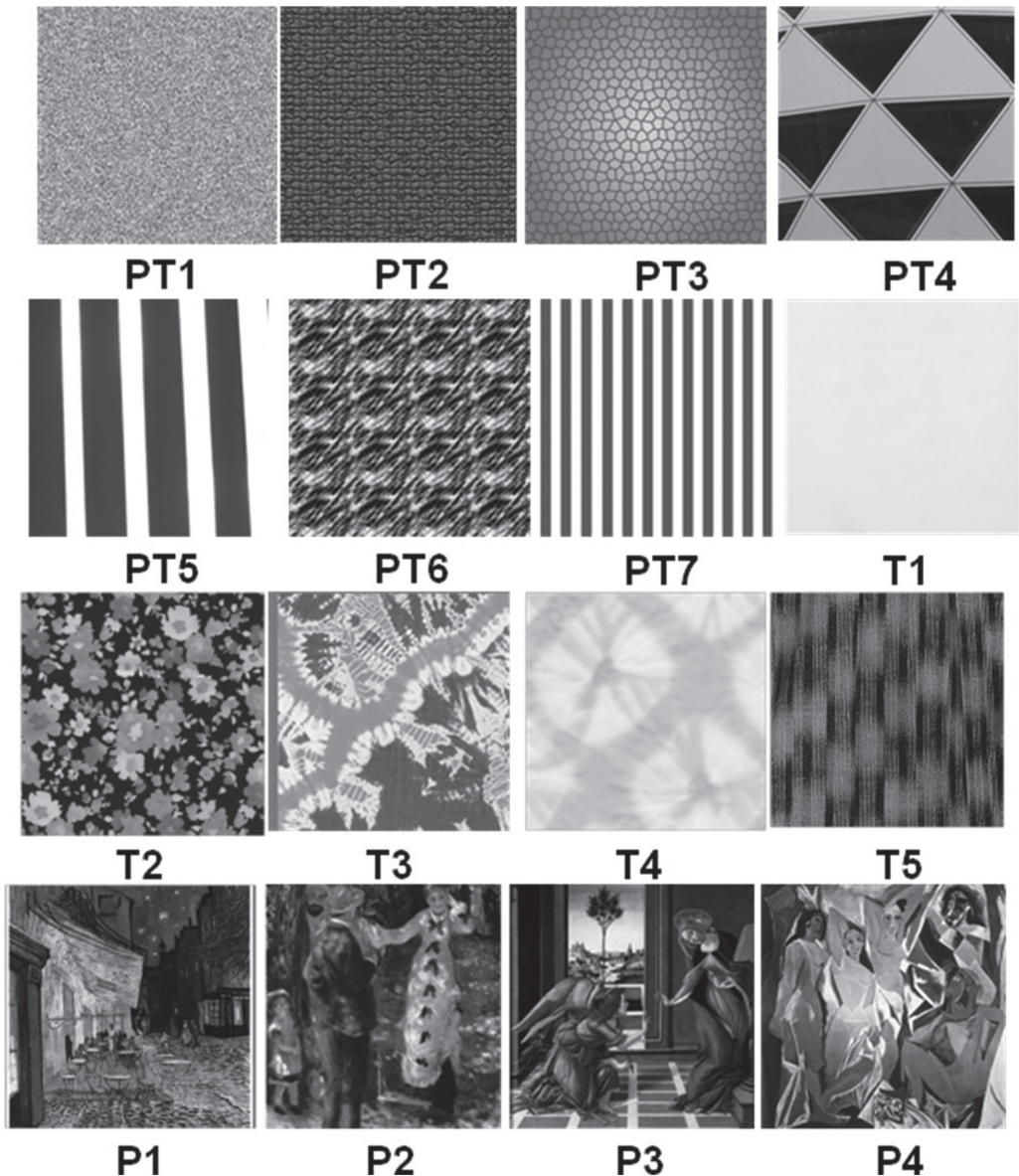


Fig. 2 Samples of textural patterns and painting arts

色の加法混色における3原色であるR（赤），G（緑），B（青）から構成されるので，色情報は画素位置ごとにRGBに分けて，それぞれの色濃度を0～255までのRGB値にデジタル化して2次元配列として保存する。ここでは画像の色彩の影響を取り除くために，(1)式を用いて256階調の白黒濃淡（グレイレベル）

ル）画像に変換した⁶⁾。

$$L = 0.117R + 0.813G + 0.011B \quad (1)$$

ここで，Lは画素のグレイレベルで，各画素は0（黒）～255（白）までの濃度レベルにデジタル化して保存した。RGB値がすべて0の場合にはL=0（黒），すべて255の場合には

$L=255$ (白) になる。

2.2 周波数解析

周波数解析は連続した画素の濃度変化の周波数成分によって画像を記述しようとする方法である。画像 $f(x, y)$ ($1 \leq x, y \leq M$) の離散的フーリエ変換 $F(u, v)$ は(2)式によって定義される^{5), 7)}。

$$F(u, v) = \frac{1}{M^2} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M f(x, y) \exp \left[-\frac{j2\pi}{M}(ux + vy) \right] \quad (2)$$

$(u, v = 0, 1, 2, \dots, M-1)$

画像 f の画素数は $M \times M$ ($M=512$ ピクセル) 個である。ここで， u, v は x, y に対応する周波数で， $j = \sqrt{-1}$ である。複素関数 $F(u, v)$ の実数部と虚数部をそれぞれ $Fr(u, v)$ ， $Fi(u, v)$ とすると，振幅 $M(u, v)$ は(3)式で与えられる。 $M(u, v)$ の2乗はパワースペクトル $P(u, v)$ と呼ばれる。

$$M(u, v) = |F(u, v)| = \sqrt{Fr(u, v)^2 + Fi(u, v)^2} \quad (3)$$

パワースペクトルは関数に対する各周波数成分の寄与を示すために，周波数に対して2次元的に表示する⁵⁾。

3. 結果と考察

3.1 パワースペクトルの周波数依存性

Fig. 3には景観の代表的な例として雑木林 (LS4) とビル (LS10) の，テクスチャの代表的な例として100%ガウス分布画像 (PT1) とストライプ柄 (PT7) の2次元パワースペクトルを示した。これらの2次元パワースペクトル $P(u, v)$ にはそれぞれ特徴的な分布がみられるが，定量的に評価することが困難

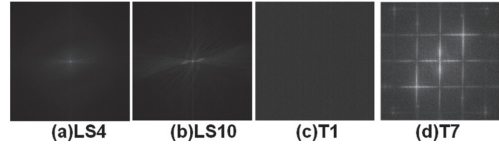


Fig. 3 Power spectra of typical samples:
(a)LS4, (b)LS10, (c)T1, (d)T7

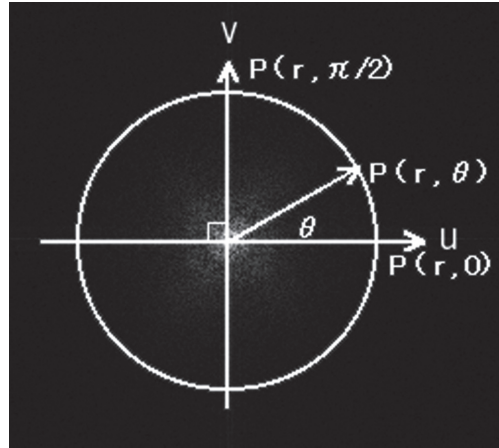


Fig. 4 Radial distribution $P(r)$ of power spectrum

であるため，1次元パワースペクトル $P(r, \theta)$ への変換を試みた。Fig. 4に示されるように， $P(u, v)$ は (u, v) 平面の極座標 (r, θ) では， $P(r, \theta)$ として表されるとすると，2次元パワースペクトルにおいて原点から等しい半径 r 上にある成分の総和 $P(r)$ は(4)式で計算される^{7), 8)}。

$$P(r) = \sum P(r, \theta) \quad (4)$$

ここで $P(r, \theta)$ は水平方向の u 軸に対して角度 θ 方向にある半径 $r (= \sqrt{u^2 + v^2})$ 上の画素のパワーを表す。周波数 (f) は原点からの半径の距離 (r) と(5)式によって関係づけられるので， f に対する $P(f)$ の依存性を調べることができる。

$$f = \frac{72}{254 \times 256} r \quad (5)$$

Fig. 5には4つの試料に対して， $\log P(f)$ と

$\log f$ の関係をプロットして例示した。本研究で用いられたすべての試料について $\log P(f)$ と $\log f$ の間にはよい直線関係が見出されたので、(6)式に従いそれらの直線の傾き α を算出した。

$$\log P(f) = k - \alpha \log f = k + \log(1/f^\alpha) \quad (6)$$

ここで k は定数、 α はゆらぎの係数である。 $\alpha=0$ のとき白色ゆらぎ（ランダムホワイトノイズ）を、 $\alpha=1$ は $1/f$ ゆらぎを、 $\alpha=2$ は比例雑音（ランダムウォークノイズ）を表す。

3.2 $1/f^\alpha$ ゆらぎ

ゆらぎの種類はいくつかのグループに大別される。Fig. 5 の白色ゆらぎ ($\alpha=0$) のスペクトルは周波数に対して一定値をとり、パワーと周波数の間に相関がないことを示している。したがって、このようなゆらぎは、色調や濃淡の分布が全くランダムで隣接する場所の色調や濃淡の変化に規則性がないことを示唆している。このようなゆらぎは、完全に無秩序なゆらぎとなり、それらの性質や状態の意外性は最大となると考えられる。他方、周波数とパワーの間に相関のあるゆらぎがあ

る。これらは α の値によって数種類のゆらぎに分類される^{1), 4)}。もし周波数とパワーとの間に相関があれば、パワーは高周波に向かって直線的に減少する。これはもとのゆらぎに記憶効果があり、その効果が強ければパワーは周波数と共に大きく減少する。一般に直前の性質や状態の影響を強く受ければ受けるほど α の値は大きくなる。しかし、相関が少なくなると (α の値が小さくなると)、場所から場所への色調や濃淡の変化に意外性が大きくなる。意外なことばかり連続して起こると、見ている人は疲れてくるし、自分のもっている概念との結びつきが得られなくて興味がわかなくなる。これに対して、比例雑音 ($\alpha=2$) では前の状態の影響を強く受けるので、確率的に予測不可能な挙動を示す。このようなゆらぎを示す画像では、それらの色調や濃淡の変化や状態が場所と場所の左右前後の関係から簡単に予測でき、規則性が強くなることから単調なゆらぎと考えられる。 $1/f$ ゆらぎは $1/f^0$ ゆらぎと $1/f^2$ ゆらぎの中間にある。 $1/f^0$ ゆらぎにみられるランダム性と $1/f^2$ ゆらぎにみられる規則性がほどよく調和することにより、予測不可能な秩序性を生み出

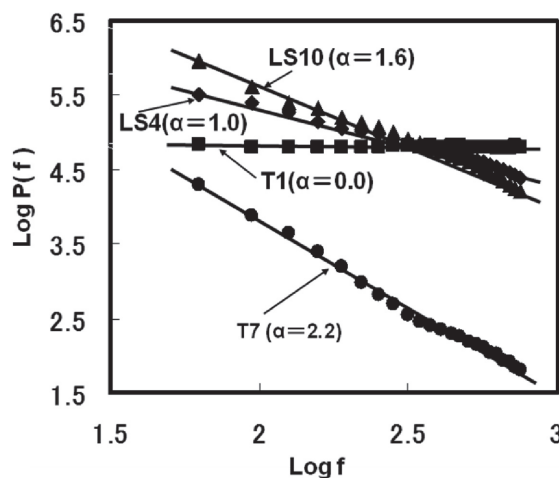


Fig. 5 Dependence of power spectrum $P(f)$ on frequency f

す。1/fゆらぎは，予測不能性を含んだ変動であるので，完全に予測できる現象よりも不確定性があり，その不確定性がどうなるかというところに期待がもたれる。したがって，このようなゆらぎをもつ景観，テクスチャパターンや絵画などはいつまでも飽きることのない美しさや心のやすらぎを与える⁵⁾。αの値が1より小さくなると画像のランダム性が強くなり，意外性が大きくて唐突な感じを与える。反対にαが1より大きくなると規則性が強くなり，意外性が少なく単純で退屈な感じを与える。

Table 1には各試料のα値をまとめた。100% ガウス分布 (PT1)，モザイクタイル (PT2)，ステンドグラス (PT3) の各パターンおよび綿白布 (T1) ではいずれもα=0に近い値をとり，無秩序な白色ゆらぎを示す。これらは，ランダムで方向性も秩序性もないテクスチャパターンの特徴を示し，唐突感を与えると推察される。他方，自然の風景である雑木林 (LS1～LS8) の景観，伝統工芸品として有名な有松絞り (T2, T3) や伊予紵 (T4)，有名な絵画作品であるゴッホの夜のカフェテラス (P1)，ルノアールのブランコ (P2)，ボッティチェリの受胎告知 (P3)，ピカソのアヴィニヨンの娘たち (P4) ではいずれの試料も1/fに近いゆらぎを示し，自然らしさ，美しさや心のやすらぎを与える。これはそれらの色調や濃淡による形態が規則的に繰り返されていないことと一部関係すると推察される。明らかに規則的な変化を示すパターンの試料 (PT6, PT7) ではαは2に近い値を示し，規則的な変化は単調で退屈であることを示している。しかしながら，若干不規則な図形の規則的な繰り返しによる変化 (PT4, PT5) や規則的な形態の中に若干の不規則な乱れがみられるような場合 (LS9, LS10, LS1) 1にはαは2より小さくなる。

Table 1 Coefficient of 1/f^α fluctuation (α-value)

Sample	α	Sample	α
LS1	0.99	PT1	0.0
LS2	1.0	PT2	0.0
LS3	1.1	PT3	0.1
LS4	1.0	PT4	1.6
LS5	1.0	PT5	1.6
LS6	1.0	PT6	2.0
LS7	0.99	PT7	2.2
LS8	1.0	T1	0.0
LS9	1.4	T2	0.6
LS10	1.5	T3	1.0
LS11	1.6	T4	1.0
LS12	1.0	T5	1.0
LS13	1.0	P1	1.0
LS14	1.3	P2	1.3
LS15	1.2	P3	1.2
LS16	1.2	P4	1.0

また，Fig. 1の試料 (LS12～LS16) にみられるように人工的なビルの前，道路沿いや町並みの中などに，木々の緑の自然を取り入れると明らかにαは1に近づいていく傾向がみられる。このことは自然の木々にみられる不規則な乱れと人工的なビルや町並みの繰り返しによる規則的な変化がほどよく調和してくると1/fゆらぎが得られることを示唆している。

4. 結論

景観，テクスチャパターン，絵画などに見られる形態はその大きさ，形，密度，シャープネスやランダムネス，コントラスト，複雑さなどに応じて種々な印象を与える。これらの外観は総合的，複合的に知覚されるので，個々の要因を区別して評価することは困難である。そこで，このような複雑な試料画像について，色調や濃淡の変化を特徴づけるために周波数解析を試みた。

(1) 2次元パワースペクトルから求められた1次元パワースペクトルP(f)と周波数fの両対数プロットから，P(f)とfの関係は

$P(f) \propto 1/f^\alpha$ を示すことが見出された。

(2) 試料の外観に対して多くのゆらぎが観察されたが、 α の値によって主に3つのグループ ($\alpha=0, 1, 2$) に分類される。

(3) $\alpha=1$ のゆらぎは $1/f$ ゆらぎと呼ばれ、これは自然の景観、伝統工芸品である絞りや緋、有名な絵画、人工的な性状と自然の性状が適当に混在した景観に観察され、心地良いやすらぎや自然感を与える。

(4) $\alpha=2$ のゆらぎは比例雑音 (ランダムウォークノイズ) と呼ばれ、規則性の高いパターンに観察された。 $1/f^2$ ゆらぎは規則性が強いいため、見た目には単調なパターンとなり、退屈な感じを与える。

(5) $\alpha=0$ のゆらぎは白色ゆらぎ (ランダムホワイトノイズ) と呼ばれ、ランダムイズされたパターンや白生地において観察された。 $1/f$ ゆらぎは画像がすべての周波数を一様を含むために、ランダム性が強く、唐突で秩序性のないパターンに多いことがわかった。

引用文献

- 1) 武者利光；ゆらぎの世界，講談社（1990）
- 2) 柳井雄一；織機誌， $1/f$ ゆらぎを応用したテキスタイル，53-2，（2001）99-101
- 3) T. Mori and Y. Endou; Fluctuation of Lace Patterns Using Frequency Analysis, J. Text. Inst., 92-1, (2001) 150-158
- 4) 武者利光；ゆらぎの発想，NHK出版（1994）
- 5) 佐治春夫；ゆらぎの不思議な物語，PHO研究所（2001）
- 6) T. Mori and J. Komiyama; Evaluating Wrinkled Fabrics with Image Analysis and Neural Networks, Textile Res. J., 72-5, (2002) 417-422
- 7) Xu, B.; Identifying Fabric Structures with Fast Fourier Transform Techniques. Text. Res. J., 66-3, (1996) 496-506
- 8) 白井良明，谷内田正彦；パターン情報処理，オーム社，（1998）94-100