周波数解析による繰り返し模様のゆらぎの評価

森　俊夫[1)]，斎藤益美[1)]，児玉愛子[1)]，浅海真弓[2)]
[1)]岐阜女子大学家政学部生活科学科生活科学専攻　[2)]大阪成蹊短期大学生活デザイン学科
（2015年10月14日受理）

Evaluation of fluctuation for repeated patterns using frequency analysis

１）Department of Home and Life Sciences, Faculty of Home Economics,
Gifu Women's University, 80 Taromaru, Gifu, Japan（〒501-2592）
２）Department of Life Design,
Osaka Seikei Junior College, 80 Higashiyodogawa, Osaka, Japan（〒533-0007）

MORI Toshio, SAITHO Masumi, KODAMA Aiko, ASANOMI Mayumi

（Received October 14, 2015）

要　旨

ゆらぎ係数（α）を色と模様ごとに比較すると，ストライプ模様では各色1つずつの1/*f* ゆらぎ配色が存在したが，ビビッドイエローでは1/*f* ゆらぎ配色が見られなかった。市松模様（10ピクセル）では，ほとんどの配色で1/*f* ゆらぎ配色が現れ，市松模様は，ある一定の大きさで1/*f* ゆらぎ配色を示すことがわかった。しかし，ストライプ模様で1/*f* ゆらぎを示した配色は，同じ配色の市松模様（10ピクセル）では白色ゆらぎとなった。ビビッドレッドの市松模様では，模様の面積と比例してα値も小さくなった。これは，模様の色が周囲の影響を受けて色彩現象を起こし，ゆらぎと関連したと考えられる。

Ⅰ．緒言

太陽の光には様々な周波数の色が含まれており，可視光線という380 nm～780 nmの狭い範囲の波長でしか人は色を見るという感覚を起こさない。またゆらぎは，ある現象の時間的変化の性質を分析して得られる成分の周波数により分類することができる。このように，色光とゆらぎはどちらも周波数に依存している。

自然界の多くの自然物は，ゆらぎを持っていることが知られている[1)]。ゆらぎとは，ある平均に従いながらも，部分的にランダムな空間的，時間的変動をすることである。紅葉などの時間的な色の変化，海の波のリズム，人の心拍などには1/*f* ゆらぎがみられる。

ゆらぎの解釈によっては結果が著しく仮説的になったり，単純化されていることが多いが，ゆらぎの程度が合理的に計算できることは，曖昧なゆらぎの感性的理解の明快性を求

める上で，大変意義があると考えられる。

自然界の複雑な現象や形状には，予測不可能な微妙な違いや不規測な乱れが含まれており，この複雑な現象も不規則な形状も，ゆらぎの規則性に従うことが報告されているが[2]，配色とゆらぎとの関係についてはほとんど研究されていない。1/*f* ゆらぎを示す配色があるのならば，インテリアやエクステリア，都市計画など様々な分野で活用できると考えられる。

そこで本研究では，ストライプ模様と市松模様の画像および色柄布画像を試料として，動きや形の変化とは関係なく，配色のみによる1/*f* ゆらぎが可能であるのか，また，どのような配色条件が1/*f* ゆらぎを示すのかを検討し，見出された1/*f* ゆらぎ配色からその原因を追究すると共に，配色によって起こる混色や同化や対比現象とゆらぎの関係性を明確にした。

Ⅱ．方法

1　試料

1－1　試料作成

試料画像は，ADESIGN（自作プログラム）を用いてストライプ模様と市松模様を作成した。ストライプ模様は図1に一例を示すように，経糸・緯糸の太さを10ピクセルに設定し，ビビッドレッド，ビビッドブルー，ビビッドグリーン，ビビッドイエローを基本色として，ビビッドトーン9色，同色ペールトーン1色，同色ライトトーン1色，同色ダークトーン1色，ホワイト，グレー，ブラックの15色を用いた面積比1：1の2色配色である。市松模様は経糸・緯糸の太さを，40ピクセル，20ピクセル，10ピクセル，2ピクセルに設定し，ストライプ模様と同様の2色配色である。市松模様は経糸・緯糸の太さを，40ピクセル，20ピクセル，10ピクセル，2ピクセルに設定し，ストライプ模様と同様の2色配色である（図2～5）。

1－2　画像の取り込み

作成した画像は市販ソフトフォトショップCSを用いて読み込み，画像解像度72 dpiの条件でサイズを512×512ピクセル（約18×18 cm）のカラー画像として使用した。カラー画像は光の3原色であるs RGBの信号から構成されるので，色彩情報は各画素位置で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階調で保存された。

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，色情報は各画素位置でRGBに分けて，それぞれ

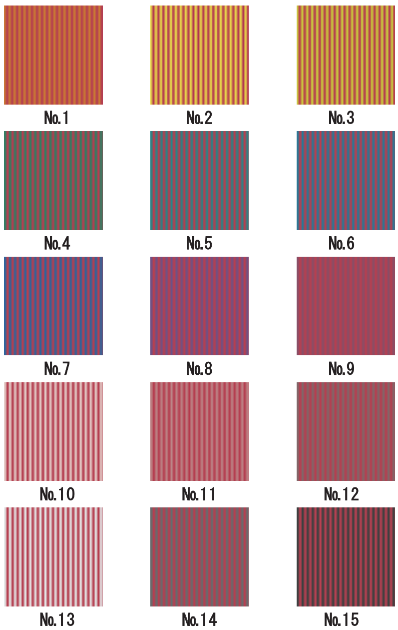

図1　ビビッドレッドとの２色配色のストライプ模様画像の一例

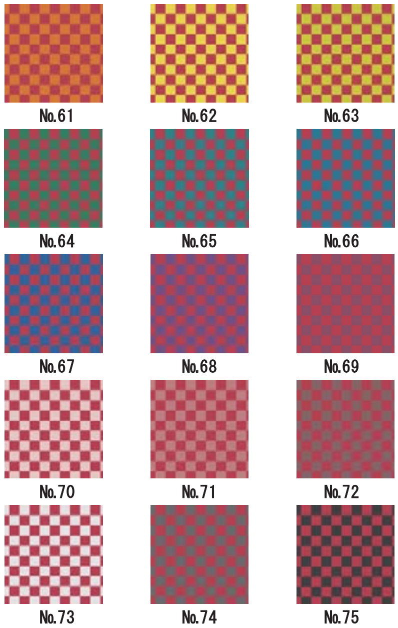

図２　ビビッドレッドとの２色配色の市松模様画像（40ピクセル）

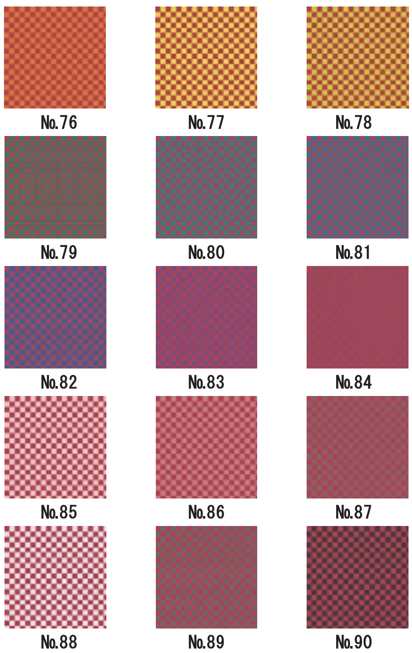

図３　ビビッドレッドとの２色配色の市松模様画像（20ピクセル）

図４　ビビッドレッドとの２色配色の市松模様画像（10ピクセル）

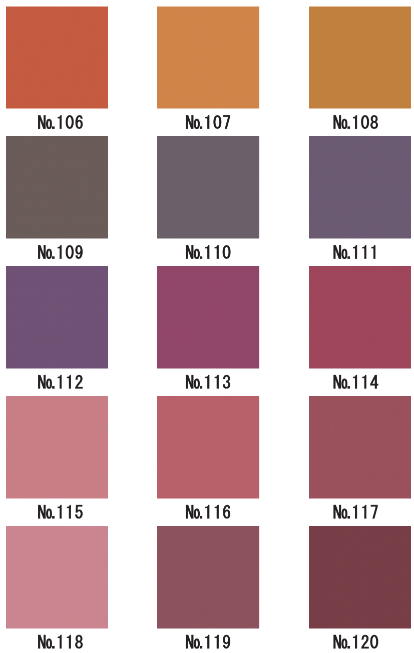

図５　ビビッドレッドとの２色配色の市松模様画像（２ピクセル）

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される。ここでは画像の色彩の影響を取り除くために，下式を用いて256階調の白黒濃淡（グレイレベル）画像に変換された[3]。

$$L = 0.117\,R + 0.813\,G + 0.011\,B$$

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されて保存された。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。

1－3　周波数解析

周波数解析[4]は，連続した画素の濃度の変化を周波数成分によってテクスチャに記述しようとする方法である。

画素$f(x, y)$（$1 \leqq x, y \geqq M$）に対して，離散的フーリエ変換$F(u, v)$は下式によって定義される。

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

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

画像fの画素数はM×M（M＝512ピクセル）個である。ここでは，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$M(u, v)$は下式で与えられる。$M(u, v)$は2乗のパワースペクトル$P(u, v)$と呼ばれる。

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

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次元的に表示される[4]。

Ⅲ．結果と考察

3－1　2次元パワースペクトル

2次元パワースペクトルを特徴別に分けると，大きく分けて3つに分類することができる。大まかな柄は濃度変化が大雑把で少ないため，原点近くにおけるパワースペクトル値が大きくなる。細かい柄では濃淡の変動が細かく，微妙になるにつれてパワースペクトルの大きな値の部分は原点から遠ざかり分散されたようになる。また，繰り返しの強い柄では周期的に強いパワースペクトルが現れる[7]。

図6には，一例として図2の試料画像（No.61）の2次元パワースペクトルを示した。

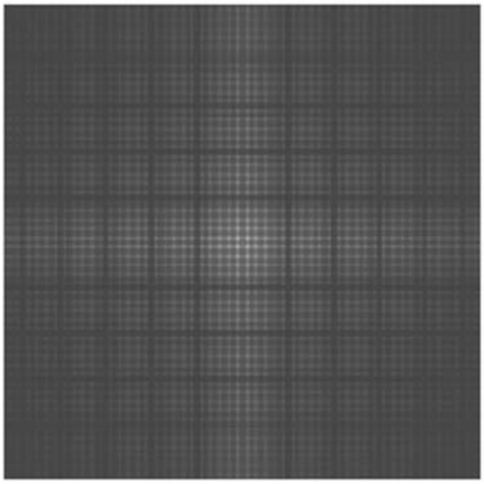

図6　市松模様画像の2次元パワースペクトル（No. 61）

3－2　パワースペクトルの周波数依存性

パワースペクトルを用いて，テクスチャの方向性と要素の大きさの分布を記述することができる。2次元パワースペクトルではテク

スチャを定性的にしか評価できないので，定量的に評価するために，1次元パワースペクトルに変換することにする。$P(u, v)$は(u, v)平面の極座標(r, θ)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$P(r)$は下式で計算される。

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

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上の画素のパワーを表す。試料は画像サイズ512×512ピクセル，解像度72 dpiの条件で取り込まれているので，得られたパワースペクトルは周波数分布の原点を中心に，水平方向，垂直方向ともに原点から255ピクセルの範囲で表示される。従って，2. 54 cmあたり72ピクセルの解像度の下で取得された画像のパワースペクトルでは，周波数（cm^{-1}）は原点からの半径の距離r（ピクセル）と次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[5]。

$$f = \frac{72}{2.54 \times 256} r$$

本研究で用いられた全ての試料について$\log P(f)$と$\log f$の間には良い直線関係が見出されたので，下式に従いそれらの直線の傾き（$-\alpha$）を算出した。

$$\log P(f) = k - \alpha \log f = k + \log\ (1/f^{\alpha})$$

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。$\alpha-1$は全領域での値，$\alpha-2$は高周波と低周波を除いた値，$\alpha-3$は高周波のみを除いた値，$\alpha-4$は低周波のみの値である。

算出したα値を色と模様ごとに比較すると，ストライプ模様では，ビビッドレッド，

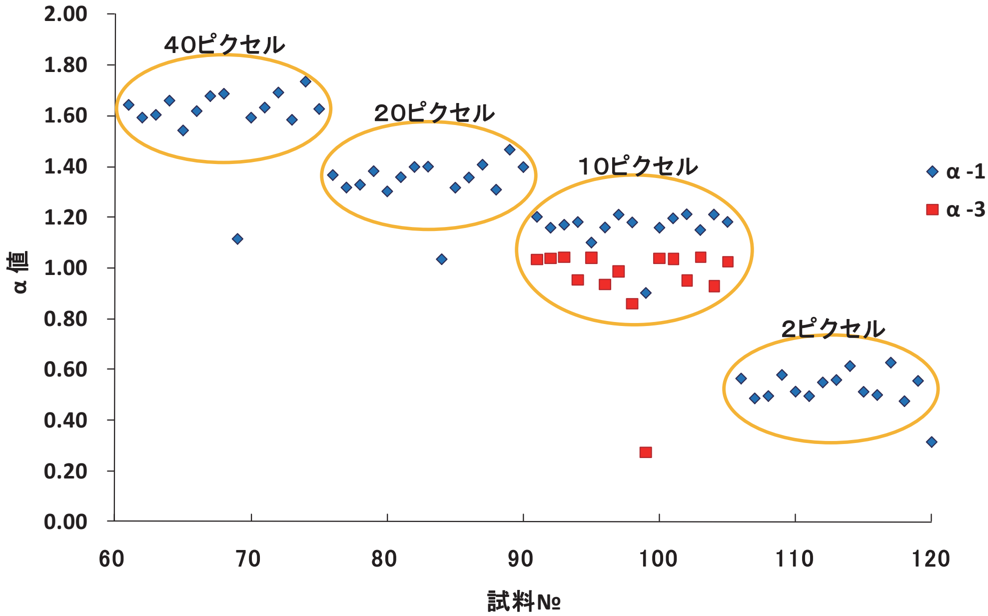

図７　ビビッドレッドの市松模様のα値の変化

ビビッドブルー，ビビッドグリーンの各色で1つずつの1/*f* ゆらぎ配色が見つかったが，ビビッドイエローでは1/*f* ゆらぎ配色は見つからなかった。ビビッドレッドの市松模様については，図3～図5でも明らかであるが，模様の面積が小さくなるとαの値も小さくなることがわかり，市松模様（10ピクセル）では，α－3の値において，ほとんどの配色で1/*f* ゆらぎが現れた。市松模様はある一定の大きさになると1/*f* ゆらぎ配色を示すということがわかる。また，ストライプ模様で1/*f* ゆらぎを示した配色は，同じ配色の市松模様（10ピクセル）では白色ゆらぎとなっている。

3－3　色彩現象とゆらぎ

市松模様やストライプ模様などは，図柄の色が周囲の影響を受けて本来の色とは異なって見えることがある。このような現象は，混色や同化および対比などによく知られている。混色は織物のように経糸・緯糸の個々の色は異なるが，並置加法混色により感覚的に混色されて一色に見える現象である。これに対して，隣り合った色や背景の違いなどの色彩環境に応じて，お互いに見えが反対の性質を持つものが同化と対比の現象である。同化の強弱は，誘導色が被誘導色の内部に占める密集性の程度による。一般に誘導色の間隔が狭く，また，密度が高くなるほど同化は強くなると考えられている。混色や同化および対比も，同一規則に基づく連続の移行現象であるといわれている。このような現象は，従来，心理的および感覚的な現象としてとらえられ，客観的に評価することは困難であり，混色や同化, 対比がどのように移行していくか，物理的にとらえることは難しい。

これに対して，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，景観やテクスチャおよび絵画などの色調や濃淡の変化, そして形態など，いろいろな要素に着目すると，同じ要素の繰り返しや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。

本研究では，市松模様の2色配色で格子の大きさの変化によるゆらぎの程度を調べた結果，格子のサイズによってα値が特徴的に変化することを見出した。図3～6には，一例として赤（R）と青（B）の2色配色による市松模様のサイズの変化を比較して示した。

図2～5の格子のサイズが2～5ピクセルでは混色し，10～15ピクセルでは同化し，20～40ピクセルでは対比している様子がわかる。これらを図7の市松模様のゆらぎ係数(α)と関連してみると，混色して見えるものはα＝0. 4～0. 6, 同化して見えるものはα値1. 0前後，対比に見えるものはα＝2. 0に近いものである。内部の格子密度の程度が非常に高くなると，ランダム性が強くなり混色して白色ゆらぎを示し，反対に密度の程度が非常に低くなると一様性や均一性が増大し，規則的な変化が強くなり，対比を示す。ランダム性と, 一様性や均一性がほどよく調和すると1/*f* ゆらぎを示し，この状態においては同化現象が起こると考えられる。従って，α＝0に近い場合には混色し，α値が増大して1. 0の近くなるにつれて同化していく。α値が1. 0より大きくなればなるほど，対比が増していくと考えられる。この結果，混色や同化および対比の移行現象はゆらぎ現象との類似性が大きいと結論づけることができる。そして，混色は白色ゆらぎ，同化は1/*f* ゆらぎ，対比は $1/f^2$ ゆらぎに対応すると解釈される。ランダム性が強くなれば混色し，単純で規則性が強くなると対比現象が現れる。

Ⅳ　結論

ADESIGN を用いて作成したストライプ模様と市松模様の画像を試料として周波数解析を行い，2次元パワースペクトルを算出した。ゆらぎについて検討した結果，以下のようにまとめられる。

1）2次元パワースペクトルから1次元パワースペクトルを算出し，周波数に対する依存性を調べたところ，両者の両対数プロットにおいて，いずれも良い直線関係が得られたので，ゆらぎの係数を求めた。算出したα値を色と模様ごとに比較すると，ストライプ模様では，各色1つずつの $1/f$ ゆらぎ配色が見つかったが，ビビッドイエローでは $1/f$ ゆらぎ配色が見つからなかった。市松模様（10ピクセル）では，α−3の値においてほとんどの配色で $1/f$ ゆらぎ配色が現れた。しかし，ストライプ模様で $1/f$ ゆらぎを示した配色は，同じ配色の市松模様（10ピクセル）では白色ゆらぎとなっている。

2）ビビッドレッドの市松模様については，模様の面積が小さくなるとαの値も小さくなることがわかった。この場合，模様の色が周囲の影響を受けて，混色や同化および対比現象を起こすことから，このような色彩現象をゆらぎとの関連で議論した。この結果，混色現象は白色ゆらぎと関係し，同化現象は $1/f$ ゆらぎに起因すると考えた。さらに，対比現象は規則性の強い $1/f^2$ ゆらぎと関係することがわかった。

3）色彩現象である混色や同化および対比は，同一規則に基づく連続の移行現象で，心理的・感覚的な現象としてとらえられ，客観的に評価することは困難であった。市松模様の格子のサイズが2～5ピクセルでは混色し，10～15ピクセルでは同化し，20～40ピクセルでは対比する。また，混色して見えるものはα＝0. 4～0. 6，同化して見えるものはα値1. 0前後，対比して見えるものはα＝2. 0に近いものであった。格子の間隔が狭くなり格子密度が非常に高くなると，ランダム性が強くなり混色して白色ゆらぎを示す。反対に，密度が非常に低くなると，格子の一様性や均一性が増大して規則的な変化が強くなることから対比を起こす。ランダム性と規則性（均一性）がほどよく調和したときに同化する。従って，α＝0に近いときは混色し，α＝1. 0に近くなると同化し，α＝2. 0のときは対比すると推察される。この結果，混色や同化および対比の移行現象は，ゆらぎ現象とのアナロジー（類似性）が大きいと結論づけることができる。

文献

1）武者利光；ゆらぎの発想，日本放送出版協会（1998）

2）森俊夫，高柳紅美，日下部伸幸，遠藤善道；周波数解析による凹凸のある布表面のゆらぎの評価，繊消誌, 44, 279−285（2003）

3）岩佐美代子，森俊夫；画像解析による平編みの視覚的特徴と美しさ，繊消誌, 49, 107−114（2006）

4）岩佐美代子，森俊夫；画像解析による織物の視覚的テクスチャと美しさ，繊消誌, 42, 41−50（2001）

5）森俊夫，宮袋理恵；杉田家所蔵着物類の織り柄模様にみられる $1/f$ ゆらぎの美しさ，地域文化研究，第16号, 27−35