

# 色彩テクスチャの周波数解析

森 俊夫

岐阜女子大学家政学部家政学科家政学専攻

(2003年9月11日受理)

## Frequency Analysis of Color Textures

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

MORI Toshio

(Received September 11, 2003)

### 1. 緒言

色彩テクスチャの視覚的性質を特徴づけるのに最も適した布地として紬がある。紬は本来、真綿、屑繭から紡いだ糸を経糸、緯糸に使用して機で織り上げた練絹織物で、布面に糸の織度むらや不規則な大小の節が見られ、野趣に富んだ独特の風合いを特徴としている。この点が好まれ、普段着、日常着、外出着としても愛用されてきた。現在では、日本の各地に紬織物がある。産地によって、素材の種類、形態、紬絁糸の加工、染め、織りなどにそれぞれ独自の特徴を持っている。

一般に織物の色彩テクスチャは、大小のとりまざった様々なパターンや文様などから構成されているので、フーリエ変換という数学的な手法を利用して、大きさの異なるパターンの現れ方や紡いだ糸の自然発生的な不均一性がもたらす色彩テクスチャのゆらぎ構造を調べることが可能である<sup>1)</sup>。この解析で見出されるゆらぎの特徴とは、周波数に対応するパワースペクトルが、 $1/f^\alpha$  に比例するというスケール則に従うことである<sup>2)</sup>。

快適さを与えるゆらぎの構造は、人間が自

然であると感じるほどの良いでたらめさを持ち、 $1/f$  ゆらぎを示すことが知られている<sup>3)</sup>。紬の色彩テクスチャに、このようなゆらぎのパターンが含まれているかどうかを解析することは、伝統工芸品として人々により好まれ、愛用される内的必然性がどのような内容であるか、また重要性が高いかを知るうえで大変有意義なことである。本研究では、飯田紬の色彩テクスチャの視覚的風合いを明確にするために周波数解析を試みた。

### 2. 方法

#### 1) 試料

試料布として飯田紬9点を用い、各試料の色彩テクスチャを図1に掲げた。

#### 2) 画像の取り込み

各試料のカラー画像は、カラーキャナEpson GT9500を用いて取り込まれた。画像解像度は72dpiと300dpiの条件で、 $512 \times 512$ ピクセル(前者 $18 \times 18$ cm, 後者 $9 \times 9$ cm)の大きさの画像が取り込まれた。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ごとにRGBに分けて、それ

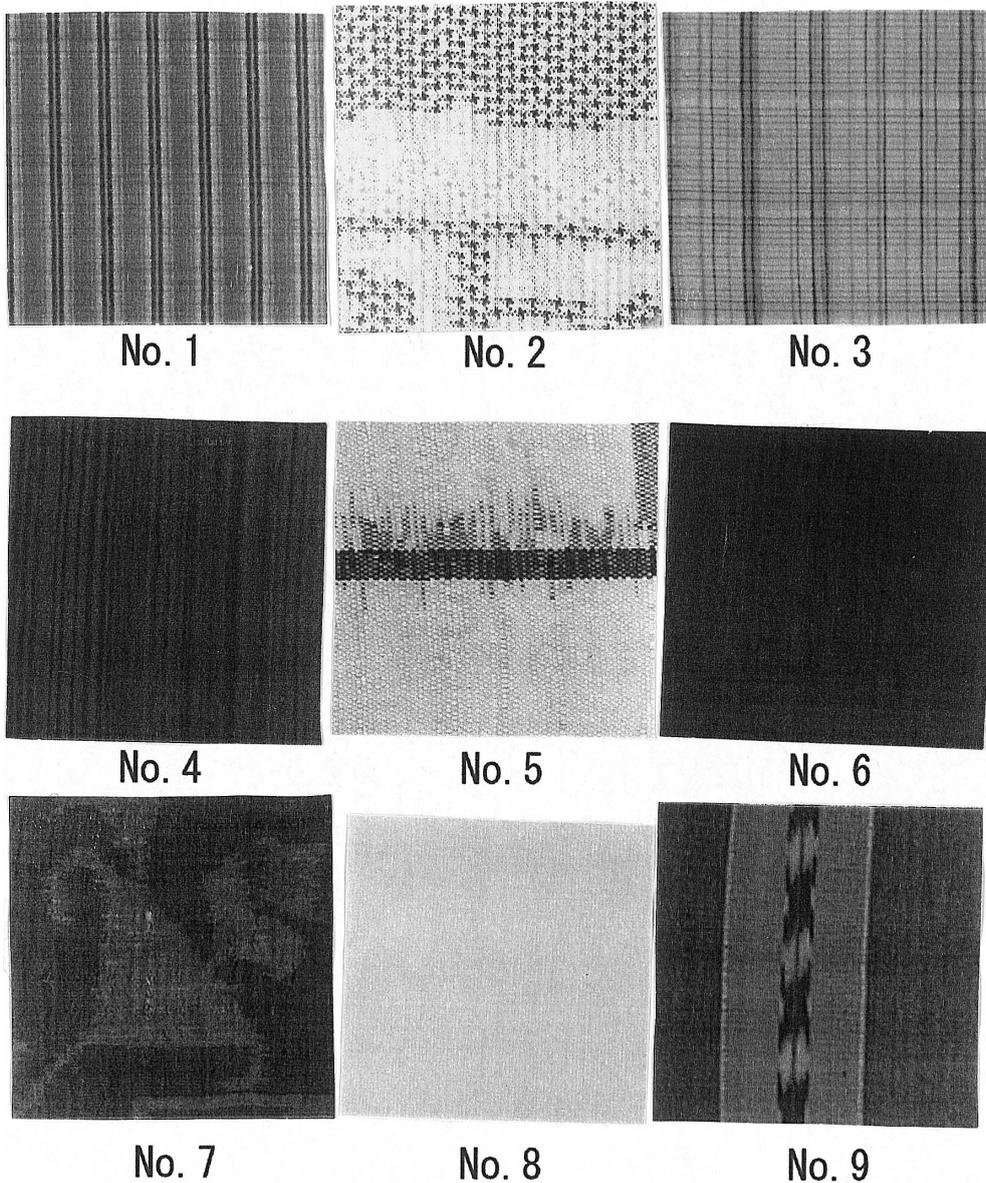


図1 飯田紬の色彩テクスチャ

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される。

### 3) 色空間の変換

色の三属性(明度, 彩度, 色相)はR, G, Bのプレーンに書き込むデータの値を変えることによって操作することができるが, R, G, B値と明度, 彩度, 色相との関係が明らかで

ないので, なかなか自在に取り扱えない。モニター上で色を表現する仕組みとして利用されるRGBカラーモデルでは, RGBをさまざまな強さで放射することにより, ピクセルの色を変化させている。従って, カラー画像の色情報は各画素位置ごとに3色分解して, R, G, B成分についてそれぞれの色濃度を0か

ら255までの値にデジタル化して保存する。しかし、RGB は数値に支配されており、あまり直感的ではない。LCH カラーモデルは、人間の色の認識の仕方に基づいたモデルである。人間の目は、色相、彩度、明度といった要素で色を認識している。

カラー画像は光の3原色 RGB の信号として取り込まれているので、R、G、B から輝度信号 Y と色信号 C1、C2 に分離する。その関係式は次のようになる<sup>4)</sup>。

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (1)$$

$$C1 = R - Y = 0.7R - 0.59G - 0.11B \quad (2)$$

$$C2 = B - Y = -0.3R - 0.59G + 0.89B \quad (3)$$

この輝度信号はいわゆる白黒画像に相当する。C1とC2はR、Bから輝度信号を差し引いた形になっており、色信号と呼ばれている。

色相とは色差信号 (B - Y) を基準とした軸からどのくらい回転しているか、また、彩度は原点からの距離を表すことになる。数式で表すと、色相 (H)、彩度 (C) は、色差信号を使って次の用に表すことができる。

$$H = \tan^{-1}(C1 / C2) \quad (4)$$

$$C = (C1^2 + C2^2)^{1/2} \quad (5)$$

輝度信号はそのまま画像化することによって、グレイレベル画像を得ることができる。色相と彩度はその差を濃度差として画像化する。色相の表示は、ある基準色から色相がどれだけ回転しているかを 0°~180°の間で計算し、基準色と同色(色相の回転角が0°)の場合に255、反対側の補色(色相の回転角が180°)の場合に0として、255段階のグレイレベル表示する。彩度表示の最小値を0として、彩度が高くなるようにグレイレベル表示する。

#### 4) 周波数解析

周波数解析は画素の周波数成分によってテクスチャを記述しようとする方法である。画像  $f(x, y) \quad (1 \leq x, y \leq M)$  に対して、離散的

フーリエ変換  $F(u, v)$  は(6)式によって定義される<sup>5)</sup>。

$$F(u, v) = \frac{1}{M^2} \sum_{M-1}^M \sum_{M-1}^M f(x, y) \exp[-\frac{j2\pi}{M}(ux + vy)] \quad (6)$$

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

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(7)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。

$$M(u, v) = |F(u, v)| = \sqrt{Fr(u, v)^2 + Fi(u, v)^2} \quad (7)$$

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、周波数に対して二次元的に表示される<sup>5)</sup>。

### 3. 結果と考察

#### 1) 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。図2には代表的な例として No. 2 と No. 6 の試料の明度画像の2次元パワースペクトル  $P(u, v)$  を示した。図2(a)のように周波数成分の原点におけるパワー  $P(0, 0)$  を中心にしてパワーは高周波に向かって広がりを見せるが、高周波になるほど急激に弱まっていく。No. 6 のような一様なテクスチャでは、(b)のように原点に直流成分のパワーが強く現れ、その他の領域では一様に弱く現れる。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、(8)式で表される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  $(r, \theta)$  では、 $P(r, \theta)$  として表される

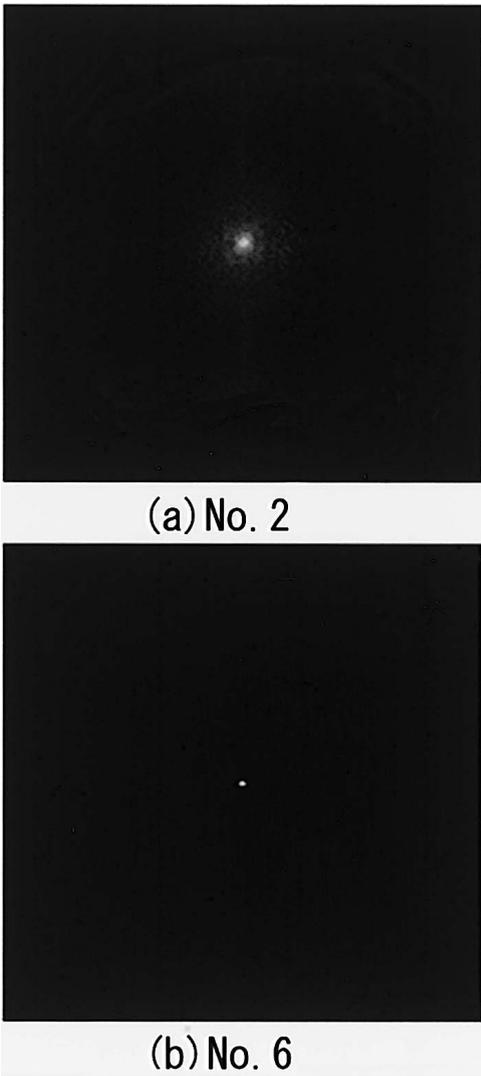


図2 No. 2とNo. 6の2次元パワースペクトル

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(8)式で計算される<sup>6)</sup>。

$$P(r) = 2 \int_{\theta=0}^{\pi} P(r, \theta) d\theta \quad (8)$$

ここで  $P(r, \theta)$  は水平方向の  $u$  軸に対して角度  $\theta$  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  $f$  に対するパワー  $P(f)$  の依存性を調べる事ができる。図3にはNo. 2の試料

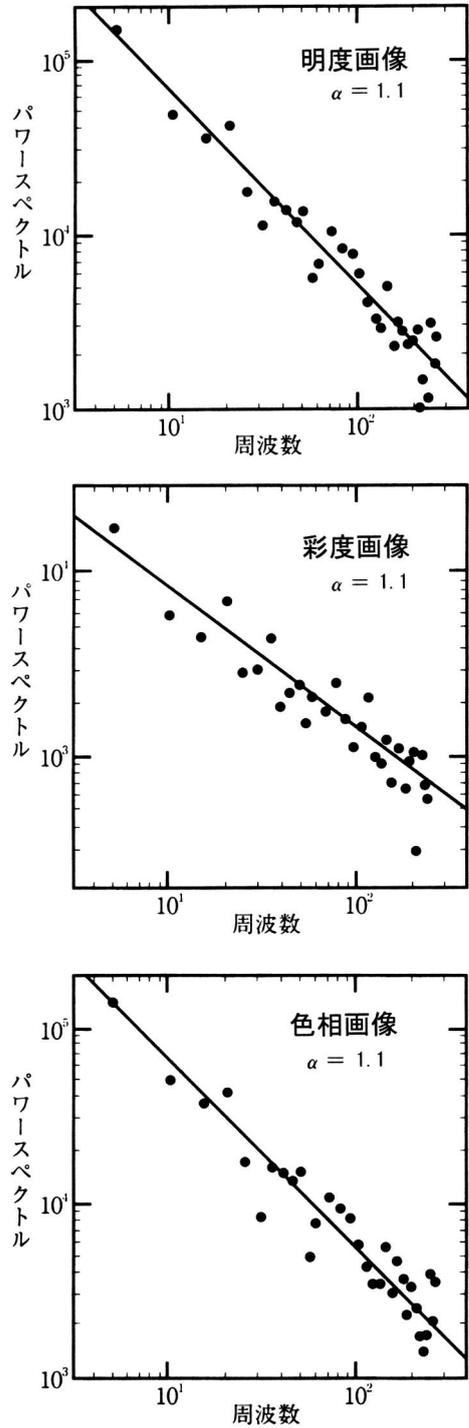


図3 パワーの周波数依存性 (No. 2, 72dpi)

に対して、 $P(f)$  と  $f$  の関係を対数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パワースペクトルと周波数の両対数プロットにはよい直線関係が見出されたので、(9)式に従いそれらの直線の傾き ( $-\alpha$ ) を算出した。

$$\log P(f) = k - \alpha \log f = k + \log(1/f^\alpha) \quad (9)$$

ここで  $k$  は定数、 $\alpha$  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。  
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。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取り、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、この場合にはすべての周波数が均一に含まれることになり、テクスチャの方向性や要素の大きさの分布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、ランダムな性質や状態を示す完全に無秩序なゆらぎと考えられる。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  $\alpha$  の値によって数種類のゆらぎに分類される<sup>14)</sup>。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過去の状態の影響を強く受ければ受けるほど  $\alpha$  の値は大きくなる。比例雑音 ( $\alpha = 2$ ) では前の状態の影響を強く受けるので、確率的に予測可能な挙動を示す。このようなゆらぎは規則性が強いことから、テクスチャやパターンの性質や状態が前後関係から簡単に予測できるので、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す。このようなゆらぎをもつテクスチャやパターン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<sup>5)</sup>。 $\alpha$  の値が 1 より小さくなるとテクスチャやパターンのランダム性が強くなり、唐突な感じを与える。反対に  $\alpha$  が 1 より大きくなると規則性が強くなり、単純で退屈な感じを与える。

表 1 には各試料の  $\alpha$  値をまとめた。6 や 8 のように柄の無い無地の場合、72dpi でも 300dpi でも  $\alpha = 0$  に近い値をとり、無秩序な白色ゆらぎを示す。1 や 3 の試料は 72dpi のときは  $\alpha$  は 2 に近い値を示し、規則的な色彩テクスチャで、色柄が比較的単調であることを示している。しかしながら、これらの試料でも 300dpi で撮像すると、織糸の不規則性やむら織りの効果などがみえてくるので、 $1/f$  に近いゆらぎを示す傾向がみられる。4 と 7 の試料は 72dpi においても 300dpi においても、いずれも明度画像では  $1/f$  ゆらぎを示すが、彩度画像や色相画像では白色ゆらぎを示す傾向にある。2、

表 1 各試料の  $\alpha$  値

試料	明度画像		彩度画像		色相画像	
	72*	300*	72*	300*	72*	300*
1	1.8	0.9	2.1	1.3	2.3	1.4
2	1.1	1.0	1.1	0.9	1.0	1.1
3	1.6	1.0	1.8	1.0	1.8	0.9
4	1.1	1.0	0.4	0.3	0.4	0.1
5	1.0	0.9	1.1	1.0	1.3	1.1
6	0.2	0.3	0.4	0.3	0.1	0.2
7	1.1	1.0	0.2	0.3	0.5	0.3
8	0.3	0.4	0.2	0.3	0.0	0.1
9	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.0

\* : 画像解像度

5, 9の試料ではいずれの解像度においても $\alpha = 1$ に近いゆらぎを示し, ランダム性と規則性がほどよく調和して, 自然の美しさを感じさせる $1/f$ ゆらぎが得られることを示唆している。

#### 4. 結論

布表面にある色彩テクスチャは織物構造, 糸や柄の形態を含めて, それらの大きさ, 形の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。これらの表面外観は総合的, 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, 布表面に微妙な不規則性のある絨について, そのテクスチャを特徴づけるために周波数解析が試みられた。

- 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) 試料の色彩テクスチャに対して多くのゆらぎが観察されたが,  $\alpha$ 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, 人に自然の美しさややすらぎをもたらす。いくつかの試料に $1/f$ ゆらぎを示すものが見出された。
- 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, 方向性のあるテクスチャに観察された。 $1/f^2$ ゆらぎは規則性が強いため, 外観は単調なテクスチャと推察された。
- 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, 無地柄のテクスチャにおいて観察された。 $1/f^0$ ゆらぎは画像がすべての周波数を一様に含むため

に, ランダム性が強く, 方向性や秩序性のないテクスチャと推測された。

#### 文献

- 1) 武者利光; ゆらぎの世界, 講談社(1990)
- 2) 武者利光; ゆらぎの発想, NHK出版(1994)
- 3) 柳井雄一; 織機誌, 53, P99(2000)
- 4) 八木伸行; C言語で学ぶ実践画像処理, オーム社(1994)
- 5) T. Mori and Y. Endou; J. Text. Inst. 92, 150(2001)
- 6) B. Xu; Textile Res. J. 66, 496(1996)