

画像解析による織物，編物，組物の視覚的 テクスチャの評価法

森 俊 夫，岩佐美代子，加 藤 博 一 *

(岐阜女子大学家政学部，* 岐阜県繊維試験場)

平成8年11月19日受理

A Method for Evaluating Visual Texture of Woven, Knitted and Braided Fabrics by Image Analysis

Toshio MORI, Miyoko IWASA and Hirokazu KATO*

Faculty of Home Economics, Gifu Women's University, Gifu 501-25

**Gifu Prefectural Textile Research Institute, Hashima 501-61*

An image processing system was used to evaluate the number and sizes of voids formed in woven, knitted and braided fabrics having different attributes, such as their geometrical constructions and yarn arrangements. The box-counting method by computer-aided image analysis was adapted to measure the fractal dimension of their void patterns. Gray scale image analysis was also applied for the characterization of their visual texture. The angular second moment, correlation, contrast and entropy extracted from the gray level co-occurrence matrix were measured as textural feature parameters. As a result of the image analysis, it was found that the lacunarity of the knitted fabric is the most irregular and complex, due to its looped construction, and that all three fabrics had visual anisotropy as texture features. From the viewpoint of fabric construction, visual features of the three fabrics were discussed in terms of uniformity, directionality, local variation and information quantity.

(Received November 19, 1996)

Keywords: woven fabrics 織物, knitted fabrics 編物, braided fabrics 組物, texture テクスチャ, image processing 画像処理, co-occurrence matrix 同時生起行列.

1. 緒 論

われわれが織物，編物，組物などの布地を眺めると，それぞれに細かい表面構造，組織やパターンなどの視覚的テクスチャを知覚し，それらのテクスチャの違いを識別することができる。視覚的テクスチャには多くの造形的要素が複合されているので，これらのテクスチャに関する情報はある程度抽象的なものであり，その識別も一種の抽象化されたテクスチャ特徴にもとづいて行われることが多い。視覚的テクスチャの厳密な定義は難しいが，分析的観点からテクスチャは巨視的領域を構成する全体的な性質あるいはそれを構成する繰り返し単位に関して定義される（富田等 1978；Sobus *et al.* 1991）。

視覚対象のテクスチャが複雑になるとそこに存在する情報の重要性や価値観は一様でなくなったり，人の

関心によっても異なってくる。布に対する視覚的性質は布地の審美性や品質を決定する重要な要因と考えられるので，テクスチャ特徴を定量的に測定することは布の外観を客観的に評価する知見を得るためにも大変意義深い事である。たとえば，岩石，芝生，木目やカーペットなどのテクスチャには繰り返しパターンが存在することに着目して画像の全体的な性質の統計量を調べる手段が広く利用されている（Weszka *et al.* 1976；Pourdeyhimi and Sobs 1993）。テクスチャ特徴は画像の空間上の一点がどのように存在しているかによって規定される画像情報であり，2次元画素分布がみせる特徴である。織物，編物，組物はそれぞれにおいても組織や密度などの構成要因が異なれば，テクスチャも異なってくるが，あまり複雑にならなければそれぞれの視覚的テクスチャを明確に特徴づけることが

Table 1. Construction of samples

Sample	Design	Density (/50 mm×50 mm)	Thickness (mm)	Weight (mg/cm ²)
Woven	Plain weave	30×30	1.596	18.86
Knitted	Plain knit	10×11	1.843	18.78
Braided	Plain braid	29×29	1.395	18.56

できると考えて、本研究では基本的で平易な組織である平織、平編、平組により目付が一定になるように織物、編物、組物を作製した布を試料として用いた。これらの布に対して画像処理を適用することにより布目の間隙性を解析すると共にテクスチャ特徴量を測定し、これらのテクスチャの違いについて一様性やコントラスト、複雑性や情報量などの視覚的特徴との関連から比較検討することにより、テクスチャ解析が布の外観特性を評価するのに有用な方法であることを報告する。

2. 実験方法

1) 試料

織物、編物、組物の目付がほぼ一定になるように綿糸（1.5 番手）を用いて平織、平編、平組（安田組）により試料を作製した。安田組は平打で一つ飛びに糸を上下させる組み方（一間組）であり、組織的には対角線方向に織られた平織に対応する。Table 1 には作製した試料の構成をまとめた。

2) 画像処理

画像は有効画素 480×480 ピクセル、白黒 8 ビットで標準的な機能を備えた画像処理装置（PIAS LA-525）を用いて取得した。照明は 1 kHz の高周波蛍光灯を試料面に対して斜め 45° 方向から照射し、試料の反射光画像を真上から CCD カメラにより撮影した。ノイズ除去のための平滑化処理を、また照明や CCD 素子の特性の面内不均一性を是正するためのシェーディング補正を行った。画像は各画素位置ごとに 0（黒）～255（白）の輝度レベルにデジタル化してファイルに 2 次元配列として保存する。カメラは試料の 50×50 mm の範囲の大きさを取り込めるように試料面に対して垂直に設置され、画像解像度は約 244 dpi である。また、A/D 変換された画像情報は各画素位置ごとに濃度レベルを 256 階調に分割して濃度レベル情報が計測されるので、布目の形状が明確になるように濃度レベルのヒストグラムからしきい値を設定して、2 値化処理を行った。2 値化処理後の画像を白黒反転させ、

布目の個々の間隙のラベリングを行って布地 50 mm×50 mm 面積あたりの間隙の個数（NUM）、合計間隙面積（TAV）、平均間隙面積（MAV）および標準偏差（STD）を求めた（Mori *et al.* 1996）。

3) フラクタル解析

スキャナーから読み込まれた布目模様の特徴の原画像の 2 値化画像について粗視化の度合を変える方法を適用してフラクタル解析を行った。画像を正方形に分割し、正方形の 1 辺の長さ r を変化させて、布目間隙を被覆するのに必要な正方形の個数 $N(r)$ をボックスのサイズの関数として求めるボックスカウント（BC）法によるフラクタル次元測定用プログラムを作成した（Mori *et al.* 1996）。

布目模様にフラクタル性があれば $N(r)$ と r の間に (1) 式が成立する。

$$N(r) = F \cdot r^{-D} \quad (1)$$

$$\log N(r) = \log F - D \log r \quad (2)$$

(1) 式の両辺の対数をとった (2) 式に従って $\log\text{-}\log$ プロット (Fig. 1) を行い、回帰直線の傾きからフラクタル次元 D を求めた。

4) テクスチャ解析

統計的なテクスチャに対する特徴抽出法の中では最も効果的な抽出効果をもたらすとされているものに同時生起行列を用いる方法がある（Haralick *et al.* 1973）。同時生起行列は Fig. 2 のように画像内のグレイレベルが i の点から一定の変位 $\delta = (r, \theta)$ だけ離れた点のグレイレベルが j である確率 $P_{\delta}(i, j)$ をすべてのグレイレベルの組合せ (i, j) について求めたものである。変位 δ だけ離れた点の i と j のすべての同時生起の頻度は $n \times n$ のひろがりをもつマトリックス内に保存される。したがって、マトリックス内の要素 i, j はその画像内でサンプル化された (i, j) 対の数である。同時生起行列はマトリックス内の要素の和が 1 になるように規格化されている。すべての変位 δ についてこの確率行列を求めると、あまりにも情報量が多くなるので、Haralick *et al.* (1973) は r について $r=1$ の場合

画像解析による織物、編物、組物の視覚的テクスチャの評価法

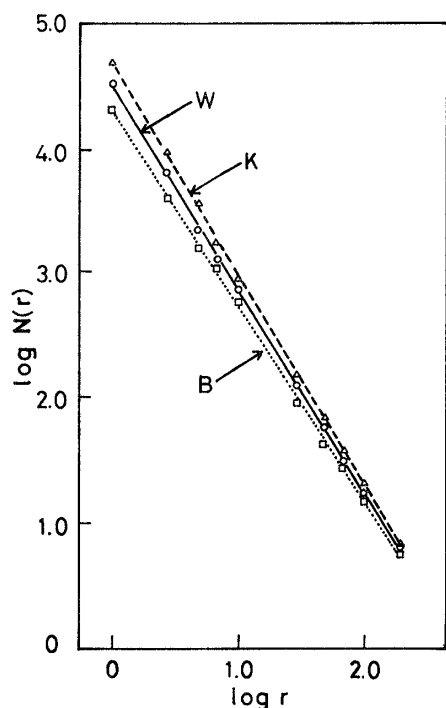


Fig. 1. Log-log plots of the number of squares counted by computer-aided image analysis, $N(r)$, and the size of a square, r , for woven (W), knitted (K) and braided (B) fabrics

のみ, θ については $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の場合について行列を求め, 各行列からは 14 種類の特徴量を抽出した. 本研究ではよく用いられる四つのテクスチャ特徴量を使用した (Haralick *et al.* 1973; Sobus *et al.* 1991). 以下の式ではグレイレベルは 0 から $n-1$ である.

(a) 角二次モーメント (ASM)

$$ASM = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \{P_\theta(i, j)\}^2 \quad (3)$$

$i=0, 1, \dots, n-1, j=0, 1, \dots, n-1$.

(b) 相関 (COR)

$$COR = \left\{ \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} i \cdot j \cdot P_\theta(i, j) - \mu_x \mu_y \right\} / \sigma_x \sigma_y \quad (4)$$

$$\mu_x = \sum_{i=0}^{n-1} i \cdot P_x(i), \quad \mu_y = \sum_{j=0}^{n-1} j \cdot P_y(j),$$

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=0}^{n-1} (i - \mu_x)^2 P_x(i), \quad \sigma_y^2 = \sum_{j=0}^{n-1} (j - \mu_y)^2 P_y(j),$$

$$P_x(i) = \sum_{j=0}^{n-1} P_\theta(i, j), \quad P_y(j) = \sum_{i=0}^{n-1} P_\theta(i, j).$$

(c) コントラスト (CON)

$$CON = \sum_{k=0}^{n-1} k^2 \cdot P_{\Delta-y}(k) \quad (5)$$

$$P_{\Delta-y}(k) = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} P_\theta(i, j),$$

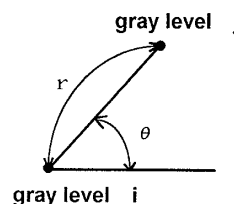


Fig. 2. The distance (r) and the position angle (θ) of the pixel with the gray level j with respect to the pixel with the gray level i

$k=0, 1, \dots, n-1$.

(d) エントロピー (ENT)

$$ENT = - \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} P_\theta(i, j) \cdot \log \{P_\theta(i, j)\} \quad (6)$$

3. 結果と考察

1) 布目間隙

Table 2 には各布目間隙の個数, 合計間隙面積, 平均間隙面積, 標準偏差がまとめてある. 表より布目の個数と合計間隙面積は織物>組物>編物の順に, 平均間隙面積は編物>織物>組物の順に減少することがわかる. 目付を一定にして布を構成する場合に布目の個数や合計面積が最も大きくなるのが織る場合で, 最も少ないのが編む場合であるが, 平均の布目間隙面積は編む場合が最大となる. また, 布目の間隙面積の分布状態を示す標準偏差では編物が織物や組物に比べて大きくなる. これは平編ではシンカーループとニードルループの 2 種類の異なる編目が形成されているためと考えられる.

Fig. 3 は織物, 編物, 組物の画像について 2 値化処理を行った後の布目間隙の分布状態を示したものである. 織物は糸が緊張状態で作製してあるので, 糸間にルーズさがなく織目間隙が規則的である. 編物は 1 本の糸が曲がりくねってループを形成しているため, 糸間はルーズで不規則であり, ニードルループとシンカーループによる編目形状の特徴がよく表れている. 組物は左右対角線方向に糸が走り, 互いに交錯して小さな布目間隙を形成するが, 組目間隙は左右斜め方向に規則的である. Fig. 3 の織目, 編目, 組目の形状およびその分布状態からわかるように, それぞれ特有の布目模様と間隙性が表れている. いずれの場合も巨視的には布目が規則的に配列しているが微視的には乱れや不均一性が見出される. 織, 編, 組の異なる布目の間隙パターンや間隙性はそれぞれの布の視覚的特性に重要な役割を果たす要因の一つと考えられるので, それ

Table 2. Number and area of voids and fractal dimension

Sample	Number of voids	Total void size (mm ²)	Mean void size (mm ²)	Standard deviation (mm ²)	Fractal dimension
Woven	517	419	0.810	0.273	1.62
Knitted	152	179	1.177	0.430	1.68
Braided	482	285	0.592	0.288	1.55

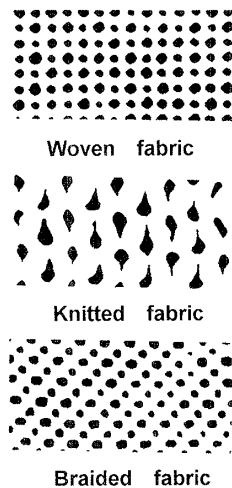


Fig. 3. Void patterns of woven, knitted and braided fabrics

らを明確にするために Fig. 3 の布目間隙についてフラクタル解析を行い、その結果を Table 2 に示した。フラクタル解析は複雑で不規則な形態を解析するのに有用であることが広く知られており、フラクタル次元 D が大きいほど複雑性、不規則性、尖塔性が大きいと考えられている (Mori *et al.* 1996)。 D は編物 > 織物 > 組物の順となり、編目間隙が最も不規則で複雑であると考えられ、編目を形成するループの自由度が大きく、規則的な繰り返しの中でも不規則性が大きいことを示唆している。

2) テクスチャ特徴

Table 3 には各試料のテクスチャ特徴量 (ASM, CON, COR, ENT) をまとめている。織物では、 0° および 90° 方向が 45° および 135° 方向に比べて CON や ENT の値は大きく ASM や COR の値は小さい。組物は織物と反対に 45° および 135° 方向が CON や ENT の値が小さく、ASM や COR の値は大きい。編物は織物や組物と異なり、 90° 方向が他の 3 方向に比べて CON や ENT の値は著しく小さく、ASM や COR の値は著しく大きい。いずれの布の場合もテクスチャ特徴量が方向によって異なり、これらのテクスチャには織、編、組によりそれぞれ特有の視覚的異方性が見出され

ている。

ASM は同時生起行列の値がどの位密集して分布しているかを測定するのに用いられ、これよりテクスチャの一樣性を評価できると考えられる。 $P_o(i, j)$ が小さい値ですべて等しいとき ASM は最も小さくなるが、少数の大きな値から成っている場合は ASM は大きくなる。したがって特定の $P_o(i, j)$ しか値がないということは、これに対応する画素濃度だけが存在していることであり、これは一樣性や均一性を表現すると考えられる。CON は行列の差分モーメントであり、画像中に存在するコントラストあるいは局所的変化の量を測定する。そこで、この値が大きく濃淡が違っている画素が多いほどコントラストが大きいと考えられる。COR は二つの画素のグレイレベル値が比例していることになり、テクスチャの方向性を抽出できる。ENT の定義は $P_o(i, j)$ の値が均等に割り振られているほど値の大きくなる量であり、でたらめさの尺度であると同時に情報の量を表す。

以上のことを考慮すると、織物、編物、組物の視覚的異方性として織物ではバイヤス方向に比べて経緯方向が、組物では織物と反対に経緯方向に比べてバイヤス方向が、また編物では他の 3 方向に比べてウェール方向がテクスチャの一樣性や方向性が高く、局所的変化や情報量は少ないと特徴づけることができる。これは、織物はたて糸とよこ糸がともに緊張状態で互いに重なり合って規則正しい織目を形成し、組物では左右斜め方向に糸が走り互いに交錯して耳の所で反射的に糸が折り返って布を形成しているためである。これに対して編物ではウェール方向にテクスチャの方向性が見られるのはニードルあるいはシンカーの弧の部分よりもループの 2 本の脚の部分の連続性の効果が大きいと考えられる。

同時生起行列から得られる特徴量は画素対の相対的位置関係 (r, θ) の関数である。ここでは $r=1$ に対して $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の 4 方向の平均値を $r=1$ に対する平均テクスチャ特徴量の値として求め

画像解析による織物、編物、組物の視覚的テクスチャの評価法

Table 3. Texture feature parameters

Sample	Angle	ASM	CON	COR	ENT
Woven	0°	0.25	21.1	0.955	8.2
	45°	0.21	41.6	0.912	17.7
	90°	0.24	21.7	0.954	8.2
	135°	0.22	42.1	0.912	17.7
	Mean	0.23	31.6	0.933	13.0
Knitted	0°	0.18	45.0	0.965	16.8
	45°	0.20	56.7	0.965	25.6
	90°	0.30	13.6	0.989	6.3
	135°	0.17	58.0	0.954	24.4
	Mean	0.21	43.6	0.968	18.3
Braided	0°	0.24	18.9	0.903	7.2
	45°	0.36	8.8	0.962	3.8
	90°	0.25	17.8	0.908	7.1
	135°	0.35	10.6	0.939	3.8
	Mean	0.30	14.0	0.928	5.5

(Haralick *et al.* 1973), Table 3 に掲げた。これは違う方向性を持った同じ種類の布が存在するとき同じテクスチャとみなす方が妥当であると思われるからである。Table 3 からわかるように、平均テクスチャ特徴量では CON, COR, ENT は編物>織物>組物の順になり、ASM はその逆の順となる。

一つの巨視的状态はたくさんの区別し難い微視的要素を含み、それが多いほど系のでたらめさは大きいと考えられる。情報理論ではでたらめさが大きいということはその大きい系からある情報を得たならばその情報はでたらめの小さい系から得た情報よりも価値があるということになる。情報はそれまで不確かのでたらめであった状態を確かにし、秩序づけてくれるので、糸のでたらめさが増せば増すほどそこから得られる情報量は大きく価値がある（大友等 1989）。したがって情報量が大きいということはエントロピーが大きい中での秩序化であり、ENT は形態における秩序を表すと考えることができる。それゆえに、編物の ENT が大きいということは、ニードルループやシンカーループから形成されるループ構造にはループのバリエーションにもとづく視覚的多様性が思い出され、いろいろな形態秩序を多く含み、テクスチャ情報が豊かであると推察される。これに対して ENT の小さい組物は視覚情報として得られる価値は少なく一様で変化がないので単純でつまらないと考えられる。視覚的情報量が豊かなテクスチャは見えていても飽きがこないし、消費

者や着用者の視感覚を満足させる要因と考えられるので、テクスチャ特徴量は快適性や美的感覚とを定量的に評価するのに重要であり、今後さらに詳細な検討が必要となる。

4. 結 論

織物、編物、組物は糸を組織して意識的に表面に凹凸構造や糸間隙を造るものであり、表面形状や糸の屈曲状態が異なりそれぞれ特有の視覚的テクスチャを有する。本研究ではこれらの布の視覚的特徴を明確にするために、画像解析を適用することにより目付が同じになるように構成された平織物、平編物、平組物の間隙性やテクスチャ特徴について検討し、明らかとなった結果を以下にまとめた。

(1) 布目間隙の個数や合計面積は織物>組物>編物の順になり、平均の間隙面積は編物>織物>組物の順になることが見出された。

(2) 織物、編物、組物の糸間隙の形状およびその分布状態のフラクタル解析からフラクタル次元は編物>織物>組物の順となり、編目の間隙性が最も不規則で複雑であると考えられた。織物や組物に比べて編物の平均の間隙面積やフラクタル次元が大きくなるのは編物は1本の糸が曲がりくねって大きなループを形成するので、糸間がルーズで不規則であり、ニードルループとシンカーループの異なる編目形状が存在することに関係すると解釈された。

(3) 同時生起行列解析から得られたテクスチャ特徴量の結果から、織物、編物、組物はそれぞれ特有の視覚的異方性が見出された。織物では経緯方向に、組物ではバイヤス方向に、編物ではウェール方向にテクスチャの一様性 (ASM) や方向性 (COR) が顕著にあらわれ、それぞれの布の構成が視覚的に特徴づけられた。

(4) 織物、編物、組物の4方向の平均テクスチャ特徴量について CON, COR, ENT は編物>織物>組物の順になり、ASM はその逆の順になった。これらのことから、編物のテクスチャには局所的变化に富んだ情報が豊富に存在するのに対して、組物は一様で変化がなく多様性に乏しいテクスチャと解釈された。

この研究では複雑な組織や密度などの構成要因が視覚的テクスチャに及ぼす効果について十分検討されていないので、この実験結果だけでは織物、編物、組物の一般的な外観特性を明確に特徴づけることはできないが、このような同時生起行列によるテクスチャ解析は布の視覚的特徴や品質を評価するうえで大変有用な手段となることが結論できる。

本研究を行うにさいし、画像処理装置 (PIAS LA-

525) の使用の便宜を図ってくださった岐阜県繊維試験場遠藤善道氏に感謝の意を表する。

引用文献

- Haralick, R. M., Shanmugam, K., and Dinstein, I. (1973) Textural Features for Image Classification, *IEEE Trans. Syst. Man, Cybernet.*, **3** (6), 610-621
- Mori, T., Endou, Y., and Nakayama, A. (1996) Fractal Analysis and Aesthetic Evaluation of Geometrically Overlapping Patterns, *Textile Res. J.*, **66** (9), 581-586
- 大友詔雄, 田中幸雄, 清藤 正 (1989) 『情報の科学』, 富士書院, 札幌, 79
- Pourdeyehimi, B., and Sobs, J. (1993) Evaluating Carpet Appearance Loss: Surface Intensity and Roughness, *Textile Res. J.*, **63** (9), 523-535
- Sobus, J., Pourdeyehimi, B., Gerde, J., and Ulcay, L. (1991) Assessing Changes in Texture Periodicity Due to Appearance Loss in Carpets: Gray Level Co-Occurrence Analysis, *Textile Res. J.*, **61** (10), 557-567
- 富田文明, 白井良明, 辻 三郎 (1978) 構造解析によるテクスチャの分類, 電子通信学会誌, **J 61-D** (7), 457-464
- Weszka, J. S., Dyer, C. R., and Rosenfield, A. (1976) A Comparative Study of Texture Measures for Terrain Classification, *IEEE Trans. Syst. Man, Cybernet.*, **6** (4), 269-285