

スポーツウェアデザインの 視認性評価に関する研究

神戸山手女子 太田 健一
短期大学

(共同研究者) 大阪府立大学 小迫 秀夫

兵庫教育大学 高岡 昭

Study on Visibility of Sports Wear Design

by

Ken-ichi Ohta

Kobe Yamate Women's College

Hideo Kosako

University of Osaka Prefecture

Akira Takaoka

Hyogo University of Teacher Education

ABSTRACT

The visibility and spatial frequency components of a design are discussed as visual features in sports wear design. The aim is to introduce objective visual features for planning designs in order to investigate the designs based on the visibility. First, the visually effective distances are measured for design elements that have been subjectively evaluated.

The visually effective distance captures how a design is perceived as a different design based on the visibility at a different viewing distance. Next, a low-pass filtered image of the sports wear design and the original image correspond with each other based on the measurement of the sports wear's identification distance.

The spatial frequency components are one visual feature of sports wear design based on the visibility, which is expressed by the visually effective distance.

要 旨

スポーツウェアデザインにおける視覚的特徴量のひとつとして、デザインの視認性と空間周波数成分について述べる。スポーツウェアデザインの視認性を考慮したデザイン開発に、客観的な視覚的特徴量を導入することを目的とする。まず、主観的評価である、スポーツウェアデザイン要素の視覚的有効距離を計測し、観察距離が離れるとそこから知覚されるデザインは、その視認性によって、異なったデザインとして捉えられていることを示す。

つぎに、スポーツウェアデザインの空間周波数領域における、低域通過画像と原画像とを、スポーツウェアデザイン同定距離の計測によって対応づけ、空間周波数成分が、視覚的有効距離にあらわされるような、視認性に基づくスポーツウェアデザインの視覚的特徴要素のひとつであることを示す。

緒 言

一般的に、スポーツウェアデザインでは、“派手な”とか“個性的な”と評価されるデザインは視認性が高く、逆に“地味な”と評価されるものは視認性が低い傾向にあることに着目し、スポーツウェアデザインについて観察距離による視認性から、その視覚的特徴を評価する方法について検討した。

まず視認性の評価については、観察距離を大きくした時に、スポーツウェアデザイン要素(後述)がどの距離までなら視覚的に認識することができるかという、スポーツウェアデザイン要素の有効

距離を定義して、主観的な視覚評価を実施した。ここでは、視覚的有効距離を検討することによって、デザイン要素のそれぞれが異なった視認性を示すことを確認しようとするものである。これは、同じデザインであっても、それを観察する距離が変われば、異なったデザインとして認識されていることを示すものであり、デザイン要素の形態、色彩に影響されるほか、それらの配列の組み合わせによっても影響されていることを調べるものである。

つぎに、その視認性の客観的な定量化を試みるため、視認性に関連があるといわれている空間周波数成分¹⁾に着目し、スポーツウェアデザイン同定距離を定義して、これを調べることによって、視認性と空間周波数成分との対応²⁾を図った。

ここでスポーツウェアデザイン要素とは、ウェア素材の表面に意匠されているパターンを構成していて、ひとつの部位として認識することのできる部分的なパターンを指すものとする。

1. 実験方法

1.1 色彩の表色について

色彩画像入力装置によって得た、ウェア素材の表面画像は、画像を2次元配列の格子点に標本化し、各格子点における色濃度についての情報を、量子化したデジタル信号によって構成されている。

入力画像の色彩は、色の加法混色における3原色であるR (Red), G (Green), B (Blue) のそれぞれの色濃度階調であらわされていることから、人間の色知覚に一致する値を得るためには、表色系として、ULCS表色系(均等色知覚色空

間: Uniform Lightness Chromaticness Scale system)を導入しなければならない。ULCS 表色系の空間内では、ある2つの色が対応する座標値間のユークリッド距離は、その2色の間で知覚される色の差(感じられる2色の色の違いの度合い)に比例するといわれている。本論文では標準的なULCS表色系として、CIE(国際照明委員会)の定めたL*a*b*表色系を用いた。

RGB濃度値(R, G, B)と、色の3刺激値であるXYZ表色系(JIS Z 8701)の座標値(X, Y, Z)との関係については、RGB色濃度階調がカラーCRTに出力されることを想定して調整され、またその蛍光体がNTSCで定められた色度値をもつとすると、以下の近似式で求められる³⁾。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.578 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.115 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

さらに、XYZ表色系からL*a*b*表色系への変換は、以下の式を用いる。

$$\begin{aligned} L^* &= 116 (Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500 [(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \\ b^* &= 200 [(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \end{aligned}$$

ここで

L* : L*a*b*表色系における明度指数
a*, b* : L*a*b*表色系におけるクロマ
ティックネス指数

X₀, Y₀, Z₀ : 完全拡散反射面のXYZ表色系における3刺激値

である。

1.2 スポーツウェアデザインの空間周波数成分

一般的に人間の視知覚の空間周波数特性は、低域通過フィルタの特性を示す^{1,4)}。このことから、遠くの距離では微少なデザインの変化は個々に識別されないで、距離が離れていくとウェア素材の表面パターンのうち、微少な変化および占める面積の小さいデザイン要素から、徐々に周辺のデザ

イン要素に吸収されたように見え、大まかな概略のデザインとして、認識される傾向にあることが予想される。

そこで、ウェア素材における表面パターンの視認性に基づいた、スポーツウェアデザイン要素の客観的評価を試みることを目的として、空間周波数成分を求め、さらに低域通過画像とデザイン原画像とを比較することによって、スポーツウェアデザイン同定距離(後述)を求める。

空間周波数成分を求めるためのフーリエ変換は、光学的フーリエ変換に対応した2次元離散的フーリエ変換^{5,6)}を用いる。フーリエ変換は、L*(m, n), a*(m, n) および b*(m, n) それぞれについて実施する。ここで(m, n)は、大きさM×Nの画像中の画像中央を原点としての画素位置を示す。

光学的フーリエ変換に対応した2次元離散的フーリエ変換は、L*, a*, b*それぞれについて

$$FL^*(k, j) = \frac{1}{(MN)^{1/2}} \sum_{m=-M/2}^{M/2-1} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} L^*(m, n) \cdot W_1^{mk} \cdot W_2^{nj}$$

$$Fa^*(k, j) = \frac{1}{(MN)^{1/2}} \sum_{m=-M/2}^{M/2-1} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} a^*(m, n) \cdot W_1^{mk} \cdot W_2^{nj}$$

$$Fb^*(k, j) = \frac{1}{(MN)^{1/2}} \sum_{m=-M/2}^{M/2-1} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} b^*(m, n) \cdot W_1^{mk} \cdot W_2^{nj}$$

$$W_1 = \exp(-j2\pi/M)$$

$$W_2 = \exp(-j2\pi/N)$$

$$k = -M/2, \dots, M/2 - 1$$

$$j = -N/2, \dots, N/2 - 1$$

で求められる。

このようにして求めた、空間周波数領域に対して、領域通過フィルタ処理を行い、さらに2次元フーリエ逆変換を施すことによって、任意な空間周波数領域の通過画像を得ることができる。

ここでは領域通過フィルタとして、分布の中央

を中心とした半径 r ($0 < r < [(M/2)^2 + (N/2)^2]^{1/2}$) を持つ円形状の窓関数を用い、通過領域は 1.0, 阻止領域は 0.0 としてフィルタ処理を行う。

光学的フーリエ変換に対応した、2次元離散的フーリエ逆変換は、

$$L^*(m, n) = \frac{1}{(MN)^{1/2}} \sum_{k=-M/2}^{M/2-1} \sum_{j=-N/2}^{N/2-1} FL^*(k, j) \cdot W_1^{-mk} \cdot W_2^{-nj}$$

$$a^*(m, n) = \frac{1}{(MN)^{1/2}} \sum_{k=-M/2}^{M/2-1} \sum_{j=-N/2}^{N/2-1} Fa^*(k, j) \cdot W_1^{-mk} \cdot W_2^{-nj}$$

$$b^*(m, n) = \frac{1}{(MN)^{1/2}} \sum_{k=-M/2}^{M/2-1} \sum_{j=-N/2}^{N/2-1} FB^*(k, j) \cdot W_1^{-mk} \cdot W_2^{-nj}$$

$$W_1 = \exp(-j2\pi/M)$$

$$W_2 = \exp(-j2\pi/N)$$

$$m = -M/2, \dots, M/2 - 1$$

$$n = -N/2, \dots, N/2 - 1$$

で求めることができ、この $L^*a^*b^*$ 表色系での座標値から XYZ 表色系での座標値、さらに RGB 色濃度値へと変換すると、原画像に対して任意な空間周波数領域の通過画像となる。

1.3 スポーツウェアデザインの視覚的有効距離

スポーツウェアデザイン要素の視覚的な有効距離の測定は、健康で視覚に異常の認められない視力 1.5 以上の 10 名の検査員が、北空昼光のもとで、手元の試料布 (25 cm × 25 cm) のスポーツウェアデザイン要素と、距離を離して垂直に垂らした同じ大きさで、同じ試料布の、同じスポーツウェアデザイン要素とを比較して、手元の試料布では認識できるが距離を離れた試料布では認識できなくなったときの距離を測り、それぞれの検査員の平均値で示した。本論文ではこの時の距離を、スポーツウェアデザイン要素の視覚的有効距離と定義する。

ここで、同一デザイン内の要素でありながら、それぞれのスポーツウェアデザイン要素の視覚的有効距離が異なる場合、これは、そのデザインを観察する距離によって、デザインそのものが異なって認識されていることを意味する。つまりデザインを考える時、どの観察距離での意匠効果を目的とするかということが重要であることを示している。

1.4 スポーツウェアデザインの同定距離

スポーツウェアデザイン要素の視認性と、空間周波数領域における低域通過画像との対応を調べるため、スポーツウェアデザイン同定距離を考える。

スポーツウェアデザインの同定距離の測定は、スポーツウェアデザイン要素の視覚的有効距離の測定と同様の条件の下で、左右 50 cm の間隔に置いた 2 枚の異なるデザイン画 (9 cm × 9 cm) を観察して、それぞれのデザイン画の違いを、まったく識別することができなくなった時の距離を測り、それらの平均値で示す。本論文では、この距離をスポーツウェアデザインの同定距離と定義する。

これは、空間周波数領域の任意な高域成分を失った低域通過画像を、スポーツウェアデザインの同定距離だけ離れた位置から観察した時に、視覚的に認識しているデザインイメージの情報量は、原画像を同じ距離だけ、離れた位置から観察した時のそれに等しいことを意味するものと考えられる。いいかえれば、スポーツウェアデザインの同定距離を介して、原画像におけるスポーツウェアデザイン要素の視認性と低域通過画像とが、対応づけられることになる。

1.5 スポーツウェアデザインの視認性

光学的フーリエ変換に対応した、2次元離散的フーリエ逆変換によって得た、低域通過画像では、原画像の空間周波数領域における通過領域を、徐々に増加させていくと、高域阻止によって

失われていた画像が回復されていき、その分だけ原画像に近づいていくことになるが、その回復の過程は、原画像の空間周波数成分の強度分布によって異なると考えられる。そこで、この空間周波数成分の強度分布が、画像回復にどのような影響を及ぼすかを、具体的に把握するために、低域通過画像と原画像間の相互相関を求める。

画像 A (m, n) と画像 B (m, n) の相互相関は、次式の正規化された相互相関係数⁷⁾を用い、

$$C = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (A(m, n) - a)(B(m, n) - b)}{(c \cdot d)^{1/2}}$$

$$a = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M A(m, n)$$

$$b = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M B(m, n)$$

$$c = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (A(m, n) - a)^2$$

$$d = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (B(m, n) - b)^2$$

で求める。

この相互相関と低域通過領域の関係を調べることによって、スポーツウェアデザインの空間周波数成分にあらわれている特徴（視認性）を把握することが可能となる。

2. 結果および考察

ゴルフウェア（チェック柄先染織物）の一般的な例として用いた、試料布の織物表面画像のハードコピー（一部分）を図1に示す。図1のAからSまでは、よこ糸方向のデザイン要素それぞれに対してラベリングしたものである。これらのデザイン要素に対する、スポーツウェアデザイン要素の視覚的有効距離の測定結果を表1に示した。

ここで明らかのように、それぞれのデザイン要素の視覚的有効距離は広い範囲にわたっており、そのデザインを見る距離によって、デザインそのものが異なって見えることが判明した。つまり、

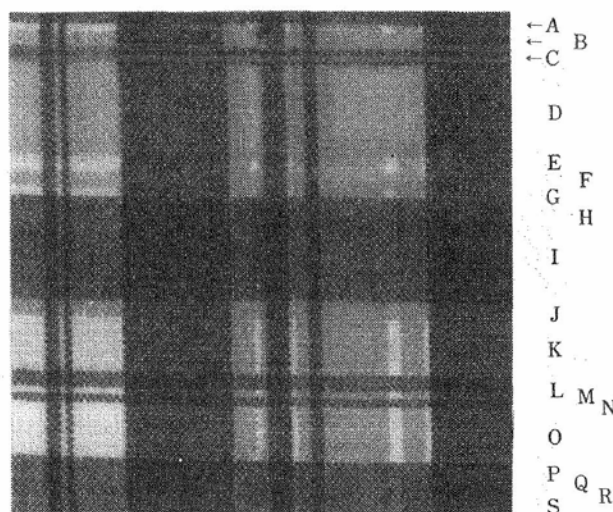


図1 ゴルフウェアデザイン画像例 (A)

表1 スポーツウェアデザイン要素の視覚的有効距離

ラベル名		A	B	C			
視覚的有効距離 (m)		2.2	1.5	1.5			
D	E	F	G	H	I	J	K
5.6	3.2	2.6	2.3	1.0	6.3	3.4	5.8
L	M	N	O	P	Q	R	S
2.8	2.4	2.4	6.0	1.5	1.4	1.4	2.0

遠くの距離では微少なデザインの変化は認識されず、周辺のデザイン要素に吸収されたように見え、それらの意匠は、至近距離内でのみ有効なデザインとして、認識されていることが確認できる。

図2, 3に、空間周波数領域における領域半径をrとした時の、低域通過画像例を示す。このデザインについてスポーツウェアデザイン同定距離を測定した結果を表2に示す。スポーツウェアデザインの視覚的有効距離の測定では、距離が離れていくと、大まかな概略のデザインとして認識される傾向にあることと、空間周波数領域の高域成分を失っていくと、スポーツウェアデザイン同定距離が大きくなっていることから、これらは視覚的な認識において、密接な関係にあることを裏付けている。

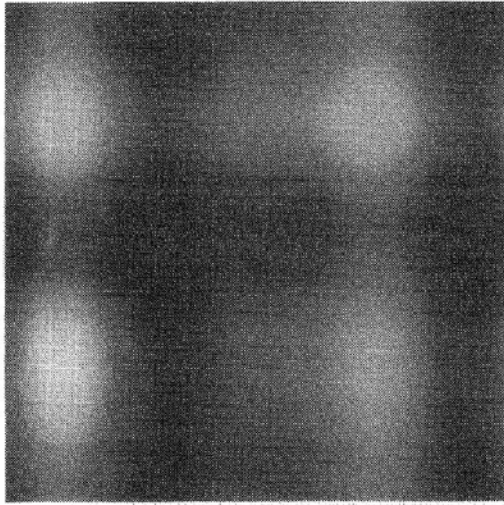


図2 画像(A)の低域通過色彩画像 ($0 < r \leq 3$)

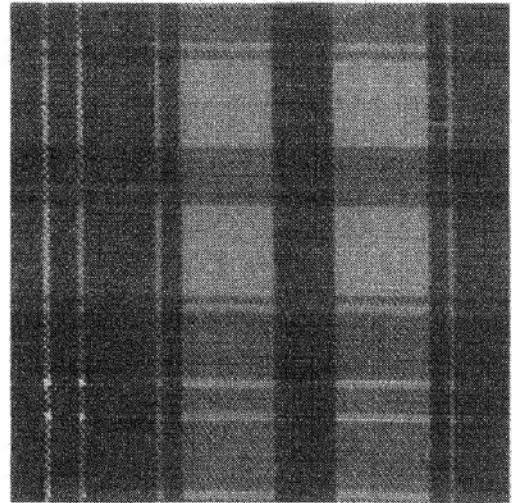


図4 ゴルフウェアデザイン画像例 (B)

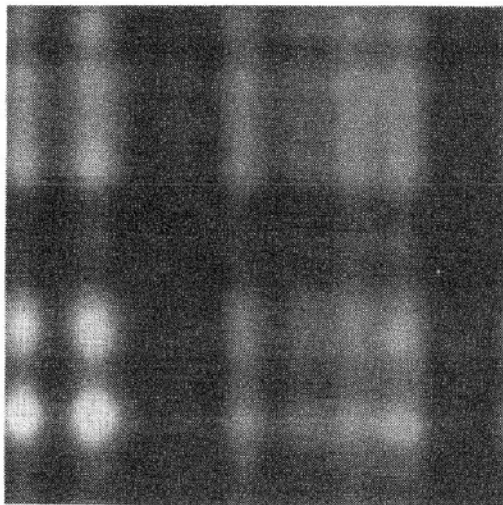


図3 画像(A)の低域通過色彩画像 ($0 < r \leq 10$)

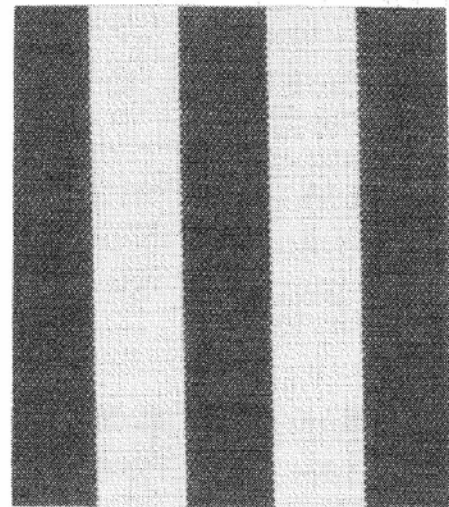


図5 ゴルフウェアデザイン画像例 (C)

表2 低域通過領域半径とスポーツウェアデザイン同定距離との関係

空間周波数領域	同定距離 (m)
$0 < r \leq 3$	36.6
$0 < r \leq 10$	14.4
$0 < r \leq 30$	4.7
$0 < r \leq 60$	3.0
$0 < r \leq 90$	1.4
$0 < r \leq 120$	0.7

図4に、図1に示したゴルフウェアデザインと類似したデザイン例を、さらに図5に、視認性に

において明らかに優れていると判断できるデザイン例を示す。図6には、これらのデザインを低域通過領域における、通過領域の拡大と原画像との相互相関との関係を用いて比較した。ここに示されるように、原画像の視覚的な特徴の差は、原画像の回復の過程の差として明確にあらわれている。とくに、視認性の優れたデザインは、空間周波数領域の低域成分を多く含んでいることがわかる。

3. 結 語

スポーツウェアデザインは、スポーツウェアとしての価値を、美しくあるいは楽しく合理的に実現することが目的であることから、感性と機能性

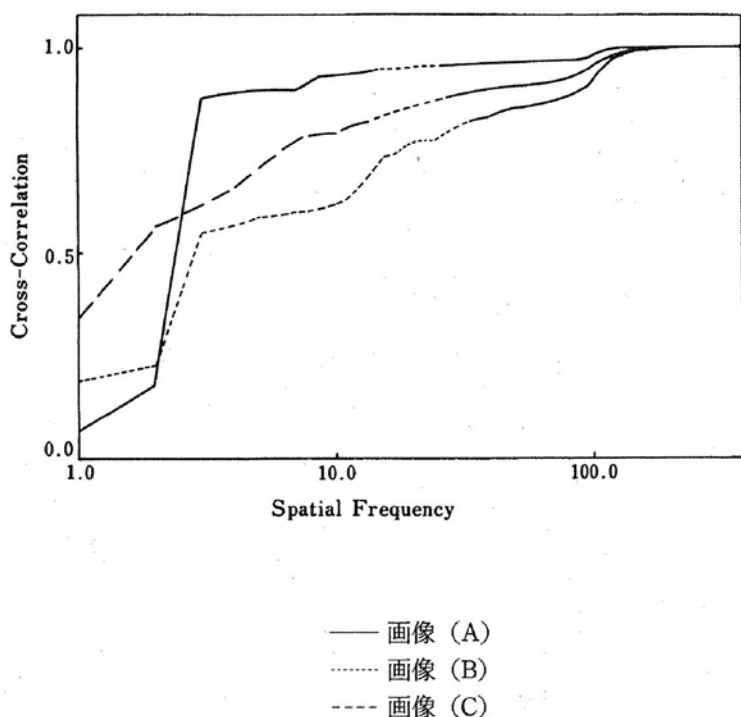


図6 低域通過半径と相互相関の関係

が重要な要因となる。

本研究では、このようなスポーツウェアデザインを視覚的に捉え、その特徴として、視認性に基づいたスポーツウェアデザイン要素の有効距離の考え方を導入した。

主観的評価である、スポーツウェアデザイン要素の視覚的有効距離を計測し、観察距離が離れると、そこから知覚されるデザインは、その視認性によって異なったデザインとして捉えられていることを示した。スポーツウェアデザインの、空間周波数領域における低域通過画像と原画像とを、スポーツウェアデザイン同定距離の計測によって対応づけ、空間周波数成分が、視覚的有効距離にあらわされるような視認性に基づく、スポーツウェアデザインの視覚的特徴要素のひとつであることを示した。空間周波数成分における、低域通過領域を徐々に広げた時の、低域通過画像と原画像との相互相関を調べ、その画像回復の様子を異なったデザイン間において比較し、視認性評価手段として、空間周波数成分を用いることの有効性

を確認した。

この方法は、ここに示したようなウェア素材のデザイン評価とともに、さらに観察距離を大きくした時の、たとえば、フィールドの中で躍動するプレーヤを観る時のような、大きな背景の中での、デザインの視認性評価にも応用することが可能である。ただし、この場合では、プレーヤと観察者との距離のほかに、フィールドの有する色彩やパターン、観察時の光源環境、使用する観察用具などのさまざまな観察状況についての検討が求められる。これらの環境設定については、今後の研究課題としたい。

文 献

- 1) 坂田晴夫, 磯野春雄; 視覚における色度の空間周波数特性 (色差弁別閾), *テレビジョン*, **31**, 1, 29-35 (1977)
- 2) 太田健一, 坂上勝彦, 小迫秀夫; 視認性に基づく先染織物デザインの視覚的特徴, *信学論 D-II*, J74-D-II, **11**, 1491-1498 (1991)
- 3) 浅野敏郎, 川目啓介, 望月 淳, 福原信雄; カラー CRT ディスプレイの白色均一性定量評価, *信学論 D-II*, J73-D-II, **6**, 830-839 (1990)
- 4) Tyler, C. W., Chang, J. J.; Visual Processing of Repetitive Images, *Proc. Soc. Photo. Opt. Instrum. Eng.*, **74**, 216-222 (1976)
- 5) 辻内順平, 村田和美編; 光学情報処理, 440, 朝倉書店 (1974)
- 6) Ahmed, N., Rao, K. R.; Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing, *Springer-Verlag*, 99 (1975)
- 7) Barnea, D. I., Silverman, H. F. ; A Class of Algorithm for Fast Digital Image Registration, *IEEE TRANS.*, C-21, 2 (1972)