Evaluation of Visual Comfort for Wallpaper by Image Analysis

KAWAMOTO Naoki

Department of Home Economics, Kyoto Bunkyo Junior College, 80 Senzoku, Makishima, Uji, Kyoto, 611-0041 Japan

Received 13 June 2003; accepted for publication 6 September 2004

Abstract

The purpose of this study is to evaluate visual comfort of wallpaper by using image analysis. First of all, 30 human observers estimated the visual comfort for various samples of wallpaper on a CRT display. Next, we examined the relationship between the visual comfort estimated by the human observers and each of 4 feature parameters obtained by image analysis, that is, average lightness, average chromaticness, average spatial frequency, and entropy in spatial frequency domain. Clearly, the visual comfort of wallpaper has a good positive correlation with the average lightness, and a good negative correlation with the average chromaticness. Furthermore, a multiple regression analysis was performed by using these feature parameters to predict the visual comfort. The regression equation included 6 explanatory variables, that is, the 4 feature parameters and the second order terms of average spatial frequency and entropy. The result showed that the regression coefficients were negative for the second order terms of the 2 feature parameters, therefore, wallpaper with medium values of average spatial frequency and entropy was evaluated as comfortable. In other words, this suggests that the wallpaper with medium coarseness(fineness) and moderate spatial periodicity tends to bring the visual comfort.

Key Words: Wallpaper; Visual comfort; Image analysis

画像解析による壁紙の視覚的快適性評価

河本 直樹

1. まえがき

室内の色彩環境等による視覚的快適性を考える上で、壁紙は最も重要と思われる要素の一つである。壁紙には種々の素材、種々の色柄のものが存在するが、本稿では素材による効果については考えず、色柄による効果のみを扱うものとする。すなわち種々の色柄を有する壁紙のデジタル画像をサンプルとして用いる。

色による感情効果を定量化しようとする試みは、これまでもいくつか報告されているが、それらはほとんど、単色[1-3]あるいは2~3色による単純な配色パターン[4-11]を用いた基礎研究であり、壁紙等のように種々の柄を含む実在パターンの評価に適用できるものではない。また、柄のイメージや嗜好に関する研究報告もあるが、例えば、ストライプ[12-14]、チェック[15-16]、水玉[17-19]等のように、いわゆる規則的なパターンを対象としたもの

のがほとんどであり、一般の壁紙のように不規則なあるいは複雑な柄を含む場合への適用は、やはり難しい。

河本[20]は、正規乱数によるモザイクパターンを用いることによって、複雑さや美しさ等の視覚的印象が、どのような画像特徴量と関連付けられるかを検討しているが、実在の柄やデザインへの応用については言及していない。そこで本研究では、実在パターンの例として室内用壁紙をとりあげ、その視覚的快適性の度合を、壁紙がもついくつかの画像特徴量から予測するための手法について検討した。

2. 方法

2.1 サンプル

市販の住宅デザインソフト「3D マイホームデザイナー

Fig.1 Example images of wallpaper. (256×256 pixels)

一」(MEGASOFT)用のインテリア素材集CD-ROMに収録されているすべての壁紙画像34点をサンプルとして用いた。これらの壁紙は室内用として実際に製造・販売されているもの(東リ製)を上記ソフト用のデジタル画像(BMP形式)としたものである。収録されている画像のサイズは128×128画素であるが、本研究ではリピー処理により512×512画素として用いた。サンプルの一部を図1に示す。(図1ではサンプルの4分の1の領域に相当する256×256画素の部分を示している。)

柄の種類としては、草花をモチーフにしたやや具象的なもの(図1のNo.2, 5, 17, 18など)も5~6点あるが、その他は、無地に近いもの(図1のNo.8, 12など)、ストライプ状のもの(図1のNo.3, 34など)、幾何学模様のようなもの(図1のNo.20, 22など)というような抽象的なものがほとんどである。具象柄においては、そのモチーフ自体のもつ意味が快適性の主観評価に影響を及ぼすことが考えられるが、上述のように、具象柄のサンプルはかなり少なく、しかもその中にはやや抽象化されていてモチーフ自体の印象がそれほど強くないものも含まれているため、本研究ではその影響については言及しないものとする。

2.2 視覚的快適性の主観的評価方法

短期大学の家政学科に所属する19~20歳の女子学生30名による被験者が、上記34点のサンプル画像をCRTモニタ上で観察しながら、その快適性を主観的に評価した。本来、壁紙による快適性は、その壁紙が施された室内に居て、評価されるべきものであるが、研究の簡便のため、ここではCRTモニタ上での観察による評価とした。評価尺度については、室内および屋外のシーンを撮影した画像から受ける快適感をCRT上で評価させた佐川[21]の研究を参考に、「最も快適」と感じる場合を10、「最も不快」と感じる場合を0とする11段階とした。室内用壁紙には比較的良好な似たものや無難なものも多いため、評価尺度を5~7段階程度とすると、評価が中央に偏ってしまったり、サンプル間の小さな差が反映されなかったりするのではないかと考え、11段階のやや細かい尺度を採用した。

評価に際して特別なインストラクションは与えず、ただ「室内の壁紙として快適と感じるかどうかを率直に評価するように」との説明のみを行った。もちろん本研究の目的や内容についても一切の情報を与えなかった。

サンプル画像のサイズは512×512画素であり、これを800×600画素の解像度に設定された15インチサイズのカラーCRTモニタ(イーヤマ製S500M1)のほぼ中央に黒色を背景として表示した。画像の実サイズは約18×18cmとなり、被験者はこれを約70cmの視距離で観察したので、視角に換算すれば約14°となる。

サンプル画像の呈示時間は特に制限せず、観察および

評価を終えた時点で被験者自身がコンピュータのキーを押すことにより(約3秒間、何も表示されない黒色画面の状態を経て)次のサンプルが呈示されるようにした。ほとんどの被験者が数秒~10秒程度で1サンプルの評価を終えた。またサンプルの呈示順序による影響を除くため、呈示順序は被験者ごとにランダムに決めた。実験は大学の研究室内(通常の白色蛍光灯による照明の下)で行った。モニタ近辺の照度は約400lxであった。

3. 結果と考察

3.1 視覚的快適性の主観的評価結果

まず全被験者30名の平均評価値を求めた後、その平均評価値と各被験者による評価値との相関をそれぞれ調べた結果、危険率5%以下で相関ありと認められる被験者は23名であった。逆にいえば、平均とは異なるやや個性的な評価をした被験者が7名いたことになる。この研究では、とりあえず個人差の問題は扱わずに、快適性評価の一般的な傾向を見るために、上記7名の評価データを除いた残り23名による平均評価値をあらためて算出した。この23名の平均評価値および標準偏差を表1の左から2列目および3列目に示した。平均評価値は、サンプルNo.8の5.96が最高、サンプルNo.29の1.74が最低となっており、全般にやや低めだが、これは快適性評価がCRT上の観察によって行われたことに起因するものではないかと推察している。いずれにせよ、表2の分散分析にもあるように、サンプル間の変動は被験者間の変動に比べて十分に大きく、これら23名の平均評価値をこの後の分析対象として使用することにする。

3.2 壁紙画像の特徴量の抽出

画像の視覚的印象を表現するための特徴量としては様々なものが考えられるが、本研究では、これまでの研究結果[20]などを参考にしながら、以下のような特徴量について抽出・検討するものとした。

- ・平均明度
 - ・平均彩度
 - ・空間周波数の平均値(以下では平均周波数と記述)
 - ・空間周波数領域におけるエントロピー
- (以下では単にエントロピーと記述)

これらの他にも一般的な画像特徴量として、例えば平均色相が考えられるであろうし、また使用色間の色差の大きさを表すような特徴量(明度、彩度、色相に関する標準偏差など)も考えられるが、今回のようにいわゆる室内壁紙においては、暖色系の平均色相をもつものが圧

Table 1 Average values and standard deviations of visual comfort and 4 feature parameters obtained by image analysis.

Sample no.	Average values of visual comfort	Standard deviations of visual comfort	Average lightness	Average chromaticness	Average spatial frequency	Entropy in spatial frequency domain
1	2.57	1.34	89.56	37.84	17.84	0.291
2	4.30	1.96	94.77	2.22	11.93	0.394
3	5.13	1.79	97.43	5.74	26.35	0.404
4	4.48	2.04	97.14	7.60	35.92	0.558
5	3.48	1.44	95.19	7.24	36.19	0.682
6	4.57	2.02	98.48	2.23	17.18	0.364
7	3.70	1.52	97.30	5.22	27.20	0.406
8	5.96	1.87	91.46	10.27	20.29	0.522
9	5.57	2.04	95.75	5.11	34.41	0.553
10	3.30	1.55	89.32	4.27	23.58	0.581
11	2.30	1.55	80.96	37.35	18.93	0.507
12	4.26	2.18	91.50	10.14	25.29	0.584
13	3.13	1.84	93.94	11.66	26.60	0.590
14	5.48	1.70	95.14	3.51	31.64	0.523
15	3.74	1.42	94.89	3.33	30.43	0.648
16	4.26	1.84	90.68	8.67	27.05	0.423
17	5.13	1.79	93.23	7.05	17.03	0.478
18	3.70	2.01	92.13	10.15	22.93	0.571
19	4.39	2.25	88.97	6.67	17.48	0.542
20	3.65	1.80	92.06	13.05	29.57	0.452
21	2.57	1.59	89.45	6.97	21.15	0.551
22	4.96	1.52	94.34	7.14	24.19	0.584
23	3.78	1.24	97.36	3.19	21.13	0.527
24	5.83	1.83	96.69	1.90	16.11	0.464
25	4.35	2.04	96.97	6.10	17.61	0.471
26	3.09	1.93	89.96	9.09	10.14	0.393
27	3.09	1.59	90.48	15.62	21.20	0.547
28	2.70	1.29	82.70	19.77	32.71	0.618
29	1.74	1.21	82.08	34.24	46.92	0.566
30	1.91	1.24	76.61	33.00	34.99	0.559
31	2.04	1.26	72.66	47.06	30.70	0.504
32	3.04	1.52	86.06	25.91	25.57	0.441
33	2.48	1.65	81.94	14.38	49.44	0.454
34	3.78	1.59	91.25	14.48	28.84	0.320

Table 2 Result of analysis of variance.

Cause of variance	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F value
Samples	1000.59	33	30.321	10.315
Subjects	2198.69	748	2.939	
Total	3199.28	781		

倒的に多いことや、色差もほとんどの場合あまり大きくないことなどの実際の状況を勘案して、上記4種類の特徴量を用いることとした。各特徴量を抽出するための具体的な計算方法について以下に述べる。

まず壁紙画像の各画素のRGB値を近似的にCIELAB値に変換し、 L^* 、 a^* 、 b^* 値による画像データ配列とする。平均明度は L^* の平均値とし、平均彩度については各画素の a^* 、 b^* 値から $C^* = \{(a^*)^2 + (b^*)^2\}^{1/2}$ を求め、その平均値を用

いた。

一方、 L^*, a^*, b^* 画像データ配列にそれぞれ 2 次元フーリエ変換を施し、パワースペクトル $P(u, v)$ を求める。次にそのパワースペクトルを極座標形式に変換し、距離 r についての成分和 $P(r)$ を用いる。($r^2 = u^2 + v^2$, u, v はそれぞれ水平方向、垂直方向の周波数を示す。) さらに、視覚系の空間周波数応答特性を考慮するために、 $P(r)$ に次のような簡単なローパス型のフィルタをかける。

$$h(r) = 1 / \{ 1 + (r / r_0)^\alpha \} \quad (1)$$

視覚系の空間周波数応答特性に関しては種々の研究報告[22-26]があるが、研究者や測定方法により若干の相違も見られるため、本研究ではそれらの結果をおおよその参考としながら、上記の関数を独自に設定した。式(1)から分かるように、 $r=r_0$ のとき、 $h(r_0)=1/2$ で、利得が半分になる。使用した壁紙画像のサイズは 512×512 画素であり、水平および垂直方向の空間周波数 u, v の最大値は 256、したがって r の最大値は 362 となる。ここでは $r_0=160$ とした。主観的評価の際、被験者は視角約 14° で画像を観察したので、 r の値を 14 で割ることにより cycles/degree の単位に換算できる。 $r_0=160$ は約 11 cycles/degree に相当する。また利得低下の傾きに寄与する指数 $\alpha=4$ とした。

ここまでの処理は L^*, a^*, b^* の各画像成分について行い、その後 3 成分のスペクトルを周波数ごとに加算したものを $P_{\text{Lab}}(r)$ とする。視覚的快適性評価に際し、3 成分のスペクトルそれぞれに固有の寄与が存在することも考えられるが、本研究では簡単のため、上述のような加算を行い、一つのスペクトルにまとめた。この $P_{\text{Lab}}(r)$ を用いて、平均周波数 r_{average} を次式(2)により求める。

$$r_{\text{average}} = \{ \sum_r r \cdot P_{\text{Lab}}(r) \} / \sum_r P_{\text{Lab}}(r) \quad (2)$$

平均周波数 r_{average} の値は、画像におけるパターンの粗密の程度を表す。すなわち、壁紙がもつ主要な(特徴的な)柄が細かいほど、大きい値となる。

また、 $P_{\text{Lab}}(r)$ を次式(3)により正規化したものを $p(r)$ とする。

$$p(r) = P_{\text{Lab}}(r) / \sum_r P_{\text{Lab}}(r) \quad (3)$$

こうして得られた $p(r)$ を用いて、空間周波数領域におけるエントロピー H' を次式(4)で定義することができる。

$$H' = - \sum_r p(r) \cdot \log p(r) \quad (4)$$

ここで H' の最大値は、スペクトルがすべての周波数 r に対して均等に分布している (white noise の) ときに与

えられ、その値は $\log K$ (K は r のとり得る値の個数であり、ここでは $K=362$) となる。そこで次式(5)により、相対エントロピー H を求め、これを特徴量として用いる。

$$H = H' / \log K \quad (5)$$

この相対エントロピー H は 0 から 1 の範囲の値をとり、画像のパワースペクトルが様々な周波数に分散しているほどその値は大きく (1 に近く) なり、逆に特定の周波数に集中しているほどその値は小さく (0 に近く) なる。したがって、壁紙画像に含まれる色や明るさの変化が非周期的でランダムであるほど大きい値となる。

各サンプルについて計算された、これら 4 種類の特徴量の値は表 1 に示されたとおりである。

3.3 快適性の主観的評価と画像特徴量の関係

まず、前項で述べた 4 種類の画像特徴量と快適性の主観的評価値との単相関を調べた。図 2～5 はそれらの関係を散布図として描いたものであり、各図中の R の値が相関係数を示している。

平均明度と快適性は強い正の相関 (相関係数 0.737) を示し、一方、平均彩度と快適性は強い負の相関 (相関係数 -0.714) を示していることが分かる。すなわち、壁紙の平均的な色特性として、高明度、低彩度であるものが視覚的に快適であると評価されていることになる。平均周波数とエントロピーに関しては、視覚的快適性との単相関はあまり見られない。しいていえば平均周波数がわずかに負の相関 (相関係数 -0.318) を示している程度である。前項で述べたように、平均周波数の値は画像におけるパターンの粗密の程度を表すと考えられるので、この結果は壁紙がもつ主要な(特徴的な)柄が細かいほど、快適性がやや低下する傾向にあることを示唆しているが、それほど単純な関係ではないと予想される。

次に、これらの画像特徴量を説明変数に使い、壁紙の視覚的快適性を予測するための重回帰式について検討した。画像特徴量は 4 種類であるが、そのうち平均周波数とエントロピーに関しては、前報[20]の結果などから、非線形の相関も予想されたため、各々の 2 次項を説明変数に加え、合計 6 変数とした。SPSS による重回帰分析の結果を表 3 に示す。説明変数によって単位やスケールが異なるので、ここでは標準偏回帰係数の値から、各変数の寄与について考察する。まず、単相関の結果からも推測される通り、平均明度は正の寄与、平均彩度は負の寄与を示している。一方、平均周波数とエントロピーについては、単相関では上記 2 変数の影響に隠れてあまり関連が見出せなかったが、ここでは、ともに 2 次項が負の係数を示しており、上に凸の 2 次的な関連があることが分かった。つまり平均周波数とエントロピーは大きすぎても小さすぎても快適性を低下させることになる。もち

Fig.2 Relationship between average lightness and visual comfort.

Fig.4 Relationship between average spatial frequency and visual comfort.

Fig.3 Relationship between average chromaticness and visual comfort.

Fig.5 Relationship between entropy in spatial frequency domain and visual comfort.

Table 3 Result of multiple regression analysis (34 samples).

Explanatory variable	regression coefficient	regression coefficient (normalized)	t value	P value
Constant	-11.068		-1.696	0.101
Average lightness	0.091	0.497	1.956	0.061
Average chromaticness	-0.027	-0.277	-1.126	0.270
Average frequency	0.084	0.648	1.058	0.300
Square of average frequency	-0.002	-0.692	-1.148	0.261
Entropy	26.351	2.102	1.902	0.068
Square of entropy	-28.146	-2.192	-2.004	0.055

Table 4 Result of multiple regression analysis (17 samples with odd number).

Explanatory variable	regression coefficient	regression coefficient (normalized)	t value	P value
Constant	-5.478		-0.453	0.660
Average lightness	0.059	0.368	0.716	0.490
Average chromaticness	-0.033	-0.415	-0.856	0.412
Average frequency	0.095	0.828	0.576	0.577
Square of average frequency	-0.002	-0.926	-0.639	0.537
Entropy	14.897	1.216	0.675	0.515
Square of entropy	-17.327	-1.406	-0.800	0.442

ろん、表の最右欄に示されているように偏回帰係数の検定における有意確率が十分に小さいとはいえないので断定はできないが、要するに適度な平均周波数とエントロピーをもった壁紙が視覚的快適性をもたらすものと考えられる。前項で述べたように、エントロピーの値は画像のパワースペクトルが様々な周波数に分散しているほど大きくなり、逆に特定の周波数に集中しているほど小さくなる。つまり、画像に含まれる色や明るさの変化が非周期的でランダムであるほど大きくなる。したがって、平均周波数とエントロピーの寄与をもう少し簡単に表現するならば、「適度な粗さ（細かさ）と適度な周期性（非周期性）をもつ壁紙が視覚的快適性をもたらす」となる。

図6は、横軸に視覚的快適性の主観的評価値（実測値）を、縦軸に重回帰式による計算値（予測値）をそれぞれとり、34サンプルの値をプロットしたものである。これらの相関係数（つまり重相関係数）は0.806であり、上記4種類の特徴量（うち2種類は2次項も含み、6変数）によってある程度快適性の予測が可能と考えられる。

さらに本手法の汎用性を確認するために、34サンプルのうち半数（具体的には奇数番）の17サンプルについてのデータを使って、同じように重回帰分析を行い（表4）、その結果を用いて残り（つまり偶数番）の17サンプルの快適性を予測してみた。図7はその値を図6と同じように実測値と比較して示したものである。この場合でも実測値と予測値との相関は0.802となっており、予測精度の減少はほとんど見られない。また表4にあるように、（サンプル数が少なくなったため、有意確率の値がかなり大きくなってはいるが）標準偏回帰係数の値は前出の表3のそれとほぼ類似の傾向を示している。したがって本手法はある程度の汎用性をもつものと考えられ、今回用いたサンプルとは別の壁紙の評価に対しても有効であることが期待できる。

4. 結論

室内用壁紙の色柄による視覚的快適性について、被験者による主観的評価と、画像解析によって得られる客観的特徴量との関連を検討した。使われている色の効果においては、平均明度が高く、平均彩度が低い（いわゆる淡色系の）壁紙が快適であることが明らかとなった。また、柄（すなわち空間的な色変化の特徴）による効果においては、適度の平均周波数とエントロピーをもつ壁紙が快適性をもたらすことも示唆された。

ただし、本研究で用いた壁紙画像は抽象柄のものがほとんどであり、はっきりした具象柄を含むような場合に対する評価法については、今後さらに検討する必要がある。また本結果はデジタル画像としてCRT上に表示された壁紙に対する印象評価によるものであり、はじめに述べたように素材による質感の違いや、あるいは実際に

室内に施された場合の印象の違い（面積や観察時間の効果）など、現実の場面へ適用するにはまだまだ考えねばならない問題は多いかもしれないが、ある程度有効な示唆が得られたと考えている。

Fig.6 Relationship between observed and predicted visual comfort (34 samples).

Fig.7 Relationship between observed and predicted visual comfort (17 samples with even number). The predicted values were obtained by using regression coefficients for the other 17 samples with odd number.

References

- [1] Nakamura, T. et al ; Sen' i Gakkaishi, **52**, 27 (1996)
- [2] Sato, T. et al ; Sen' i Gakkaishi, **53**, 7 (1997)
- [3] Sato, T. et al ; Sen' i Gakkaishi, **53**, 131 (1997)
- [4] Nayatani, Y. et al ; Bull. Electrotech. Lab., **29**, 631 (1965)
- [5] Mori, N. et al ; Bull. Electrotech. Lab., **29**, 914 (1965)
- [6] Mori, N. et al ; Bull. Electrotech. Lab., **30**, 161 (1966)
- [7] Mori, N. et al ; Bull. Electrotech. Lab., **30**, 741 (1966)
- [8] Mori, N. et al ; Bull. Electrotech. Lab., **30**, 889 (1966)
- [9] Nayatani, Y. et al ; Bull. Electrotech. Lab., **31**, 1153 (1967)
- [10] Asano, C. et al ; Bull. Electrotech. Lab., **32**, 195 (1968)
- [11] Nayatani, Y. et al ; Bull. Electrotech. Lab., **32**, 221 (1968)
- [12] Kato, Y. et al ; J. Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses, **25**, 167 (1984)

- [13] Kosuge, K. et al ; J. Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses, **31**, 38 (1990)
- [14] Yoshioka, T. ; J. Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses, **31**, 250 (1990)
- [15] Ishii, M. et al ; Graphics and CAD, **70**, 37 (1994)
- [16] Ishii, M. et al ; J. Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses, **37**, 646 (1996)
- [17] Kosuge, K. et al ; J. Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses, **31**, 427 (1990)
- [18] Yanagida, K. et al ; J. Text. Mach. Soc. Japan, **49**, 222 (1996)
- [19] Ishii, M. ; J. Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses, **41**, 535 (2000)
- [20] Kawamoto, N. ; Sen' i Gakkaishi, **58**, 387 (2002)
- [21] Sagawa, K. ; Col. Res. Appl., **24**, 313 (1999)
- [22] Watanabe, A. ; Television, **20**, 730 (1966)
- [23] Sakata, H. et al ; Television, **31**, 29 (1977)
- [24] G.J.C.van der Horst et al ; J.Opt.Soc.Am., **59**, 1482 (1969)
- [25] E.M.Granger et al ; J.Opt.Soc.Am., **63**, 1173 (1973)
- [26] K.T.Mullen, J.Physiol., **359**, 381 (1985)