CRT 上のカラーモザイクパターンに対する視覚的印象としての複雑さと美しさ

京都文教短期大学家政学科 河本直樹

Visual Complexity and Beauty of Colored Mosaic Patterns on a CRT display

Naoki Kawamoto

Kyoto Bunkyo Junior College, Makishima, Uji, Kyoto 611-0041, Japan

Abstract: This paper presents a method for objective evaluation of visual complexity for colored patterns in terms of two features obtained by image analyses. One of the features is entropy measure in the spatial frequency domain, and the other is fractal dimension of the colored pattern. The evaluation method was applied to colored mosaic patterns generated by using normal random numbers. On the other hand, 20 human observers estimated the visual complexity and beauty of the mosaic patterns on a CRT display. The result showed that the entropy measure was highly correlated to average value of complexity estimated by 20 observers, and the fractal dimension was also correlated to the visual complexity. Then, a linear multiple regression equation was introduced for quantitative evaluation of complexity, including the entropy measure and the fractal dimension as independent variables. Visual complexity calculated by the regression equation was in good agreement with that evaluated subjectively. Furthermore, the relationship between visual complexity and beauty was investigated. It was found that the colored patterns, which had medium complexity, were evaluated as beautiful. In other words, very complex or very simple patterns were not evaluated as beautiful.

(Received 9 October, 2001; Accepted 12 April, 2002)

1. 結 言

テキスタイルをはじめとする種々のカラーデザインを目にしたとき、そのデザインに対する視覚的な印象として「複雑な」（あるいは「単純な」）というような評価をすることがある。本論ではこれを視覚的複雑さと呼ぶことにする。カラーデザインの視覚的複雑さは、例えば美しさや快適さなどの評価にも少なからぬ影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、その視覚的複雑さが、カラーデザインのどのような物理的要因によって決まるのかはよくわかっていない。一般的に、複数の色で構成される色彩画像を考えた場合、視覚的複雑さに寄与すると思われる要因としては、画像を構成する色の数や各色間の色差、あるいは各色要素のサイズや配置、などがあげられるが、これら個々の要因を定量的に評価することは極めて難しい。例えば画像を構成する色の数でさえ（クラスタリングによって画像の代表色を抽出する[1]、あるいはカテゴリカルカラーに基づいて色領域の分割を行う[2]、などいくつかの手法を用いる試みはあるが）そう簡単に定量化できるものではない。また実際のテキスタイルデザインなどでは多色のパターンによるものも数多く存在するため、上に述べたような要因を個々に定量化し視覚的印象評価に関連づけていこ

うとするアプローチには限界がある。

本研究は、画像解析の手法を用いて得られるいくつかの画像特徴量によって、視覚的複雑さや美しさを評価する手法について検討するもので、類似の先行研究としては、太田ら[3][4]、森ら[5][6]によるものなどがある。太田らはチェック柄の先染織物デザイン布を対象とし、視覚的特徴を表す1つの項目として「印象が強い」という主観をとりあげ、デザイン画像のフラクタル次元[3]、あるいは空間周波数領域における低域通過画像と原画像との相互相関[4]などの客観的特徴量との関係を調べているが、複雑さや美しさには言及していない。森らは組織や糸密度の異なる無地織物[5]や、レース模様[6]を対象とし、同時生起行列から得られる種々のテクスチャ特徴量およびフラクタル次元などが、美しさなどの視覚による官能評価とどのように関連するかを調べているが、いずれもグレイレベル画像に限定しており、また複雑さの主観評価は行っていない。

本研究では、CRT 上に乱数を用いて作成された抽象的なモザイク状のカラーパターンを対象とし、その視覚的複雑さや美しさについての主観的評価量を測定するとともに、空間周波数領域におけるエントロピーおよびフラクタル次元などいくつかの画像特徴量を求め、主観的評価との関連について考察を行った。

2. 方 法

2.1 視覚的複雑さに寄与する画像特徴量

視覚的複雑さの主観的評価は、被験者の属性により（例えば、デザイナーや研究者等の専門家と、一般の人々とで）若干異なることも予想されるが、本研究では特に予備知識をもたない一般の人々がカラーパターンを見たときに率直に感じる複雑さを問題にする。例えば専門家の間では、「ランダムさの中に秩序を含む」あるいは「階層的なディテールが多い」というような複雑さの解釈もあると思われるが、これはどちらかというとき美しさの評価につながる、よい意味での複雑さといえる。しかしながら一般の人々においては、「細かく、かつランダムなもの」を複雑とするような解釈が最も普通ではないかと考え、本研究では次のような仮説を設けた。すなわち、パターン内における色や明るさの変化が「細かく」かつ「周期的でない」ものほど複雑な印象を与え、逆に粗いパターンや周期性の強いパターンほど単純な印象を与えたと考える。

例えば石井ら[7]は、白黒のみのチェック柄の複雑度(e)として、1 リピートの面積(S)とその中に含まれる黒場の柄相当部分の周囲長(l)より $e = l^2 / S$ で算出される値を用いているが、これはほとんど細かさの尺度であると考えられ、視覚的複雑さの評価には非周期性の寄与を無視するわけにはいかないとと思われる。

そこで本研究では、パターンの(画像濃度曲面の起伏の)細かさに関係する画像特徴量としてフラクタル次元の値を、また非周期性に対応する画像特徴量として空間周波数領域におけるエントロピーの値を用いるものとする。一般にフラクタル次元は複雑さの尺度であるといわれることが多いが、金子[8]が述べているように画像のフラクタル次元はわれわれが視覚的に感じる複雑さとは必ずしも一致しない。金子は非連続性の尺度とかギザギザの尺度という表現を用いているが、いわゆる見た目の細かさの印象とかなり関連していると思われる。

また例えば、画像のパワースペクトルにおけるピーク周波数の位置や平均周波数なども細かさの程度を表すものと考えられるが、周期性の強いパターンなどでスペクトルがごく限られた空間周波数成分に集中しているような場合に問題があるため、ここでは用いなかった。

2.2 カラーパターンのフラクタル次元

フラクタル次元は本来、自己相似性を有する図形に対して定義される量であるが、当然、実画像においては厳密な自己相似性は成り立たない。したがって、限られた観測スケールで統計的に自己相似性が成立する場合について、いくつかのフラクタル次元の計算法が提案されている[9]。本研究では、前述の先行研究[3][5]と同様に、中山ら[10]の手法を用いてカラーパターンのフラクタル次元を算出した。以下にその概要を述べる。

まず画像面内に $d \times d$ 画素の単位領域を考え、その単位領域に対する画像濃度面を被覆する1辺 d 画素の立方体の

個数 $n(d)$ を次式により求める。

$$n(d) = \text{floor} \left[\frac{\max_{1 \leq i \leq 4} (I_i) - \min_{1 \leq i \leq 4} (I_i)}{d} \right] + 1 \quad (1)$$

ただし、floor は整数化 (切り捨て)

ここで、 $I_i (i=1,2,3,4)$ は単位領域の四隅に該当する画素の濃度値を示している。次に画像内のすべての単位領域で $n(d)$ を求め、その平均値を $\overline{n(d)}$ とする。この平均値を用いることにより、画像濃度面全体を被覆するのに必要な立方体の個数 $N(d)$ を次式で求める。

$$N(d) = \overline{n(d)} \cdot A / d^2 \quad (2)$$

ここで、 A は画像全体の面積である。単位領域の大きさ d を順に変化させて、各々の場合の $N(d)$ を求め、 $\log d$ と $\log N(d)$ とをプロットし、その回帰直線を最小二乗法により計算すれば、直線の傾きからフラクタル次元が得られる。

本研究で用いたカラーパターンのサイズは 256×256 画素で、フラクタル次元を求める際の単位領域の大きさ d は $2 \sim 128$ としたが、大津[11]の提案する直線度による検討を行った結果、ほとんどのパターンで1に近い値が得られた。またパターンの画像データは、均等知覚色空間として知られる CIELAB 表色系に基づき、 L^* , a^* , b^* の3成分の値で処理したため、各成分についてフラクタル次元が得られるが、ここではそれらの平均値をそのパターンのフラクタル次元 D として用いた。もちろん、複雑さや美しさに対する各成分固有の寄与も存在するであろうし、さらには、 L^* , a^* , b^* ではなく、例えば、明度、彩度、色相の成分で処理するなどの方法も考えられるが、本研究では簡単のため L^* , a^* , b^* での平均値を用いた。

2.3 カラーパターンの空間周波数領域におけるエントロピー

まず画像データに対して 2 次元離散フーリエ変換を施し、空間周波数成分 $F(u,v)$ を得る。ここで u は水平方向周波数、 v は垂直方向周波数を示す。さらに次式により、パワースペクトルを求める。

$$P(u,v) = |F(u,v)|^2 \quad (3)$$

次に、この $P(u,v)$ を極座標形式 $P(r)$ および $P(\theta)$ に変換したもののうち、 $P(r)$ のみを用いる。 $P(r)$ は次式によって求められる。

$$P(r) = \sum_{u^2+v^2=r^2} P(u,v) / S_r \quad (4)$$

ここで、実際の計算においては、 r は離散値 (整数値) として処理するため、上式において r が少数となる場合は少数以下を切り捨てることによって整数化した。また分母の S_r は uv 平面内の、和をとる部分 (環) の面積であるが、

これも次式による近似計算を用いた。

$$S_r = \sum_u \sum_v \frac{1}{u^2 + v^2 + r^2} \quad (5)$$

ところで人間の視覚系は、このスペクトル $P(r)$ をすべて知覚できるわけではない。視覚系の空間周波数応答特性についてはいくつかの報告[12-16]があるが、研究者により、あるいは測定方法により、その結果に若干の相違が見られる。輝度成分については、大体、数(cycles/degree)をピークとするバンドパスフィルタ型との報告が多く見られるが[12]、色度成分については、バンドパス型[13]、ローパス型[14-16]、いずれの報告もある。また色度成分のうち、red-green 成分と yellow-blue 成分の応答特性が異なるとの報告[13]もあり、差異はないとの報告[16]もある。いずれにせよ上述のような研究は、そのほとんどが正弦波パターンや矩形波パターンをテスト刺激としてコントラストの弁別閾を測定するという極めて限定された観察条件によるものであり、日常われわれがデザインなどを観察するような場合の応答特性とはかなり異なるのではないと思われる。

したがって本研究では、空間周波数応答特性について、あまり厳密な扱いは行わず、上述の研究結果などから大まかな傾向だけを見て、以下に示すような独自のフィルタ関数 $h(r)$ を適用した。

$$h(r) = 1 / [1 + (r / r_0)^a] \quad (6)$$

$h(r)$ はシンプルなローパス型のフィルタ関数であり、 $r = r_0$ のとき、 $h(r_0) = 1/2$ で、利得が半分になる。本研究で用いる画像のサイズは 256×256 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 128、したがって r の最大値は 181 となる。ここでは $r_0 = 80$ に設定した。ちなみにここで用いている空間周波数は画像の解像度によって決まる値であり、後述するようにパターン画像の観察条件は視角約 10° としたので、 r の値を 10 で割るといわゆる cycles/degree の単位にほぼ対応する。また利得低下の傾きに影響する指数 $a = 4$ に設定した。

ここまでの計算処理は、画像データの L^* , a^* , b^* 、各成分について行うが、前節でも述べたように、やはり簡単のため 3 成分のパワースペクトルを周波数ごとに加え合わせ、得られたものを $P_{Lab}(r)$ とする。これを次式により正規化する。

$$p(r) = P_{Lab}(r) / \sum_r P_{Lab}(r) \quad (7)$$

この正規化の操作により、 $0 \leq p(r) \leq 1$, $\sum p(r) = 1$ となり、 $p(r)$ は確率密度関数として扱うことができる。そこで、 $p(r)$ のエントロピー H' を次式で定義することができる。

$$H' = - \sum_r p(r) \cdot \log p(r) \quad (8)$$

ここで H' の最大値は、スペクトルがすべての離散周波数 r

に対して均等に分布している (white noise の) 場合に与えられ、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 $K = 181$) となる。そこで次式により、相対エントロピー H を得ることができる。

$$H = H' / \log K \quad (9)$$

相対エントロピー H は、0 から 1 の範囲の値をとり、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。すなわち画像の非周期性を表す尺度として用いることができる。本論ではこれ以降、この相対エントロピー H を、単にエントロピーと呼ぶことにする。

2.4 正規乱数によるカラーモザイクパターンの作成

本研究においてサンプルとして使用した画像は、コンピュータにより色の出方を統計的にコントロールし生成したモザイク状のランダムカラーパターンである。パターン内の色の平均値と標準偏差を、CIELAB 表色系による値として指定し、各モザイク要素の色をそれらの値に基づく正規乱数によって決めるようにした。CIELAB 表色系の L^* , a^* , b^* の値から CRT モニタの RGB 値への変換は、CRT の 3 原色蛍光体が NTSC で定められた色度値をもつものとして近似的に行った。また RGB がともに最大値をとるとき明るさを $L^* = 100$ に対応させた。使用した CRT の白色輝度は約 120 cd/m^2 であった (ミノルタ製 CS-100 により測定)。

パターン全体の大きさは 256×256 画素とし、 800×600 画素の解像度に設定した 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。パターンの実サイズは約 $9 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$ となり、実験に際して被験者はこれを約 50 cm の視距離で観察したので、視角に換算すると約 10° の大きさとなる。

モザイク要素のサイズは、 2×2 , 4×4 , 8×8 , 16×16 画素のいずれかとした。またパターン内をいくつかの正方形ブロックに分割し、1 ブロックに生成されたランダムパターンを他のブロックに複製する方法で、規則的な繰り返しの配置を含むパターンを作成した。ブロックの分割数は、モザイクサイズが 2×2 画素のとき、 32×32 分割、 16×16 分割、 8×8 分割、 4×4 分割、 2×2 分割の 5 通り、モザイクサイズが 4×4 画素のとき、 16×16 分割、 8×8 分割、 4×4 分割、 2×2 分割の 4 通り、モザイクサイズが 8×8 画素のとき、 8×8 分割、 4×4 分割、 2×2 分割の 3 通り、モザイクサイズが 16×16 画素のとき、 4×4 分割、 2×2 分割の 2 通りとした。

なお今回は平均色の効果は特に考慮しないものとし、指定する平均値はすべて、 $L^* = 50$, $a^* = 0$, $b^* = 0$ で同一条件とした。標準偏差は、 L^* , a^* , b^* のいずれについても 10 としたもの、 L^* , a^* , b^* のいずれについても 20 としたもの、の 2 通りとした。これらの各条件の組み合わせにより、Table 1 に示す 28 種類のカラーパターンをサンプルとして用意した。Table 1 には、前節までに述べた方法で算出

Table 1 Parameters for generation of colored mosaic patterns used as samples, and fractal dimension, relative entropy, visual complexity, and beauty of the patterns.

Sample no.	Mosaic size	Number of blocks	Mean value L^*, a^*, b^*	Standard deviation	Fractal dimension(D)	Relative entropy(H)	Complexity	Beauty
1	2×2	32×32	50, 0, 0	10	2.383	0.244	1.60	2.15
2	2×2	16×16	50, 0, 0	10	2.403	0.415	2.65	2.80
3	2×2	8×8	50, 0, 0	10	2.419	0.612	3.60	3.25
4	2×2	4×4	50, 0, 0	10	2.408	0.719	4.20	3.25
5	2×2	2×2	50, 0, 0	10	2.411	0.800	4.75	1.90
6	4×4	16×16	50, 0, 0	10	2.336	0.267	1.65	2.45
7	4×4	8×8	50, 0, 0	10	2.369	0.481	3.10	3.15
8	4×4	4×4	50, 0, 0	10	2.365	0.617	3.65	2.55
9	4×4	2×2	50, 0, 0	10	2.371	0.690	4.75	1.80
10	8×8	8×8	50, 0, 0	10	2.302	0.315	2.25	2.75
11	8×8	4×4	50, 0, 0	10	2.310	0.449	3.80	3.25
12	8×8	2×2	50, 0, 0	10	2.303	0.555	3.95	2.60
13	16×16	4×4	50, 0, 0	10	2.216	0.286	1.70	2.70
14	16×16	2×2	50, 0, 0	10	2.211	0.391	2.10	2.45
15	2×2	32×32	50, 0, 0	20	2.559	0.239	2.35	2.20
16	2×2	16×16	50, 0, 0	20	2.625	0.426	2.70	2.80
17	2×2	8×8	50, 0, 0	20	2.647	0.606	4.15	3.60
18	2×2	4×4	50, 0, 0	20	2.643	0.734	4.40	3.10
19	2×2	2×2	50, 0, 0	20	2.644	0.797	4.85	2.45
20	4×4	16×16	50, 0, 0	20	2.546	0.266	2.10	3.55
21	4×4	8×8	50, 0, 0	20	2.585	0.457	2.55	2.70
22	4×4	4×4	50, 0, 0	20	2.598	0.618	4.35	2.70
23	4×4	2×2	50, 0, 0	20	2.599	0.695	4.90	2.10
24	8×8	8×8	50, 0, 0	20	2.529	0.311	2.10	2.55
25	8×8	4×4	50, 0, 0	20	2.512	0.447	2.95	4.15
26	8×8	2×2	50, 0, 0	20	2.520	0.562	4.15	2.25
27	16×16	4×4	50, 0, 0	20	2.391	0.284	1.90	3.65
28	16×16	2×2	50, 0, 0	20	2.399	0.384	3.50	2.45

された各パターンのフラクタル次元およびエントロピーの値も併記した。さらに次節に述べる視覚的複雑さと美しさの主観的評価値も併記した。また Fig.1 には No.15～No.28 に対応する 14 種類のカラーパターンをグレイレベル画像として示した。

2.5 複雑さと美しさの主観的評価

被験者は 19～20 歳の家政系女子学生 20 名で、上記 28 種類のパターンを CRT モニタ上で観察しながら、「複雑な－単純な」と「美しい－美しくない」の 2 つの尺度について、それぞれ 5 段階で評価するよう指示した。2.1 でも述べたように、複雑さの解釈については一切ふれずに、ただ見た目の印象を率直に評価するようにとの簡単な指示を与えるにとどめた。また当然美しさに関しても多様な解釈があり得るが、被験者に対しては、とにかく視覚的な（見た目の）美しさという表現のみを用い、それ以上の情報は一切与えなかった。本研究の目的や内容についても特別な説明はしなかった。

サンプルの表示サイズ、視距離、背景などの条件は、前節で示した通りである。サンプル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）次のサンプルが表示されるよう

にした。実際には、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、被験者ごとに呈示順序はランダム化し、さらに事前に 28 種類の全パターンを（評価せずに）ひと通り観察させた。実験は大学の研究室内（無照明、暗幕使用により、準暗室状態）で行い、実験開始前に約 10 分間の順応時間をとった。

Table 2 (a) Result of analysis of variance. (complexity)

Cause of variance	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value
Samples	650.44	27	24.09	37.09**
Subjects	345.50	532	0.65	
Total	995.94	559		

** P<0.01

Table 2 (b) Result of analysis of variance. (beauty)

Cause of variance	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-value
Samples	171.94	27	6.37	6.62**
Subjects	512.00	532	0.96	
Total	683.94	559		

** P<0.01

Fig.1 Gray-level images of colored mosaic patterns.

3. 結果と考察

3.1 主観的評価結果の分散分析

各サンプルに対する被験者の視覚的複雑さおよび美しさに関する5段階の評価を、それぞれ5~1に数値化し、分析に用いる基礎データとした。そこでまず評価の妥当性を検討するため、分散分析を行った結果をTable 2に示す。Table 2(a)が複雑さ、Table 2(b)が美しさに関する分散分析の結果であるが、いずれも危険率1%の水準で、サンプル

間有意差が認められる。したがってここでは、個人差の問題はこれ以上検討せず、全被験者20名の平均値を用いて後の分析を進めることにした。前出のTable 1に記載されている複雑さと美しさの主観的評価値は、この平均評価値を示している。

3.2 視覚的複雑さとフラクタル次元

まず、パターンのもつフラクタル次元 D が、視覚的複雑さとどのように関係しているかを検討する。Fig. 2 は、横軸にフラクタル次元 D の値を、縦軸に複雑さの主観的

Fig.2 Relation between fractal dimension and visual complexity.

Fig.3 Relation between relative entropy and visual complexity.

評価値をとり、散布図としてプロットしたものである。これらの相関係数は0.363で、やや正の相関が見られる。すなわちフラクタル次元が大きいほど視覚的複雑さが増大するということであるが、その傾向はそれほど顕著ではない。前にも述べたように、ここで得られるような画像のフラクタル次元は、画像濃度面の起伏の細かさ(および高さ)に起因し、一般の人々が視覚的に感じる複雑さの直接の尺度にはなっていないと思われる。複雑さに寄与する1つの要因であることは間違いないが、それだけでは充分でない。

3.3 視覚的複雑さとエントロピー

次に、空間周波数領域におけるエントロピー H と、視覚的複雑さとの関係について検討する。 H の値は画像のパワースペクトルの分散の程度によって決まり、非周期性を示す尺度であると考えられる。本研究では、視覚的複雑さに寄与するもう1つの要因として、この非周期性に着目した。Fig.3は、エントロピーと視覚的複雑さとの関係を、Fig.2と同様の散布図として示したものであるが、かなり強い相関が見られる。両者の相関係数は0.935であり、このエントロピーの視覚的複雑さへの寄与は相当大きいものと考えてよい。明白な周期性をもつパターンほど単純な、逆に明白な周期性をもたないパターンほど複雑な印象を受けるということになる。もちろんこの結果は本研究で対象としたモザイク状のカラーパターンについてのものであり、他の実在の様々なパターンに対してどの程度当てはまるかは今後確認する必要がある。しかしながら、パターンの非周期性すなわち空間周波数領域におけるエントロピーの値によって、視覚的印象としての複雑さをかなり予測できることは間違いないと思われる。

3.4 視覚的複雑さの客観的評価

前節までの結果をまとめると、視覚的印象としての複雑さは、周期性をもたない(不規則な)パターン、色や明るさの変化が多い(細かい)パターンによってもたらされると考えられる。要するに、不規則でかつ細かいパターンが

最も複雑な印象を与え、周期性のはっきりしたパターンや粗いパターンは単純な印象を与えるという、2.1で設けた仮説がほぼ正しいものであったといえる。

Fig.4は、横軸にフラクタル次元 D を、縦軸にエントロピー H をそれぞれとり、各カラーパターンの複雑さの主観的評価値を、該当する座標位置に円の大きさを示したものである。図中、右上の方向にいくほど円が大きくなっている様子が見てとれる。ただし今回使用した28種類のカラーパターンは、No.1~14が標準偏差10に設定したもの、No.15~28が標準偏差20に設定したものとなっている。したがって当然フラクタル次元の値は後者のパターンの方が全般的に大きくなり、この図でも D の値が約2.5の付近を境にして、ほぼ左右2つの群に分かれている。各群の中では D の増大につれて複雑さもやや増大していると

Fig.4 Relation between visual complexity and two features (fractal dimension and relative entropy). The size of each circle represents the degree of visual complexity.

いえるが、群間の差はあまり顕著ではない。つまりフラクタル次元 D によって表される特性のうち、画像濃度面の起伏の細かさが主に視覚的複雑さに寄与しており、起伏の高さ（深さ）はあまり関与していないものと考えられる。

いずれにせよ、視覚的複雑さを D および H の2変数によって予測評価することはそれほど難しくはないと考え、複雑さの評価値 C を目的変数として、最も簡単な線形の重回帰式を求めてみた。得られた回帰式を以下に示す。

$$C = -0.806 + 0.532 D + 5.621 H \quad (10)$$

重相関係数は 0.937（決定係数は 0.878）であった。上のような簡単な回帰式を用い、また説明変数 D や H の算出に際して、 L^* , a^* , b^* 画像を同等に扱い、3 成分の平均や和による単純化を行ったにもかかわらず、回帰予測値と主観的評価値とは充分よい一致を示しているといえる。

3.5 視覚的複雑さと美しさとの関係

形態や色彩の美しさに関する基本的な原理として「美は多様における統一」という考え方があり[17]、例えば Moon と Spencer の色彩調和論における美度の計算[18]をはじめとして、美しさを客観的（定量的）に評価しようとする様々な研究においてこの原理が引用されている。そこではこの原理が「複雑さにおける秩序」と解釈され、対象とする配色やデザインがもつ複雑さの要素と秩序の要素をそれぞれ数値化することによって美しさの程度を予測しようと試みられる場合が多い。しかしながらそれらの試みは必ずしもよい結果を得ているとはいえず、例えば美しさの値を M 、秩序の要素を O 、複雑さの要素を C として、 $M=O/C$ がよいとするものや、 $M=O \times C$ がよいとするものなど、様々な見解が混在している。その1つの理由はもちろん美しさというものの多義性や曖昧性であろうが、もう1つには、複雑さや秩序の要素として何をを用いるかの相違もある。大抵の場合、対象とする配色やデザインのもつ物理的特性から、複雑さや秩序に該当すると思われるものが研究者の判断によって選び出されているに過ぎない。

Fig.5 Relation between visual complexity and beauty.

本研究では視覚的印象としての複雑さと美しさを主観的評価によって測定しており、これらの関係を調べてみることは極めて興味深い。Fig.5 は、横軸に視覚的複雑さの主観的評価値、縦軸に美しさの主観的評価値を取り、プロットしたものである。それほど顕著ではないが、逆 U 字型に点が分布しているのがわかる。図中の曲線はこれらのプロットを単純な放物線で近似したもので、美しさを B 、複雑さを C とすると、次の式で表される。

$$B = 0.330 + 1.796 C - 0.291 C^2 \quad (11)$$

重相関係数は 0.502 であまり大きくはないが、ある程度は当てはまっている。少なくとも「適度な複雑さ」が美しさをもたらしていることは明らかである。

4. 結 言

前節において、視覚的複雑さと美しさの関係を考察し、「適度な複雑さ」が美しさをもたらすとの結論を得た。すなわち複雑さも単純さも、過ぎると美しさを減ずることになる。（ただし、ここでいう複雑さとは、あくまで主観的複雑さであるから、この結論は、2.1 で述べたように「複雑さ」の解釈そのものが異なれば、当然それにとまって変わり得る。例えば「ランダムさの中に秩序を含む」ものを複雑と解釈する立場からすれば、上の結論は「複雑なもののほど美しい」ということになるかもしれない。）

また美しさの評価には、複雑さの他にも様々な要因が関わっているであろうが、少なくとも本研究で用いられたようなカラーパターンに対しては、複雑さの値を変数とする 2 次式によってある程度の予測が可能であることも示された。またその複雑さはフラクタル次元と空間周波数領域におけるエントロピーという 2 つの特性によってほぼ客観的に評価（予測）し得ることも示された。

本研究では、多色色彩画像の一般化されたモデルとして抽象的なカラーモザイクパターンを作成し、対象としたが、例えばテキスタイルデザインやグラフィックデザインなど、実際のカラーデザインに対して、その結果がどの程度応用できるかについては、今後さらに検討する必要がある。

文 献

- 1.M.Kobayashi and T.Suzuki, *Nihon Shikisai Gakkaishi*, **19**, Supplement, 72(1995).
- 2.K.Sagawa, *Color Research and Application*, **25**, 193 (2000).
- 3.K.Ohta, M.Saeki, C.Yamada and T.Ishii, *Sen'i Kikai Gakkaishi*, **50**, T76(1997).
- 4.K.Ohta, M.Saeki, C.Yamada and T.Ishii, *Sen'i Kikai Gakkaishi*, **50**, T99(1997).
- 5.M.Iwasa and T.Mori, *Sen'i Seihin Shohi Kagaku*, **42**, 41(2001).
- 6.T.Mori and Y.Endou, *J.Text.Inst.*, **90**, 100(1999).

- 7.M.Ishii and K.Kondou, *Sen'i Seihin Shohi Kagaku*, **37**, 646(1996).
- 8.H.Kaneko, *Denshi Joho Tsushin Gakkai Gijutsu Hokoku*, **PRL85-30**, 31(1985).
- 9.M.Takagi and H.Shimoda, "*Handbook of Image Analysis*", Tokyo Daigaku Shuppankai, 531(1991).
- 10.H.Nakayama, M.Sone and M.Takagi, *Joho Shori Gakkai Ronbunshi*, **30**, 91(1989).
- 11.N.Otsu, *Denshi Joho Tsushin Gakkai Sogo Zenkoku Taikai*, 1571(1984).
- 12.A.Watanabe, *Television*, **20**, 730(1966).
- 13.H.Sakata and H.Isono, *Television*, **31**, 29(1977).
- 14.G.J.C.van der Horst and M.A.Bouman, *J.Opt.Soc.Am.*, **59**, 1482(1969).
- 15.E.M.Granger and J.C.Heurtley, *J.Opt.Soc.Am.*, **63**, 1173 (1973).
- 16.K.T.Mullen, *J.Physiol.*, **359**, 381(1985).
- 17.G.Ohmi, *Sen'i Seihin Shohi Kagaku*, **33**, 273(1992).
- 18.P.Moon and D.E.Spencer, *J.Opt.Soc.Am.*, **34**, 234(1944).