

The power of color, the power of brightness

MITSUBOSHI Muneo

Key words: color, brightness, Mach bands, Liebmnn effect, spatial frequency, contrast, assimilation

Abstract

The functional differences of color system (sense) and brightness system (sense) were argued in the cases of Mach bands, Liebmnn effect, spatial frequency characteristics, contrast, assimilation and so on.

Mach bands are seen on the edges of luminance distributions, and not seen on the edges due to color differences. This may mean that the brightness system contributes in formation of contour of an object, thus the recognition of objects being made mainly by the brightness system. This notion is coincident with Jacobs (1981) who argued that object detection and object discrimination are principally made by brightness information, not color information.

But the color system may also contributes more or less to recognition of an object as inferred from the study of Tinbergen (1951), which showed that male sticklebacks (*gasterosteidae*) attack other males recognizing red color in the lower half of their body in breeding season. The detailed visual structures of other males were irrelevant to their behavior.

The spatial frequency characteristic for luminance gratings shows the peak frequency at several cpd, while that for color gratings at lower frequencies. This suggests that the brightness system is more sensitive to smaller objects, and the color system to larger objects. Tinbergen (1951)'s result may be based upon the same mechanism.

Finally it was briefly argued that heavy coefficient on lightness difference in calculating aesthetic degree in Moon & Spencer (1944a; b; c)'s color harmony theory may reflect the functions of the brightness system.

色の力・明るさの力

三 星 宗 雄

キーワード：色、色彩、明るさ、マッハの帯、空間周波数特性、リープマン効果、対比、同化

はじめに

色のスペクトルを見ると色相の変化が際立っており、色相の変化と同時に明るさが変わっていることが気づかれにくい。標準的な測定データによると、もし光の物理的な強度が一定なら、波長 555 nm（感じられる色相は黄緑色）がもっとも明るく感じられ、その波長を中心にして左右ほぼ対称的に明るさが減少し、左右端の青紫色および赤色で色が見えなくなると同時に明るさも感じられなくなる（CIE 国際照明委員会、1931）。このように現実の色は必ずある明るさ¹⁾を持っている。

したがってある色を見た時、その効果には色による効果と明るさによる効果の両方が含まれる。色による効果であると思っていたものが、実

1) 明るさ (brightness) は観察者が感じる明暗に関する感覚である。したがってある色が「明るさを持つ」という表現は意味がない。色を中心に表現するなら「ある輝度 (luminance) を持つ」になる。観察者が感じる明るさ感は輝度と並行しているが、場合によっては一致しないこともある。ただ「色」と「明るさ」は対にして用いられることが多い。本論文では「明るさ」と「輝度」を厳密には区別せず、分かりやすい表現にしたがった。

は明るさによる効果であったり、その逆であったりすることがある。本論文ではそうした色（情報）と明るさ（情報）の相互関係または役割分担について考察してみたいと思う。

ジェイコブス（Jacobs）（1981）は色（色覚）の効用として以下の3つを挙げている。

- 1) 物体の発見（object detection）
- 2) 物体の認識（object recognition）
- 3) 信号としての意味（signal significance）

その中で純粋に色の効用は3）であり、1）と2）は、主に輪郭線や明暗の分布、明暗のコントラスト、陰影などの明るさ情報によるものと考えられる。図1は大学の近くにある夏ミカンの木であるが（本書は黒白印刷のため残念ながら本当の色を示すことはできない）、この実の緑色によって、この実は実際に食べなくても、熟していず食べられないことが分かる。一方実が黄色に色づくともただけで熟していることが分かる。これが色の効用である。一般に色は（表からは見えない）内部の状態を示す。内部の状態が「色に現れる」のである。

今はめったにお目にかかれないが、白黒テレビは完全に明るさ情報だ



図1 色は外から見えない内部の状態を示す（筆者撮影）

けの画像である。しかし多くの人は、そこに映っている人物や情景を間違えることはない。つまり形を含む外界の認知は主に明るさ情報によっていることが分かる。

しかし外界の認知はもちろん明るさ情報だけによっているわけではない。視覚以外の感覚を含めれば、音やにおいなども情報源の1つである。また物体の発見・認知にも色によるものがあり、一方あらゆる色には明るさが伴うという鉄則にしたがえば、3) の色の信号にも当然明るさ情報が関与している。

パターン認識には、サイン刺激 (sign stimulus) による認識、鋳型照合 (template matching)、特徴分析 (feature analysis) などが考えられている (三星、2008) が、色情報はサイン刺激による認識に、明るさ情報は鋳型照合や特徴分析による認識に深く関わっていると考えられる。

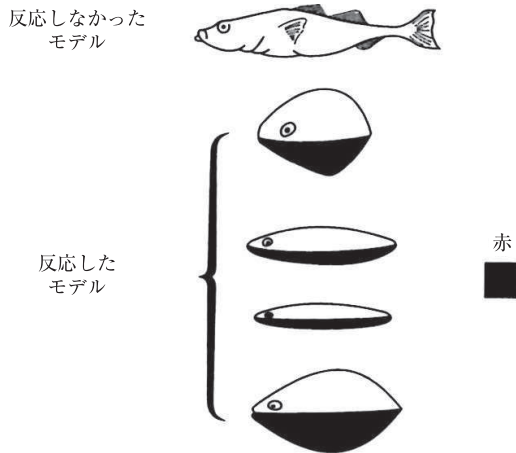


図2 サイン刺激 (ティンバーゲン, 1951. この図は Bruce & Green, 1996, p. 207 から引用)

図2は1973年にノーベル生理学・医学賞を受賞したN. ティンバーゲン (Tinbergen, 1951) の有名な実験である。オスのトゲウオは繁殖

期になると川床に縄張りを作り、そこにジグザグダンスなどによってメスを誘い込み、うまくいけば産卵させるという本能がある。そこに他の発情したオスが侵入することになれば目論見は水の泡となる。そこで縄張りに入ってくる他の発情したオスに対しては攻撃行動を起こし、縄張りから追放しなければならない。

問題はそれの際どのような方法によって、侵入者をオスと認識するかということである。ティンバーゲンの実験によると、魚の形は全く関係なく、腹の下半分が赤くなっているものを発情したオスとみなすのである。これなどは主に明るさ情報による魚の形ではなく、赤という色だけによって認識した例である。発情したメスザルのお尻の赤色などもこの類に入るパターン認識であろう。

色による認識は概して上の例のように、比較的大きな、充実した面積の刺激（物体）が手がかりになる場合が多い。色による効果と明るさによる効果は、大きさなどの刺激の物理的な特性に依存する。これは色の効果と明るさの効果の機能的役割が異なることを意味する。

1 マッハの帯 (Mach bands) と色のマッハの帯 (chromatic Mach bands)

図3はマッハの帯と呼ばれる現象である (Sekuler et al., 1985)。輝度の変化がある部位で、その境界線の高輝度部側で明るさ感覚の増大（他の部位と比べてより明るく見える）が、低輝度部側で明るさ感覚の低下（他の部位と比べてより暗く見える）が見られる。結果的に境界線をはさんで見た目の明と暗の縞が生じる。これを報告者にちなんでマッハの帯 (Mach bands) と呼ぶ。このマッハの帯によって明と暗の見た目のコントラストが増大し、境界線がよりくっきりと見える。輪郭線強調効果とも呼ばれ、網膜の on- 中心、off- 周辺型の受容野 (receptive field)

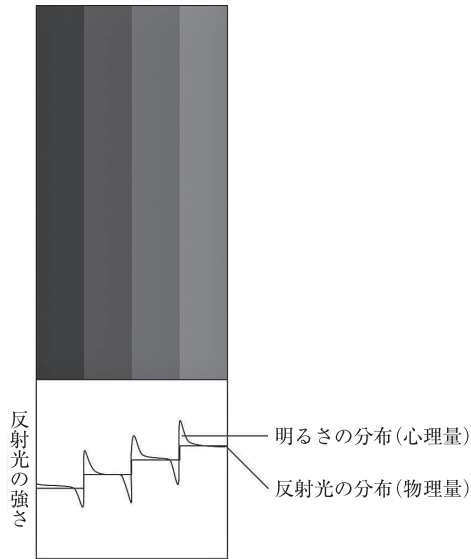


図3 マツハの帯 (辺虹氏 提供)

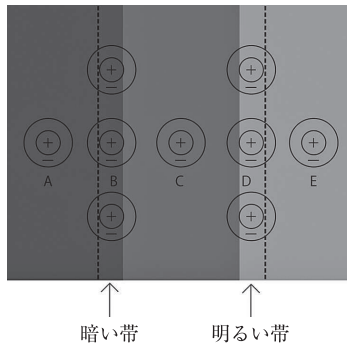


図4 マツハの帯に仮定されている受容野 (辺虹氏 提供)

の表れと考えられている (Thomas, 1975; Sekuler et al., 1985) (図4)。

この現象は境界線の物理的な輝度差を感覚によって拡大したと考えられ、感覚の持つ機能の1つである。

このマッハの帯は明暗に関わる機能であるが、これと相当の現象が色に関してもあれば、それは色のマッハの帯 (chromatic Mach bands) である。輝度の変化がない異なった色の面の境界線で、一方の色 (例えば赤色) の側で赤み (飽和度) の増大が生じ、他方の色 (例えば緑色) の側で緑みの増大が生じる、という事態である (Peace, 1978)。

この色のマッハの帯については肯定的な結果もあるが (Daw, 1964; Jacobson & Mackinnon, 1969)、概して否定的な結果が多い (Ercoles-Guzzoni & Fiorentini, 1958; van der Horst & Bouman, 1969; Green & Fast, 1971)。これは色情報が物体の輪郭線の形成に寄与していない可能性を示唆している。

このように色情報は輪郭線のような細かい視覚情報の形成にはあまり関与せず、比較的大きな面または空間の定位または認識に関わっているようである。すなわち細かいことは明るさ情報で、大ざっぱなことは色情報で、という機能的な棲み分けのような構造になっているように思われる。

この考えは、ジェイコブス (1981) の色の持つ3つの効用の1)、2) が明るさ情報によってもたらされ、色の効用は主に3) であるとする考えとも、またティンバーゲンのトゲウオの実験が意味することとも矛盾しない。

2 リープマン効果

色の現象についてさまざまなヒントを与える現象の1つがリーブマン効果 (Liebmann effect) である。2つの異なった色が並んでいる時、それらの輝度が等しいと (ほぼ同じ明るさに感じられる) 2つの色の間の境界線がぼやける、さらに2つの色の組み合わせによっては境界線が

完全に消失するという現象である。

この現象から以下のことが分かる。

(1) 境界線（輪郭線）は主に2つの面の輝度（明るさ情報の強度）の差によって形成される。

(2) したがって境界線（輪郭線）の形成には色情報はあまり関与していない。

このようにやはり境界線（輪郭線）は主に明るさ情報によって形成され、色情報はあまり関係していない。

境界線は物体の輪郭線を構成する要素であり、その境界線（輪郭線）が消失するということは物体の認知を妨げることを意味する。実際にそうした状態の視野は非常にぼんやりとしたものになってしまうであろう。ぼんやりとした視界は、視覚の本来の役割の1つ（くっきりとした視野を得る）からすると、その欲求条件を満たさない視界である。したがって視覚的な快適性という点では、あまり快適ではない情景であろう。

この時2つの領域の一方を輝度一定の白色面とし、他の面の色（波長）を変えて、境界線の明瞭度（border distinctiveness）が最少となる（その時両面の輝度が等しくなると仮定される）ように、各波長の光の強度を調整すると、それは一種の測光法となる。これをMDB（minimally distinct-border）法と呼ぶ（Wagner & Boynton, 1972; 大山・鳥居、1979; 三星・長谷川、1987; 三星、1991）。

3 色と明るさの空間周波数特性

色と明るさの機能的な役割を示す直接的なデータがある。それは「細かさ」に対する感度の特性である。今図5のようなややや太い線分から成

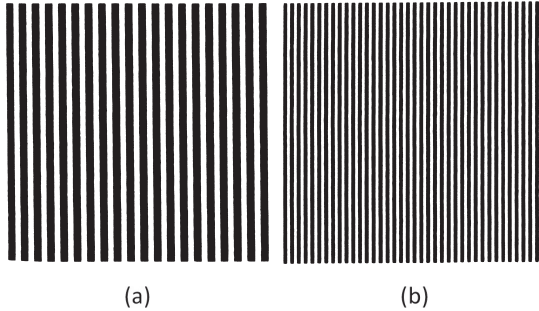


図5 どちらの縞パターンがよりくっきり見えるであろうか (Coren et al., 1979, p. 163)

るパターン (a) と細い線分から成るパターン (b) を見た時、どちらのパターンがよりくっきりと見えるであろうか。通常は下の式 (1) によって示される刺激パターンのコントラスト（この場合は輝度コントラスト）を変え、パターンの縞が見え始めた、または消えた時のコントラスト（の逆数）をもってそのパターンの「くっきり感」の指標とする。

$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \quad (1)$$

（ここで C ：コントラスト、 L_{\max} ：縞の明るい部分の輝度、 L_{\min} ：縞の暗い部分の輝度を示す）。

図6がその結果である。数 cpd (cycle per degree) の縞パターンがもっともくっきりと見える (cpd は視角 1° あたりの明暗の縞の数)。それよりも粗くても、また細かくてもくっきりさは低下する (Campbell & Robson, 1968)。これを人間の視覚系の空間周波数特性と呼ぶ。この場合低周波数部でも高周波数部でも感度の低下が生じるので、バンドパス (band-pass) 型と呼ばれる。ちなみに高周波部における感度の低下は眼の光学系の不完全さに帰せられているが、低周波部での感度の低下（それを低周波減衰と呼ぶ）は網膜およびそれ以降の視覚系における周

辺に抑制部を持つ受容野の表れとされている。

ちなみに図7は成人と乳児の空間周波数特性の比較である。乳児の感度のピークはやや低周波数の方向にシフトしている。乳児は成人よりも細かいところが識別できていないことを示す(図8)。

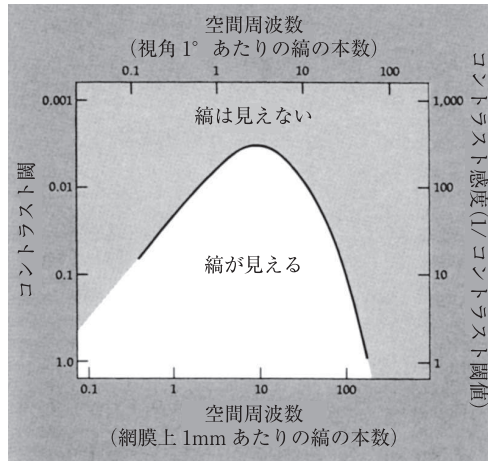


図6 人間の空間周波特性 (Sekuler et al., 1985, p. 155)

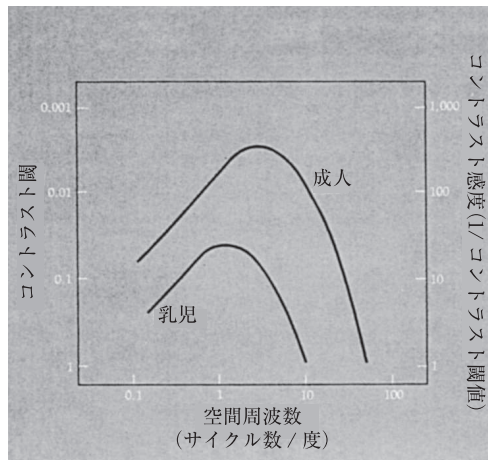


図7 成人と乳児の空間周波数特性の比較 (Sekuler et al., 1985, p. 162)

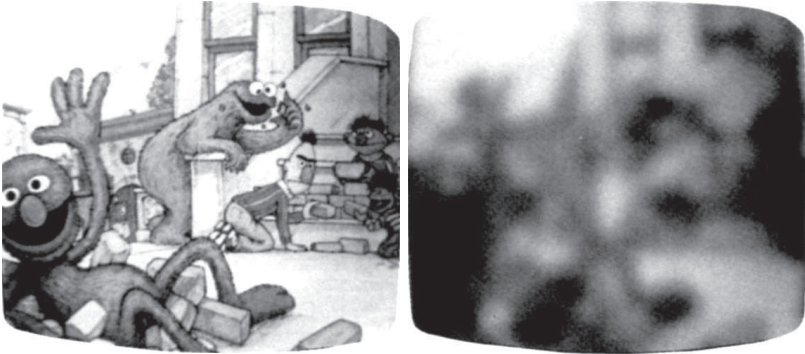


図8 乳児はこの2つの絵を2 m の距離から見た時、区別がつかない (Sekuler et al., 1985, p. 163)

一方この時、上のような輝度変調パターン（明暗の縞パターン）ではなく、色（波長、色度）変調パターン（2色の縞パターン。したがって輝度の空間的变化はない）を用いて、（色の縞）が分かるための2色の最少の波長差を求めると、図6のような、低周波数部における感度の低下が見られず、いわゆるローパス（low-pass 型）の色の空間周波数特性が得られる (Hilz & Cavonius, 1970)。似た結果は他にもある (Horst et al., 1967; Horst & Bouman, 1969; 三星・長谷川, 1987; 三星, 1990)。

これは前述の色のマッハの帯と同様に、もし視野内に輝度の変化がない場合（あまり考えにくい）、縞の密度が粗ければ粗いほど、すなわち視野内の事物が大きいほど、そのパターンがはっきり（くっきり）見えることを意味する。したがって視野内の大きい物体の認識には色情報の関与の割合が比較的高いと言えよう。

上のようなことは時間的な事態でも考えることができる。図の横軸が時間周波数に変わるだけである。詳細は省くが、時間周波数に関しても、明暗の時間的な交代の場合には、数～10 Hz で感度が最大となり、それより低周波部（ゆっくり交代する。2～3 Hz 以下）でも、また高周波部

(すばやく交代する)でも感度は低下する。しかし一方等輝度の色の交代の場合には、低周波部における感度の減衰が見られない (de Lange, 1958)。これはゆっくり交代する2色があった場合、その変化は色の違いによって分かり、一方高速で交代する2色の場合には、その変化は明るさの違いによって分かることを意味する。

このように見てくると、色情報というのは空間的には広い面積の物体の認識に活用され、一方明るさ情報は細かい部分の認識に活用される。そのような色情報の活用のされ方はサイン刺激にふさわしいものである。まさに色は「目印」なのである。とすると細かい部分を色で区別するやり方は色情報が本来持っている機能に反すると言える。例えば細い明朝体の文字をカラーにするのはあまり有効ではなく、その場合には太いゴシック体にするなどの工夫が必要である。

時間に関しても、時間的にゆっくり交代するような2色の場合には色の違いが主役になる。日常生活ではあまり考えにくいだが、webやTV、あるいは看板など動きのある場合に考慮されるべき特性であろう。

4 対比と同化

2つの異なった色が並んでいる時、または一方が他方によって取り囲まれている場合、お互いの色の見えを遠ざけようとする効果 (differencing process) とお互いの色を近づけようとする効果 (averaging process) の両方が生じる (Hurvich, 1981; 三星, 1984)。前者は対比 (contrast) と呼ばれ、後者は同化 (assimilation) と呼ばれる。

そのどちらが生じるかは、色刺激の物理的な特性によるところが大きい。下は Helson (1964) による分析である。

a. 刺激パターンが細い線分から成り立っており、その間隔が狭い時に



図9 対比 (a) と同化 (b) ((a) の上部は白、下部は黒、中央のパターンは本来は緑である。(b) も背景の上部は白、下部は黒、縞は緑色である。筆者作成)

は概して同化が、その逆の場合には対比が生じやすい。

b. 線分と背景の輝度差が小さい時に、同化が生じやすい。縞パターンであっても輝度差が大きい場合には対比が生じやすい。

c. 対比は実験を繰り返してもほとんど影響を受けないが、同化は減少する。

d. 同化は被験者が視野を全体として「眺める」(casual viewing) 時生じやすく、一方被験者がある領域を特別なまたは他から切り離された領域として「見る」時、対比が生じやすい。

なぜ同化が生じるためには細い縞パターン（これは前述した空間周波数が高いパターンである）が必要なのかは良く分からないが（一体として見られやすい?）、少なくとも円形や正方形などの面積が大きい場合はほぼ対比が生じる傾向にある。

対比の機能は分かりやすい。背景とターゲットの色および明るさの見

えを互いに遠ざけようとする効果であるから、それだけターゲットが目立ち、結果的に探しやすくなる。一方同化の機能ははっきりしない。あえて結び付けるとすれば、同一の物体として認知した方がいろいろな意味で、特に行動的に、「便利」あるいは「省力的」であるためと言えるであろうか。

したがって、たとえ細い縞パターンであっても、輝度（明度）差が大きければ対比になりやすい傾向は、大きな輝度差は縞パターンを背景とは異なる別な物体として認知しやすくさせるという点で対比の目的と一致する。これはまた物体の発見に明るさ情報が深く関わっていることを裏付ける。

最後の条件の「観察態度」は対比と同化のはたらきを考える上で大変興味深い。「そういう風に見ようと思うと」、それに対応した過程（対比または同化）が惹起され、それを助長するのである。

5 ムーンとスペンサーの色彩調和論における明度の重み

ムーンとスペンサー（Moon & Spencer）の色彩調和論（Moon & Spencer, 1944a; b; c）において、面積の効果を求める際、色の目立ちやすさ（または強さ、モーメントアームと呼ばれる）の定義を、マンセル色空間の明度-彩度面の中で、当該色の、ある基準となるポイント（マンセル表色系の N5：明度 5 の灰色）からの距離とされた。その距離は三平方の定理にしたがって、 $(V-5)^2 + C^2$ の平方根で求められる（V：明度、C：彩度）。しかしこの時 $(V-5)^2$ の前に 64 という係数がかかるのである。単純に平方根を開けば、色の目立ちやすさ（または強さ）を構成する要素として、明度の差は彩度の差と比べて 8 倍の重みがあるということであろう（三星、2010）。

この8倍という係数は少数の学生を対象とした実験から得られとされるが、「目立ちやすさ（または強さ）」は物体の発見に関係した特性である。物体の発見にはやはり明度（差）が強く寄与していることを示すものであろう。

また美度を求める際の秩序（O）の係数において、明度に関する対比（コントラスト）の調和に+3.7という最大の係数が与えられている。一方明度が等しい場合には、「調和をしているにもかかわらず」-1.3という負の係数が与えられている。第一の不明瞭の-1.0よりも大きな値になっているのである。これらはどれも学生を対象とした実験の結果から得られたものであるが、「色彩の調和」を求めているにもかかわらず、その「美」には明度が大きな影響を持っていることが分かる。

これらに加えて、灰色係数（G factor）と呼ばれる、配色の中に灰色が入っている場合、1対ごとに無条件で+1.0を与える処置を含めると、配色の美度は「明度」によって左右されると言っても過言ではないのである。

それらは、灰色係数を除き、色の明度が「目立ちやすさ」に関わっていることに起因する。対比の調和のように、色と色との関係が「明度の違いによって」目立つ配色は美度を高め、逆に同一の調和のように、色と色との関係が「明度の違いによって」目立たない配色は美度を下げる。

6 色・明度・トーン

これは直接的な色と明度との関係ではないが、色の彩度とトーンまたは明るさの関わりを示す重要な現象がある。調和した配色を得る1つの方法として色のトーン（調子 tone）を使う方法がある。トーンは色の明度と彩度の両方の特性によって色を分類したものである（図10

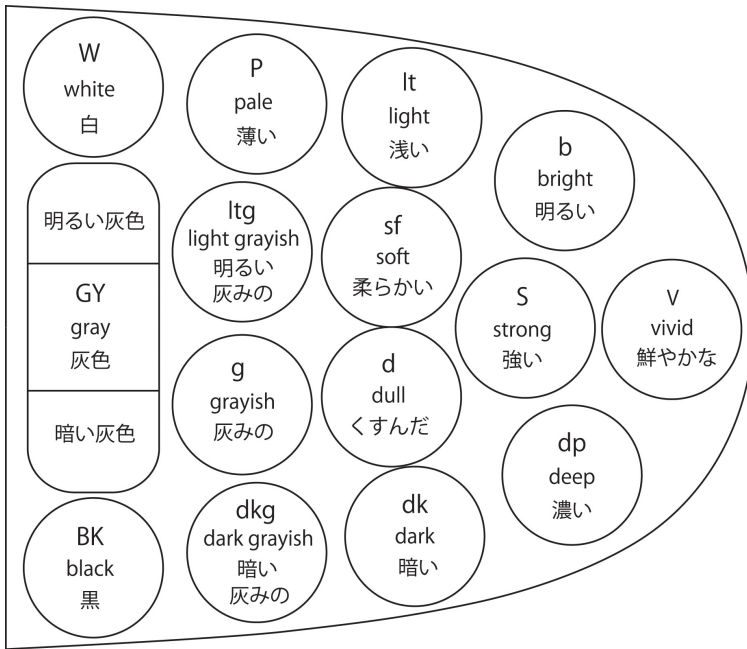


図 10 トーン (PCCS この図は辺虹氏 提供)

PCCS=日本色研表色体系)。1つのトーンはその色相の違いに関わらず、1つの共通のイメージを形成する、とされる。したがって色のトーンを利用すれば任意のイメージを持つ配色を作りやすい。

一方各色相もそれぞれのイメージを持っている。それはあるトーンに含まれる色は、その色相が異なってもイメージは共通しているということと矛盾しないだろうか。

そこに色（色相）と明度を含むトーンとの力関係がある。パイル（pale）やライト（light）、ダーク（dark）などの彩度の低いトーンでは、色相のイメージが薄れ、トーンの支配が強まる。一方ビビッド（vivid）やブライト（bright）などの彩度の高いトーンの場合は各色相のイメージが支配的になるのである。色のスペクトルを見た時、各色相が目立つ

てしまうのはこの例であろう（日本色研事業、1987）。

7 結論

前述したように、色には必ず明るさがある。色と明るさはそれぞれ異なった機能を分担している。空間的に大きな物体または時間的にゆっくり交代する物体は、その色（情報）によって発見され、さらに識別され、一方空間的に小さい物体または時間的に高速で交代するような物体は、その明るさ（情報）によって発見され、識別されると考えて良さそうである。

細かい物体や時間的に高速に変化する物体は、一定の視野の中に、あるいは一定の時間範囲の中に、通常多くの個数が含まれる。それゆえ個々の物体を区別するために、それぞれの輪郭線を際立たせる必要があらう。明るさのマッハの帯はそのために役立っている。

逆に個々の物体の明るさが等しくなると、輪郭線強調効果が消失するだけでなく、輪郭線そのものが消失し、物体の区別はつきにくくなる（リープマン効果）。

時間的側面に関しては本書では触れなかったが（詳細は三星・長谷川、1987、三星、1990を参照）、光の点灯（on-set）の時に、瞬間的に予想される以上に明るさが明るく感じられるという現象がある（Broca-Sulzer 効果と呼ばれる）。この現象は光刺激の時間的な境（エッジ）を際立たせようとする過程と考えられる（時間的なマッハの帯である）。この効果は一般的に色に関してはないと言われている（Bowen & Nissen, 1979）

一方空間的に大きな物体あるいは時間的にゆっくり交代するような物体は、あまり根拠がないが、視野内にある物体または時間内に出現する

物体の数が限られており、そのために必ずしも時間・空間的輪郭線を強調する必要がないと考えることはできないであろう。

とするとジェイコブス (1981) の色 (色覚) の効用として挙げられていた3つの効用の中の、1) 物体の発見 (object detection) と2) 物体の認識 (object recognition) については、明るさ情報と色の情報の両方が関与しており、その切り分けの1つは物体の空間的な大きさと時間的な交代の速度であると言えるであろう。

明るさは、色と共に、美的な感性にも深く関わっている。少なくともムーンとスペンサーの色彩調和論においては、明るさ (明度) に関する調和が正および負の両方向で、最終的な美の評価に決定的な影響を持つと仮定される。それは上の、物体の認知と関わりがあるように思えるのだが、それについてはこれ以上触れないでおきたい。

引用文献

- Bowen R. W. & Nissen M. J. (1979) Luminance, not brightness, determines temporal brightness enhancement with chromatic stimuli. *J. Opt. Soc. Am.* 69, 581-584.
- Bruce V., Green P. R. & Georgeson M. A. (1996) *Visual Perception: Physiology, Psychology, and Ecology*, 3rd edition, Psychology Press.
- Campbell F. W. & Robson J. G. (1968) Application of fourier analysis to the visibility of gratings. *J. Physiol.*, 197, 551-566.
- Coren S., Porac C., & Ward L. M. (1979) *Sensation and Perception*, Academic Press.
- Daw N. W. (1964) Visual response to gradients of varying colour and equal luminance. *Nature* 203, 215-216.
- Ercoles-Guzzoni A. M. & Fiorentini A. (1958) Simultaneous contrast effect produced by non-uniform coloured fields. *Atti della Fond. Giorgio Ronchi e Contributi dell' Instit. Nazi. di Ottica* 13, 135-144.
- Green D. G. & Fast M. B. (1971) On the appearance of Mach bands in gradients of varying colors. *Vision Res.* 11, 1147-1155.

- Helson H. (1964) *Adaptation Level Theory*, Harper & Row, New York.
- Hilz R. & Cavanus C. R. (1970) Wavelength discrimination measured with square-wave gratings. *J. Opt. Soc. Am.* 60, 273-277.
- van der Horst G. J. C. , de Weert C. M. & Bouman M. A. (1967) Transfer of spatial-chromaticity-contrast at threshold in the human eye. *J. Opt. Soc. Am.* 57, 1260-1266.
- van der Horst G. J. C. & Bouman M. A. (1969) Spatiotemporal chromaticity discrimination. *J. Opt. Soc. Am.* 59, 1482-1488.
- Hurvich L.M. (1981) *Color vision*, Sinauer Associates Inc.
- Jacobson J. Z. & Mackinnon G. E. (1969) Colored Mach bands. *Canad. J. Psychol.* 23, 56-65.
- de Lange H. (1958) Research into the dynamic nature of the human fovea-cortex systems with intermittent and modulated light: II . Phase shift in brightness and delay in color perception. *J. Opt. Soc. Am.* 48, 784-789.
- 三星宗雄 (2008) 環境の認知, 角山 剛・小西啓史・三星宗雄・渡辺浪二 (編)『基礎からの心理学』、第2章、31-62, おうふう.
- 三星宗雄 (1984) Kirschmann の第3法則とそれに関連する諸問題、基礎心理学研究 3、2、81-94.
- 三星宗雄・長谷川敬 (1987) 色覚、川上元郎・児玉晃・富家直・大田登 (編)『色彩の事典』、第2章 2.2、170-247.
- 三星宗雄 (1990) エコロカラー-人間の色覚現象 I : 時間コード、神奈川大学心理・教育研究論集 8、125-153.
- 三星宗雄 (1991) エコロカラー-人間の色覚現象 II : 空間コード、神奈川大学心理・教育研究論集 9、37-69.
- 三星宗雄 (1991) エコロカラー-人間の色覚現象 III : 分光・強度コード、神奈川大学心理・教育研究論集 9、70-94.
- 三星宗雄 (2010) 調和と美の間 : Moon & Spencer の色彩調和論における 2.3 の問題、神奈川大学人文研究 172、29-54.
- Moon P. & Spencer D. E. (1944a) Geometric formulation of classical color harmony. *J. Opt. Soc. Am.* 34, 1, 46-59.
- Moon P. & Spencer D. E. (1944b) Area in color harmony. *J. Opt. Soc. Am.* 34, 2, 93-103.
- Moon P. & Spencer D. E. (1944c) Aesthetic measure applied to color harmony. *J. Opt. Soc. Am.* 34, 4, 234-242.

- 日本色彩研究所（監修）日本色研事業株式会社（編）（1987）『新 基本色表シリーズ』、日本色研事業株式会社.
- Pease P. L. (1978) On color Mach bands. *Vision Res.* 18, 751-755.
- Sekuler R. & Blake R. (1985) *Perception*, Alfred A. Knopf, New York.
- Tinbergen N. (1951) *The Study of Instinct*. Oxford: Clarendon Press.
- Thomas J. P. (1975) Spatial resolution and spatial interaction. In Carterette E. C. & Friedman M. P. (Eds.) *Handbook of Perception*, Vol. V, Seeing, Chap.7, 234-264, Academic Press.
- 大山正・鳥居修晃（1979）色の知覚、田崎京二・大山正・樋渡涓二（編）『視覚情報処理』、第2章 2.2、155-216、朝倉書店.
- Wagner G. & Boynton R. M. (1972) Comparison of four methods of heterochromatic photometry. *J. Opt. Soc. Am* 62, 1508-1515.