

色誘導——同化のメカニズムを探る——

一般教職課程 宮原清水

序文

我々の視野内のどんな部位の色も、それ自体からの光刺激だけによって決定されているわけではない。それを取り巻く様々な部位からの光刺激によっても影響を受けているのである。このように空間的に並置された部位間に生ずるみかけの色の変化は色誘導 (chromatic induction) と呼ばれる。この色誘導は相互的であり隣接野は互に他方の色変化を生ずるが、ここでは便宜上その色変化に注目するほうの部位を被誘導野、そして他方を誘導野と呼ぶことにする。

被誘導野と誘導野の色の差を大きくするように色誘導が働く場合は色対比 (color contrast)、逆に両野の色の差を小さくするように色誘導が働く場合は色同化 (color assimilation) と呼ばれる。

色対比については数多くの研究が蓄積されてきている。被誘導色 (対比色) は、一般的に誘導色の補色になる (Kinney, 1962; Valberg, 1974)。しかし、特に青が誘導色として用いられた場合には、被誘導色は混色補色である黄よりも赤みを帯びるといふ青の特殊性が報告されている (Akita, Graham & Hsia, 1964; Kinney, 1965; Oyama & Hsia, 1966; Wooten, 1970; Eichengreen, 1975; Hasegawa, 1977)。被誘導色量 (対比量) については、Kirschmann (1891) の法則——(1)誘導野に比べて被誘導野が小さいほど色対比は大きい。(2)色対比は両野が空間的に分離していても生ずるが、その間隔が大きいほど小さい。(3)誘導野が大きいほど対比量は大きい。(4)明るさ対比が最小のとき色対比は最大となる。(5)明るさが同じ時には、誘導色の飽和度が大きいほど対比は大きい (Graham & Brown, 1965) ——の定量化がなされてきた。被誘導色量は誘導野の反対色過程の反応量に比例する (Jameson & Hurvich, 1961)。誘導野の大きさの増加は被誘導色量のベキ数的増加をもたらす (Kinney, 1962; Valberg, 1974; Walraven, 1976; Blackwell & Buchsbaum, 1988)。誘導野と被誘導野との空間的隔たりの増加は被誘導色量のベキ数的減少をもたらす (Jameson & Hurvich, 1961; Walraven, 1973; Blackwell & Buchsbaum, 1988) ということが明らかにされている。

対比のモデルとしては、網膜受容器レベルあるいは後受容器反対色過程レベルのいずれか一方だけのモデルでは、既存のデータを説明できず不十分である (Wane & Cowan, 1982)。現在のところあるていど有力なモデルとして二過程モデル (two process model) がある (Guth

et al., 1980; Shevell & Wesner, 1989)。誘導野刺激は散乱光として被誘導野に拡散し、被誘導野刺激が与えられる網膜上の錐体受容器の誘導野刺激と同一の刺激に対する感度の低下と、さらに誘導野自体に生じられた反応に起因した一定値の反対色過程出力への乗算 (Guth, et al., 1980) もしくは加算 (減算) (Shevell, 1989) をもたらすとするものである。

対比の生理学的対事物として考えられているのが、二重反対色細胞 (double color opponent cell) である (Gouras & Kruger, 1979; Micheal, 1978; Livingstone & Hubel, 1984)。この細胞の受容野中心には二種類の LGN 細胞が接続し——受容野中心が赤色光に対し興奮型、受容野周辺が緑色光に対して抑制型の LGN 細胞が興奮型接続、受容野中心が緑色光に対し興奮型、受容野周辺が赤色光に対して抑制型の LGN 細胞が抑制型の接続——また受容野周辺にも二種類の LGN 細胞が接続する——受容野中心が赤色光に対し興奮型、受容野周辺が緑色光に対して抑制型の LGN 細胞が抑制型接続、受容野中心が緑色光に対し興奮型、受容野周辺が赤色光に対して抑制型の LGN 細胞が興奮型の接続——ものと考えられている。勿論この接続のしかたには逆もあり、また青—黄系についても同じ事が考えられる。今もし、この二重反対色細胞の受容野全体 (中心および周辺) に赤色光が与えられれば、中心部の興奮と周辺部の抑制とが相殺されて反応は生じない。しかし、受容野中心に対応する網膜部位に赤色光が、周辺部に緑色光が与えられるとこの細胞の活動は最大になる。従ってこの細胞が対比の生理学的メカニズムとして考えられているのである。

一方、同化についての研究は極めて少ない。同化は繰返しのある縞パターンにおいて容易に観察できる (Helson, 1963; Jameson & Hurvich, 1975)。

Helson (1963) は縞パターンを構成している縦線の幅 (誘導野) とその縦線間の幅 (被誘導野) を媒介変数として誘導効果を調べた。縦線の幅が増すに連れ同化が対比へと移行していくことを見出し、同化と対比が一つの連続体上にある現象だとして、単一のメカニズムにより両現象を説明することが望ましいとしている。

Jameson & Hurvich (1975, 1984)、および Jameson (1985) は、錐体受容器の口径および後受容器神経細胞の受容野中心・周辺部の口径と網膜上に結像された刺激パターン各部位の大きさとの相対的な関係が同化か対比かを決定するものだとしている。即ち、網膜像の各要素が錐体受容器の口径より小さい場合は物理的に光の混合が生ずる。また各要素が受容野中心より小さい場合にはある程度の空間的混合が生ずる。従って、これらはいずれも同化を引き起こす。一方、各要素がさらに大きくなると同化は対比に取って代られるのである。

Shapley & Reid (1985)、Reid & Shapley (1988) は、同化が空間的に視覚で 43' はなれた部位間にも生ずることを示し、マーカーザルの網膜ガングリオン細胞の受容野中心部のサイズが反対色性を示す細胞で 3'、広帯域細胞で 6.5' である (DeMonasterio & Gouras, 1975) ことからして同化は少なくとも網膜より中枢部のメカニズム起因した現象であるとしている。

秋田 (1990) は、空間的刺激布置は同じでも被誘導野の明るさレベルに依存して同化と対比

が生ずることを報告している。受容野サイズと刺激の大きさとの相対的な関係という単純な図式では色誘導の十分な説明は得られない。従って、現在秋田と宮原は同化のメカニズムについて実験を開始したところでありその一部を報告する。

方法

刺激と装置 図1に刺激布置を示す。刺激は暗室内のTV画面上に呈示され、120cmの距離から単眼で観察される。実験1では、刺激は48'×48'の矩形被誘導野に隣接して外寸3°×3°の環状誘導野とさらに外側に6°×6°の背景から構成されている。被誘導野と背景の輝度は0～203cd/mの範囲で変化させることが可能であり、各輝度レベルで色度座標が $x = 0.3127$, $y = 0.3288$ になるよう保たれている。従って、両野はD光源に近似するように設定されている。誘導野は緑、赤、黄、青の4色いずれかが呈示可能であるが、本実験では緑のみが用いられた。この緑誘導野の輝度は、0～141cd/m²の範囲で変化させることが可能で色度座標は $x = 0.3172$, $y = 0.5832$ になるよう設定されている。実験2では、誘導野と被誘導野の間に幅6'の無彩色領域を挿入する。この無彩色領域もD光源に近似させてある。

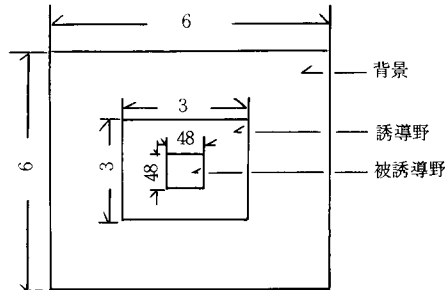


図1 刺激布置

刺激はカラー画像処理用ビデオメモリ(シバソク、VMO2B1)によってディスプレイ(シバソク、CMO9A1)上に与えられた。このビデオメモリは4フレームあり、各フレームは赤、緑、青各1色当り512(縦)×512(横)=256Kバイトの画像メモリ容量を持ち、各画像メモリのデータは8ビットで設定できる。ディスプレイのフィールド周波数は60HZであった。

被験者は被誘導野の色が赤味がかっているか、緑味がかっているか、あるいは無彩色であるかどうかを押しボタンによって反応する。

なおビデオメモリの制御ならびに反応の取込はコンピューター(NEC PC 9801 VM)によっておこなった。

手続き 同化と対比の被誘導野輝度依存性を調べるのが本実験の目的である。

緑誘導野が3輝度レベル——8、53、126cd/m²——と背景が4輝度レベル——0、13、87、203cd/m²——の組合せ12条件について、0~203cd/m²の範囲の11輝度レベルの被誘導野の色判断を行なう。従って、1セッションは3×4×11=132試行で6セッション測定を行なった。各セッションの前に53cd/m²の白色前順応野——D光源に近似——へ1分順応した後、刺激が呈示され、被験者の反応と同時に刺激が消される。試行間隔は6秒でその間53cd/m²の白色順応野——D光源に近似——が呈示された。

結果と考察

表1に各条件での対比、同化、および中性反応の出現頻度を示した。表中のCは対比反応を

表1 対比および同化反応数

誘導野 輝度(cd/m ²)	被誘導野 輝度(cd/m ²)	背景輝度 (cd/m ²)											
		0			13			87			203		
		C	N	A	C	N	A	C	N	A	C	N	A
8	203	0	6	0	0	6	0	1	5	0	0	6	0
	177	0	6	0	0	6	0	0	6	0	0	6	0
	144	0	0	0	0	6	0	0	6	0	0	5	1
	125	1	5	0	0	6	0	0	6	0	0	5	1
	106	1	5	0	0	6	0	0	6	0	0	6	0
	87	0	6	0	0	6	0	1	5	0	0	5	1
	54	2	4	0	0	6	0	0	6	0	0	6	0
	35	0	6	0	0	6	0	0	5	1	0	5	1
	13	3	3	0	1	5	0	2	4	0	2	4	0
	0.3	0	2	4	0	0	6	0	1	5	0	0	6
	0	0	2	4	0	6	0	0	1	5	0	2	4
53	203	3	3	0	0	6	0	1	5	0	2	4	0
	177	0	6	0	0	6	0	3	3	0	1	5	0
	144	2	4	0	0	6	0	2	4	0	1	5	0
	125	3	3	0	1	5	0	0	5	1	2	4	0
	106	3	3	0	1	5	0	2	3	1	2	4	0
	87	3	3	0	1	5	0	4	2	0	3	3	0
	54	4	2	0	2	4	0	3	3	0	2	4	0
	35	3	3	0	1	4	1	5	1	0	5	1	0
	13	3	2	1	1	5	0	6	0	0	2	4	0
	0.3	0	1	5	0	1	5	0	0	6	0	4	2
	0	0	0	6	0	1	5	0	1	5	0	2	4
126	203	6	0	0	4	2	0	4	2	0	2	4	0
	177	5	1	0	4	2	0	2	4	0	1	5	0
	144	6	0	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0
	125	5	1	0	2	4	0	1	5	0	1	5	0
	106	6	0	0	2	4	0	1	5	0	4	2	0
	87	6	0	0	3	3	0	0	6	0	4	2	0
	54	6	0	0	2	4	0	2	4	0	5	1	0
	35	6	0	0	1	5	0	1	5	0	1	5	0
	13	1	4	0	0	4	2	0	4	2	0	3	3
	0.3	0	0	6	0	0	6	0	0	6	0	1	5
	0	0	1	5	0	2	4	0	2	4	0	2	4

表し、被誘導野に誘導色の補色の赤味が感じられた反応である。A は同化反応を表し、被誘導野に緑味が感じられた反応である。N は中性反応を表す。

誘導野輝度の影響を見ると、誘導野輝度が増すに連れ対比反応頻度が増加しており、これは対比量の増加と考えられ、Jameson and Hurvich (1961) の結果と一致する。誘導野が 8cd/m^2 の場合は6回中3回対比が見られたのが1回あるだけでほとんどが中性反応である。しかし、同化は被誘導野輝度が 0.3cd/m^2 以下になると誘導野の輝度とは無関係に安定してみられる。

背景輝度の増加は誘導野輝度 (luminance) を一定に保ったままで明るさ (brightness) を低下させる。誘導野の明るさの低下は対比を減少させる傾向にある。特に、背景輝度が0から 13cd/m^2 に変化した時にその傾向は顕著である。しかし、背景輝度条件にかかわらず同化反応頻度には差は見られない。従って、同化に対する誘導野の明るさの影響はみられない。

被誘導野輝度についてみると、高輝度では対比反応は生じない。これは、無彩色反応が強すぎて被誘導色が感じられないためと考えられる。対比反応のみられる被誘導野輝度レベルから低輝度レベルへと移って行くに連れ、対比反応の減少に代って中性反応が増し、やがて同化反応へと移行する傾向がみられる。この結果は、対比と同化が一つの連続体上にあるとする Helson (1962) の主張を支持するものである。

色の見え方という質的な側面に注目してみると、対比は刺激呈示後比較的早く生ずるが、しばらく観察し続けていると、被誘導色である赤の中央部に矩形の緑色の部分が見えてくる。現象的には同化が生じていることになる。従って、同化は誘導野と被誘導野の境界部を含む一定幅の部分に生じた対比色赤の対比によって生ずる現象ではないかと考えることもできる。しかし、同化が安定して観察されるのは被誘導野輝度が $0\sim 0.3\text{cd/m}^2$ の場合である。この場合の色の見え方は黒の中央部に緑色の矩形が観察されるが、誘導野と被誘導野との境界部に赤は感じられず、鮮明な黒の輪郭線が観察される。上の仮定に立てば、境界部で生じている対比は閾下に留まっているが、隣接野に対して色誘導を起こし得ると仮定せざるを得なくなる。これは、次の様に考えることができる。

緑誘導野によって起こされた対比はかなり強い赤であるので、それに隣接した部位に第二の対比を生起させる、この第二の対比は第三の対比を引き起こすほどではないとすると図2-a上の曲線のような生理学的パターンとなる。輪郭線内の色は輪郭部で生じている反応によって決定される (KurausKopf, 1963, 1967) ので、知覚される色パターンは図2-a下になる。しかし、被誘導野輝度が $0\sim 0.3\text{cd/m}^2$ というかなり暗い場合、誘導野からの迷光 (緑色光) が被誘導野内に入ってくる。この迷光は境界線部に近いほど強いので (図2-a上の破線) 境界部近くの対比色赤とキャンセルし合う。またこの境界部近くでは明るさ対比も強く、キャンセルの結果として生ずるはずの黄は知覚されずに被誘導野中央部の緑だけが知覚される。一方、被誘導野輝度が高くなってくると迷光及び明るさ対比は減少するため、知覚される色パターンは図2-a下になる。また、被誘導野輝度が誘導野輝度に較べてかなり高くなると、迷光は入ってこな

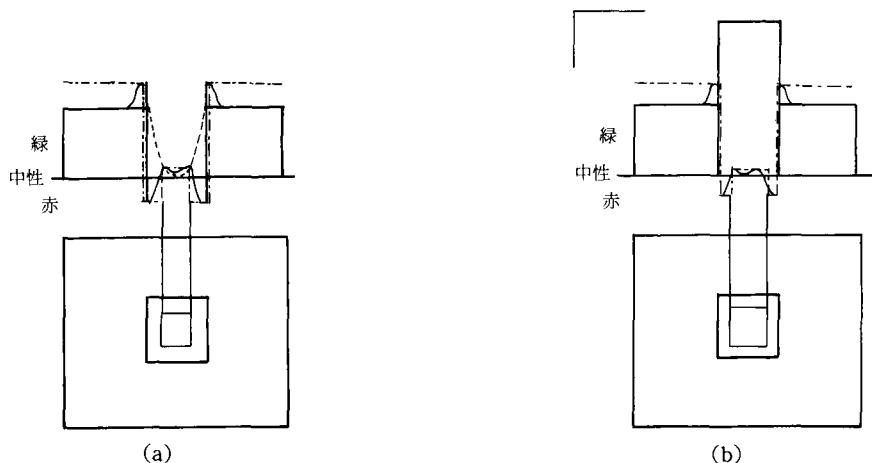


図2 物理的刺激布置及び生理的反応パターン（上）とそれによって生ずる知覚パターン（下）

いが明るさ対比が強く両野境界部の対比色は知覚されない。しかし、被誘導野周辺部と中央部との間には明るさ対比は生じていないため被誘導野中央部には緑が知覚されるかもしれない（図2-b上下）。これは被誘導野刺激によって生起された無彩色反応との相対的な関係によって決定されると考えられる。

この様に、色同化は複雑な過程が含まれており、多くのデータの蓄積が必要である。

謝辞

本実験を行なうに当り、研究施設の提供はもとより貴重なアドバイスを与えて下さいました京都工芸繊維大学の秋田宗平教授に深く感謝致します。

参考文献

- Akita M. (1990) 未発表
 Akita M., Graham C. H. and Hsia U. (1964) Maintaining an absolute hue in the presence of different background colors. *Vis. Res.* 4, 539-556
 Blackwell K. T., Buchsbaum G. (1988) The effect of spatial and chromatic parameters on chromatic induction. *Colro Res. and appl.* 13, 166-173
 De Monasterio F. M. (1975) Functional properties of ganglion cells of the rhesus monkey retina. *J. Physiol., Lond.* 251, 167-195
 Eichengreen J. M. (1976) Unique hue loci: induced shifts with complimentary surrounds. *Vis. Res.* 16, 199-203
 Gouras P., Kruger J. (1979) Responses of cells in foveal visual cortex of the monkey to pure color contrast. *J. Neurophysiol.* 42, 850-860
 Guth S. L., Massof R. W. and Benzschawel T. (1980) Vector model for normal and dichromatic color vision. *J. Opt. Soc. Am.* 70, 197-212
 Graham C. H., Brown J. L. (1965) Color contrast and color appearances: brightness con-

- stancy and color constancy. In *Vision and visual perception* (Edited by C. H. Graham)
- Hasegawa T. (1977) Simultaneous color contrast: Deviation of the induced colors from directions of complimentary colors. In *Color 77* (Edited by Billmeyer and Wyszecki)
- Helson H. (1963) Studies of anomalous contrast and assimilation. *J. Opt. Soc. Am.* 53,
- Jameson D., Hurvich L. M. (1975) From contrast to assimilation: in art and in the eye. *Leonardo* 8, 125-131
- Jameson D. (1985) Opponent-colors theory in the light of physiological findings. In *Central and peripheral Mechanisms of Color Vision* (Edited by D. Ottoson, S. Zeki) 88-102
- Kinney J. S. (1962) Factors affecting induced color. *Vis. Res.* 2, 503-525
- Kinney J. S. (1965) The effect of exposure time in induced color. *J. Opt. Soc. Am.* 51, 46-53
- Krauskopf J. (1963) Effect of retinal image stabilization on the appearance of heterochromatic targets. *J. Opt. Soc. Am.* 53, 741-744
- Krauskopf J. (1967) Heterochromatic stabilized images: A classroom demonstration. *Am. J. Psychol.* 80, 634-637
- Livingstone M. S., Hubel D. H. (1984) Anatomy and physiology of a color system in the primate visual cortex. *J. Neurosci.* 4, 309-356
- Michael C. R. (1978) Color vision mechanisms in monkey striate cortex: dual-opponent cells with concentric receptive fields. *J. Neurophysiol.* 41, 572-588
- Oyama T., Hsia Y. (1966) Compensatory hue shift in simultaneous color contrast as a function of separation between inducing and test fields. *J. Exp. Psych.* 71, 405-413
- Reid R. C., Shapley R. (1989) Brightness induction by local contrast and the spatial dependence of assimilation. *Vis. Res.* 28, 115-132
- Shapley R., Reid R. C. (1985) Contrast and assimilation in the perception of brightness. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 82, 5983-5986
- Shevell K. S., Wesner M. F. (1989) Color appearance under conditions of chromatic adaptation and contrast. *Color Res. and appl.* 14, 309-317
- Valberg A. (1974) Color induction: Dependence on luminance, purity and dominant or complimentary wavelength of inducing stimuli. *J. Opt. Soc. Am.* 64, 1531-1540
- Ware C., Cowan W. B. (1982) Changes in perceived color due to chromatic interactions. *Vis. Res.* 22, 1353-1362
- Wooten B. R. (1970) The effects of simultaneous and successive contrast on spectral hue. Ph. D. Thesis, Brown Uni.