■原著論文 (VISION Vol. 11, No. 1, 1-11, 1999)

輝度勾配刺激に対する表面色モード知覚の限界輝度条件

山内泰樹・内川恵二

東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設

〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259

(受付 1998 年 8 月 24 日；改訂版受付・受理 1998 年 10 月 15 日)

Luminance Limit for Surface-Color Mode Perception under Spatial Luminance Gradient

Yasuki Yamauchi and Keiji Uchikawa

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology
4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8503

(*Received* 24 August 1998; *Received in revised form and Accepted* 15 October 1998)

A series of experiments were carried out to study effects of luminance gradient on the luminance limit of surface-color mode perception. A CRT monitor displayed the stimuli which had a upward or downward luminance gradient. We tested several gradient directions of the test stimulus placed in the surrounding stimuli, and two configurations of the mondorian-type surrounding stimuli. The observer adjusted luminance of the test color so that it just began to appear partially in aperture-color mode. Our results indicated that the upper-limit luminance of test stimulus tend to be the same regardless of the presence of the luminance gradient. When the test stimulus had the luminance gradient in the direction opposite to that of the surrounding luminance gradient, the upper-limit luminance was lower. It is suggested that the brightest stimulus in the surrounding stimuli does not necessarily work as a cue for the judgment of color appearance mode, but the visual system discounts the illumination gradient to see a surface color.

1．はじめに

色の見えのモードは表面色モードと開口色モードという2つのモードに大別できる[1]．色が物体の表面の属性のように感じられる場合が表面色（物体色）モード，色が発光体から発せられたもののように感じられる場合が開口色（光源色）モードの見えである．これらの見えのモードは周辺刺激の呈示条件によって変化することが知られている[2]．また，物理的な組成が同じ光であっても，見えのモードが異なると，色が異なって知覚される場合がある[3]．

最近ではカラープリンタの普及に伴い，ディスプレイ上のカラー画像とプリンタによるハードコピーで得られたカラー画像の色の一致が高精度で求められるようになり，その実現のために色の見えの研究が進んでいる．その結果，測色的に両者の色を一致させた場合にも，実際の色の見えが必ずしも一致しないことが問題になってきている．これは，

ディスプレイは発光体であり，ハードコピーは反射物体であるため，両者の間では色の見えのモードが異なっている可能性を示唆している．両者の色の見えを一致させるには，色の見えのモードまでを一致させる必要があり，そのためには見えのモード知覚の条件を明らかにする必要がある．

色の見えのモード知覚に関する過去の研究には，呈示刺激が開口色モードで知覚される条件の定式化を図ったもの[4,5]，色票を局所的に照明し，色票自身が発光していると知覚される時の条件を求めたもの[6]，刺激のおかれた空間の照明条件から見えのモードの説明を試みたもの[7]などがある．また，色光の純度を変化させた時の見えのモードの変化が色光の明るさ変化と類似した特性を示すこと[8]や，色刺激が表面色モードとして知覚される限界の明るさは，周辺刺激内の最大の明るさを超えないこと[9]が報告されている．しかしながら，色の見えのモードの決定要因に関しては，まだ明らかになっていない点が多い．

これまでの研究では，刺激の輝度や照明に関しては均一な条件を扱ったものが多かった．しかし，現実の場面では照明と観察対象との位置関係により，必ずしも刺激全面が一様に照明されて均一輝度になるとは限らず，同一刺激でも輝度勾配のような不均一な輝度分布を生じることがある．そのような状況下で刺激を観察したときに，刺激内の輝度勾配が刺激の見えにどのような影響を与えるかは完全には分かっていない．輝度勾配を有する無彩色刺激内にテスト刺激と参照刺激を呈示し，明度を判断基準にして両者のマッチングを行った場合には輝度勾配の影響を受けずほぼ完全な恒常性を示すことが報告されている[10]が，均一照明条件下で得られた見えのモード知覚に関する条件が輝度勾配条件でそのまま適用できるかは明らかになっていない．

刺激が表面として存在しうるかどうかの判断，すなわち表面色モードの判断に対して，輝度勾配を有する刺激条件がどのような影響を与えるかは，見えのモード知覚の決定要因を探る上で重要であると考えられる．日常，実際に輝度勾配を有する表面を観察する機会が多いため，それが影響する可能性が考えられるからである．これまでに示されたように[9]，表面色モードで知覚される限界が呈示された刺激の最も明るいものを基準にしてなされるのであれば，輝度勾配が設けられ刺激内の最も明るいものが変化した場合，その変化に伴って表面色モードの限界輝度値は変化することが予想される．一方，色の見えのモードの判断が，照明条件や刺激の空間的な配置までを考慮してなされるのであれば，表面色モードの限界条件は呈示された刺激内の輝度条件だけからは単純に決められない．

本研究では，これまでに得られた均一照明条件での結果を踏まえ，より日常的な観察環境を模擬した刺激呈示条件下での見えのモードを決定する要因を明らかにすることを目的とする．そのため，輝度勾配が設けられた刺激を用い，テスト刺激の見えが表面色モードから開口色モードへと変化し始める表面色モードの限界輝度値を測定する．それにより，刺激内の輝度勾配が見えのモード知覚に対してどのような影響を与えるかを調べる．

2．実験方法

2.1 実験原理

色の見えのモードは，対象とするテスト刺激とその周辺の刺激を適切な条件に設定することで決められるので，CRT を用いても表面色モードの見えを作ることができる．本実験では，刺激呈示を容易にするために，全刺激を CRT 上に呈示し，表面色モードの見えを作った．刺激は複数色の色票を模擬した周辺刺激とその中に呈示されるテスト刺激からなる．被験者はテスト刺激の輝度を調整する．

テスト刺激の輝度が充分に高ければテスト刺激は開口色モードに見え，逆に，輝度が充分に低ければテスト刺激は表面色モードに見える．また輝度が両者の中間の時には，テス

ト刺激は両モードが混在したような見えになる．本実験では，テスト刺激が完全な表面色モードの見えから開口色モードの見えが混在し始める点を表面色モードの限界とし，その時のテスト刺激の輝度値を表面色モードの限界輝度値として求めた．

2.2 装置

実験装置は被験者の入るブースと，CRTが置かれているブースの2カ所からなる．両方のブースの境界には14 cm × 8 cmの開口部が設けられ，そこに開閉自在なシャッターが取り付けられている．被験者用ブース内はD_{65}模擬蛍光灯で照明され，照度は被験者の手元で90 lxである．また，CRTの置かれているブースは暗黒であり，CRT前部に20 cm × 20 cmの開口を設けた暗幕を設置することにより光が漏れないようにし，CRT上の刺激だけが被験者に呈示されるようになっている．

被験者は実験者の指示に従ってシャッターを開閉し，刺激を両眼で観察する．刺激までの視距離は120 cmである．被験者は手元のトラックボールでテスト刺激の輝度を調整する．

2.3 刺激

2.3.1 実験1の刺激

実験1で用いた刺激を図1 (a)に示す．灰色の背景上に3 × 3の格子状に配置された8色（青，黄，赤，緑，ピンク，紫，オレンジ，茶）の周辺刺激と白色の枠が置かれている．格子の中央にはテスト刺激が位置している．周辺刺激とテスト刺激の大きさは視角2 deg × 2 deg，各刺激の間隔及び白枠の幅は0.5 degである．図2 (a)に周辺刺激，白枠および背景の灰色の色度点を示す．

刺激に与える輝度勾配は，上，下方向の2方向とした．刺激の上部から下部へ向かって輝度が低くなる場合を「下方向の勾配条件」，逆の場合を「上方向の勾配条件」とする．前者は一つの線光源により上方向から，後者は下方向から刺激全体が照明されていることに相当する．充分に長い線光源が完全拡散面である刺激面より手前に置かれていると仮定して，各点の輝度変化を計算した．

図3に，実験で用いた輝度勾配条件を示す．横軸は刺激の垂直方向の位置を示し，右側が刺激の下方に相当する．黒実線は下方向の勾配条件を，灰実線は上方向の勾配条件を示す．これらの値と輝度勾配がない時の輝度から各色刺激の輝度値が定められる．また，各色刺激の色度は一定とし，輝度だけを変化させた．なお，テスト刺激は図3内に矢印で示された位置に呈示された．

テスト刺激の面内の輝度勾配として，“周辺刺激と同じ方向”，“周辺刺激と逆方向”，“均一の輝度”，の3条件を設定した．周辺刺激と異なる輝度勾配条件も実験条

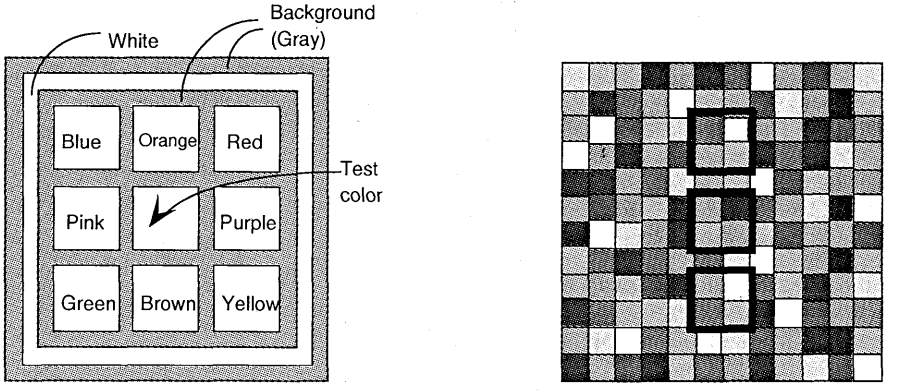

図1 実験に用いた刺激の概略図．(a)：格子色刺激（実験1，実験2），(b)：多色小片刺激（実験2）．

件に加えたのは，周辺刺激とテスト刺激の輝度勾配条件が異なる場合に，それが表面色モード知覚の限界に影響を与えるかどうかを調べるためである．逆方向の輝度勾配と，テスト刺激内が均一の輝度では，周辺刺激に設けられた輝度勾配との差が異なる．実験で行った輝度勾配条件の一覧を表1に示す．

また，コントロール条件として，同じ刺激形状であるが輝度勾配がない条件も行った．

2.3.2 実験2の刺激

実験2では，図1(a), (b)に示すように，実験1と同じ格子色刺激と，多色の小片色票が隙間なく並べられた多色小片刺激の2種類の周辺刺激形状を用いた．このような2種類の形状を用いたのは，格子色刺激においては灰色の背景や白枠が広範囲にわたっているために，それらの連続的な輝度変化が被験者に対して手がかりとして作用していた可能性が考えられ，そのような刺激の幾何的条件の影響を調べるためである．多色小片刺激の小片刺激の一辺のサイズは視角 0.75 deg である．刺激内に呈示される色数としては格子色刺激と同じ10色を用い，同じ色を並置しないようにした．テスト刺激は 1.5 deg の正方形であり，4個分の小片刺激と完全に重なるように呈示される．

テスト刺激は，刺激内の上，中，下段のいずれかに呈示される．格子色刺激条件では，中列の3つの色刺激のどれかにテスト刺激が呈示される．テスト刺激が上段，もしくは下段に呈示されるときには，その位置に呈示されていた色刺激が中央の格子刺激に呈示され

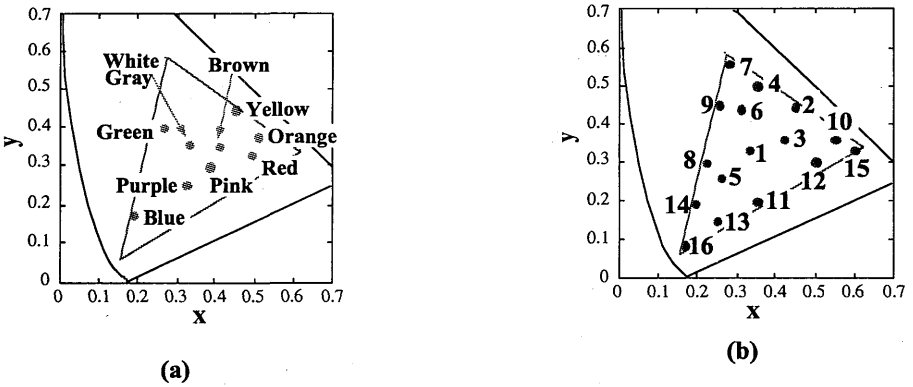

図2 (a)：周辺刺激，白枠および背景の色度．(b)：テスト刺激の色度．

表1 実験で用いた輝度勾配条件の一覧

		テスト刺激輝度勾配		
		同方向	逆方向	均一輝度
周辺刺激輝度勾配	下方向	⇩	⇧	□
	上方向	⇧	⇩	□
	なし	—	—	□ (コントロール)

矢印の方向は，輝度がその方向に沿って低くなることを示している．すなわち，下向きの矢印では刺激の上部から下部にかけて輝度が低くなり，上向きの矢印では逆に刺激の下部から上部にかけて輝度が低くなることを示す．均一輝度の条件は輝度勾配を持たないため，□で表した．

る．多色小片色刺激条件では，図1 (b) 内の太実線で囲まれた3箇所の領域のいずれかにテスト刺激が呈示される．

輝度勾配は実験1と同様に計算し，下方向，上方向の2つの勾配方向条件を設定した．また，多色小片刺激条件では，個々の小片色刺激内は均一輝度とし，勾配の方向に従って刺激全体で輝度が変化するようにした．テスト刺激の面内の輝度勾配は，格子色刺激条件では周辺刺激と同じ方向に設定した．多色小片刺激条件ではテスト刺激には勾配を与えずに均一輝度とした．また，本実験では輝度勾配に対して中央の輝度値がコントロール条件と等しくなるようにした．

2.3.3 テスト刺激の色度

テスト刺激の色度はCRTの色再現域から16個選んだ．そのxy色度を図2 (b) に示す．なお，テスト刺激に付された番号は比較しやすいようにこれまでの研究[9]と同じものを用いた．

2.4 手続きおよび被験者

被験者は，実験開始前に被験者用ブース内で3分間順応した後シャッターを開く．その後，被験者は開口部を通して刺激全体を見ながら，刺激内に呈示されたテスト刺激が表面色モードの限界になるようにテスト刺激の輝度を調整する．これが1試行である．1試行に要する時間は被験者により異なったが，概ね10～20秒程度であった．

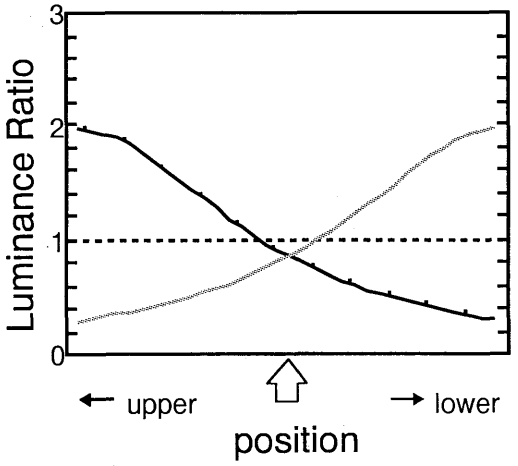

図3 周辺刺激に設定した輝度勾配．輝度勾配のないコントロール条件を1として正規化してある．横軸は，刺激の上下方向の位置を示す．黒実線，灰実線がそれぞれ下方向，上方向条件を表す．矢印はテスト刺激が呈示される位置を示す．

実験1では，1試行において，テスト刺激の輝度勾配条件（3種類）とテスト色（16個）の組み合わせから1条件が選ばれる．実験2では，1試行においてテスト刺激の呈示位置（3箇所）とテスト色（16個）の組み合わせの中から1条件が選ばれる．実験1，2とも，全条件の組み合わせからなる48試行から1セッションは構成される．なお，各セッション内では周辺刺激の形状，及び輝度勾配の方向は変化しない．

実験1，2ともに，各条件に対して全被験者が5セッションの繰り返し試行を行った．

被験者は色覚正常な3名（32才と26才の男性2名，26才の女性1名）であり，全員が心理物理実験の経験者である．

3．結果

3.1 実験1：輝度勾配方向の影響

図4に下方向の輝度勾配条件での，各テスト刺激の表面色モードの限界輝度値を示す．テスト刺激が勾配を持つ場合には，テスト刺激内の平均輝度で限界輝度値とした．図4 (a) には被験者YYの結果を，(b) は3名の被験者の平均値を示す．各シンボルはテスト刺激の勾配方向を示し，●は周辺刺激の勾配と同一方向，▲は逆方向，□は輝度勾配なしの条件である．○は全刺激に輝度勾配を設定しないコントロール条件の結果である．YYの結果は5回の試行の平均値を示したもので，データに付した誤差棒は標準偏差を表す．図4 (a), (b) 中の右側のパネルに示したのは周辺刺激，白枠と背景の輝度値である．輝度勾配によりそれぞれの色刺激が輝度値の幅を持ったため，最大値，最小値およびコントロール条件での輝度値を，それぞれ●，□，◇シンボルで示した．

図4から，表面色モード知覚の限界輝度値はテスト刺激の色度により異なっていることが分かる．これはこれまでの報告[9]にも示されているように，刺激の明るさ効率（B/L)により輝度値を変換すると，ほぼ一定値になる特性である．周辺刺激の輝度勾配が下方向，テスト刺激の輝度勾配が同一方向と逆方向の時の限界輝度値をB/Lで変換した結果を図5に示す．シンボルの違いがテスト刺激に設けられた輝度勾配方向の違いを表し，●が同一方向，△が逆方向である．

個人内の調整のばらつきである標準偏差であるが，YYに関しては図4(a)内に示された通りである．他の2名の被験者においてもほぼ同程度の標準偏差であったが，各色に対する標準偏差の大きさは被験者によって異なった．また，調整の結果得られた限界輝度値自体には被験者によってある程度幅があった．

テスト刺激の輝度勾配条件を比べると，テスト刺激が周辺刺激と逆方向の時に限界輝度値が最低になった．これは全被験者に共通の傾向である．また，各輝度勾配条件の結果を見ると，テスト刺激の色に対する傾向が同じであり，コントロール条件下で得られた限界輝度値からの変化量も色によらずほぼ等しいことが分かる．

図6に上方向の輝度勾配条件の3名の被験者の平均値を示す．下方向の勾配条件とほぼ等しい結果が得られた．したがって，周辺刺激に与えた勾配方向は，表面色モード知覚の限界輝度には影響を与えないことが分かった．

3.2 実験2：周辺刺激形状とテスト刺激呈示位置の影響

図7，8に，それぞれ格子色刺激条件と多色小片刺激条件での，下方向の勾配に対する各テスト刺激の表面色モードの限界輝度値を示す．図7(a)，図8(a)は被験者YYの結果，図7(b)，図8(b)は3名の被験者の平均値を示す．YYの結果に付した誤差棒は標準偏差を表す．各シンボルはテスト刺激の呈示位置を示し，●は上段，□は中段，▲は下段を表わす．各図の右側のパネルは図4と同様であり，周辺刺激の輝度を示したものである．

図から全てのテスト刺激において，呈示位置に応じて限界輝度が異なっていることが分かる．上段に呈示されたテスト刺激の表面色モードの限界輝度値の方が下段に呈示された時よりも高かった．下方向の輝度勾配条件では，周辺刺激内で上方から下方に向かって輝

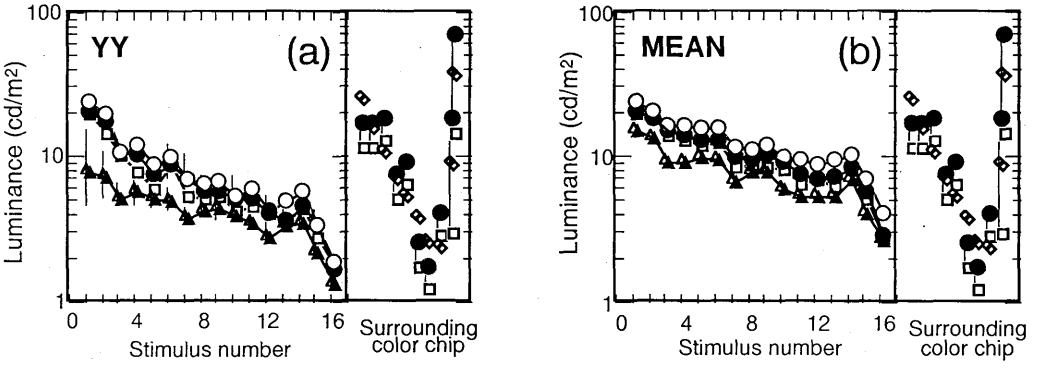

図4 実験1の結果．輝度勾配を下方向に設定した条件での各テスト刺激の表面色モードの限界輝度値と周辺，背景刺激の輝度（●：最大輝度，□：最小輝度，◇：コントロール条件の輝度）．(a) は被験者YYの結果を，(b) は全被験者の平均値を示す．シンボルはテスト刺激の輝度勾配の違いを表し，●：周辺刺激の輝度勾配と同じ方向，□：輝度勾配なし，▲：周辺刺激の輝度勾配と逆方向，○：コントロール条件での結果である．尚，(a) のうち，●と▲についている誤差棒はその条件での標準偏差を表す．周辺刺激の輝度は，左から順に，黄色，ピンク，オレンジ，紫，赤，茶，青，緑，灰色，白である．格子色刺激では，灰色は背景，白は枠で呈示された．

度が低くなる．周辺刺激の輝度値と限界輝度値の関係は，前者が高くなれば後者も高く，前者が低くなれば後者も低くなっており，各テスト刺激の呈示位置による限界輝度値の変化は周辺刺激の輝度レベルの変化と一致している．また，この傾向は両方の刺激形状に共通して見られる．図には示していないが，上方向の勾配条件の時も同様の結果が得られた．

このようにして得られた結果が，単にテスト刺激の位置による違いではないことを示すため，同じ刺激形状で輝度勾配がないコントロール条件で同様の実験を行った．図9に3名の被験者の平均値を示す．図9(a)が格子色刺激条件，(b)が多色小片刺激条件の結果である．図中のシンボルは図7と同様である．いずれの刺激形状でも，テスト刺激の呈示位置によらずに限界輝度値は等しくなっている．このことより，本実験で得られた結果が周辺刺激に設けられた輝度勾配に起因することが確認された．

4．考察

4.1 輝度勾配が表面色モード知覚に及ぼす影響

実験1で，周辺刺激に輝度勾配を与えることにより，周辺刺激の輝度範囲は広くなった．輝度勾配がない条件と比べると，周辺刺激の最大輝度値は約2倍となったが，輝度勾配がある場合とない場合で得られた表面色モードの限界輝度はさほど変わらなかった．仮に周辺刺激内の最も明るいものから表面色モードの知覚限界が決まり，それよりも明るい刺激が表面色モードでは知覚されないのであれば，最大輝度値の増加に伴って限界輝度値も高くなるはずである．このことから，表面色モードの限界に対する基準は周辺刺激の中の最も明るい刺激だけではないことがわかる．

実験1，2とも，どの被験者も刺激の輝度勾配をあたかも刺激に対する照明が不均一であるかのように知覚した．視覚系が照明の不均一を差し引いて刺激の明度あるいは反射率を推定することで表面色モードの判断を行ったと考えると，輝度勾配の有無にかかわらずほぼ同じ結果が得られたことが説明できる．ただし，両者の結果が完全には一致しなかったが，それは視覚系による照明条件の評価が完全ではなかったと考えると理解できる．

一方，刺激に対する照明成分を差し引くというような判断を行わず，刺激の局所的な見

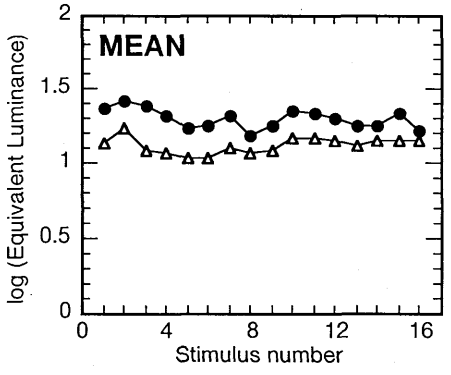

図5 周辺刺激の輝度勾配が下方向の時の各テスト刺激の表面色モードの限界輝度値を B/L を用いて等価輝度に変換した結果．全被験者の平均を示す．シンボルはテスト刺激の輝度勾配の違いを表し，●：周辺刺激の輝度勾配と同じ方向，△：周辺刺激の輝度勾配と逆方向，の結果である．

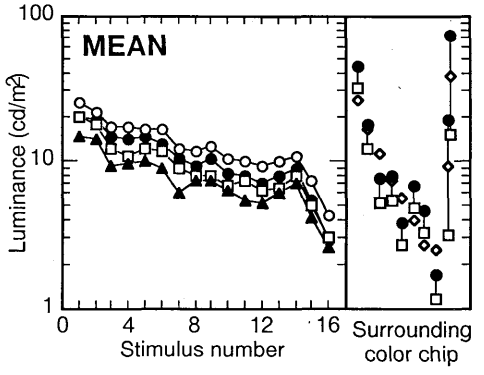

図6 輝度勾配を上方向に設定した条件での結果．図のシンボルと説明は図4と同じである．全被験者の平均値を示す．

えだけから表面色モードの判断がなされた可能性もある．すなわち，輝度の勾配方向が上下方向であったため，勾配に対してテスト刺激と同じ位置にある刺激だけが判断に用いられたかもしれない．実験１では輝度勾配条件下で得られた限界輝度値（図４の●シンボル）の方が輝度勾配のないコントロール条件（図４の○シンボル）よりも限界輝度値が低かったが，これは図３に示されたようにテスト刺激と同じ位置に呈示された周辺刺激の輝度がコントロール条件に比べて低かったこと（91％）で説明できるからである．また，実験２において，両刺激形状とも刺激を中央に呈示した時の限界輝度値の値（図７，８の□シンボル）がコントロール条件の結果（図９(a)，(b)）とほぼ等しい値となっていることも局所的な判断がなされた可能性を支持する．

そこで，テスト刺激を取り囲む刺激の輝度だけで表面色モードの限界輝度値の変化が決定されたかどうかを，実験２の結果を用い輝度変化量から検討してみる．図９に示したように，刺激内に輝度勾配がないコントロール条件では，刺激の呈示位置によらず限界輝度値は等しかった．このコントロール条件での限界輝度値を基準にして，各輝度勾配条件下での限界輝度値との比を輝度変化量として計算する．全テスト刺激に対して輝度変化量を求め，それらを平均した値を図10に示す．(a)が格子色刺激，(b)が多色小片刺激を用いた条件である．シンボルは輝度勾配方向の違いを示し，●が下方向，△が上方向を表す．横軸は刺激内の位置を示す．両方の輝度勾配方向の結果を同一の図内に示すため，それぞれの勾配方向に対して周辺刺激の輝度変化量が一

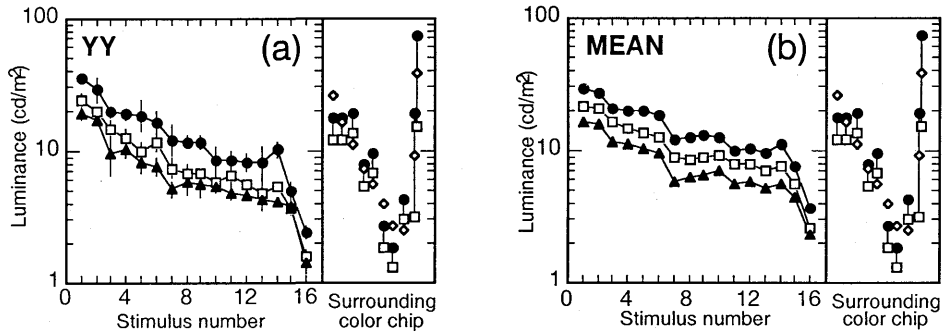

図７ 実験２の結果（格子色刺激条件）．輝度勾配を下方向に設定した条件での各テスト刺激の表面色モードの限界輝度値と周辺，背景刺激の輝度．(a) は被験者 YY の結果を，(b) は全被験者の平均値を示す．シンボルはテスト刺激の呈示位置の違いを表し，●：上段，□：中央，▲：下段である．その他のシンボルは図４と同じである．(a) の結果についている誤差棒は標準偏差を表す．

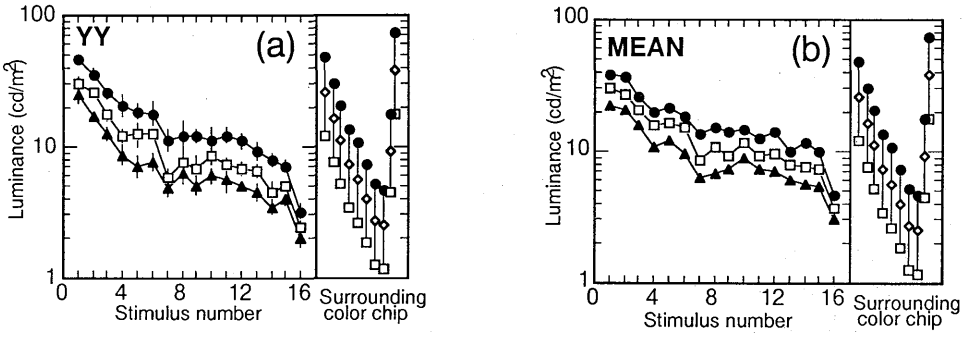

図８ 実験２の結果．多色小片刺激条件で輝度勾配は下方向における結果である．図のシンボルと説明は図７と同じである．

致するように横軸を対応させた．下方向の勾配条件の結果では，左から上，中，下段にテスト刺激が呈示された時の値を示すが，上方向の勾配条件では，逆にテスト刺激が下，中，上段に呈示された時の値となっている．尚，周辺刺激の輝度変化量は実線で示し，右へいくほど輝度が低くなっていることを示す．

図10から，両シンボルはほぼ一致していることが分かる．このことは，テスト刺激の表面色モードの限界輝度値の変化量に対して輝度勾配の方向が影響していないことを示す．また，各テスト刺激の呈示位置による限界輝度値の変化は周辺刺激の輝度レベルの変化と一致している．しかしながら，いずれの条件においても限界輝度値の変化量は，周辺刺激の輝度変化量に比べて小さく，周辺刺激の輝度変化量が大きくなるにつれて両者の変化量の差は大きくなっている．仮に周辺刺激の輝度だけから表面色モードの限界が規定されるのであれば両者の変化量はほぼ等しくなることが予想されるが，結果はそうなっていない．このことから，周辺刺激の輝度条件はテスト刺激の限界輝度に対して定性的には影響を与えているが，局所的な両者の関係だけで表面色モードの限界が定められているのではないことが分かる．

テスト刺激に設けられた輝度勾配の方向が周辺刺激の輝度勾配と逆方向の時は，テスト刺激の表面色モードの限界輝度値は低くなっ

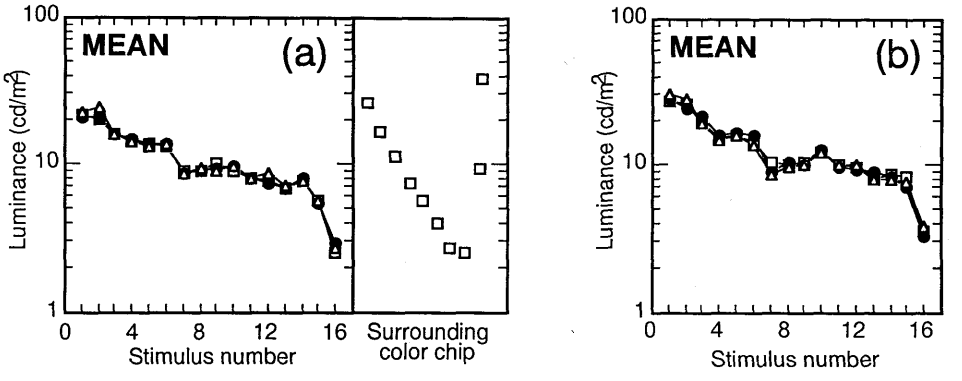

図9 輝度勾配を設けない刺激を用いた時の結果（全被験者の平均値）．(a) が格子色刺激，(b)が多色小片刺激条件の結果である．シンボルの説明は図7と同じである．

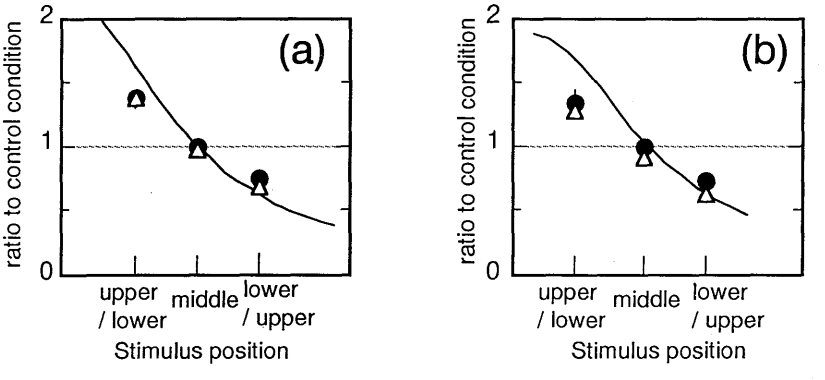

図10 輝度勾配条件における各テスト刺激呈示位置での限界輝度値とコントロール条件の結果の比較．(a) が格子色刺激条件，(b) が多色小片刺激の結果を示す．シンボルは輝度勾配の方向の違いを表し，●：下方向勾配，△：上方向勾配条件である．また実線は周辺刺激の輝度変化をコントロール条件の輝度値との比で示したものである．

た．この条件では，テスト刺激と周辺刺激との間のコントラストは両者の境界の位置によって異なっていたため，テスト刺激と周辺刺激との間のコントラストが高い部分でテスト刺激が表面色モードで知覚される条件を超えていた可能性や，輝度勾配が逆方向であることで，テスト刺激の明るさが強調されて知覚され，低い輝度でも表面色モードの限界となる明るさに到達したという可能性が考えられる．本実験と同じ格子色刺激形状において，黒背景と灰色背景で表面色モードの限界輝度値がほとんど変わらない9)ことを考えると，コントラストの寄与よりは，むしろ輝度勾配方向が異なることが寄与していたと考えられる．被験者には刺激全体を見ながらテスト刺激の見えを判断するようにインストラクションが与えられていた．刺激全体が同一の面としては知覚されなかったり，テスト刺激と周辺刺激が別照明で照らされているように知覚されたために，テスト刺激が低輝度でも周辺刺激と同じ表面として知覚されなかった可能性が考えられる．

視覚系が，テスト刺激を表面として知覚できる条件を周辺刺激から得ているとすると，輝度勾配方向が逆であるテスト刺激はこの条件と矛盾し，その結果，テスト刺激の見えのモードが低輝度においても表面色モードにならなかったと考えれば，このことは説明できる．確かに，被験者からテスト刺激呈示部が開口として知覚され，その開口を通して周辺刺激よりも奥にある別照明下の刺激を観察しているように知覚されるという報告も得られた．このような見え方は，刺激の置かれた状況が異なっていると知覚することによって，視覚系が周辺刺激とテスト刺激の両者を表面として知覚するように対処している可能性を示唆する．視覚系は，最も一般的な (generic) 構成で刺激を知覚することが指摘されている[11]が，今回の刺激呈示条件でも経験的に刺激の輝度勾配が照明に起因するとみなし，最も一般的になるような構成で刺激全体の知覚したと考えられる．

4.2 輝度勾配を有する刺激形状が表面色モード判断に及ぼす影響

実験２では，周辺刺激として用いた２種類のいずれの刺激形状においても，同様の輝度勾配の影響が見られ，刺激の呈示位置に応じて表面色モードの限界輝度値が変化した．格子色刺激条件では，灰色背景と白枠に広範囲にわたって連続的な輝度変化が生じていた．他方，多色小片刺激条件では，個々の色刺激内の輝度は一定で，刺激全体で輝度の変化が生じていた．周辺刺激の輝度の変化量に対する表面色モードの限界輝度値の変化量は，図９に示したように両刺激形状においても同様の結果を示した．このことから，照明の判断となる手がかりは刺激の幾何学的構成ではなく，広範囲にわたる輝度変化であることがわかる．

4.3 輝度勾配刺激下での表面色モード判断法

最後に，輝度勾配を有する刺激が呈示された時に表面色モードとして知覚される限界を判断する方法について考察する．

視覚系はまず，刺激全体が有する輝度勾配から照明条件を推定し，刺激が表面として存在しうる条件を求める．次いで，刺激に対する照明の強さや相対的な位置関係などの照明状況が考慮された上で呈示された刺激内で表面として存在しうる明るさの限界が定められ，これらの情報に基づいて表面色モードの判断がなされる．均一に照明されていると認識されるような刺激呈示条件下では，推定されたその照明条件からは何も制限が与えられないため，全刺激から最も明るいものを表面の限界とし，見えのモードの判断が行われると考えられる．

視覚系は，刺激内に何らかの基準 (anchor) を見い出し，それに従って明度の推定を行うという Anchoring theory が提唱されている[12]．この枠組みで捉えると，輝度勾配情報は anchor となりうる候補を制限，もしくは同じ anchor が適用できる領域を制限すると考えら

れる．

5．まとめ

本実験では，輝度勾配を有する多色刺激が呈示された条件下で表面色モードの限界輝度を測定した．それにより，輝度勾配刺激条件においてもほぼ同じ明るさで表面色モードの限界となることが求められたが，周辺刺激の最も明るいものだけが表面色モードの判断に対する基準となるのではなく，呈示された刺激から照明条件が考慮された上で，見えのモードの判断がなされる可能性が示唆された．

また，輝度勾配がテスト刺激と周辺刺激との間で大きく異なる場合，両者の輝度勾配方向が同じ時よりも低い輝度で表面色モードとして知覚されなくなることが分かった．これは，見えのモード判断において，輝度勾配もその要因の一つとして作用することを示している．刺激が同一平面に属すると知覚されるような輝度勾配条件であれば，見えのモード判断に対しては輝度勾配の影響はあまり見られないが，同一平面に属すると知覚されないような輝度勾配条件で刺激が呈示された場合には，見えのモード判断は設けられた輝度勾配の影響を受ける．表面色モード知覚が面の知覚メカニズムとも関連し，輝度勾配などの面の属性が見えのモードにも影響を与えていると考えられる．

本研究は（財）放送文化基金平成８，９年度一般援助の助成のもとに行われた．

文　献

1) D. Katz: The world of colour. Kegan Paul, London, 7-28, 1935.
2) H. Uchikawa, K. Uchikawa and R. M. Boynton: Influence of achromatic surrounds on categorical perception of surface colors. *Vision Research*, 29, 881-890, 1989.
3) 内川惠二，栗木一郎，篠田博之：開口色と表面色モードにおける色空間のカテゴリカル色名領域．*照明学会誌*, 77, 346-354, 1993.
4) 岡嶋克典，池田光男：白色光における輝面色モードと表面色モードの見えの定式化．*光学*, 18, 558-564, 1989.
5) 根岸明子，西村　武：CRT 画像の表面色モードと光源色モードの見えの特性とその定式化の試み．*照明学会誌*, 82, 513-522,1998.
6) J. M. Speigle and D. H. Brainard: Luminosity thresholds: Effects of test chromaticity and ambient illumination. *Journal of the Optical Society of America A*, 13, 436-451, 1996.
7) 池田光男，本永景子，松澤伸子，石田泰一郎：色パターンの照明認識視空間と局所照明認識閾．*光学*, 22, 289-298, 1993.
8) 鯉田孝和，内川惠二：色光の見えのモードと明るさの色度特性比較．*Vision*, 8, 143-148, 1996.
9) 山内泰樹，内川惠二，栗木一郎：表面色モード知覚に対する限界輝度条件．*映像情報メディア学会誌*, 52, 227-234, 1998.
10) L. E. Arend, Jr. and R. Goldstein: Lightness and brightness over spatial illumination gradients. *Journal of the Optical Society of America A*, 7,1929-1936, 1990.
11) L. E. Arend and B. Spehar: Lightness, brightness, and brightness contrast: 1 Illuminance variation. *Perception and Psychophysics*, 54, 446-456, 1993.
12) A. L. Gilchrist and F. Bonato: Anchoring of lightness values in center-surround displays. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 1427-1440, 1995.