

表面色モード知覚への刺激の知覚的グルーピングの影響

山内 泰樹*†・内川 恵二*

* 東京工業大学大学院 総合理工学研究科

〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259

(受付：2004年3月5日；受理：2004年3月24日)

The Effect of Perceptual Grouping of the Stimuli for the Surface-Color Mode Perception

Yasuki YAMAUCHI* and Keiji UCHIKAWA*

* Department of Information Processing, Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8502, Japan

(Received 5 March 2004; accepted 24 March 2004)

A series of experiments were carried out to study effects of a partial change in luminance on the limit of the surface-color mode perception. A CRT monitor displayed the stimuli that contained an area whose luminance was changed incrementally or decrementally. We tested several spatial positions and luminance change ratios of the area for two configurations of the stimuli. Observer adjusted luminance of the test color so that it just ceased to appear as an attribute of the surface. Our results indicated that the upper-limit luminance of test stimulus tend to change only when the test stimulus was located inside the brighter/darker area. The same results were obtained with the stimulus whose configuration gave an impression that the test stimulus appeared to belong to the same group as the stimuli whose luminance was changed. It is suggested that the perceptual organization of the stimuli, not an apparent brightest stimulus, mainly works as a cue for the judgment of color appearance mode.

1. はじめに

色がどのような属性で知覚されるかは、物体の表面のように知覚される表面色（物体色）モードと、色が発光体から発せられたもののように知覚される発光色（光源色）モードとに大別することができる¹⁾。見えのモードは、色のお見えに影響を与えることが知られている。例えば、Uchikawaらは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こと²⁾、色のお見えのモードは周辺刺激の呈示条件によって変化すると報告している³⁾。Gelb効果と呼ばれる現象では、暗黒中で選択的に黒色の円盤だけをスポットライトで照明するとその円盤は黒色と知覚されずに輝いて知覚されるが、その同一照明下に白色の紙片を呈示すると、それまで輝いて見えていた円盤が黒色の物体として知覚される⁴⁾。この現象もまた、呈示される刺激に関する情報が増加することによって見えのモードが発光色モードから表面色モードへと変化したことを表している。特に、この場合では刺激の置かれた環境の照

† 現所属：富士ゼロックス（株）基盤技術開発部

明について推測する手がかりが増えたことにより、刺激の明度に対する知覚が変化したと考えられる。

また、刺激の強度を増加した場合には、刺激の色の見えが黒みを帯びた見えから黒みが減少し、黒みが感じられなくなった後に、蛍光のような見えを経て最終的にはその領域から色光が発せられているように知覚される。この見えの変化は表面色モードから発光色モードへの移行を端的に説明しているが、この見えのモードの移行点に関して数多くの研究がなされてきた。Evans は黒みを含まない点を G_0 color と命名し、さまざまな波長の単色光に関して G_0 color を求め、強度には波長依存性があることを報告した^{5,6)}。

発光体として知覚される閾値である luminosity threshold を扱った研究としては、無彩色刺激を用いた Bonato や Gilchrist らの研究⁷⁻⁹⁾ や多色刺激を用いた Speigle らの研究¹⁰⁾ があり、特に Bonato & Gilchrist (1994) は、テスト刺激が周辺刺激の輝度の 1.7 倍になるときに luminosity threshold になると報告している⁸⁾。完全な表面色モードとして知覚される限界は luminosity threshold と類似した判断基準であるが、多色刺激が表面色モードとして知覚される限界点では、brightness が色によらずほぼ等しく、周辺刺激内の最大の明るさを超えないことが報告されている¹¹⁾。Uchikawa らは色光を用い、波長ごとにフリッカー、明るさマッチングと表面色モードの限界点といった判断基準を用いて感度を求め、明るさマッチングと表面色モードの限界点の波長特性が類似していることを示し、brightness が見えのモードを決定していることを示した¹²⁾。また、刺激内に輝度勾配を設けた場合には、その勾配方向によって表面として知覚できる輝度値が低くなることが示されている¹³⁾。

上記のような色の見えのモード知覚の変化に関する説明としては、いくつかの説がある。無彩色刺激の明度の判断や、光源検出に関する説明には Ullman が挙げている 6 つの要因¹⁴⁾ や、

刺激内の最大輝度のものが白色として知覚され明度判断の基準として作用するという説 (highest luminance ratio)¹⁵⁾ が提唱されている。一方、Gilchrist は anchoring theory を提唱しており^{16,17)}、与えられた視覚情報から明度の基準を anchor として抽出し、それをもとに刺激の置かれた空間内での明度スケージングがなされていると説明している。一方で、刺激の置かれた環境に関する照明条件から見えのモードの説明を試みた研究^{18,19)} などもある。

我々の日常生活においては、さまざまな色や輝度情報が視覚情報として与えられていることから、複雑な輝度分布を有する刺激が呈示されたときに、見えのモード判断がそれらの刺激条件によってどのような影響を受けるかは、見えのモードの決定要因を探る上で重要であると考えられる。特に輝度変化領域が一定のまとまりとして知覚されるときにはどのような影響があるのだろうか。見えのモード知覚が、呈示された刺激の最も明るいものを基準にして決定されるのであれば、設定した輝度条件に従って見えのモードの移行点は変化することが予想される。一方、見えのモードの判断が、物体の置かれた位置関係や照明条件を考慮して総合的になされるのであれば、見えのモードの移行点は物理情報から一意には決まらず、高次の認識までを考慮する必要があることになる。

本研究では、刺激内の一部領域の輝度を变化した刺激を用いて表面色モードの限界輝度値を測定する。それによって、見えのモード知覚に対し、刺激に設けた輝度変化がどのような影響を与えるかを調べる。また物理的に領域を規定するだけでなく、知覚的に同一グループに分類されるような刺激を用いて、その変化に見えのモードの判断が追従するかどうかを調べる。これらによって、見えのモード知覚の決定要因として作用する手がかりを明らかにすることを目的とする。

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り、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十分に高ければテスト刺激は発光色モードに見え、逆に、輝度が十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ときには、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、過去の研究^{11,13)}と同様にテスト刺激が完全な表面色モードの見えから発光色モードの見えが混在し始めるときのテスト刺激の輝度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14cm×8cm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D₆₅模擬蛍光灯で照明され、照度は被験者の手元で90lx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20cm×20cmの開口を設けた暗幕を設置することにより光を漏れないようにし、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120cmである。

2.3 刺激

2.3.1 実験1の刺激

実験1で用いた刺激の概略図を図1に示す。実験には、過去に行われた研究^{11,13)}と同様に、格子刺激(図1(a))と多色小片刺激(図1

(b))の2種類の刺激形状を用い、刺激内の一部分に輝度変化を与えた。輝度変化は①テスト刺激を含む場合(inside条件、図1(c))、②テスト刺激を含まない場合(outside条件、図1(d))の2条件を設定した。輝度変化量は、輝度変化を含まない標準条件を基準(100%)としてinside条件では40%、75%、125%、150%となる4条件を、outside条件では40%、150%の2条件を用いた。輝度変化量が40%、75%の条件時には、その領域に影が落ちているように知覚され、一方125%、150%のときには、その領域がスポットライトで照明されているような見えを呈した。また、輝度変化を与えた領域とその周囲との境界部については、ステップ状に輝度変化するのではなく、離散的に輝度変化するようなグラデーションを設けた。グラデーションが設けられた幅は画面上で数ピクセルであり、被験者からは境界部が少しぼけているという印象を受ける程度である(なお、図1(c)および(d)に示した実験刺激の概略図には、わかりやすいようにグラデーションはつけていない)。格子刺激の刺激サイズおよび刺激に含まれる色情報に関して簡潔に述べておくと、灰色の背景上

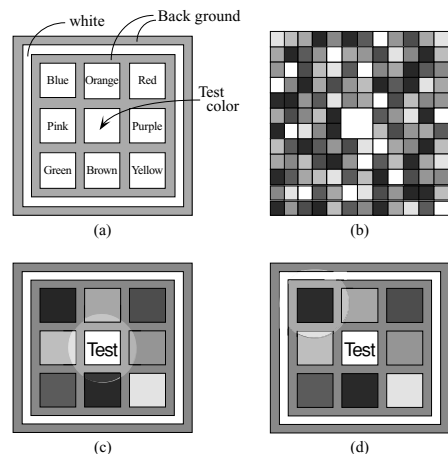


図1 実験1で用いた刺激((a)、(b))と輝度変化条件((c)、(d))の概略図。図1(a)が格子刺激、(b)が多色小片刺激。輝度変化条件は(c): Inside条件で、(d): Outside条件で、テスト刺激が輝度変化領域に含まれるかどうか異なる。輝度変化領域は円形/正方形の両方で行われた。

表1 実験で用いた周辺刺激の輝度と色度

		Luminance (cd/m ²)	x	y
周 辺 刺 激	Blue	2.66	0.188	0.171
	Orange	11.20	0.519	0.376
	Red	4.97	0.491	0.325
	Pink	15.94	0.385	0.294
	Purple	7.02	0.325	0.252
	Green	3.03	0.266	0.397
	Brown	3.20	0.410	0.349
	Yellow	25.53	0.453	0.444
枠	White	36.12	0.333	0.356
背景	Gray	9.31	0.323	0.346

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2deg×2deg，各刺激の間隔および白枠の幅は0.5degである。一方，多色小片刺激では，小片刺激の一辺のサイズは視角0.75degで，刺激内に呈示される色数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1.5deg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。なお，輝度変化を与えた領域は視角4.5degであり，円形と正方形の2条件を行った。表1に周辺刺激，白枠および背景の灰色の輝度値，および色度点を示す。

2.3.2 実験2の刺激

実験2では，格子刺激を用いた。一定領域の輝度を変化させる点，および輝度変化量は実験1と同様であるが，輝度変化を与える領域が異なる。本実験では，図2(a)，(b)に示すように，背景部の輝度を標準条件と等しく保持した上でテスト刺激の上下左右に位置する周辺刺激の輝度を変化させるか，逆に背景部だけに輝度変化を与え周辺色刺激の輝度は一定に保った条件とを設定した。輝度変化量および輝度変化を与える領域のサイズは実験1と等しくした。

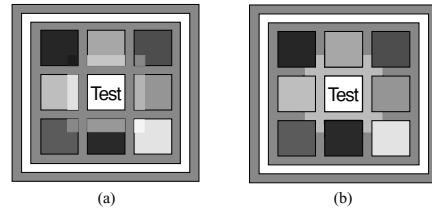


図2 実験2で用いた刺激。実験1とは，輝度変化領域が異なる。本実験では，(a)：背景領域のみ，もしくは(b)：周辺色刺激部のみの輝度を変化させた。

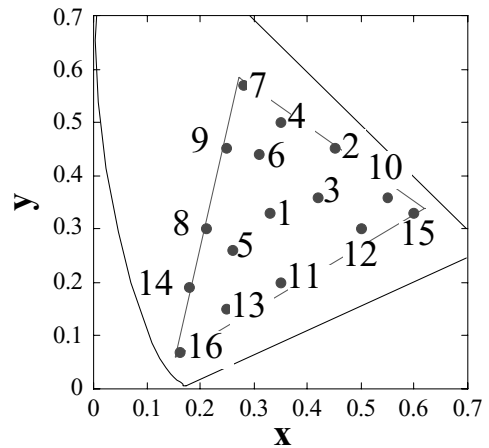


図3 テスト刺激の色度。実線で示された三角形がCRTの色再現域を表す。

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3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¹¹⁾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。

両実験とも，各セッション内では，与えられた輝度変化条件は変わらず，16色のテスト色が順にランダムに選ばれ呈示される。1セッションは16色×3セットの48試行から構成される。

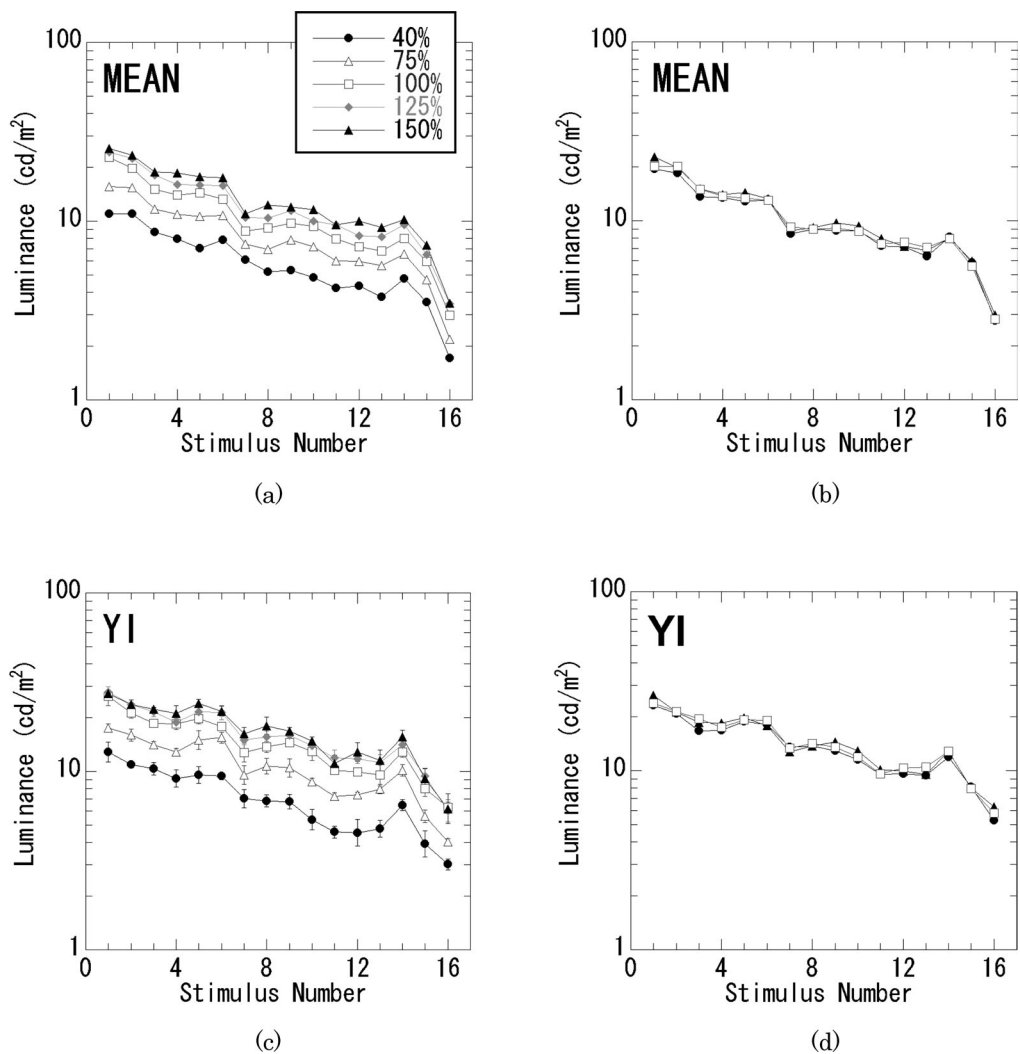


図4 実験1の格子色刺激における円形輝度変化条件の結果. (a) (b)が3名の被験者の平均の inside, outside 条件, (c) (d)は被験者YIの結果.

実験1, 2共に, 各条件にコントロール条件である標準条件(一定領域の輝度変化がない条件)を加えたものを全被験者が2セッションずつ行い, 全6回(3セット×2セッション)の結果から最初の1回を除く5回の平均値を実験結果として採用した. なお, 一日の実験時間が1時間程度になるように一日ごとのセッション数は実験者が設定し, inside条件とoutside条件が混在しつつ, 輝度変化条件もランダムに含まれるようにした.

被験者は色覚正常な3名(32歳と26歳の男

性2名, 26歳の女性1名)が実験1の円形輝度変化刺激に対して実験を行い, 実験1の正方形輝度変化刺激と実験2にはやはり色覚正常な4名の被験者(21歳, 23歳, 32歳の男性3名, 26歳の女性1名)が参加した. 重複しているのはその中の1名だけである. 今回実験に参加した6名の全員が心理物理実験の経験者である.

3. 結果と考察

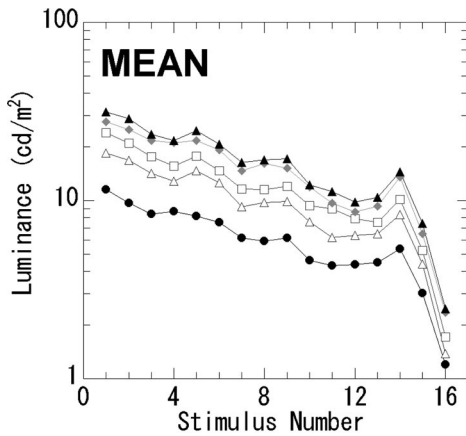
3.1 実験1の結果と考察

図4(a) (b)に, 輝度変化領域の境界にグ

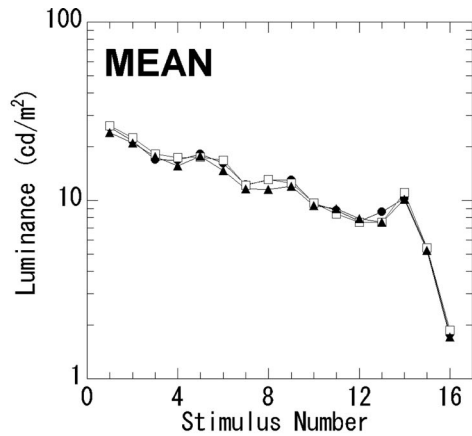
ラデーションを設けた条件での格子色刺激に対する3名の被験者の結果の平均値を、図4(c)(d)に1名の被験者(YI)の結果の平均値を示す。図の横軸はテスト色の番号を、縦軸は表面色モードの限界輝度である。(a),(c)のパネルに示したのはそれぞれinside条件、(b),(d)がoutside条件の結果である。(c),(d)に示したエラーバーは標準偏差を表す。シンボルは、●: 40%, △: 75%, □: 100% (均一照明条件であり、コントロール条件), ◆: 125%, ▲: 150% である。

結果から、これまでに報告したように¹¹⁾表

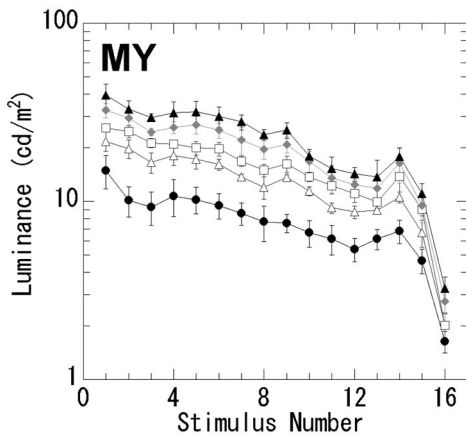
面色モードの限界となる輝度は色度依存性があることが分かる。この色度依存性に関しては、それぞれのテスト色に対して明るさ効率B/Lを測定し、これらの限界輝度をbrightnessで表現すると¹¹⁾色の差は小さくなる。全テスト色の限界輝度の最大値と最小値との差を限界輝度範囲とすると、全5条件の平均で0.85 log unit (標準偏差: 0.02 log unit) となる。一方、B/Lによって換算したbrightnessから同様の範囲を計算すると全5条件で平均0.21 log unit (標準偏差: 0.02 log unit) となり、テスト色間での差が小さくなっていることが分かる。



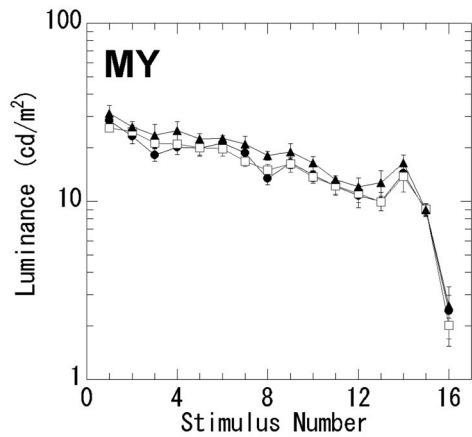
(a)



(b)



(c)



(d)

図5 実験1の正方形輝度変化条件の結果。(a)(b)が4名の被験者の平均のinside, outside条件、(c)(d)は被験者MYの結果。

テスト刺激が輝度変化領域に含まれない outside 条件では、その領域の輝度変化にかかわらず、ほぼ表面色モードの限界輝度が等しくなっている。それに対して、inside 条件では各被験者とも輝度変化領域の輝度の変化に応じて表面色モードで知覚する限界輝度が変化していることが分かる。

図 5 に、輝度変化領域を正方形にして格子色刺激を用いた条件での 4 名の被験者の結果の平均値と 1 名の被験者 (MY) の結果を示す。図中 (a), (c) のパネルがそれぞれ inside 条件, (b), (d) が outside 条件の結果を表す。結果は、円形輝度変化領域で得られた結果とほぼ等しい傾向となった。すなわち、テスト刺激が輝度変化領域に含まれる inside 条件のときだけ表面色モード知覚の限界輝度が変化し、outside 条件では、表面色モードに知覚できる限界輝度は条件によらず等しくなっている。このことは、輝度変化量を与えた領域の形状は表面色モード知覚に影響を与えていないことを示している。

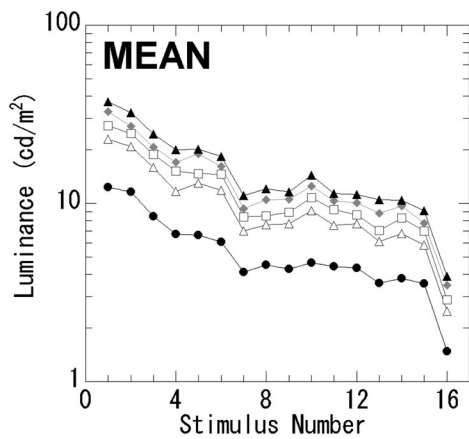
もしも、周辺刺激内に含まれる最大の明るさの刺激が表面色モードの限界を規定するのであれば¹⁵⁾、いずれの刺激形状でも outside 条件の 150% でも限界輝度の変化が見られるはずであるが、結果はそうになっていない。このことは、刺激がどのような照明環境に置かれたのかを考慮していたと考えれば説明できる。すなわち、刺激内に含まれる最大の明るさが、テスト刺激に対するものとは別の照明に起因していると被験者が知覚したために、テスト刺激が表面として知覚されるかどうかはテスト刺激と同一の照明領域内だけから判断したと考えられる。これは、輝度勾配刺激を用いた研究と同様¹³⁾に、視覚系が刺激に対する照明条件を判断した上で表面色モード知覚を行っていることを示す結果といえる。

Inside 条件では、テスト刺激が別の照明条件下にあると知覚されたために、限界輝度が変化したと考えられる。それでは、テスト刺激が含まれる領域内にどれくらいまで明るい刺激が存在すると視覚系は評価して、限界輝度を設定

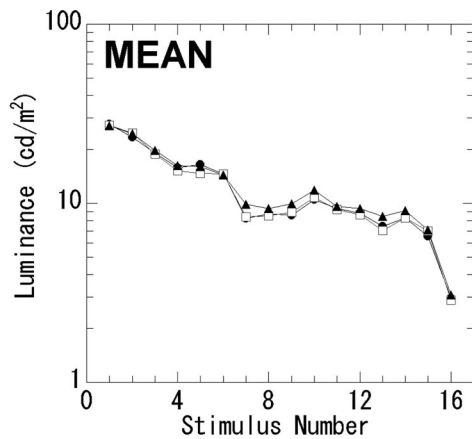
したのであろうか。その領域内には刺激内で最も明るいものが含まれていないにもかかわらず、輝度変化に応じて限界輝度が変化している。手がかかりとして作用したと考えられるのは、周辺刺激と背景刺激の輝度変化部分である。周辺刺激内の白の明るさを基準にし、さらに照明光の強度を上乗せ、もしくは差し引いた上で表面色モードの限界を設定したのだろうか。テスト刺激と隣接する背景刺激との明るさのコントラストが重要であった可能性も考えられる。しかし、背景輝度値はあまり影響しないことが示された¹¹⁾ので、後者の可能性は少なく、その領域自身が異なる照明に置かれたように知覚されたことが重要であると考えられる。Gilchrist et al. (1983) は、被験者が刺激の輝度の違いが照明の違いに起因すると認識したときには、刺激の明度の評価も変化すると報告している²⁰⁾。今回の結果はそれと同様であるといえるだろう。

図 6 (a) ~ (d) に示したのは、多色小片刺激を用いたときの結果であり、図 4 と同様にそれぞれ 3 名の被験者の平均値、および 1 名の被験者 (YI) の結果を示す。シンボルは図 4 と同様である。これから、格子色刺激条件と同様に各被験者とも、inside 条件のときのみ表面色モードの限界輝度が異なることが分かる。この刺激形状でも、テスト刺激と異なる照明下にあると知覚されるときには、その照明内に存在する刺激の明るさが、テスト刺激の表面色モードの判断に対して影響を与えない。

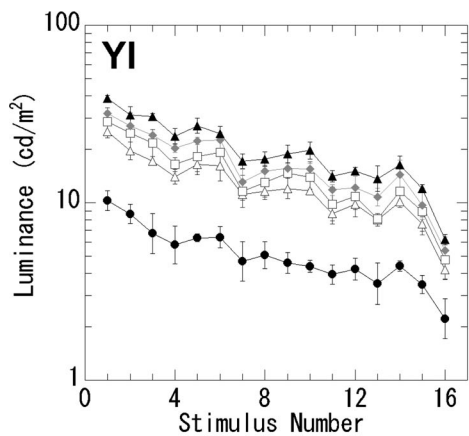
多色小片刺激条件が格子色刺激条件と異なるのは、輝度変化領域内に刺激内での最大の明るさを有する白色刺激が含まれていたことである。それゆえ、inside 条件の増分輝度変化条件では、それに依りて周辺刺激内に含まれる最大の明るさも変化している。もしも、被験者が判断の手がかかりとして、テスト刺激と同じ照明条件下に存在する最も明るいものを基準に表面色モードの判断を行っているのであれば、先ほどの格子色刺激のように照明強度の差から最も明るいものを推定する必要はなくなる。また、テスト刺激の周辺に多色の刺激が配置されているので、



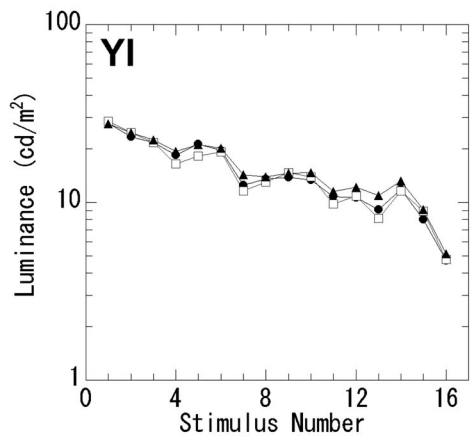
(a)



(b)



(c)



(d)

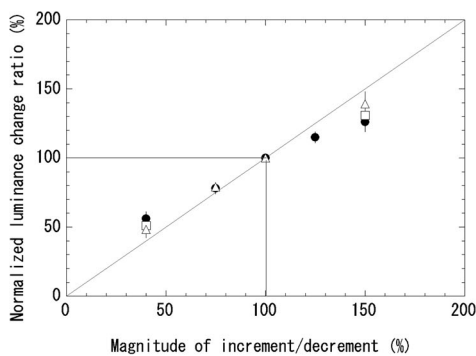
図6 実験1の多色小片刺激における円形輝度変化条件の結果。(a)(b)が3名の被験者の平均の inside, outside 条件, (c)(d)は被験者 YI の結果。

テスト刺激と周辺刺激間の局所的な明るさの比で判断がなされた可能性は少ないと考えられる。

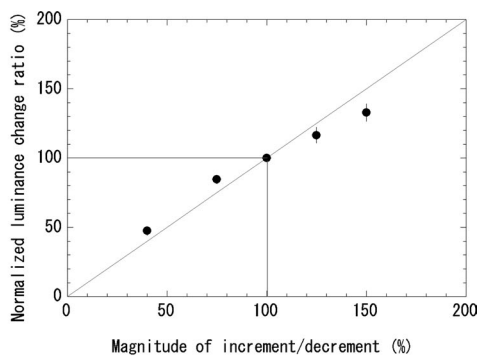
次に、格子刺激と多色小片刺激という刺激形状の違いが、inside 条件での各輝度変化量における表面色モードの限界輝度に影響を与えていたかどうか、過去の研究¹³⁾と同様に表面色モードの限界輝度の変化量から検討する。今回も輝度変化領域が含まれない(100%)条件の結果に対する変化を求める。もしも、視覚系が複数領域の照明強度の違いを正確に評価でき、その評価結果を表面色モード知覚の判断に用いているのであれば、限界輝度の変化量は輝度変化領

域の輝度変化量と等しくなることが予想される。図7に示したのが限界輝度の変化量である。これは3名の被験者の平均値から求めたものであり、誤差棒は被験者間の標準偏差を示す。図の(a)は格子色刺激、(b)が多色小片刺激を用いた場合の結果である。

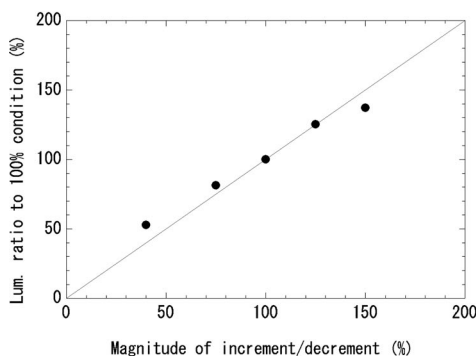
これより、両刺激形状ともほぼ等しい変化量となっていること、および輝度変化量は周辺刺激の輝度変化量と等しくはない(45度の傾きを持たない)ことが分かる。特に、輝度変化領域の変化量が大きくなるにつれて、表面色モードの輝度変化量は相対的に小さくなっている。す



(a)



(b)



(c)

図7 実験1で得られた各刺激条件のうち、inside条件での輝度変化量。(a)：格子刺激+円形，(b)：多色小片刺激+円形，(c)：格子刺激+正方形。(a)内には、輝度変化をステップ状にしたときの結果も示す。

なわち、全体的にS字曲線を描くような特性である。この特性は刺激形状によらないことから、同じ照明条件下に必ずしも基準となる刺激の情報が存在しなくても表面色モードの限界を判断できる可能性が示された。

また、今回の実験では局所的な輝度変化領域を呈示する際に境界部にグラデーションを設けた。これによってその領域が別照明下にあるという知覚が強められ、領域内外を完全に分離して知覚させる作用によって、inside条件の時だけ表面色モード知覚の限界輝度に対してグラデーションの影響があった可能性がある。物理的には、その輝度変化領域が照明に起因するものではなく、その部分だけ明度の異なる刺激が呈示されたと判断することも可能である。

そこで、輝度変化領域の大きさは維持したま

ま、境界部にグラデーションを設けずステップ状に輝度を変化させた格子色刺激を用いて3名の被験者に対して補助実験を行ったところ、先ほどの実験とほぼ同じ結果が得られた(図示せず)。このことは、輝度変化領域のエッジ部の条件は影響がなかったことを意味する。このようなステップ輝度変化刺激呈示条件での被験者の刺激の見えとして、刺激面に焦点が合ったスポット照明によって照明されている、円形、もしくはその一部が円形にくり抜かれたNDフィルタが刺激上に置かれている、などという報告が得られた。

本実験から、刺激に生じた輝度差が照明に起因するという手がかりが与えられれば十分だと分かる。テスト刺激だけがスポットライトによって照明されている場合には、その局所照明

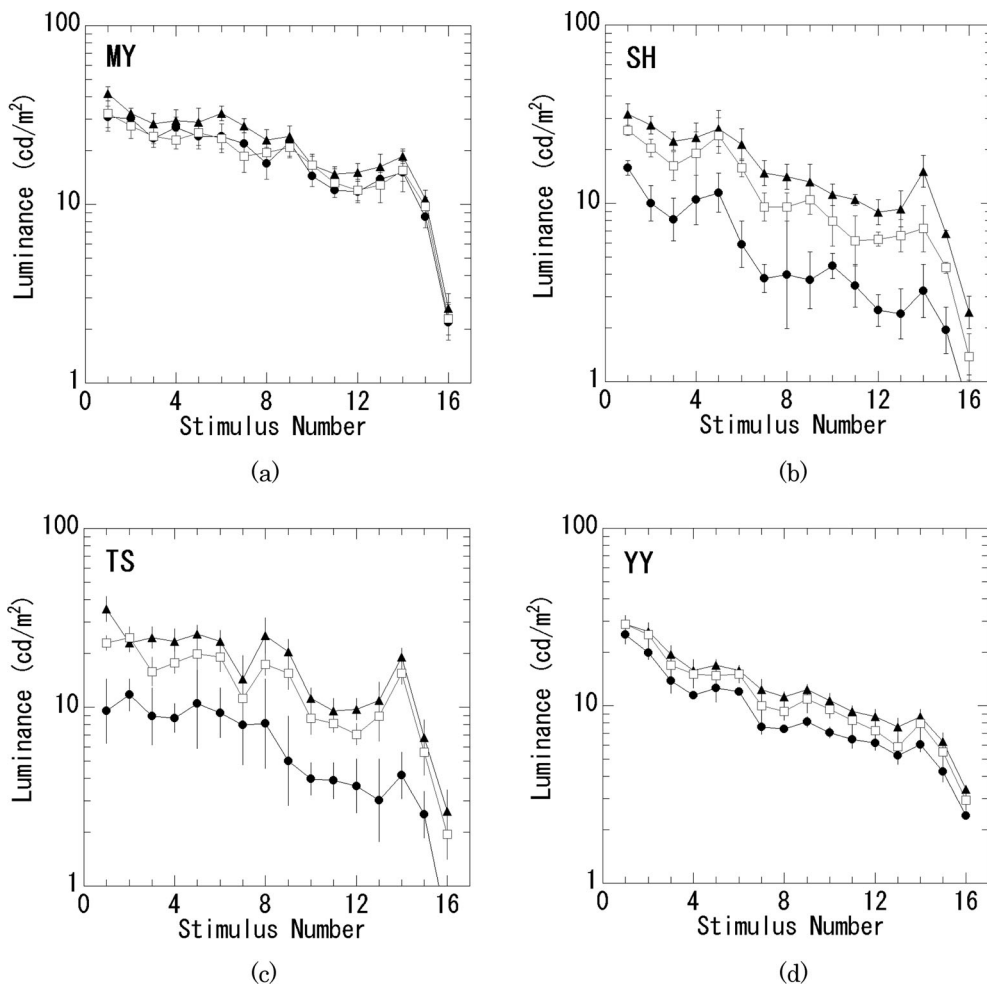


図8 実験2で得られた周辺色刺激のみ輝度を変化させた刺激条件の結果。パネルの違いは被験者を表し、(a) : MY, (b) : TS, (c) : SH, (d) : YY.

に気づくことができないために、本実験で得られたような限界輝度の変化は生じないと思われる。これは、先に紹介した Gelb 効果と同じであろう。見えのモードを判断基準として照明条件や環境に関する照明状態を測定することが提案されているが^{19,21)}、このように十分な手がかりがあれば可能であると予想される。

これらの一連の実験結果からも、表面色モードの判断が、テスト刺激と同じ照明条件下に存在すると知覚された領域内で行われること、また、その領域形状には関係ないことが示された。

3.2 実験2の結果と考察

実験1で、テスト刺激を含む一定領域の輝度

が変化した場合、それに伴って表面色モードの限界が変化するという結果が得られた。この「一定領域の変化」は、背景刺激と周辺色刺激の両者が同時に変化するときだけに起きるのであろうか。先に報告した研究¹¹⁾では、背景刺激全体が灰色でも黒色でもテスト刺激の表面色モードの限界輝度はほとんど変化がなかったが、局所的なコントラストが表面色モードで知覚される限界に影響している可能性が否定できない。実験1の効果は、「一定領域が同様に輝度変化し、それが局所照明に起因する」と知覚されたときに限定されるのであろうか。または、背景刺激や周辺色刺激のいずれかだけの輝度変化に

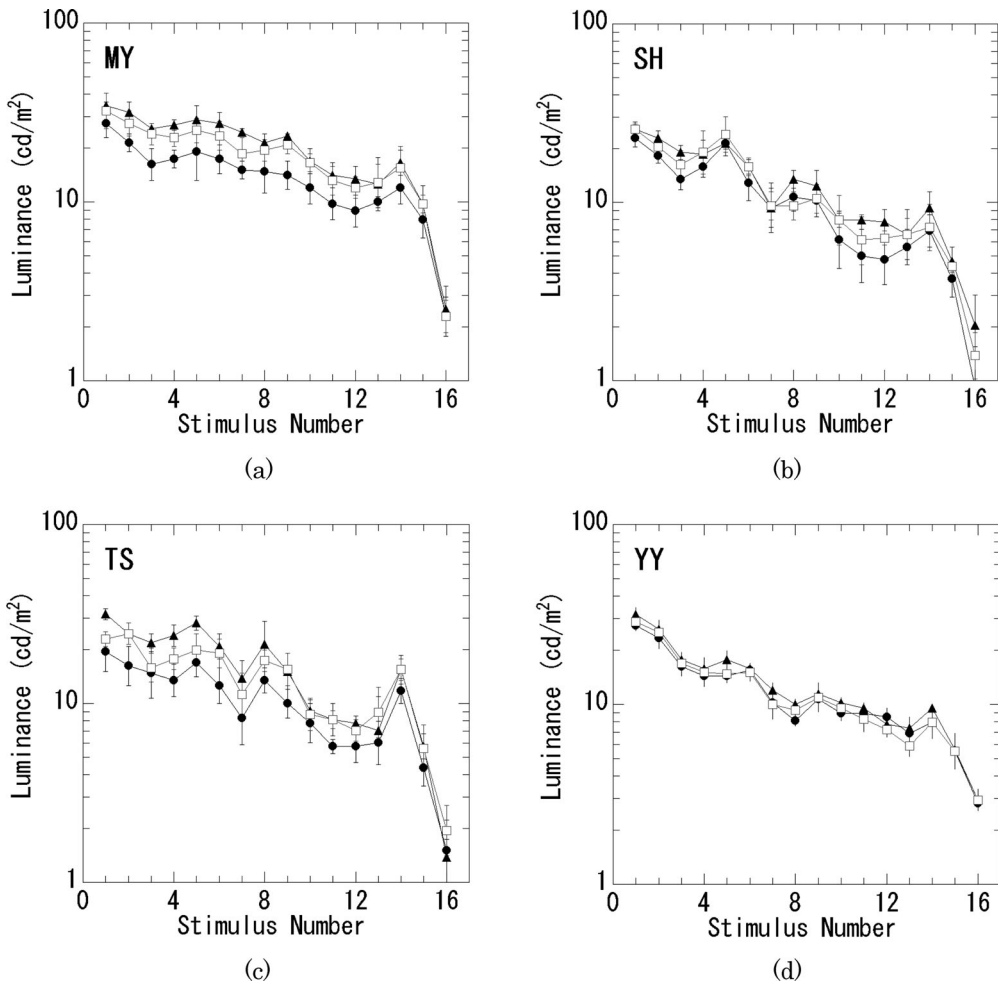


図9 実験2で得られた背景の輝度のみを変化させた刺激条件の結果。(a) : MY, (b) : TS, (c) : SH, (d) : YY.

対しても同じ効果が見られるのだろうか。

輝度変化領域を背景刺激か周辺色刺激のいずれかだけにしたときに、テスト刺激の表面色モードの限界輝度がどのように変化するかを調べたのが実験2である。

図8, 9に輝度変化領域が周辺色刺激のみ、背景刺激のみという条件での4名の被験者の結果を示す。それぞれのパネルが各被験者を表し、それぞれ周辺色刺激、背景刺激を変化させたときの結果を表す。図内の各被験者のデータに付された誤差棒は、5回の調整の標準偏差である。シンボルの違いは輝度変化量の違いを表し、●が40%、▲が150%、□がコントロール条件

(均一条件)である。

図より、表面色モードに知覚される限界輝度の変化に関して、全被験者に共通して見られる効果はない。周辺色刺激だけが輝度変化した場合、その影響が大きく見られた被験者 (SH, TS)、あまり見られない被験者 (MY)、およびその中間 (YY) という3つのパターンを示した。一方、背景刺激だけが変化したときには、SHとYYではほとんど背景輝度の変化に影響を受けていないことが分かる。被験者MYとTSは背景刺激の輝度変化量より小さい変化を示した。

周辺色刺激の変化に伴って限界輝度が変化した被験者に刺激の見えを報告させたところ、周

辺色刺激とテスト刺激が同一のグループに属しているように知覚したという応答が得られた。それによって、主観的輪郭のように周辺色刺激の輝度変化の影響がテスト刺激にも及んだと考えられる。背景刺激だけが輝度変化したときにその影響をあまり受けなかった被験者についても、2色の背景の上に周辺色刺激がのせられている、と背景刺激と他の色刺激とを別のグループとして知覚した可能性が考えられる。このことは、以前報告した格子刺激における黒背景と灰色背景での表面色モードの限界輝度があまり影響を受けなかったことと関連があるかもしれない。すなわち、黒背景では、被験者がテスト刺激と周辺の色票を同一グループとして知覚し、それらの全体的な印象から表面色モードの限界を定めたと考えれば、単純に周辺とのコントラストが大きく変わっても表面色モード知覚の限界があまり変化しなかった、という風に説明できる。

本実験で被験者に与えられたインストラクションは、これまでの実験^{11,13)}と同一であり、被験者がその刺激の構成をどのように知覚するかまでは統制されていない。刺激をどのように認識したのかによって、このような結果の違いが生じたと考えられる。明度のコントラスト判断には、刺激の輝度の変化するエッジ部分に存在する T-junction がターゲットと背景を分離するのに作用しているという報告もある²²⁾ので、これらの手がかりが作用していた可能性もある。本実験から、色の見えのモードの判断が刺激の構成をどのように知覚するかに影響されている可能性が示唆された。

4. 総合的考察

刺激内の一定領域の輝度を変化させることにより、その領域が局所的に別の照明下に置かれているような知覚を与える刺激を用いて、刺激内に呈示されるテスト刺激が完全な表面色モードで知覚される限界輝度を求めた。

その結果、テスト刺激の表面色モードの限界輝度は、その局所的輝度変化領域に含まれると

きのみ変化し、単に呈示された刺激内の最も明るいものを手がかりとして決定されているのではないということが分かった。格子色刺激、多色小片刺激のいずれの刺激条件においても、最も明るい周辺刺激の明るさを増加させても、必ずしもそれに対応して限界輝度値が変化しなかった。刺激条件から、それがテスト刺激と別の照明下に存在すると知覚されたためと考えられる。すなわち、見えのモードの判断は、同一の照明状況下にあると知覚された刺激内で決定されていることが示唆される。これは、単に見えの明るさだけから見えのモードの判断がされているのではなく、照明条件を加味した上で刺激の明度（反射率）を推定することにより、表面色モードの判断をしている可能性を示す。

Anchoring theory^{16,17)}から本実験の結果を説明すると、本実験の結果は、呈示された刺激条件から同一照明条件が適用できる領域が限定され、同一の anchor が作用しうる範囲が限定されることを表すといえる。物理的領域だけではなく、知覚的にグルーピングされた範囲であり、個々が全刺激情報の中で sub-frame を構成していると考えられる。それには、今回の実験で示したように照明が同一かどうか、といった条件だけでなく、以前報告したように刺激内の輝度勾配の方向が異なる場合も含まれる。

また、周辺刺激の輝度変化量と表面色モードの限界となる輝度の変化量の関係に着目すると、本実験のように照明条件を変化させた場合と、輝度勾配に伴う輝度変化との両者で同じ傾向が見られる。すなわち、ある一定の輝度変化を超えると、その輝度変化とテスト刺激が表面色モードで知覚される限界輝度の変化は比例しなくなる。これは、被験者の知覚する明るさが強度に対して非線形であることに起因する可能性もある。Petrov らは、照明強度の判断に対して見えのモードの移行点を用いることを提案しているが²¹⁾、本実験の結果はあまり広範な照明条件に対しては、この判断基準をそのまま利用することは難しいということの意味している。

実験2からは、刺激がどのように構成されて

いるように知覚するかにより表面色モードの限界輝度が変化する可能性が示唆された。平面上に呈示された刺激であっても、相互の関係が奥行きに関する手がかりを与えるように作用し、全体の周辺刺激情報からテスト刺激と同じグループに属する刺激の情報だけが利用されていた可能性もある。呈示される刺激の構成(organization)によって明度が大きく異なって知覚されることは数多くの研究で報告されている²³⁻²⁵⁾し、Gilchristら¹⁷⁾は刺激のbelongnessが重要であると報告している。Bonato and Cataliottiは、図と地の知覚を与えるような刺激を用いて luminosity threshold を求め、図と知覚されたほうが閾値が高いことを示した⁹⁾。また、面積率を変化させると、小さな面積を占める刺激部分の方が発光して(luminous)見えやすいという報告もなされている⁸⁾。奥行き知覚を変化させると同一刺激でも知覚される明度が変化するという報告もなされており²⁶⁾、この効果は3次元的にも作用するのであろう。

本実験では被験者には刺激全体の中でどのようなまとまりで刺激を観察するかという明示的なインストラクションは与えなかった。そのため、刺激がどのように構成されているかという判断が個人によって異なり、必ずしもすべての被験者で統一した刺激の見えとならず、実験2のように個人差が生じたと考えられる。刺激の置かれた状態がどのように知覚されたか、詳細に内観を報告させることによってある程度は実験結果内の個人差が明らかになることが予想される。

5. まとめ

本実験では、領域の一部の輝度が一定の割合で変化した多色刺激を用いて、その条件下で表面色モードとして知覚できる限界輝度を測定した。それにより、輝度変化領域では、その変化の割合に応じて表面色モードの限界となる明るさは変化することが分かった。このことは、表面色モード知覚は判断すべき刺激と同一の照明条件の下に存在する刺激を手がかりとしてい

る可能性と、加えて同一照明下に基準となる刺激が必ずしも呈示されなくても、照明の差が評価できれば他の照明条件下に置かれた刺激から許容される見えの明るさを推定できる可能性も示された。また、刺激がどのような構成になっているのかという知覚的グルーピングに関する認識も表面色モード知覚に影響していることが分かった。

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, 1984.
- 3) 内川恵二, 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) A. Gelb: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. 12. Springer, Berlin, 1929.
- 5) R. M. Evans: Fluorescence and gray content of surface colors. *Journal of the Optical Society of America*, **49**, 1049-1059, 1959.
- 6) R. M. Evans and B. K. Swenholt: Chromatic strength of colors: dominant wavelength and purity. *Journal of the Optical Society of America*, **57**, 1319-1324, 1967.
- 7) F. Bonato and A. L. Gilchrist: The perception of luminosity on different backgrounds and in different illuminations. *Perception*, **23**, 991-1006, 1994.
- 8) F. Bonato and A. L. Gilchrist: Perceived area the luminosity threshold. *Perception and Psychophysics*, **61**, 786-797, 1999.
- 9) F. Bonato and J. Cataliotti: The effects of figure/ground, perceived area, and target saliency on the luminosity threshold. *Perception and Psychophysics*, **62**, 341-349, 2000.
- 10) 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.
- 11) Y. Yamauchi and K. Uchikawa: Upper-limit luminance for the surface-color mode. *Journal of the Optical Society of America A*, **17**, 1933–1941, 2000.
 - 12) K. Uchikawa, K. Koida, H. Meguro, Y. Yamauchi and I. Kuriki: Brightness, not luminance, determines the transition from the surface-color mode to the aperture-color modes of colored light. *Journal of the Optical Society of America A*, **18**, 737–746, 2001.
 - 13) 山内泰樹, 内川恵二: 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. *Vision*, **11**, 1–11, 1999.
 - 14) S. Ullman: On visual detection of light sources. *Biological Cybernetics*, **21**, 205–212, 1976.
 - 15) H. Wallach: Brightness constancy and the nature of achromatic colors. *Journal of Experimental Psychology*, **38**, 310–324, 1948.
 - 16) 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.
 - 17) A. Gilchrist, C. Kossyfidis, F. Bonato, T. Agostini, J. Cataliotti, X. Li, B. Spehar, V. Annan. and E. Economou: An anchoring theory of lightness, perception. *Psychological Review*, **106**, 795–834, 1999.
 - 18) 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関. *光学*, **22**, 289–298, 1993.
 - 19) M. Ikeda, H. Shinoda and Y. Mizokami: Three dimensionality of the recognized visual space of illumination proved by hidden illumination. *Optical Review*, **5**, 200–205, 1998.
 - 20) A. Gilchrist, S. Delman and A. Jacobsen: The classification and integration of edges as critical to the perception of reflectance and illumination. *Perception and Psychophysics*, **33**, 425–436, 1983.
 - 21) A. P. Petrov, C. Y. Kim, I. S. Kweon and Y. S. Seo: Perceived illumination measured. *Color Research and Application*, **23**, 159–168, 1998.
 - 22) F. Bonato, J. Cataliotti, M. Manente and K. Delnero: T-junctions, apparent depth, and perceived lightness contrast. *Perception and Psychophysics*, **65**, 20–30, 2003.
 - 23) T. Adelson: Perceptual organization and the judgment of brightness. *Science*, **262**, 2042–2044, 1993.
 - 24) T. Agostini and D. R. Proffitt: Perceptual organization evokes simultaneous lightness contrast. *Perception*, **22**, 263–272, 1993.
 - 25) M. Ikeda, H. Shinoda and Y. Mizokami: Phenomena of apparent lightness interpreted by the recognized visual space of illumination. *Optical Review*, **5**, 380–386, 1998.
 - 26) A. L. Gilchrist: Perceived lightness depends on perceived spatial arrangement. *Science*, **195**, 185–187, 1977.