

表面色モードの限界輝度に及ぼす不自然照明光下での 周辺刺激の輝度色度変化の影響

沼田 藍・福田 一帆・内川 恵二

東京工業大学 大学院総合理工学研究所
〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 G2-1

1. はじめに

色の見えには、色が物体の表面の属性のように知覚される表面色モードと、色が光の属性のように知覚される開口色モードの2種類のモードがある。色の見えのモードは色を物理的に何で作っているかだけでは決定せず、色をどのような環境で見るかにも依存する。過去の研究では、表面色モードの限界輝度はさまざまな要因により影響されていることが示されている¹⁻³⁾が、周辺刺激の輝度分布がテスト刺激の表面色モードの限界輝度に及ぼす影響については十分調べられていない。しかし、GolzとMacLeod⁴⁾は自然界の輝度と色度の相関を持った周辺刺激がテスト刺激の色の見えに影響することを明らかにした。これらのことから、モードの限界輝度に関しても周辺刺激が影響する可能性はあると考えられる。

また、今までの我々の実験結果^{5,6)}から、照明光を黒体放射光にして物体表面からの反射光をシミュレートして周辺刺激の輝度色度分布を決めると、表面色モードの限界輝度色度分布は、自然界に存在する物体表面の輝度色度分布に類似した一定形状を保ったまま照明光の色度方向にシフトすることが示された。このことから、人間の視覚系は何らかの形で自然物表面の輝度色度分布や表面色の最大明度を持つオプティマルカラーを知っていて、それを色の見えのモード判断に使っていると考えられる。もし

視覚系がこれらの情報処理を自然環境から獲得したのであれば、我々人間がオプティマルカラーを参照できるのは自然光に近い照明条件に限られていると考えられる。つまり、黒体放射光のような自然な照明光ではなく人間が不慣れな照明光の下では、オプティマルカラーの参照が出来ずに周辺刺激の輝度分布に合わせてモード判断を行うだろう。

そこで、本研究では人間の視覚系が表面として知覚するための色光の限界輝度が、自然界に存在しない照明光を用いた周辺刺激の輝度色度分布によってどのような影響を受けるのかを調べる。

2. 実験方法

2.1 装置と刺激

実験刺激は暗所に設置されたCRTディスプレイ (BARCO Reference Calibrator V, 21インチ, 解像度1844×1300, リフレッシュレート95Hz) 上に呈示される。実験ブース内はCRTディスプレイの光以外はほとんど入らない。被験者は顎台で頭部を固定され、CRTディスプレイの中心が両眼の中心の位置となるように顎台の高さを調整する。CRTディスプレイまでの視距離は114cmである。被験者の応答にはテンキーを用いる。PC上でMATLABにより実験を制御し、視覚刺激作成装置 (ViSaGe: Cambridge Research Systems) を介して刺激呈示を行う。

本実験では重なりあう円のランダムパターンを刺激として用いた。刺激サイズは、画面全体が視角15°四方であり、周辺刺激とテスト刺激

の円形は直径視角 2° である。周辺刺激は900個であり、中央にテスト刺激が呈示される。

周辺刺激のデータベースは、Brownが測光した自然物の分光反射率⁷⁾を使用する。自然界に存在しない照明光として、黒体放射や昼光には存在しないようなスペクトルを持ち、黒体軌跡と異なる色度方向へと変化する照明光を作るため、黒体放射6500Kのスペクトルにフィルタをかけた照明環境をシミュレートする手法を用いた。今回の実験では、マゼンタとグリーン²⁾の2種類のフィルタを用いた。データベース内574種類の反射率のうち、上記2種類のフィルタ条件で共通してディスプレイに呈示できるものは251種類あった。これらを図1に示す。図内には参考値として、同じ251種類の分布の照明光色温度6500K環境下における色度も載せる。また、図内の丸いシンボルは各照明光の色度点を示す。

実験では、251種類の周辺刺激のうち180種類を選択して、3種類の周辺刺激の輝度色度分布形状条件を作成した。180種類の選択においては、照明光色温度6500Kに対する分光反射スペクトルを求めて、赤緑方向の色度軸-輝度軸グラフで見たときに(1)自然界の色度輝度分布全体同様な山型の分布、(2)平坦な分布、(3)谷型の分布となるように恣意的に選択することで異なる刺激分布を作成した。すなわち、周辺刺激は照明条件2種類×輝度色度分布形状3種類のすべての組み合わせからなる合計6種類で

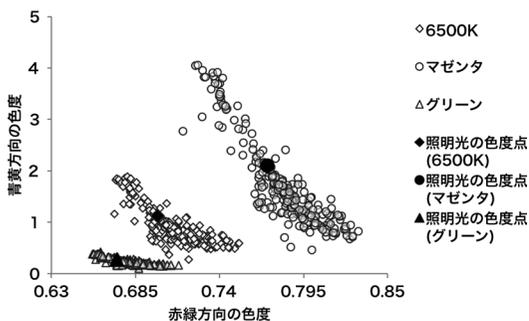


図1 各照明光環境下での251種類の周辺刺激と照明光の色度。参考値として、同じ251種類の分布の照明光色温度6500K環境下における色度も載せる。また、図内の黒丸シンボルは各照明光の色度点を示す。

ある。照明強度は、周辺刺激の輝度値の平均がすべての条件で 2.5 cd/m^2 と等しくなるように設定した。

テスト刺激はすべてで13色ある。13色中、8色は照明光条件間で共通の分光反射率データから求めた色度を用いた。残りの5色については、照明光条件ごとにディスプレイに呈示できる分光反射率データから求めた色度すべての中から選んだので照明光条件間では重複していない。テスト刺激の色度13色は、図2と図3に示すように色度図上で2方向に分布するように設定し、各方向のテスト刺激をそれぞれ刺激群A・Bとする。刺激群A・Bのテスト刺激はそれぞれ7つずつであるが、そのうち1つは重複している。2つに刺激群を分けた理由は、周辺刺激が広く分布している黒体放射軌跡方向の色

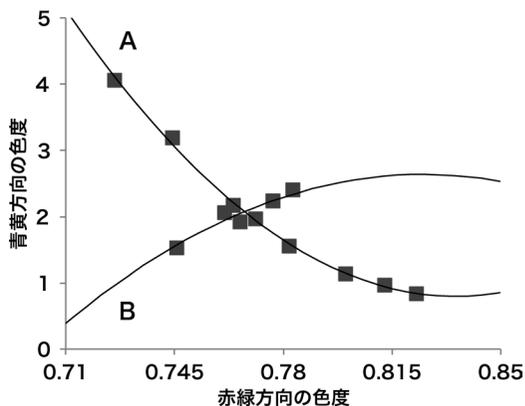


図2 照明光マゼンタでのテスト刺激の色度。

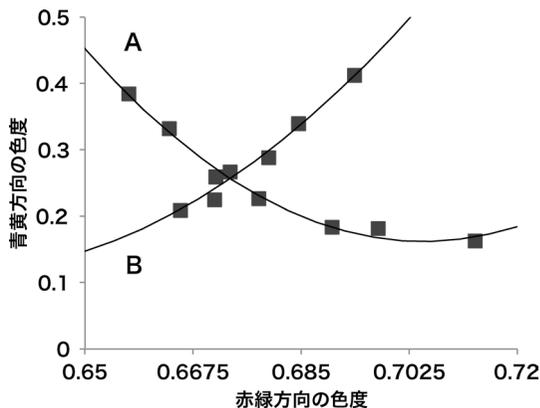


図3 照明光グリーンでのテスト刺激の色度。

度でのモードの上限輝度変化を見るため（刺激群A）だけでなく、照明光色度の変化方向のシフトを見るため（刺激群B）である。

2.2 手続き

被験者はまず、2分間暗順応し、その後30秒間刺激に順応する。順応刺激として照明光色温度6500Kの環境下における白色点色度の一様刺激を用いた。これは、前のセッションでの刺激に対する順応をキャンセルし、次のセッションに向けて明るさに慣れるためである。画面の輝度は、その後の周辺刺激の平均輝度と一致している。被験者は、テスト刺激の輝度を調整して、完全にテスト刺激部分が表面であるように見える限界である「表面色モードの上限」に見えるを合わせるように指示された。この際、周辺刺激の中にあるテスト刺激と色度が近い特定の刺激とは直接比較しないよう注意が与えられた。

テスト刺激の13色度に対して周辺刺激は輝度色度形状が3条件、照明フィルタ条件が2条件の6通りの条件があった。セッション内では周辺刺激の輝度色度形状条件と照明フィルタ条

件は変化せず、1セッションあたりすべてのテスト刺激に対する測定を各1回ずつ計13試行おこなった。これを1日30セッションで2日間にわたって行われた。これにより、各条件・テスト色度に対して計10回の反復を行った。

2.3 被験者

被験者はKK（29歳男性）、KS（57歳男性）、YK（24歳男性）の3名で、石原式色覚検査表によりいずれも色覚正常者と判断された。3名とも心理物理学実験の経験者である。

3. 結果

得られたテスト刺激の表面色モードの限界輝度値を、テスト刺激の色度に近い色度を持つ周辺刺激の輝度値と比較するために、テスト刺激を便宜上2つの刺激群に分け、刺激群ごとにテスト刺激の色度に近い周辺刺激を抽出した結果を輝度色度座標にプロットする。

3.1 黒体放射軌跡方向のテスト刺激における表面色限界輝度（刺激群A）

図4に6種類の周辺刺激条件に対する各被験

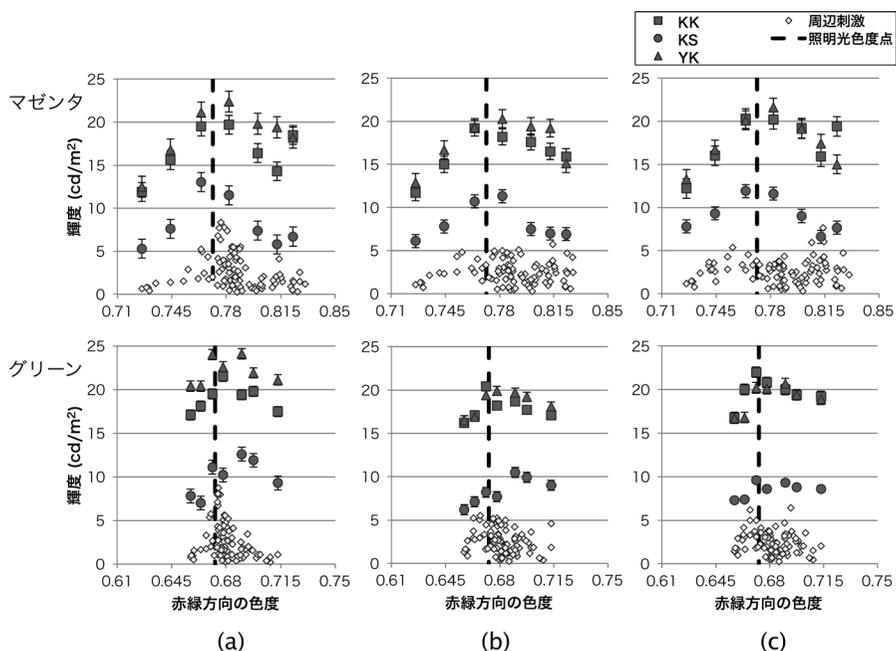


図4 黒体放射軌跡方向のテスト刺激に対する結果。(a)山型, (b)平坦, (c)谷型条件。周辺刺激は、実験で使用したものの約半数にあたるテスト刺激の色度に近い色度を持つものを表示している。エラーバーは標準誤差を示している。

者の応答結果を示す。ここでは、周辺刺激総数180色のうち約半数に当たる90色前後の輝度色度分布を抽出して図示しているが、輝度色度分布の形状の包絡線は抽出前後で大きな違いは見られない。

照明光ごとの結果を見てみると、照明光マゼンタでは、被験者ごとに程度の差はあるものの、赤緑方向の色度の変化に沿って、山型の限界輝度勾配が見られる。また、被験者KSに関してはすべての分布形状条件において他の2人の被験者よりも限界輝度を低い値に設定する傾向にあった。このような個人差については、個人や年齢により明るさ判断に寄与する色みの程度が異なることと関係があるとも考えられる。山型と谷型の形状条件においては、被験者KKと被験者KSが、テスト刺激の中で一番赤緑方向の色度が高い刺激において、そのテスト点以外で構築される山型の限界輝度勾配よりも高い限界輝度に設定している。これは、周辺刺激が一定の色度範囲を超えると、視覚系がモード判断の手がかりとして特定の輝度色度分布を参照でき

なくなるという可能性を示唆するものである。

照明光グリーンでは、いずれの被験者においても、マゼンタ条件に比べ、赤緑方向の色度の変化に沿ったテスト刺激の限界輝度勾配が小さい。山型の形状条件ではテスト刺激中の端点と中心付近の点での限界輝度は異なるものの、被験者KSと被験者YKにおいては明確なピーク輝度のようなものは見られない。また、平坦の形状条件においては照明光マゼンタでの結果と同様に赤緑方向の色度の変化に沿って、山型の限界輝度勾配が見られたが、谷型の形状条件における被験者KSの応答結果は、テスト刺激の赤緑方向の色度にかかわらず、ほぼ一定の限界輝度に設定していた。

3.2 照明光色度変化方向のテスト刺激における表面色限界輝度（刺激群B）

図5に各被験者の応答結果を示す。周辺刺激の輝度色度は、総数180色のうち45色前後を抽出して図示しており、輝度色度分布の形状の包絡線は抽出前後で大きく異なる。これは、周辺刺激が広く分布する色度方向と直交する方向

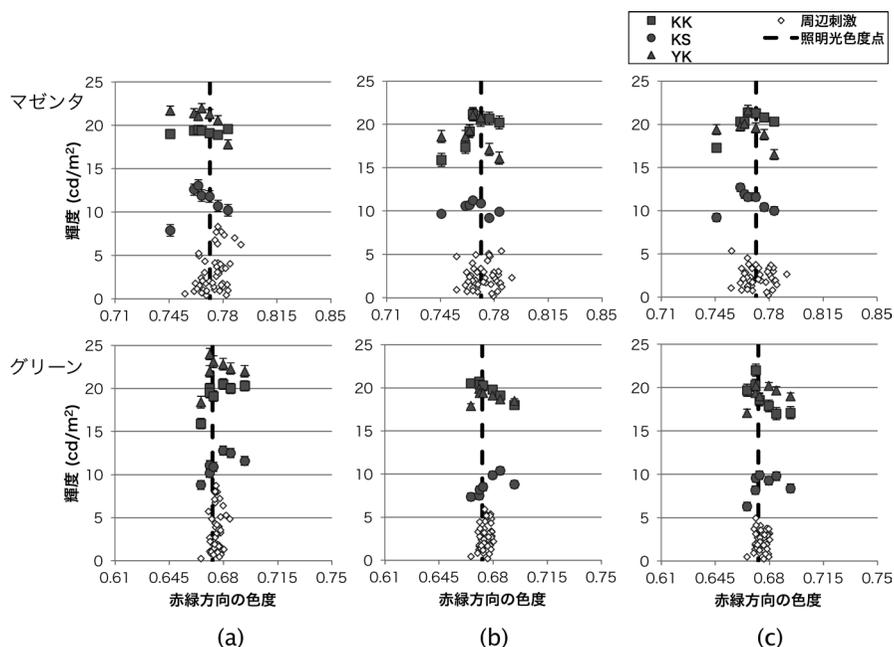


図5 照明光色度変化方向のテスト刺激に対する結果。(a)山型、(b)平坦、(c)谷型条件。周辺刺激は、実験で使用したもの約1/4にあたるテスト刺激の色度に近い色度を持つものを表示している。エラーバーは標準誤差を示している。

に刺激群Bの曲線が通っているので、抽出により輝度色度の分布範囲が狭くなるためである。

照明光ごとの結果を見てみると、照明光マゼンタでは、刺激群A同様、被験者ごとに程度の差はあるものの、赤緑方向の色度の変化に沿って、山型の限界輝度勾配が見られる。また、被験者KSに関してはすべての分布形状条件において他の2人の被験者よりも限界輝度を低い値に設定する傾向にあった。平坦と谷型の形状条件においては、照明光の色度点よりも低い色度において、山型の形状条件よりも被験者KKと被験者YKが限界輝度勾配を大きく設定している。

照明光グリーンでは、刺激群A同様、いずれの被験者においても、マゼンタ条件に比べ、赤緑方向の色度の変化に沿ったテスト刺激の限界輝度勾配が小さい。ただし、色度に関係なく一定の限界輝度をとっていたわけではなく、ある程度の勾配は見られた。

4. 考 察

照明光マゼンタにおいては従来の実験同様、赤緑方向の色度の変化に沿って、山型の限界輝度勾配が見られた。これは、視覚系が周辺刺激の色度変化に対して、不自然な照明光でありながらオプティマルカラーなどを想定して色の見えのモード判断を行うことができることを示している。しかし、被験者によっては、テスト刺激の中で一番赤緑方向の色度が高い、すなわち彩度が高いテスト刺激において山型の輝度勾配とは関係ない高い限界輝度に設定していた。これは、周辺刺激がある一定の色度範囲を超えると、視覚系がモード判断の手がかりを失ってしまう可能性を示唆している。また、照明光グリーンの条件では、照明光マゼンタと比べてテスト刺激の中の端点の限界輝度と限界輝度のピーク値との差が低く、実験条件によってはピーク色度の個人差が大きい結果となった。

グリーンの照明において明確な被験者の傾向が出なかった理由を考える。特に、照明光グ

リーン条件の周辺刺激は、照明光マゼンタの周辺刺激に比べて全体的にモノトーンに見えていた。このことにより色恒常性が成立するために十分な色情報が存在しなかったと考えられる。緑がかった照明でも、刺激全体がモノトーンに見えない程度の強度のものを用いれば恒常性が成立する可能性もある。このように見えが極端に違う場合、視覚系がそれを照明起因と考えるか分布起因と考えるかは今回の実験では切り分けることができず、今後の課題である。

文 献

- 1) F. Bonato and A. L. Gilchrist: The perception of luminosity on different backgrounds and in different illuminations. *Perception*, **23**, 991–1006, 1994.
- 2) J. M. Speigle and D. H. Brainard: Luminosity thresholds: Effects of test chromaticity and ambient illumination. *Journal of the Optical Society of America*, **13**, 436–451, 1996.
- 3) F. Bonato and J. Cataliotti: The effect of figure/ground, perceived areas, and target saliency on the luminosity threshold. *Perception and Psychophysics*, **62**, 341–349, 2000.
- 4) J. Golz and D. I. A. MacLeod: Influence of scene statistics on colour constancy. *Nature*, **415**, 637–640, 2002.
- 5) A. Numata, K. Fukuda and K. Uchikawa: Influence of Luminance vs. Chromaticity Distribution of Surrounding Surfaces on Luminosity Threshold of a surface color. *OSA Vision Meeting 2011*, P30, 47, 2011.
- 6) 沼田 藍, 福田一帆, 内川恵二: 表面色モードの限界輝度における周辺色度の輝度色度分布と照明光の色温度の影響. 映像情報メディア学会技術報告, **36**, 35–38, 2012.
- 7) R. O. Brown: Backgrounds and illuminants: The yin and yang of colour constancy. *R. Mausfeld and D. Heyer (eds): Colour Perception—Mind and the Physical World*, Oxford University Press, 247–278, 2003.