

色恒常性の照明光による限界

栗木一郎・内川恵二

東京工業大学大学院総合理工学研究科

〒227 横浜市緑区長津田町4259

1. はじめに

我々が物体の色を観察しているとき、物体の位置の変化によって光のあたる部分から陰になったり、物体にあたる照明光の色が変わったりして、物体表面での反射光スペクトルが変化しても"物体そのものの色が変わったのではない"と感じる現象がある。この現象を色の恒常性(color constancy)と呼ぶ。

この現象についての研究は19世紀から行なわれているが、明確なメカニズムはわかっておらず、近年特に研究の盛んな領域である。1970年代にはLand and McCannによってcolor retinex理論が提唱され、それに着目した実験が行なわれた。色恒常性の研究は大別して心理物理学的研究と計算的研究の2つに分類でき、心理物理学的研究においてはArend and Reeves²⁾の同時対比(simultaneous contrast)に着目した研究などが行われている。計算的研究では、物体固有の物理量である表面の分光反射率を推定する手法がD'Zmura and Lennie³⁾らによって研究されている。

しかし、一方で光源色に見える刺激呈示条件や、単色光の下では色恒常性が成り立たないこともわかっている。過去のほとんどの実験では色恒常性が成立する範囲でしか実験は行なわれておらず、色恒常性の限界に着目した実験はほとんどない。我々は色恒常性の成立要因を変化させることによって、どのような刺激呈示条件で色恒常性が失われるかを調べることを考えた。今回は特に照明光の色度点を変化させた条件での実験を行なったのでその結果について報

告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置

実験には色票とCRTを用い、色票の呈示条件を変化させたときの被験者の色の見えをCRT上に再現してもらうことによりマッチングを行なった。色票は2台の隠れたプロジェクターによって照明され、照明光の色度点はプロジェクターの前に置いたフィルターによって変化させる。今回の実験では色度点を黒体放射軌跡に沿って約1700K, 2400K, 3400K, 6000K, 30000Kの相関色温度を持つ5つの色度点に変化させた。テスト刺激となる色票はOSA Uniform Color ScaleのL=2から8枚を選び、うち一枚はN5に相当するグレイである。色票の呈示条件は周辺刺激ありと周辺刺激なしの2通りで、周辺刺激はN5相当のグレイである。刺激サイズはテスト刺激が2.2deg.×2.2deg., 周辺刺激が4.4deg.×4.4degである(図1)。刺激面の照度はグレイの色票を置いたときにその輝度が20cd/m²になるように調整してある。CRTに呈示されるマッチング刺激はつねに色票側の刺激と同じサイズ

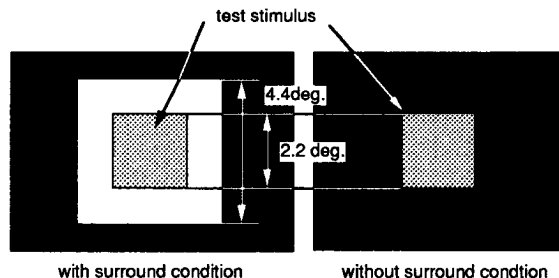


図1 呈示刺激概略図。左が周辺刺激あり、右が周辺刺激無しの呈示条件。

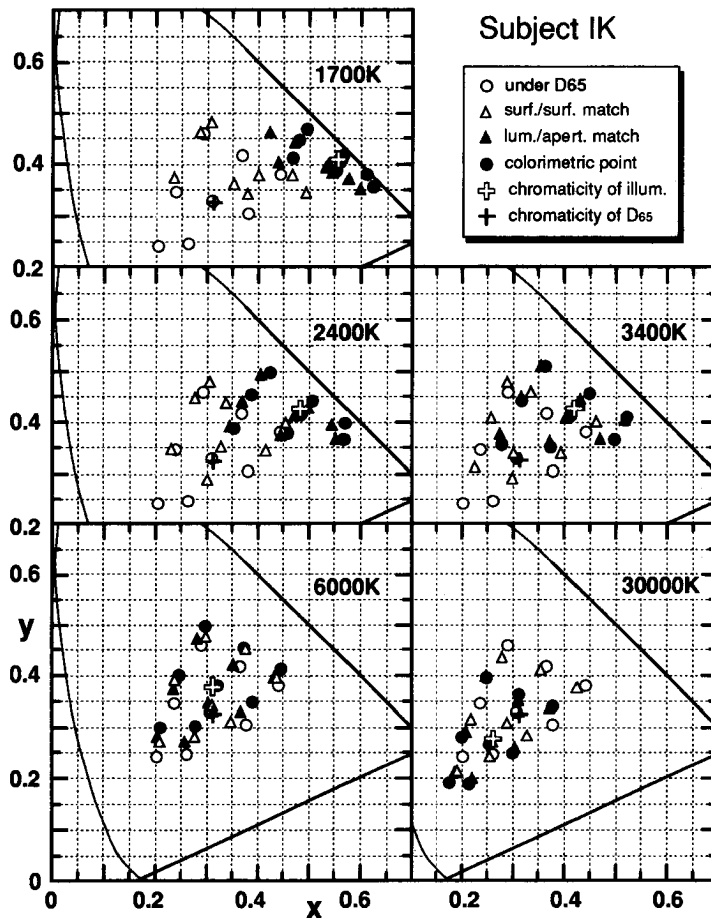


図2 被験者IKの実験結果。白い+シンボルは照明光の色度点，黒い+シンボルはD65の色度点を表す。

に、同じ呈示条件で表示され、周辺刺激ありの場合はD65照明下でのグレイに相当する色度点に固定された周辺刺激(20cd/m²)を呈示している。このマッチング刺激のうち、テスト刺激に相当する部分は被験者がトラックボールで色、輝度を調節できるようになっている。被験者はアゴ台に頭を固定し、タイマー制御の2つのシャッターを通して1.4mの距離から右目単眼でテスト刺激とマッチング刺激を観察する。シャッターは交互に開き、過度の順応を避けるために色票側4秒、CRT側6秒呈示となっている。マッチング時間は特に制限しない。実験者が色票を交換する間は両シャッターとも閉まり、暗順応防止のための白色蛍光灯が点灯する。被験者IK, RA, TSは共に色覚正常で、1つの判断基準、刺激呈示条件について5回のマッチングを行なっている。

2.2 実験手順

被験者はあらかじめ2分間暗順応防止灯に順応したのち実験を始める。被験者のマッチングの判断基準は2種類あり、ここでは"luminant color match", "surface color match"と呼ぶ。"luminant color match"は測色的に刺激の色の見えを合わせるもので、周辺刺激が呈示される条件の場合にはそれを無視して中心のテスト刺激の見えを合わせようとするものである。"surface color match"の場合には、被験者はマッチング刺激とテスト刺激とを同じ照明光の下に持っていったら全く同じ色を持つ色票になるように合わせるよう、指示されている。周辺刺激ありの呈示条件ではluminant color match, surface color matchのいずれも行なったが、周辺刺激なしの条件ではsurface color matchはできなかった。なお、今回の発表では周辺刺激ありの

luminant color matchの結果は割愛した。

3. 実験結果

図2は被験者IKの結果である。各グラフの右上に示した色温度の照明下でのマッチング結果をxy色度図上にプロットしたものである。シンボルの違いは刺激呈示条件と判断基準の違いである。○はD65照明下での8枚の色票の色度点であり、これは図2のどのグラフにおいても同じである。●は右上にかかれた相関色温度を持つ照明光の下での8枚の色票の色度点である。以上2つは分光放射輝度計(トプコンSR-1)での測光値である。▲は周辺刺激無しでの呈示条件(aperture color mode)でluminant color matchを行なった(以下lum./apert.と略)結果で、△は周辺刺激ありでの呈示条件(surface color mode)でsurface color matchを行なった(以下surf./surf.と略)結果である。マッチング結果の色度点が●に一致すれば色恒常性が存在せず、マッチング結果の色度点が○に近づくほど高い色恒常性が存在すると言える。いずれのグラフも▲は●に極めて近く、色恒常性は存在しない。一方で、いずれの色温度の照明下でも△は●から○のほうへ大きくシフトしており、色恒常性が存在することが

認められる。他の被験者も同様の傾向を示した。

次に、色恒常性の成立の度合いの照明光による変化を見るために、照明光毎にそれぞれの色票について○-△、○-▲のu'v'空間での距離を計算して平均をとり、プロットしたのが図3である。横軸は照明光のD65照明からのu'v'空間での距離を表し、縦軸はu'v'空間上での平均の距離を表している。シンボルの違いは被験者とマッチング条件の違いを表しており、◇は図2の○-●間のu'v'空間での距離の平均を表している。図3の白シンボルはsurf./surf.の結果、黒シンボルはlum./apert.の結果である。色恒常性が成り立っていればマッチング結果はD65照明下での色度点に近づくので、点の位置は横軸に近くなり、逆に、マッチング結果が各照明下での色度点に近づくほど点の位置は◇に近づくことになる。結果は明確で、いずれの被験者も白シンボルが黒シンボルよりも下にあり、いずれの照明条件でもsurf./surf.での色恒常性の存在を示している。lum./apert.の結果(黒シンボル)は◇にほぼ一致し、色恒常性がないことを示している。

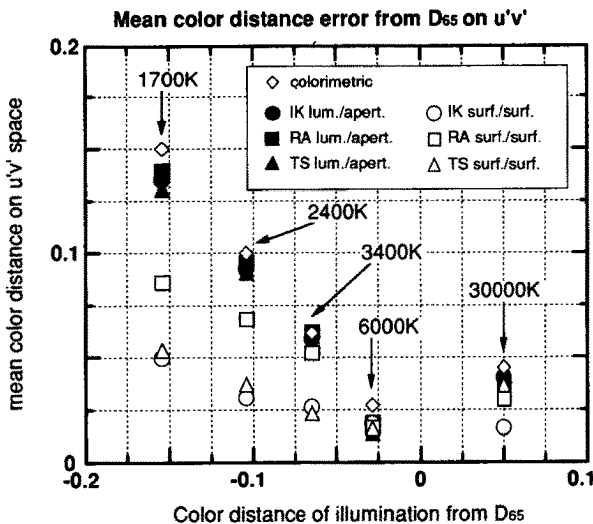


図3 各照明条件における色度点のD65照明時の色度点からの平均距離

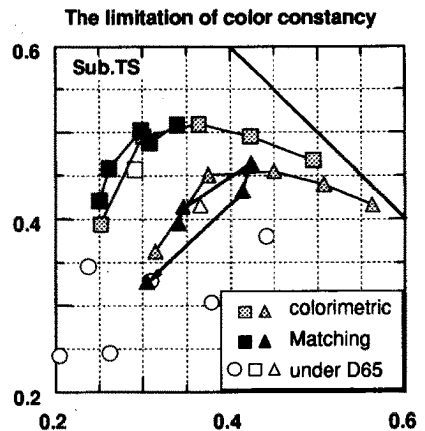


図4 被験者TSにおける色恒常性の限界の例。△の色票の見えの軌跡(太線)では2400K→1700Kの照明光の変化において矢印で示したような無彩色へのシフトが見られる。

4. 考察

以上の結果から、周辺ありの刺激呈示条件では今回用いたいずれの照明条件でも色恒常性は存在し、まだ完全な限界を迎えていないことがわかる。

周辺刺激なしの呈示条件で全く色恒常性を示さなかったのは、“表面色”の色恒常性の限界ではなく、光源色として知覚されたためである。そのため、マッチング結果が図3の◇に近づくことのみが色恒常性の限界であるとはいえない。一方、トンネル内照明(低圧ナトリウムランプ)のような単色光の下での物体の色は“表面色”として知覚されながら、全く色恒常性が存在せず、無彩色の世界に見える。つまり、表面色の見えを保ちつつ限界を迎えた場合には、見えが無彩色になると推測できる。今回の実験結果の中から、このような傾向を示した結果の一部を紹介する。

図4は被験者TSのある2枚の色票のsurf./surf.の結果を、照明光を変化させたときの軌跡としてxy色度図上にプロットしたものである。白シンボルはD65照明光下での色度点、黒シンボルはマッチング結果である。グレイシンボルは左から30000K, 6000K, 3400K, 2400K, 1700Kの時の測色値に基づく色度点である。シンボルの形状はテスト刺激の色票の違いを表している。照明光の変化に伴う色度点の変化にもかかわらず□はほぼ一定位置にあり、色恒常性が成立していることを示している。△は30000Kから2400Kの間は□と同様にほぼ一定位置にあるが、1700Kに照明が変化した時に別の一点に向かってシフトしている。この位置はD65照明下でのグレイの色度点に相当し、被験者の色の見えが無彩色になっていることがわかる。ここでは実験とは別に、被験者が安定に表面色として知覚していることも確認している。同様の結果は、他の被験者の結果にも見ることができた。

この実験に用いた色票はグレイを中心に均等に広がった8枚だけなので、無彩色方向へのシフトを起こしたのが光源の色度点に近い色票だったためである、と確言することはできない

が、その傾向があることは論理的にも説明できると考えている。

当面の実験課題としては、もっと単色性の高い光源を用いて表面色の色恒常性の限界(無彩色方向へのシフト)を確認し、限界の生ずる点を探ることにあると考えている。

文 献

- 1) E. H. Land and J. J. McCann: Lightness and retinex theory. *Journal of the Optical Society of America*, 61, 1-11, 1971.
- 2) M. D'Zmura and P. Lennie: Mechanizms of color constancy. *Journal of the Optical Society of America A*, 3, 1662-1672, 1986.
- 3) L. Arend and A. Reeves: Simultaneous color constancy. *Journal of the Optical Society of America A*, 3, 1743-1751, 1986.