

Title	知覚的な無彩色の観察光源依存性の検討
Sub Title	Dependence of the perceptual achromatic color on the viewing illuminations
Author	鈴木, 恒男(Suzuki, Tsuneo)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2006
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学 No.40 (2006. 9) ,p.1- 12
JaLC DOI	
Abstract	To study the dependence of the perceptual achromatic color on the lightness level and the viewing illuminations, the four lightness levels of the near achromatic colors and the three viewing illuminations are prepared. The psychological assessment is to classify the near achromatic colors at the same lightness level into two categories. The one category is to accept as the achromatic color, and the other to reject as the achromatic color. The acceptance as the achromatic color (white, light gray, medium gray, dark gray) depends on the viewing illuminations. At the low color temperature (incandescent lamp), the bluish colors are more acceptable. I assume that the psychological structure of the judgement of the achromaticity is the same at lightness levels.
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20060930-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

知覚的な無彩色の観察光源依存性の検討

鈴木 恒 男

The Study of the Dependence of the Perceptual Achromatic Color on the Viewing Illuminations

Tsuneo SUZUKI

Summary—To study the dependence of the perceptual achromatic color on the lightness level and the viewing illuminations, the four lightness levels of the near achromatic colors and the three viewing illuminations are prepared. The psychological assessment is to classify the near achromatic colors at the same lightness level into two categories. The one category is to accept as the achromatic color, and the other to reject as the achromatic color.

The acceptance as the achromatic color (white, light gray, medium gray, dark gray) depends on the viewing illuminations. At the low color temperature (incandescent lamp), the bluish colors are more acceptable. I assume that the psychological structure of the judgement of the achromaticity is the same at lightness levels.

1. はじめに

白, 灰色, 黒の色名で呼ばれている無彩色は色空間の中心に位置し, 色空間の構成や色再現においては基準となる重要な色である。測色学ではこの無彩色(知覚的意味では色相を持たない知覚色。JIS Z 8105 色に関する用語の定義)を引き起こす刺激を無彩色刺激と定義し, その意味を「一般的な条件の下で, 無彩(知覚)色を生じさせる色刺激。備考: 反射・透過物体の測色においては, 完全拡散反射・透過面(体)の色は, それを照明する光源が高い彩度に見える場合を除いて, 全てのイルミナントに対して無彩色刺激になると考えられる。(JIS Z 8105 色に関する用語)」としている。

慶應義塾大学日吉心理学教室(〒223-8521 神奈川県横浜市港北区日吉4-1-1): Psychology Laboratory, Keio Univ., 4-1-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8521 Japan.
[Received Mar. 31, 2006]

しかし、この無彩色のなかで、明度の高い白に関しては白色度の研究が多くなされており、その結果は必ずしも観察光源が知覚的に最も白く感じる色ではないとされている。この観察（順応）光源と、その光源での知覚的に最も白い色との関係の検討は少なく、反射物体での研究は行われていない。

また、この知覚的な無彩色に関する実験的な検討は白以外の色ではなされていない。これは、明度の高い白で起こった知覚的事象が他の明るさでも起こることを前提としているのであるが、実験的にはそれが正しいか否かも明確ではない。それ故、白と他の明るさの関係は実験的に検討する必要がある。

本論文では色再現に於ける無彩色の問題を検討する目的の一つとして、白、明るい灰色、中間の灰色、暗い灰色までの4段階の明るさの無彩色近傍の色を、色や画質の評価に使用される範囲での光源で観察し、各色の無彩色としての許容率から知覚的な無彩色が観察光源にどの様に依存するのか、またその傾向は無彩色の明度に依存するのかを検討するものである。

2. 知覚的な無彩色に関する過去の研究

知覚的な無彩色の検討は明るい色である白に対する研究が中心である。この白に関する研究はテレビ関係で多く行われている。D. M. Zwick (1973)¹⁾ は基準白色を9300KとD65に調整した受像器を用意し、D65の蛍光灯照明下で色再現に関する比較を行ったところ、D65の方が評価結果が良いとの結果を報告している。

大西、若林 (1977)²⁾ は室内照明光とテレビ画面の白の好ましさを調べ、室内照明光よりも色温度が3000Kから4000K高い白が好まれ、蛍光灯照明下では7500Kから10000Kの白色が好まれる理由付けを行っている。

佐々木、長岡、富本 (1977)³⁾ は画像の輝度と好ましい白の関係を調べ、好ましい白の色温度は画像の輝度に依存し、輝度レベルが高いほど色温度の高い白が好まれると報告している。

テレビ以外では、明るさと知覚的な白の関係を、L. M. Hurvich & D. Jameson (1951)⁴⁾ がテスト刺激の色温度、大きさ、提示時間、順応刺激の色温度、輝度の関係を白いと初めて感じる絶対感覚を引き起こす輝度値で調べた。この結果、白の感覚を引き起こす輝度は観察者、視野の大きさ、提示時間、順応状態に依存することを報告している。

R. W. G. Hunt & L. M. Winter (1975)⁵⁾ は色々な色温度に順応した時の知覚的に無彩色と感じる色を求めた。その結果、順応光が5500Kから6500Kの時は、ほぼその光が無彩色に感じるが、順応光がこの範囲よりも高い色温度では、順応光よりも黄みの色温度が低い光を無彩色に感じ、順応光がこの範囲よりも低い色温度では順応光よりも青みの色温度が高い光を無彩色に感じると報告している。

白色知覚に関する研究はテレビ画面か、光源色で行われており、反射物体での研究はここでは述べないが白色度の研究が多数存在する。このことは、色の現れ方（見え方 mode of color appearance）での暗黒中に1色だけ提示された面色では白と黒以外の見えは存在しないので、

この見え方では白以外での無彩色は検討することはできない。しかし、テレビでは画面は発光しているの、色の測定では光源色に分類されるが、色の現れ方では表面色であると考えられるので、灰色は知覚的に存在し、研究として扱えるが、このテレビでの白以外の明るさへの言及は見あたらない。

3. 実験の概要

3.1 評価用サンプル

評価用サンプルは色評価用蛍光灯での白色度の研究である鈴木 (1990)⁶⁾を参考にして、知覚的な白さが高いと推定される、CIE $L^*a^*b^*$ 空間で a^* が-3、 b^* が-1近傍の色(色評価用蛍光灯での測色値)で、明るさが一定の色票で、更に、その色座標を比較的保って、明るさが4段階変化できるもので制作可能な色票を日本色彩研究所に依頼。このサンプルは顔料で作成し、蛍光物質は含まない。最終的に実験に使用したサンプルは、表1に示したものであり、明るさが4段階(白、明るい灰色、中間の灰色、暗い灰色)、各明るさで使用したサンプルの数は明るさ毎に異なる。ここで得られたサンプルは、明るさは、各明るさの段階でほぼ一定(表1の明度レベルに対して ± 2 以内に抑えられた)で、色座標が変化したサンプルである。表1には、明るさを表示するのにメトリック明度 L^* の表示とともに写真関係で使用される三刺激値の Y から求められる視覚濃度($-\log(Y/100)$)も表示してある。このサンプルを日立カラーアナライザ-307型で分光反射率分布を測定した。その分光分布の一例を写真関係で良く使用される反射光学濃度($-\log R$)で示したのが図1である。反射率データから後に示す3種類の観察光源と10度視野の等色関数を使用して三刺激値及びCIE 1976 $L^*a^*b^*$ の値を求めた。図2は L^* が90である29サンプルを a^*-b^* 色座標に表示したものである。この図は光源を色評価用蛍光灯としたときの図である(図中の番号は各サンプルを識別するものである)。他の光源では、相関色温度6500の北窓光はほぼこの図に近いが、相関色温度2200Kの白熱灯では a^* の値が全体的に右側に4程度シフトしたものとなるが、各サンプルの相対的な位置関係は変わらない。そのため、以下の解析には各サンプルの色座標 a^* 、 b^* を東芝色評価純正色蛍光灯での値で代表する。

表1 評価サンプルの明度毎の枚数

明度レベル		サンプル数
L^*	視覚濃度	
90	0.12	29
70	0.39	20
50	0.73	20
30	1.21	11

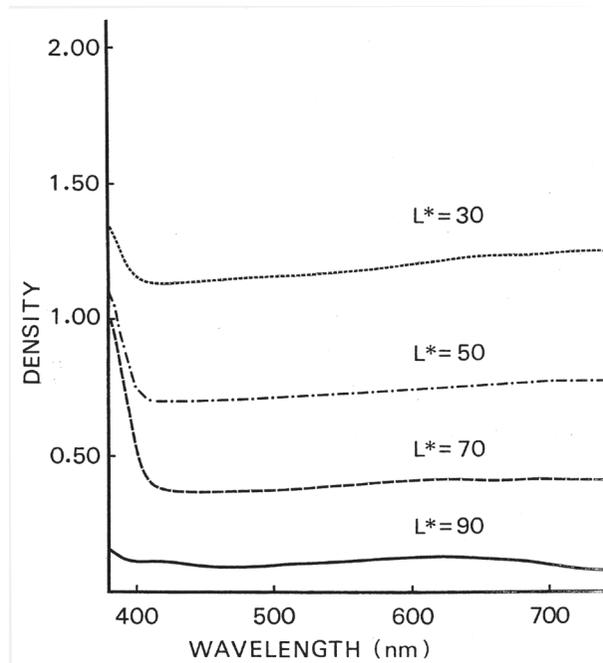


図1 評価サンプルの分光分布の例 (光学濃度表示)

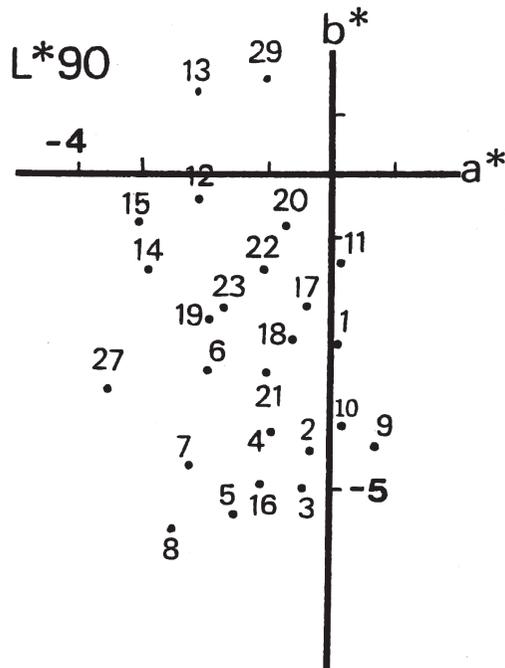


図2 評価サンプルの色座標 (L*90の例)

3.2 観察光源

色評価や写真の評価に使用される光源を考えて、観察光源はマクベス標準光源装置スペクトラライト日没光（石英ハロゲンランプ，相関色温度2200K，以後白熱灯，記号Aと書く），スペクトラライト北窓光（石英ランプと色温度変換フィルター，色温度6500K，以後北窓光，記号Cと書く），東芝色評価用純正色蛍光灯（FLR 40S・W-EDL-50K / M，相関色温度4800K，以後色評価用蛍光灯，記号Bと書く）の3種類を使用した。この3種類の分光分布はEG&G MODEL 580/585 SPECTORO RADIOMETER SYSTEMで分光エネルギー分布を測定し，その値を色の計算に使用した。この3種類の分光エネルギー分布を図3に示し，相関色温度と照度を表2に示してある。装置の関係上照度を合わせることが出来なかったため光源で照度が異なっているが，この範囲は写真評価の基準の範囲内である。多少の影響が在ることは考えられるが，今回はこの照度が異なった状態で実験を行った。

表2 照明光源の色温度と照度

観察光源	色温度	照度
A スペクトラ日没光 (白熱灯)	2200K	650lux
B 色評価用純正色蛍光灯 (色評価用蛍光灯)	4800K	1000lux
C スペクトラライト北窓光 (D65)	6500K	650lux

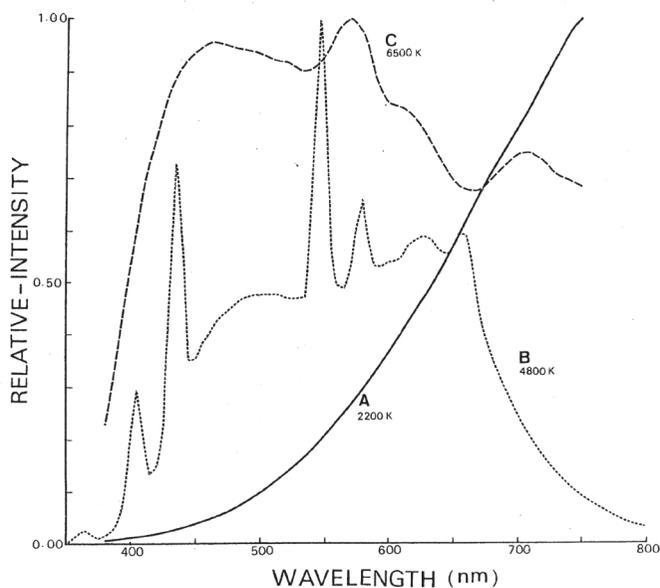


図3 照明光源の分光エネルギー分布

3.3 評価方法

評価者は初めに3種類のいずれかの照明光源に5分間順応し、その後、同じ明度のサンプルセット（サンプルセットに含まれる枚数は表1に示してある）を渡され、各サンプルを知覚的に無彩色（その色が特定の色相を持たない）として許容できるか、許容できないかの二つのカテゴリーに分類する。これを4段階の明度で行い、その光源での評価が終了する。1日に1種類の光源での評価を行い、3種類の光源全ての評価が終わると、実験を終了とする。観察する背景はマクベス標準光源装置のブース全体がN7のグレーであり（光源はブース天井面にある）、色評価用蛍光灯での観察では、観察台上方に色評価用蛍光灯があり、観察台はN7のグレーである。背景のN7は写真観察時の背景として使用されるものである。

サンプルの大きさは7×7cmで、観察距離を原則30cmとする（視角に換算すると約13度になる）。評価者は正常色覚を有する20代から50代までの男女30名（内女性は6名）である。

4. 結果

4.1 光源依存性

評価結果としては各サンプルに対して、観察光源毎に無彩色として許容された比率（以下許容率と書く。許容率は無彩色として許容した人数を全評価者で割ったものである）が得られる。結果の表示は各サンプル毎に、この許容率を縦軸にとり、横軸に観察光源を色温度の順に並べ、各光源での許容率をプロットしたものを作成する。その光源と許容率の関係を示した各サンプルに対する図を色座標の相対位置関係で並べたものをサンプルの明るさ毎に作成する。この図と色の相対的な位置を分かり易くするために色評価用蛍光灯を観察光源として求めた各サンプルの色座標と並べて表示したのが図4-1から図4-4である。評価カテゴリーは許容するか否かであり、0.5以上の許容率が有効であるが、すべての許容率に意味があると考え、許容率の変化から解析を進めることとした。

ここで示す色座標 a^* 、 b^* は色評価蛍光灯で計算した値であるが、北窓光ではほぼ同じ値であるが、白熱灯では a^* が全体的に右方向に4程度シフトしているので、表示された a^* の値に4を足せばほぼ白熱灯の値となる。ただ相対的な色の関係は変わらないので、各サンプルの相対的な位置関係を表示する為に色評価用蛍光灯でサンプルの位置を表示する。

図4-1の L^* が90の白では、 a^* がほぼ-3の相対的に緑みが一番強い色では b^* の値に関係なく、3種類の光源での許容率は低いが、 b^* の負の値が大きいやや青みがある色では白熱灯での許容率が高くなる。 a^* がほぼ-2では次に緑みがある色では、 b^* の負の値が大きい青みが増した領域では、白熱灯での許容率が高くなり、逆に b^* の負の値が小さくなると北窓光での許容率が高くなる。 a^* が-1では白熱灯での許容率が低く、色評価用蛍光での許容率が高くなり、北窓光の許容率もやや高くなる。この傾向は a^* の負の値が小さくなるにつれて顕著である。 a^* がほぼ0では色評価蛍光灯での許容率がやや高い。

この明るさでの各光源での許容率の高い色領域を求めると、白熱灯での許容率の高い領域は

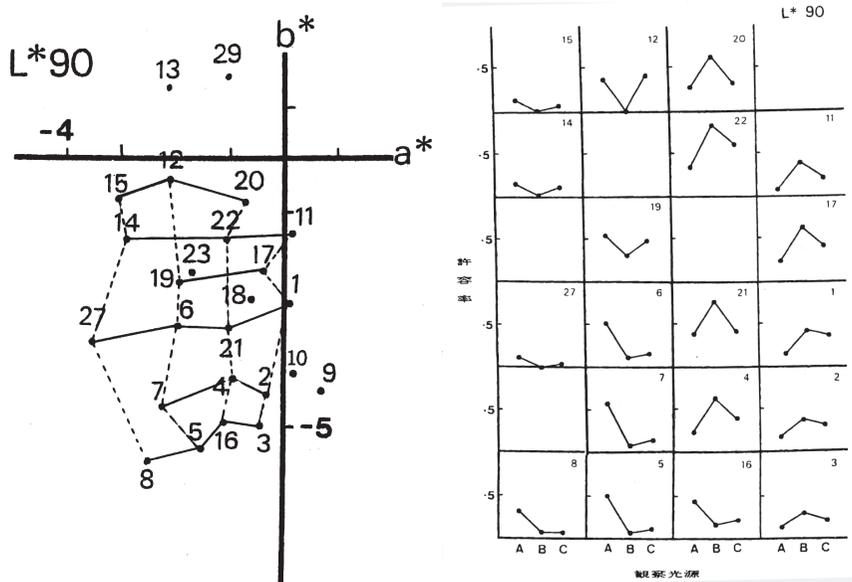


図4-1 評価サンプルの色座標と光源と許容率の関係 ($L^* 90$)

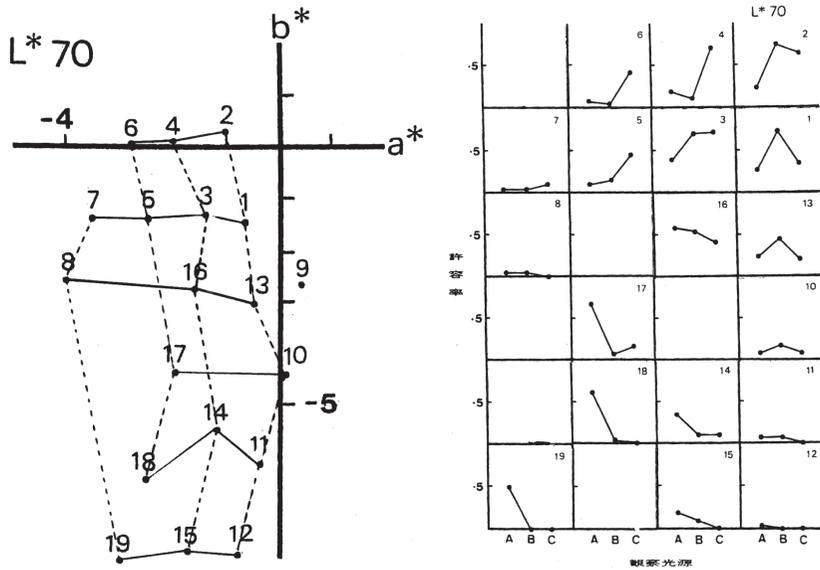


図4-2 評価サンプルの色座標と光源と許容率の関係 ($L^* 70$)

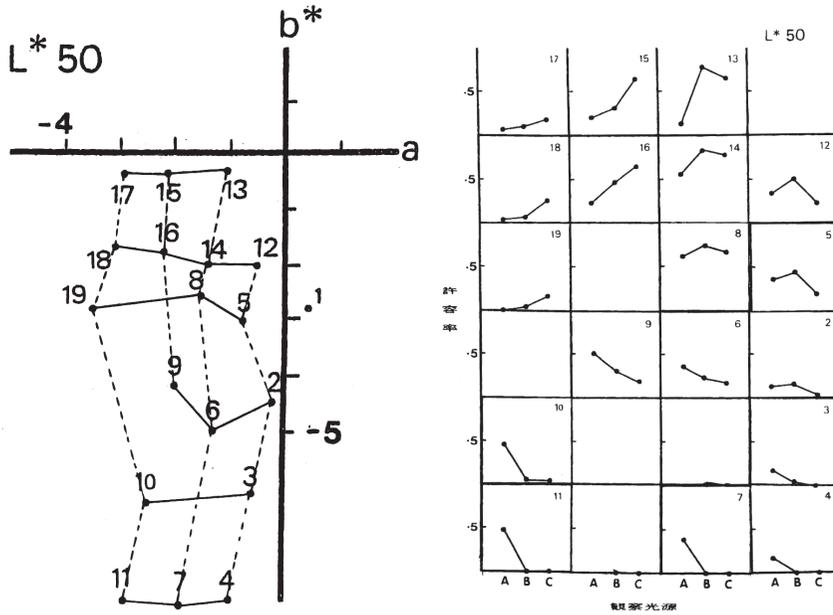


図4-3 評価サンプルの色座標と光源と許容率の関係 ($L^* 50$)

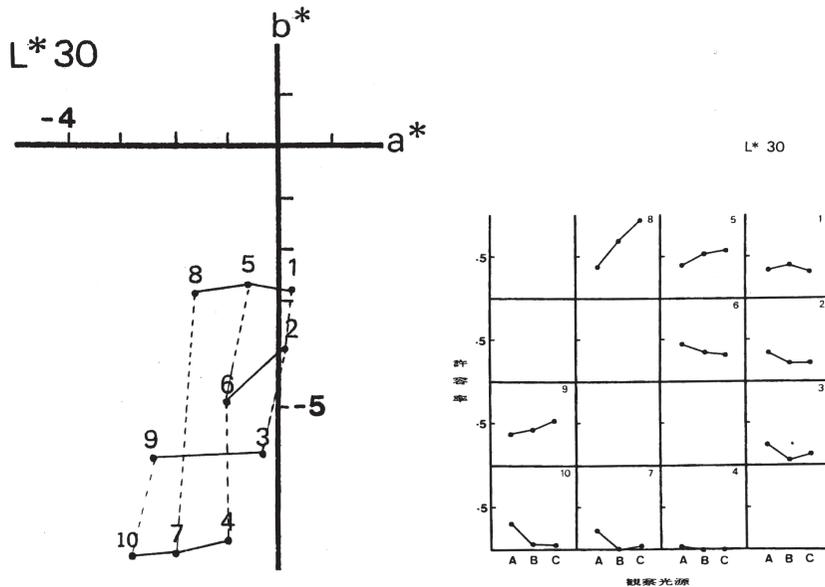


図4-4 評価サンプルの色座標と光源と許容率の関係 ($L^* 30$)

a^* が-3で b^* が-5近傍の青みがやや強い領域で、色評価蛍光灯と北窓光での許容率の高い領域は a^* が-1で b^* が-1近傍で光源に近い色である。

図4-2の L^* が70の明るい灰色では、 a^* がほぼ-4で b^* の負の値が大きい所を除いては全ての許容率は低い。 a^* がほぼ-3では、 b^* の負の値が大きい所では白熱灯での許容率が高く、負の値が小さいか、正の所では北窓光での許容率が高い。 a^* がほぼ-2では、 b^* の負の値が大きいと全ての許容率が低くなり、負の値が小さい所では色評価用蛍光灯と北窓光の許容率が高くなる。ただし、色評価蛍光灯は正になると許容率は低くなる。 a^* がほぼ-1では、 b^* が0に近づくと、色評価蛍光灯と北窓光の許容率が高くなる。

この明るさでの各光源での許容率の高い色領域を求めると、白熱灯で許容率の高い領域は a^* が-3で、 b^* が-5近傍である。色評価用蛍光灯での許容率の高い領域は a^* が-1、 b^* が-1近傍である。北窓光での許容率の高い領域は a^* が0で b^* が-1近傍である。

図4-3の L^* が50の中間の灰色では、 a^* がほぼ-3では、 b^* の負の値が大きいと白熱灯の許容率が高くなる。 a^* がほぼ-2では、 b^* の負の値が小さくなると北窓光での許容率が上昇する。 a^* がほぼ-1では、 b^* の負の値が小さくなると、色評価用蛍光灯と北窓光での許容率が上昇する。 a^* がほぼ0では b^* の負の値が小さくなると色評価用蛍光灯の許容率が高くなる。

この明るさでの各光源での許容率の高い色領域を求めると、白熱灯で許容率の高い領域は a^* が-3で、 b^* が-5近傍である。色評価用蛍光灯と北窓光で許容率の高い領域は a^* が-1で、 b^* が-1近傍である。

図4-4の L^* が30の暗い灰色では、 a^* がほぼ-3では、 b^* の負の値が少なくなると色評価用蛍光灯と白熱灯の許容率が高くなる。 a^* がほぼ-2では、 b^* の負の値が小さくなると全体の許容率が高くなるが、特に北窓光で顕著である。 a^* がほぼ0-1では、 b^* の負の値が小さくなると全体の許容率が高くなる。 a^* がほぼ0では、 b^* の負の値が小さくなると全体の許容率が高くなる。

この明るさでの各光源での許容率の高い色領域を求めると、白熱灯で許容率が高い領域は a^* が-2で、 b^* が-5近傍である。色評価用蛍光灯と北窓光で許容率が高い領域は a^* が-2、 b^* が-2近傍である。

以上のことからどの明るさにおいても、照明光源が変わると無彩色として許容される領域は変化し、色温度が低くなると、青みが強い色を無彩色として許容する傾向があることが分かる。

4.2 明度依存性

光源依存性ではサンプルの明度毎に解析し、その全体的な傾向は同じであるが、この無彩色として許容される領域の観察光源依存性を、サンプルの明度が変わるとその傾向が変わるかを更に検討する。ほぼ同じ色座標で明度が変わっている色を選択すると、 a^* が-1で b^* が-1、-3、-5、 a^* が-3で、 b^* が-1、-3、-5の2系列がほぼこの基準を満たしたので、この2系列を選択した。前述の各サンプル毎に作られた光源と許容率の関係を表す図を、 a^* がほぼ-1で一定で、 b^* をほぼ-1、-3、-5のサンプルを、4段階の明るさ毎に並べたのが図5-1であり、 a^* がほぼ-3で b^* をほぼ-1、-3、-5のサンプルを、4段階の明るさ毎に並べたのが図5-2で

ある。 a^* で-1, b^* -1ではサンプルの明るさが変わっても光源の許容率の変化は色評価用蛍光灯をピークとした山形である。 a^* が-1で b^* が0-3でも山形は余り変わらない。 a^* が-1で b^* が-5では全ての光源で許容率が低い傾向は全ての明度で同じである。 a^* が-3で, b^* が-1と-3では全ての光源で許容率が低い傾向は全ての明度で同じである。 a^* が-3で, b^* が-5では L^* が30を除いて, 白熱灯の許容率が高い傾向は他の明度で同じである。この結果から, 光源が変化したときの許容率の変化はほぼ明度が異なっても同じような傾向で推移することから, 無彩色に知覚される領域は明度には依存しないと思われる。

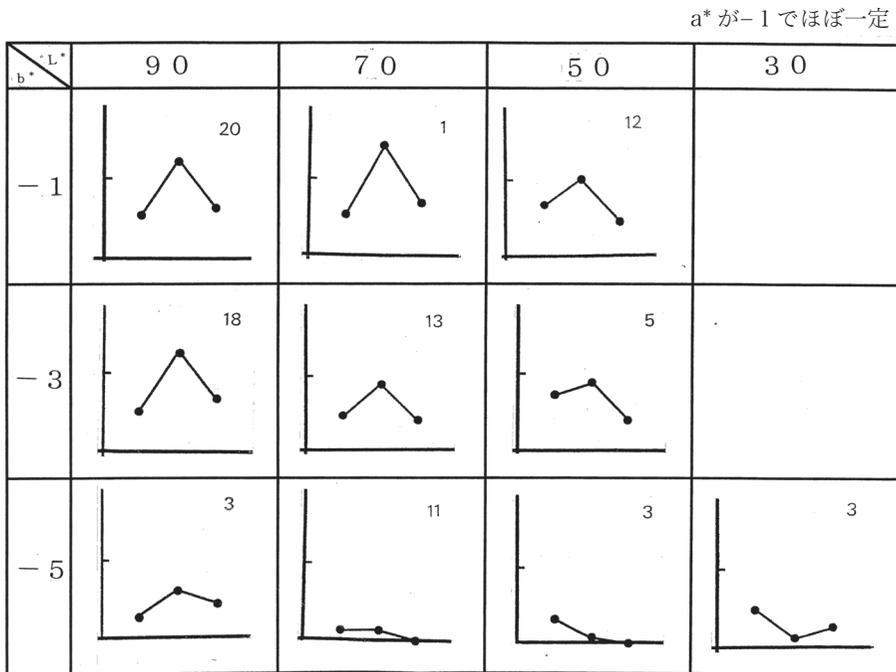


図5-1 光源依存性の明度での比較 (a^* -1)

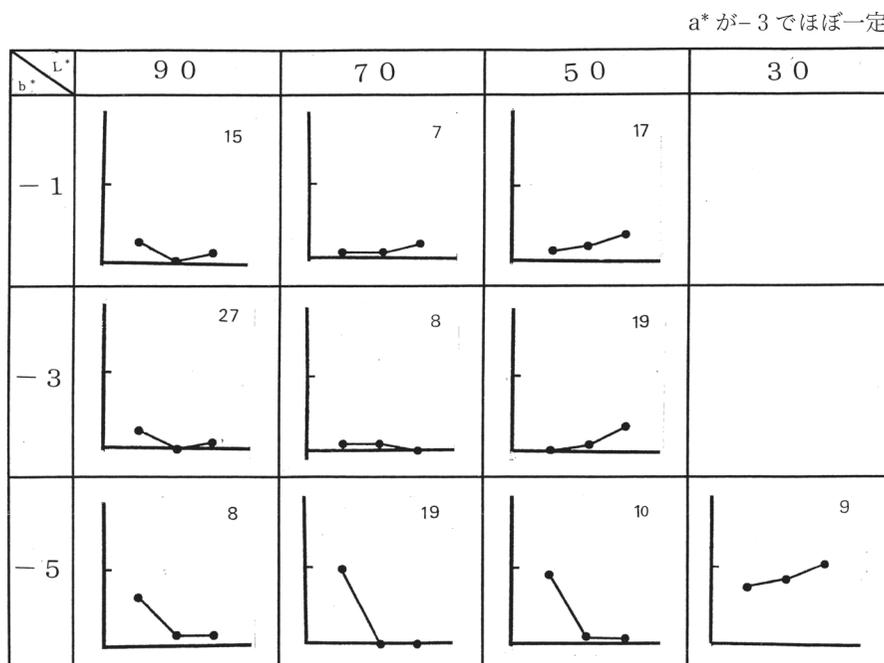


図5-2 光源依存性の明度での比較 (a* -3)

5. 光源色の結果との比較

R. W. G. Hunt & L. M. Winter (1975)⁵⁾ は広い色温度の範囲で順応した光源と知覚的に無彩色と感じる白を光源色で求めているので、その結果と今回使用した色温度の幅は非常に狭いが両者の傾向を比較する。知覚的な無彩色は、順応した色温度が5500Kから6500Kの時は、ほぼその光が無彩色に感じるが、順応光がこの範囲よりも低い色温度では順応光より青みの色温度が高い光を無彩色に感じるとのHuntの結果であるが、本実験でも色温度2200Kの白熱灯の結果は青みの色の許容率が高く、北窓光は光源の色座標に近い色の許容率が高く、傾向は同じである。さらに、この傾向を定量的に検討する試みを行った。順応光源が異なると同じ土俵で知覚的な差を比較することが出来ないで、今回の試みとしては、Huntの70cd/m²の実験結果で、知覚的に無彩色となった色度点を図から読み、その色度値をYが全て80と仮定して、フォン・クリースの色順応予測式で標準イルミナントCの対応色を求める。本実験もL*が90の結果を使用して、各光源での最も許容率が高い、サンプルの色度点を同じように色順応予測式で標準イルミナントCの対応色を求める。その対応色をCIE 1976 L*a*b*表色系に変換し、メトリッククロマC*を求める。横軸に順応した光源の相関色温度をとり、縦軸にC光源の対応色で計算されたメトリッククロマをとって、Huntの結果と本実験の結果をプロットしたのが図6である。順応光源5000K近傍で無彩色と知覚されるメトリッククロマが最少で、それから離れると大きくなり、低色温度でその傾向が顕著なのがハントの結果であるが、光源依存性での結

果とこの結果を総合すると、全体的な傾向は似ているが、知覚的な白さの順応光源との差は本実験では小さい。これは、両実験での色の現れ方（見え方）が影響したと思われる。

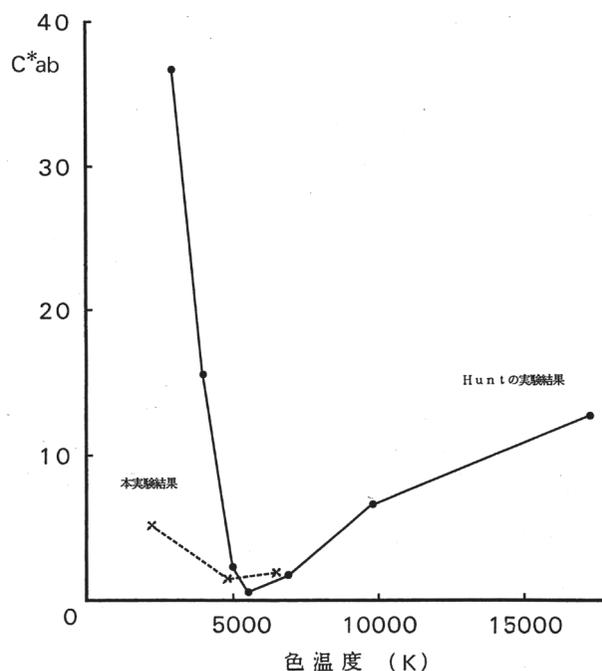


図6 順応色温度と知覚的無彩色のメトリッククロマ

6. 考察

知覚的な無彩色が観察光源に依存するのか、その依存の傾向は無彩色の明度に依存するのかを、表面色のモードで検討した結果、知覚的な無彩色は順応する光源に依存する。その程度は光源色のモードほど強くないが、恒常性が強く働く表面色のモードでも起こり、白熱灯のような色温度の低い光源では、色評価用蛍光灯や北窓光に比べ、青みの強い色を無彩色として知覚する傾向がある。

この知覚的な無彩色が順応光源に依存する傾向はサンプルの明度には依存しない。このことは、白色度で検討されている知覚的な無彩色感が、他の明るさでただ明度変化するだけで知覚的な無彩色の位置は変化しないことを表している。知覚的な白は特別な現象ではなく、知覚的な無彩色として包括的に扱うことが可能であると思われる。これは、未発表であるが色評価用蛍光灯で、本実験より広範囲のサンプルで、 L^* が90と50での無彩色として許容される比率を求める実験でも確認されていることである。このことは、現在の表色系で定義されている色空間の中心である無彩色の定義に関わる問題を提起したことになる。色空間全体からすれば、そのズレの程度は非常に小さなものであるが、彩度が低い色に関しては見逃せない問題となる。従来

白色度の研究には、知覚的な原点ではない好ましい白があるとの問題設定で、これを知覚的な色空間の原点の問題とは捉えていないが、この問題は検討する必要があるのではないか。

この観察（順応）光源に対する知覚的な無彩色の傾向はHunt等の光源色での結果と本実験での表面色の結果で順応光源に対する知覚的な無彩色の色相のズレ方向の傾向は似ているが、このズレの長さに相当する彩度的なものは異なる。この観察光源と知覚的な無彩色のズレは、本実験は表面色のモードであり、周囲の情報やその他手掛かりがあり色恒常性が働きやすく、Huntの結果は視角30度の順応視野の下に視角1度のテスト視野を提示しており、色の見え方では面色になっていると推定される。この面色は他の情報が入らないで光の特性が主に知覚を決定することになるので表面色と面色の差が生じこの結果になったと考えられる。表面色のほうが、光の特性に全面的に依存しないで他の情報（知覚的な手掛かり）で光の効果を緩和し、知覚を安定的（恒常的）に保つ働きをしたのではないかと推定できる。

色温度5500Kから6500K近傍の光源がその光源の知覚色と知覚的な無彩色とのズレが最小であることの説明は確定することは出来ないが、人類が基準としてきた光である太陽を基本的な白とすることが反映しているのではないかと考えられるが、これを検証することは困難である。また、このことは、5500Kから6500K以外での光源では順応光と知覚的な無彩色のズレが起こり、色順応は完全には起こらない不完全順応を起こすことになり、その不完全順応の程度は、5500Kから6500Kの光源から離れると大きくなることになる。そのような下での、知覚色の予測は非常に難しくなる。色知覚のモデルにこの現象をどの様に組み入れ、このメカニズムをどの様に説明するかは今後の問題である。また、この問題は前述の知覚色空間の中心をどの様に設定するかの問題でもある。

7. 参考文献

- 1) D. M. Zwick: Television Receiver White Color; A Comparison of Picture with White Reference of 9,300K and D6500. J. MPTE VOL.82, No.4, p284-286 (1973)
- 2) 大西俊一, 若林昭伸: カラーテレビにおける好みの白色, テレビジョン学会技術報告, TBS 42-2 Vol. 1, No.1 p26-32 (1977)
- 3) 佐々木玲一, 長岡良富, 富本哲雄: カラー受像機の白色制御方式と色再現, 信学会画像工学研資 IE 77-67 p19-26 (1977)
- 4) L. M. Hurvich & D. Jameson: A Psychophysical Study of White. III. Adaptation as Variant. J. Opt. Soc. Am., Vol.41, No.11, p787-801 (1951)
- 5) R. W. G. Hunt & L. M. Winter: Color Adaptation in Picture-Viewing Situation. J. Phot. Sci., Vol.23, p112-115 (1975)
- 6) 鈴木恒男: 知覚的な白さの許容度に基づく白色度式 日本色彩学会誌, vol.14, No. 2, p114-121 (1990)