等明度・高彩度色票の測色上の色差と 知覚される色差との対応

専門会員 池田 紘一* 専門会員 中山 昌春* 名誉会員 小原 清成*

Relation between Colorimetric Colour-differences and Perceived Ones for Saturated Colour Chips with Constant Value and Chroma

Koichi Ikeda (Fellow Member) Masaharu Nakayama (Fellow Member)
and Kiyoshige Obara (Honorable Member)
(Faculty of Science and Technology, Tokyo Rika Daigaku)

ABSTRACT

Perceived colour-differences of colour chips are estimated subjectively by means of ratio estimation method under standard illuminant A and daylight D_{65} , and are compared with their colorimetric ones in the CIE 1976 $L^*u^*v^*$, the CIE 1976 $L^*a^*b^*$, a modified $L^*u^*v^*$, and a modified Cube-root colour spaces.

The set of colour chips used in the experiment consists of one hundred and sixty hues with constant value and chroma of 6/8 in the Munsell renotation system. Colorimetric colour-differences of the pairs of colour chips are within the range of 0.89 to 17.56 under daylight illuminant D_{65} in the CIE 1976 $L^*a^*b^*$ uniform colour space.

Results obtained are summarized as follows:

- (1) Relative values of perceived colour-differences change little even when the illuminant changes from D_{65} to A, and the constancy of perceived colour-difference holds as well as in the case of colour chips of lower chroma.
- (2) Under the daylight D_{65} , the degrees of correlation between perceived colour-differences and colorimetric ones are little different among the colour spaces examined, but under the illuminant A the degree in the CIE $L^*u^*v^*$ colour space is a little lower than the others.
- (3) The variation with hue angle of the ratio of colorimetric colour-differences under the illuminant A and those under the illuminant D_{65} in the CIE $L^*u^*v^*$ colour space is the largest, and that in the cube-root colour space is the smallest.
- (4) The correction to the chromatic adaptation in terms of colour-differences is well done in the cube-root colour space, and it is scarcely done in the CIE $L^*u^*v^*$ colour space.

1. ま え が き

色を表示する手段としては、 x, y 色度図とマンセル記号とが広く使用されている。これらはそれぞれ色の心理物理的側面と知覚される側面の特性を別々に表示するには便利であるが、観測条件の異なる下での色の見えや色差を予測するには適していない。

これら二つの側面を対応づける各種の均等測色空間が研究されてきたが、現在 CIE は 1976 $L^*u^*v^*$ と 1976 $L^*a^*b^*$ の 2 種の均等色空間およびそれぞれに対応した色差式を勧告している¹⁾。

しかし、これらは暫定的なものであるとして、色差の定量的評価による整合的研究のガイドラインを示すなどして、なお一層の調査研究を奨励している²⁾。

著者らは色差予測の面から、色差の主観評価実験を基礎にして、照明する光が変わった場合の知覚される色差の変化を調べ、二つの CIE 1976 均等色空間との対応について比較するとともに新しい測色空間の模索を試みるために、これまでマンセルクロマが 2~4 で明度が 6 の低彩度色票 212 色について、比率評定法による色差評価実験を行ない発表してきた^{3)~6)}。

本研究では、さらに、同一明度 ($V = 6$) で高彩度 ($C = 8$) な色票を用いて同様の色差評価実験を行ない、知覚される色差と CIE 1976 $L^*u^*v^*$, CIE 1976 $L^*a^*b^*$, 修整 $L^*u^*v^*$ および修整 Cube-root の各測色空間における測色上の色差との対応を調べ、低彩度の結果とあわせて比較検討を行なった。

なお、これまでなされてきた色差評価に関する内外の研究の多くは色差の弁別いき値の大きさを調べる手法を用いており、まったく主観的に色差の大きさそのものを比率で判断する比率評定法による色差評価実験の例は近年までなかった。

* 東京理科大学理工学部
本論文の一部は、昭和55年電気学会光応用視覚研究会、および昭和56年度照明学会全国大会にて発表した。

これは、この手法が一見精度に乏しく実施上困難であると思われるためかもしれないが、実際には小さな色差から大きなものまで広い範囲にわたる色差評価に適用でき、低彩度色票についての実験で検討したように、十分信頼し得るデータを得ることができることが確かめられ、最近この方法での色差評価実験研究が他でもなされるようになった⁷⁾。

2. 色差実験に用いた色票

視覚心理実験の色差判定に用いた色票は、修正マンセル空間において明度 $V=6$ が一定、クロマが $C=8$ 一定の色相環上に160色相が等間隔に並ぶように設計した光沢仕上げのものであり、その製作は日本色彩研究所に依頼した。

色票はすべて分光光度計でその分光反射率を3回ずつ測定し、測色空間での座標を電子計算機で計算した。

修正マンセル系、CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 、CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 、修整 $L^*u^*v^*$ 、および修整 Cube-root の各空間における色票の座標を図1(a)~(e)に示す。なお、低彩度色票に関する実験で用い

た色票の座標を図1(a)の修正マンセル系空間の中に点線で表示してあるが、この色票群は CIE 1964 $U^*V^*W^*$ 空間の中で円形状に並ぶように設計されたものであるため、修正マンセル系では彩度が2~4となっている。

ここで、おのおのの測色空間は以下の式で定義される。

(1) CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 空間

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\ u^* &= 13 L^*(u' - u_0') \\ v^* &= 13 L^*(v' - v_0') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

$$u' = 4X/(X+15Y+3Z), \quad v' = 9Y/(X+15Y+3Z) \\ v_0' = 4X_0/(X_0+15Y_0+3Z_0), \quad v_0' = 9Y_0/(X_0+15Y_0+3Z_0)$$

(2) CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 空間

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \\ b^* &= 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

(3) 修整 $L^*u^*v^*$ 空間

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\ u^* &= 13 L^*(u'' - u_0'') \\ v^* &= 13 L^*(v'' - v_0'') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、

$$u'' = 4X_c/(X_c+15Y_c+3Z_c), \quad v'' = 9Y_c/(X_c+15Y_c+3Z_c) \\ u_0'' = 4X_{c0}/(X_{c0}+15Y_{c0}+3Z_{c0}), \quad v_0'' = 9Y_{c0}/(X_{c0}+15Y_{c0}+3Z_{c0})$$

ただし、

$$X_c = X/X_0, \quad Y_c = Y/Y_0, \quad Z_c = Z/Z_0$$

また、無彩色背景に対して

$$X_{c0} = X_0/X_0 = 1, \quad Y_{c0} = Y_0/Y_0 = 1, \quad Z_{c0} = Z_0/Z_0 = 1$$

(4) 修整 Cube-root 空間

$$\left. \begin{aligned} L &= 25.29(100G/G_0)^{1/3} - 18.38 \\ a &= 106.0[(100R/R_0)^{1/3} - (100G/G_0)^{1/3}] \\ b &= 42.34[(100G/G_0)^{1/3} - (100B/B_0)^{1/3}] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

ここに、

$$R = 1.1084X + 0.0852Y - 0.1454Z \\ G = -0.0010X + 1.0005Y + 0.0004Z \\ B = -0.0062X + 0.0394Y + 0.8192Z \\ R_0 = 1.1084X_0 + 0.0852Y_0 - 0.1454Z_0 \\ G_0 = -0.0010X_0 + 1.0005Y_0 + 0.0004Z_0 \\ B_0 = -0.0062X_0 + 0.0394Y_0 + 0.8192Z_0$$

なお、いずれの空間についても X, Y, Z は物体の三刺激値、 X_0, Y_0, Z_0 は照明する光の三刺激値である。

式(1)および(2)は CIE 1976 均等色空間を表わす。式(3)は CIE $L^*u^*v^*$ 空間を、また式(4)は Reilly の係数をもつ Cube-root 空間を⁸⁾、それぞれ Adams-Nickerson の考え方に基づいた色順応補正を施すために変換を行なったものである。

色差評価実験で用いる色票対として、1年目の実験では160色相の色票をそれぞれ2枚ずつ計320枚準備し、それらを40色相分(80枚)ずつ、3.0 YR~8.0 GY, 8.0 GY~2.5 B, 2.5 B~8.5 P, および8.5 P~3.0 YRの四つの範囲に分け、おのおのの範囲の中でほぼ中間に位置する色票で基準用色票対を1組、また残りで比較用色票対を39組ランダムな組み合わせで製作した。

また、2年目の実験では再測定した同じ色票を用い、前記の範囲を修正マンセル空間の色相で約45°ずつらした、1.2R~5.7Y、

図1 使用した色票の各測色空間での座標、修正マンセル系以外は全色票の1/5だけを表示してある。
(a) 修正マンセル系、(b) CIE $L^*u^*v^*$ 空間、
(c) CIE $L^*a^*b^*$ 空間、(d) 修整 $L^*u^*v^*$ 空間、(e) 修整 Cube-root 空間

5.7 Y~0.4 BG, 0.4 BG~4.9 PB, および4.9 PB~1.2 Rの四つの範囲に分けたものから前年と同様にして、基準用および比較用色票対を製作した。

これら8色票群の中で作られた色票対のもつ測色上の色差は、昼光 D₆₅ の下で、CIE L*a*b* 空間において基準色票対が1.0~2.45、また比較用色票対では0.89~17.56の範囲に分布しているが、中程度の色差をもつ対を多くした。

なお、基準色票対として用いた色票の座標を図1(a)の修正マンセル系の中に示してある。

3. 比率評定法による色差の評価

色差評価実験において、色票を照明する光としては昼光 D₆₅ と標準の光 A の2種を採用した。昼光 D₆₅ は“任意の分光分布をもつ光を発生させる装置”⁹⁾ でシミュレートした光を、また標準の光 A はセミホワイト白熱電球 (100 V, 100 W) を115~120 V で点灯し、色温度を2856 K に調節した光をそれぞれ用いた。

観測条件は、

- (1) 45°/垂直で約30 cmの距離から観測。
- (2) 被照射面輝度は、白色ケント紙に対して昼光 D₆₅ が50 cd/m²、標準の光 A では100 cd/m²。
- (3) 順応視野は視野制限したが、CIE の勧告を満足するように10°以上、かつ色票の大きさの25倍以上の面積になるようにした。

図2 提示色票対の位置関係

色差の評価方法としては比率評定法を採用した。これは図2に示すように2組の色票対を並べて、比較用色票対の知覚される色差と基準の色票対の知覚される色差との比率を主観的に求める方法である。

色票対は、1辺が9 mmの正方形の色票を2枚接して並べたものを用い、基準色票対はY≒40の無彩色色紙の背景の上に固定しておいた。もう一方の比較用色票対としては各種の色差をもつものを用意し、これを基準色票対から4 mm隔てて並置した。なお色票1枚の大きさは視角で約2.4°である。

観測者は、「比較用色票対の知覚される色差は基準色票対の知覚される色差の何倍だと判断しますか？その倍率を10倍した数で答えなさい。」という指示に基づいて知覚される色差の評価を行った。

観測者には、色覚正常な男子大学生、年齢21~24歳をそれぞれの実験で2名ずつ採用し、本実験に先立って予備実験で比率評定法による色差評価について観測者を十分に訓練した。

各観測者は照明する光に十分順応した後、1組の色票対について8回(2年目の実験では15回)ずつ評価を行ない、知覚される色差の判定値としては、2人の観測者の判定回数延べ16回(2年目では30回)の評価の算術平均をとった。なお観測者1名が1色票群の39対の比較用色票対について評価を行なう1回の実験時間

は順応時間が15分、判定に要する時間が20~25分であった。

図3 に昼光 D₆₅ と標準の光 A の下での評価実験状況を示す。

図3 知覚される色差の評価実験状況
(a) 昼光 D₆₅ の下での実験
(b) 標準光 A の下での実験

4. 知覚される色差と測色上の色差との対応

知覚される色差として判定した値 $\bar{P}$ は、基準色票対の知覚される色差に対する比較用色票対のそれとの比に10を掛けたものであるから“知覚される色差の比”は $\bar{P}/10$ で定義される。

一方、測色上の色差に関しては、基準色票対の測色上の色差 ΔE_0 と比較用色票対の測色上の色差 ΔE との比率 $\Delta E/\Delta E_0$ でも

図4 昼光 D₆₅ の下での測色上の色差の比と知覚される色差の比との相関
(a) CIE L*u*v* 空間, (b) CIE L*a*b* 空間, (c) 修正 L*u*v* 空間, (d) 修正 Cube-root 空間

って“測色上の色差の比”を定義する。

測色上の色差と知覚される色差との対応性を調べるために、各測色空間における昼光D₆₅の下での測色上の色差の比($\Delta E/\Delta E_0$)と知覚される色差の比($\bar{P}/10$)との相関を図4に、また標準の光Aの下での相関を図5に示す。

図5 標準の光Aの下での測色上の色差の比と知覚される色差の比との相関
(a) CIE $L^*u^*v^*$ 空間, (b) CIE $L^*a^*b^*$ 空間, (c) 修整 $L^*u^*v^*$ 空間, (d) 修整 Cube-root 空間

図4の昼光D₆₅の下では、どの測色空間においても相関係数が0.86~0.88の範囲にあり相関の程度に差はなく、また散布図の様相にも目立った差はない。ここでは測色上の色差および知覚される色差を相対値で表わしているため、各測色空間での色票の座標の配列が相似形であれば同じ相関を示すはずで、このことは図1の色票の座標と図4の結果からもうかがえる。

一方、図5に示す標準の光Aの下での場合、相関係数には0.81~0.84と昼光D₆₅の場合と同様にそれほど程度の差はない。散布図の様相において、CIE $L^*a^*b^*$ と修整 Cube-root は似ているが、他の空間はそれぞれ異なる様相を示している。特に、CIE $L^*u^*v^*$ 空間では、基準の色票対が u^* 軸付近にある場合には回帰直線の傾きが極端に小さくなる特性を示す。

このように、個々の照明する光の下での測色上の色差と知覚される色差との対応に関して、総合的には標準の光Aの下で CIE $L^*u^*v^*$ 空間が若干対応が悪いといえるが、相関係数だけからはどちらの照明する光の下でも、各測色空間の間に大きな差があるとはいえない。

5. 照明する光が変わった場合の知覚される色差と測色上の色差

各比較用色票対について判定した昼光D₆₅の下での知覚される色差の比と、標準の光Aの下での知覚される色差の比との相関を図6に示す。

相関係数は0.95ときわめて高く、また回帰直線の傾きも0.94と

図6 昼光D₆₅の下での知覚される色差の比と標準の光Aの下でのそれとの相関

ほぼ1対1の対応関係をなしている。このことは知覚される色差の比は、昼光D₆₅の下でも標準の光Aの下でもほぼ同じ大きさで、照明する光が変わっても知覚される色差はほとんど変化しないことを示している。

照明する光が異なった場合、知覚される色差の比が修正マンセル空間の中で、色相によってどのように変化するかを調べるために、各色票対ごとの知覚される色差の比に関して、昼光D₆₅の下での値と標準の光Aの下での値との比 $(\bar{P}/10)_A/(\bar{P}/10)_{D65}$ をとり、色相軸上で隣接する色票間ごとにその比の平均を求めて滑めらかにしないで図7に示す。

図7 昼光D₆₅の下での知覚される色差の比と標準の光Aの下でのそれとの比をとって、その色相による変化を見たもの

この図で、 $(\bar{P}/10)_A/(\bar{P}/10)_{D65}$ の値の全色相にわたる平均値は0.97、標準偏差は0.09であり、平均値は1.0より若干小さいが、Y付近で昼光D₆₅の下での知覚される色差の比より、標準の光Aの下での値のほうが大きくなる傾向を示している。

一方、測色上の色差に関して、昼光D₆₅の下での測色上の色差の比と標準の光Aの下での比との相関を、各測色空間についてプロットして図8に示す。

修整 Cube-root, 修整 $L^*u^*v^*$ および CIE $L^*a^*b^*$ 空間ではどれも0.95以上の相関係数をもち、また回帰直線はその傾きが1.0に近く、かつ原点近くを通るが、CIE $L^*u^*v^*$ 空間では相関係数が0.77と小さくなっている。

このことは、前者の3空間では von Kries 則を考慮して色順応補正がなされているが、CIE $L^*u^*v^*$ は照明する光の座標が原点になるように、XYZ系を変換しただけで色順応補正がなされていないためと思われる。

さらに、照明する光が変わった場合に測色上の色差が色相によってどのような変化を示すかを調べるため、各色票対の昼光D₆₅と標準の光Aの下での色差の比 $\Delta E_A/\Delta E_{D65}$ を図7と同じ手法でグラフ化し図9に示す。

CIE $L^*a^*b^*$, 修整 $L^*u^*v^*$, そして修整 Cube-root はいずれも YR, B付近で1.0より小さく、GとP付近で1.0より大きくなっている。また CIE $L^*u^*v^*$ 空間では BG と R で小さく、PB

図 8 昼光D₆₅の下での測色上の色差の比と標準の光Aの下でのそれとの相関
(a) CIE $L^*u^*v^*$ 空間, (b) CIE $L^*a^*b^*$ 空間, (c) 修正 $L^*u^*v^*$ 空間, (d) 修正Cube-root 空間

図 9 昼光D₆₅の下での測色上の色差と標準の光Aの下でのそれとの比をとってその色相による変化を見たもの
(a) CIE $L^*u^*v^*$ 空間, (b) CIE $L^*a^*b^*$ 空間, (c) 修整 $L^*u^*v^*$ 空間, (d) 修整 Cube-root 空間

とY付近で大きくなり、0.4倍から1.38倍まで最も大きな変化の幅を示している。

これを図7の知覚される色差の場合と比較すると、修整 Cube-root 空間の測色上の色差の変化が、比較的良い対応を示しているといえる。

照明する光が変わった場合の知覚される色差と、測色上の色差

昼光D₆₅の下での測色単位色差あたりの知覚される色差

(a)

昼光D₆₅の下での測色単位色差あたりの知覚される色差

(b)

昼光D₆₅の下での測色単位色差あたりの知覚される色差

(c)

昼光D₆₅の下での測色単位色差あたりの知覚される色差

(d)

図 10 測色単位色差あたりの知覚される色差の昼光D₆₅の下での値と標準の光Aの下での値との相関

(a) CIE $L^*u^*v^*$ 空間, (b) CIE $L^*a^*b^*$ 空間, (c) 修整 $L^*u^*v^*$ 空間, (d) 修整 Cube-root 空間

とを関連づけて色順応補正を検討するために、知覚される色差の比と測色上の色差の比との比、すなわち $R=(\bar{P}/10)/(\Delta E/\Delta E_0)$ を“測色単位色差あたりの知覚される色差と定義し、昼光 D_{65} の下でのこの値と標準の光 A の下での値との相関を 図 10 に示す。

もしも色順応補正が完全に行なわれているならば、ある照明する光の下での測色単位色差あたりの知覚される色差は、照明する光が他のものへ変わってもその値は変化せず、図10の上では傾き 1.0の直線の上に点が分布するはずである。

したがって、この相関の程度によって測色空間の色順応補正の程度を知覚される色差と関連づけて検討することができる。

CIE $L^*u^*v^*$ 空間はほとんど相関がなく広く点が分散し、色順応補正がほとんどなされていないことがわかる。CIE $L^*a^*b^*$ と修整 $L^*u^*v^*$ の各空間では、相関係数がそれぞれ 0.75 および 0.73 と色順応補正の面からはかなり良い相関を示しており、さらに修整 Cube-root 空間は、相関係数が 0.81 とこれらの中では最も良く色順応補正の効果を示している。

修整 Cube-root は、色順応補正の面ではたいへん良い特性をもっており、式(4)の中の Reilly の係数を検討することによって、あるいは三刺激 $R \cdot G \cdot B$ へさらにもう一つの刺激 Y を導入した 4 変数 $R \cdot Y \cdot G \cdot B$ を検討することによって、さらに良い測色空間へ変換できるかもしれない。

6. ま と め

これまでの結果を、相関係数と回帰直線の傾きについて一覧にして 表 1 に示し、また比較のために、これまでの低彩度色票についての実験結果の値も表 1 中に示す。

表 1 相関係数 ρ と回帰直線の傾き α 、なお、() の数値は低彩度色票についての値

		CIE $L^*u^*v^*$	CIE $L^*a^*b^*$	修整 $L^*u^*v^*$	修整 Cube-root
P_A/P_{D65}		$\rho=0.95$ (0.97) $\alpha=0.94$ (1.02)			
$\left(\frac{\Delta E}{\Delta E_0}\right)_A / \left(\frac{\Delta E}{\Delta E_0}\right)_{D65}$		$\rho=0.77$ (0.71) $\alpha=1.06$ (0.92)	$\rho=0.96$ (0.90) $\alpha=1.01$ (0.90)	$\rho=0.95$ (0.91) $\alpha=1.03$ (1.04)	$\rho=0.99$ (0.98) $\alpha=0.99$ (1.04)
$\left(\frac{\rho}{10}\right) / \left(\frac{\Delta E}{\Delta E_0}\right)$	D_{65}	$\rho=0.87$ (0.84) $\alpha=0.90$ (0.80)	$\rho=0.86$ (0.83) $\alpha=0.92$ (0.80)	$\rho=0.88$ (0.88) $\alpha=0.89$ (0.84)	$\rho=0.87$ (0.85) $\alpha=0.87$ (0.86)
	A	$\rho=0.84$ (0.88) $\alpha=0.62$ (0.68)	$\rho=0.83$ (0.78) $\alpha=0.77$ (0.79)	$\rho=0.81$ (0.74) $\alpha=0.77$ (0.65)	$\rho=0.84$ (0.78) $\alpha=0.83$ (0.78)
R_A/R_{D65}		$\rho=0.35$ (0.03) $\alpha=0.38$ (0.03)	$\rho=0.75$ (0.76) $\alpha=0.74$ (0.87)	$\rho=0.73$ (0.77) $\alpha=0.78$ (1.25)	$\rho=0.81$ (0.92) $\alpha=0.83$ (1.12)

知覚される色差と測色上の色差との対応を、4 種の測色空間について比較検討し要約してみると；

(1) 高彩度色票による結果は、低彩度色票の場合と大きな相違はない。

(2) 知覚される色差の比は、照明する光が変わってもほとんど変化せず恒常性が保たれている。

(3) CIE $L^*u^*v^*$ 空間は、個々の照明する光の下では他の空間

と比較してそれほどん色はないが、照明する光が変わった場合の視覚系の色順応に対応した補正が不十分である。

(4) 現在 CIE が勧告している二つの均等色空間では、照明する光が変わった場合の色順応補正の面で、CIE $L^*a^*b^*$ 空間のほうが知覚される色差との対応が良い。

(5) 修整 $L^*u^*v^*$ 空間は、色順応補正の面で CIE $L^*u^*v^*$ 空間を改善しているといえる。

(6) 修整 Cube-root 空間は、個々の照明する光の下ではとりわけて良いとはいえないが、色順応補正の面では知覚される色差と非常によく対応を示している。

(7) 修整 Cube-root 空間は、色順応補正に関して良い特性をもっているため、昼光 D_{65} の下での対応が良くなるように Reilly の係数を検討することによって改善が期待できる。

(8) 個々の照明の下では、どの空間がとりわけ良いというわけではないので、さらに改善された空間を考える必要がある。

以上、この研究で取り上げた 4 種の測色空間に関する知覚される色差と測色上の色差との対応は、個々の照明する光の下ではあまり差は見られないが、照明する光が異なった場合の対応は色順応補正を考慮した空間のほうが良く、色差に関しても von Kries の法則が有効であることを示している。

なお、これまでは等明度 $V=6$ かつ等彩度 $C=2 \sim 4$ 、 $C=8$ での色差について調べて来たが、さらに広い範囲の明度・彩度・色相にわたった色差を調べる必要がある。

参 考 文 献

- (1) "Official Recommendation on Uniform Colour Spaces, Colour-Difference Equations and Metric Colour Terms", Supplement No. 2 to CIE Publication No. 15, Colorimetry (E-1.3.1) 1971, (1975)
- (2) "Guidelines for Coordinated Research on Colour Difference Evaluation" Prepared by the Colour Difference Subcommittee of CIE TC-1.3 (Colorimetry), (1978)
- (3) 池田, 中山, 小原: 電気学会 視覚情報研究会 資料 VIN-77-9 (昭52) 9-1
- (4) 池田, 中山, 小原: 色学誌 3-1 (昭53) 12
- (5) K. Ikeda, M. Nakayama, K. Obara: Publication CIE No. 50 (1980) 83
- (6) 池田, 中山, 小原: 電気学会光応用視覚研究会 LAV-80-22 (昭55) 43
- (7) 小松原, 平井, 島, 長沼: 色学誌 (全国大会予稿) 5-1 (昭56) 28
- (8) G. Wyszecki: J. Opt Soc. Am. 58-2 (1968) 290
- (9) K. Ikeda, M. Nakayama, K. Obara: Acta Chromatica 3-2 (1977) 64

(受付1981年11月2日)