色 差 評 価 と 表 示†

専門会員 山中 俊夫*

1. ま え が き

現在、色の表示法の一つとして三刺激値表示による CIE XYZ 表色系がある。これは、同一照明条件下で基準色に対するテスト色の三刺激値が等しいかどうかを判定する等色実験に基づいている。

それに対し色差の評価では、単一色刺激の色の数量化および表示とは異なり、新たな認識が必要である。

まず第一に、色差評価では2色の不一致の程度を数量化し表示する。また色差表示では2色間の三刺激値の差がわれわれの感覚量の差に対応することが重要であり、その関係を満足する新たな表色系が望まれる。すなわち任意の色領域に対し、感覚的に等歩度尺度で構成される表示系が存在すれば色差表示に非常に便利であり、それが現在、種々の均等色空間に関する研究の盛んであるゆえんの一つである。

もう一つの問題は、CIE (1931) XYZ 表色系の色の三刺激値は、等色実験において視野角 2° の小孔を通して見る開口色モードで観測する。それに対しわれわれが日常において色の差を観測する場合、一般には対象が物体色（表面色モード）である。

したがって色サンプルに対する照明および観測条件、周囲の状況（背景など）、サンプルの材質感、心理物理的成因による色の見えの問題などが複雑に関与する。

さて、色差を定量的に表示し、またその色差を高精度に予測できる色差式を確立するための研究は、多年にわた

り国際的にも各方面に活発にすすめられ、数多くの色差評価実験のもとに種々の色差公式が提案されてきた¹⁾。

これらの色差研究において、色差式成立に至る経過を整理すると図1に示すよう、に、まず研究対象となる色差の大きさに注目して、

(1) 等色実験あるいは識別いき値に基づく小色差評価

(2) 比較的大きい色の差の判定に基づく色差評価

の二つに大別して考えられる。さらにそれは

(A) 実験式としての色差式

(B) 何らかの心理的、生理的モデルに基礎をおく色差式のどちらかに考えられる。

したがって、すでに提案されている色差評価方式の大部分は、(1)、(2)と(A)、(B)の組み合わせであるといえる。

たとえば、(1)―(A)では MacAdam²⁾ の等色変動長円に基づく色差式があり、(1)―(A)では Friele-MacAdam-chickering³⁾ の色差式、(2)―(A)では Godlove⁴⁾ の方式がある。また(2)―(B)では Hering の反対色説に基づく Adams-Nickerson 色差式⁵⁾ などがある。

本報では色差研究の上記の分類に従って、色差評価の歴史的ないくつかの主な研究過程を概観し、次に色差の表示法として、最近の CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) および ($L^*a^*b^*$) を中心にその概要を解説する。

2. 等色変動長円

小色差の基準単位として、等色実験における変動長円あるいは色識別におけるしきい値が、色差式の基礎データとして活用される。

MacAdam²⁾ は 2° 視野の視感色彩計を用い、その2分割視野の片側に一つの基準色度を設定し、一方の視野には基準色度点を中心とし、図2に示すように数方向に変化する色度をとって等色実験を行なった。色刺激はすべて輝度一定 (15 mL) に調整し、基準色度点は色度図上から25点を選定した。等色実験を多数回繰り返すとその結果は繰り返しごとにとばらつく。1人の被験者についてこの等色実験結果の標準偏差から等色変動長円を求めた。

これが有名な MacAdam の偏差長円であり、CIE 1931 xy 色度図上に図3によって示す。図の偏差長円の大きさは標準偏差の10倍で表わしている。図からわかるように

図1 色差評価と色差式の研究の流れ図

† Review on Color Difference Evaluation

* 電子技術総合研究所大阪支所

Toshio Yamanaka

図 2 MacAdam の等色変動長円の例
($x=0.160$, $y=0.057$ を基準点として色度図上の各方向の標準偏差)

図 3 MacAdam の偏差長円 (1942)
(標準偏差の10倍で表わす)

青色領域ではわずかな色度差でも色が識別できるが、緑領域ではかなりの色度差でも色識別ができないことを示し、それらの長円の長軸方向の大きさの差は約10倍にもなる。

MacAdam⁶⁾ はこれらの結果から二つの色度点の差、 dx , dy によって生じる色感覚の差が、前記の偏差長円の何倍に相当するかを色差のスケールとして次式で示した。

$$(ds)^2 = g_{11}(dx)^2 + 2g_{12}(dx)(dy) + g_{22}(dy)^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\left. \begin{aligned} g_{11} &= \cos^2\theta/a^2 + \sin^2\theta/b^2 \\ g_{12} &= \sin\theta \cos\theta(1/a^2 - 1/b^2) \\ g_{22} &= \sin^2\theta/a^2 + \cos^2\theta/b^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで a , b は長円の長軸および短軸の長さ、 θ は長軸の x 軸となす角度である。この色差表示は MacAdam 単位とも呼ばれ、JND (just noticeable difference: 丁度可) の約 1/3 ともいわれる。

さらに MacAdam は偏差長円の測定値を補間して、スペクトル軌跡内の全領域の g_{11} , g_{12} , および g_{22} の値を図

示した。この値を用い(2)式の逆変換によって任意の色度点における偏差長円を描くことができる。

Brown—MacAdam⁷⁾ は2人の被験者について、色刺激の輝度が0.31~10.74 fLの範囲に存在する39色度点に対する2°視野の等色実験を行ない、はじめて色度と輝度変化を加えた三次元色空間の等色偏差長円を求めた。

さらに Brown⁸⁾ は、10°視野の場合の両眼視による輝度一定(4.9 fL)の等色実験を12人の被験者によって行ない偏差長円を求めている。

近年では、Wyszecki—Fieder⁹⁾ は従来の等色視野とは異なる特殊な色刺激提示による新しい色彩計¹⁰⁾を用いて等色偏差長円を求めた。正六角形の視野の1辺が隣接する二つの視野を用い、輝度一定(12 cd/m²)の28色度点に対し3人の被験者について両眼観測で行なった。

その結果は Brown⁸⁾, および Brown—MacAdam⁷⁾ の偏差長円とはよく相関したが、MacAdam²⁾ の結果とは特定の色領域 (red, purple) では、かなりの差が認められた。

このような等色実験、あるいは色識別実験による偏差長円データは多くの研究者によって報告されてきたが、一般に必ずしもよい相関は得られていない。たとえば Parra¹¹⁾, Crawford¹²⁾ も、色度図上に色識別軌跡の実験結果を報告しているが、それは円滑な長円形を示していない。

3. 色識別実験と小色差

前記の MacAdam らの等色実験条件は、被験者が色差の存在を意識しないレベルで取り扱っている。

それに対し Wright¹³⁾ は、色識別いき値上わずかに色差の存在するレベルで色識別実験を行なった。

実験は観測視野が視角2°の Wright 色彩計を用い、スペクトル軌跡の対向する色度点を取り、それを結ぶ直線上の二つの単色光の混合比を変化して色識別域を求めた。その混合変化量を、それに比例する短い線分で CIE 1931 色度図上に示した。色度図上において線分で示す色識別限界は MacAdam²⁾ の結果と同様に青領域では非常に小さく、緑領域ではその20倍より大きい。

この実験結果では、全色度範囲について色識別域を詳細に示したが、しかし数学的解析がなく MacAdam の偏差長円のような色差表示への応用はない。

Wright の実験結果からわかるように、二つの色度差に対応する色感覚の差は、色領域によって大きく異なることは明白である。

今、色度差の距離が、すべての色領域において感覚的な色の差に比例して表わされる色度図があれば、色差表示に非常に便利である。これを UCS 色度図 (uniform chromaticity scale diagram) と呼ぶ。

Judd¹⁴⁾ は明るさ一定条件の波長識別、および純度識別などの実験データを解析し、 xy 色度図への射影変換によってはじめて UCS 色度図を提案した。

さらに MacAdam¹⁵⁾ は新しい座標系を導入し、より簡

単な変換式によって、直角座標 uv で示す UCS 色度図を作成した。その関係式を次に示す。

$$u = \frac{2x}{6y - x - 1.5}, \quad v = \frac{3y}{6y - x - 1.5} \quad \dots\dots\dots(3)$$

これが現在、よく知られている CIE 1960 UCS 色度図であり、また後述の CIE 1964 $U^*V^*W^*$ 色差式の系列に与する。その UCS 色度図に MacAdam の偏差長円を置点したものを 図 4 に示す。

図 4 CIE 1960 UCS 色度図に MacAdam 偏差長円を置点した図 (図 3 参照)

さて、識別いき値上のわずかな色差の評価については、染料、塗料あるいはプラスチック工業の分野で実用的な研究が多く報告されている。それらの色差評価の研究はテスト試料による実際的な色差の視感判定データと、種々の提案されている色差公式による色差の算定結果との対応が重要視される。

たとえば、Davidson—Friede¹⁶⁾ は繊維 (ウールフランネル) に対する色差評価に対し、基準色試料と種々のテスト試料との色差の許容度を判定させた。一方、7 種の色差公式について色差を計算し、視感判定結果と比較した。その結果は、MacAdam 偏差長円に基づく評価方式が最もよく対応した。

Jaekel¹⁷⁾ も 12 色の繊維パターン試料について、許容度による色差評価を行ない、その結果と 20 種の色差式の計算結果との相関を求めた。その結果では Adams chromatic value 方式と、Morton と Glasser の Cube Root 方式のものがより良い相関を示したと報告している。

前者の例では色差いき値に基づく評価方式が、それに対し後者では、マンセル空間のような大きい色差に基づく評価方式が、それぞれ視感判定データとよく対応したことを示している。他にもこれらと同様な研究が数多く報告¹⁸⁾¹⁹⁾されているが、色差公式の優劣を判定する結論は当然ながら現状では得られていない。

むしろ、ここで一つの問題は、小色差評価における判定基準にある。小色差評価の場合、前述の例のように許容度で判定することが多い。しかし実用上この許容度による判定は各種産業の応用分野、あるいは評価対象物によって評価基準が大きく変動する可能性がある。

CIE TC-1.3 色差式の勧告内容には、将来の色差研究の

指針として、許容度に代わり色差評価は知覚度 (Perceptibility) に指向すべきであると指摘²⁰⁾しているが、実用面において知覚度か許容度かのどちらに重点をおくかは、今後の研究課題でもある。

Kuehni²¹⁾ はこの問題に関し、種々の色織物の小色差評価を順位判定法、主観評価法および許容度の判定によって行ない、それらの視感評価の結果と後述の CIE LUV および CIE LAB その他 2 種の色差式による計算結果との相関を求めた。その結果、知覚度判定に相当する順位判定法と、許容度のこれらの評価方法の相異による結果には有意な差は認められなかったという報告がある。

4. 比較的大きい色差と均等色空間

色識別いき値近傍の小色差に対し、比較的大きい色差は光源、テレビ、写真、印刷などの色再現に関連して取り扱うことが多い。

Godlove⁴⁾ は、修正マンセル系²²⁾をユークリッド色空間とみなし、 $1V$ (バリュウ) = $4C$ (クロマ) $\div 11H$ (ヒュー) ($C=6$) の関係を用いて、その色空間内で色差を計算する方式を作成した。

$$I = \{2C_1C_2\phi(H) + (\Delta C)^2 + (4\Delta V)^2\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\phi(H) = 1 - \cos 3.6^\circ(\Delta H)$$

C_1, C_2 は、マンセル表色系で示した 2 色のそれぞれの彩度の値であり、 $\Delta V, \Delta C, \Delta H$ は明度差、彩度差、色相差である。

Adams²³⁾ は、Hering の色覚の反対色説に基づく均等色空間を提案した。

図 5 Adams の色覚モデル (Adams 1942)

この色覚モデルによる考え方は、図 5 に示すように今網膜の視細胞の杆状体に刺激 S_c 、錐状体に刺激 X_c, Y_c, Z_c が与えられると視神経に興奮が伝達され、この量は各刺激値にマンセルバリウ関数²²⁾を適用した値になるとし、これらを V_s, V_x, V_y, V_z で表わす。興奮量と比例した信号は脳に伝達されるが、末端視神経を経て脳に到達する量はそれぞれ $V_x - V_y$ ($R-G$ に対応)、 $V_y, V_z - V_y$ ($Y-B$ に対応) に比例すると考えた。

横軸に $V_x - V_y$ 、縦軸に $0.4(V_z - V_y)$ 、平面上に $0.23V_y$ を明度軸として垂直に立てると、その色空間で色差を次式によって示すことができる。

$$\Delta E = f_0 \{ [\Delta(V_x - V_r)]^2 + [0.23 \Delta Y]^2 + [0.4 \Delta(V_z - V_r)]^2 \}^{1/2} (f_0 = 40) \dots \dots \dots (5)$$

これが Adams—Nickerson の色差公式²⁴⁾と呼ばれ、特に繊維、染色関係の分野でよく用いられる。またこの色差式は、後述の CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) 色差式の前身である。

さて、このような比較的大きい色差を、等色偏差長円の結果から推定して予測することが可能であろうか。

図 6 色差合わせの視野の図

Wyszecki—Freid²⁵⁾ は、隣接する七つの視野が独立に混色調整できる特殊な色彩計¹⁰⁾を用いてこの問題を検討した。図 6 のように二つの視野 (i および j) に基準色差を設定し、被験者には、その色差と同じ色差を混色視野 ($i \cdot j$) の調節でつくらせた。この色差合わせの測定時のばらつきと、単なる等色変動のそれと比較し、その結果、色差が JND の数倍になると、等色偏差長円を色差の予測に利用できないことを示唆した。Robertson²⁶⁾ もしきい値色差に基づく知覚が大色差のそれとは異なることを例証している。

次に、“まえがき”で述べた分類の(1)と(2)の混合形がある。

Wyszecki²⁷⁾ は CIE UCS 色度図をさらに拡張し、明度軸は、修正マンセルパリュ—関数を 3 乗根で近似した関数を用い、直角座標 $U^*V^*W^*$ の三次元色空間を提案した。

これが 1964 年 CIE ($U^*V^*W^*$) 空間として勧告された。

$$\left. \begin{aligned} W^* &= 25 Y^{1/3} - 17, \quad (1 \leq Y \leq 100) \\ U^* &= 13 W^* (u - u_0) \\ V^* &= 13 W^* (v - v_0) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

u_0, v_0 は用いた標準の光の(3)式による計算値。

色差の表示は、色サンプル 1 (U_1^*, V_1^*, W_1^*) および色サンプル 2 (U_2^*, V_2^*, W_2^*) に対し次式で求める。

$$\Delta E_{CIE} = \{ (U_1^* - U_2^*)^2 + (V_1^* - V_2^*)^2 + (W_1^* - W_2^*)^2 \}^{1/2} \dots \dots \dots (7)$$

この色差式は、後述の CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) の前身である。

5. CIE 1976 均等色空間と色差式²⁰⁾

国際照明委員会 (CIE) においても、過去、多年にわたり種々の均等色空間、および色差の研究成果を検討してきたが、1976 年、新しい 2 種の均等色空間およびその色差式を勧告した。

5.1 CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) 空間と色差式

これは CIE 1964 ($U^*V^*W^*$) 空間を修正したもので、次式によって定義する量、 L^*, u^*, v^* を直角座標系に置く。

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116 (Y/Y_0)^{1/3} - 16 \quad Y/Y_0 \geq 0.01 \\ u^* &= 13 L^* (u' - u'_0), \quad v^* = 13 L^* (v' - v'_0) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} u' &= \frac{4X}{X+15Y+3Z}, \quad v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} \\ u'_0 &= \frac{4X_0}{X_0+15Y_0+3Z_0}, \quad v'_0 = \frac{9Y_0}{X_0+15Y_0+3Z_0} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

X, Y, Z は対象とする物体の三刺激値、 X_0, Y_0, Z_0 は照明に用いた標準の光の三刺激値であり、 Y_0 は 100 に等しくされる。

この均等色空間における座標 (L_1^*, u_1^*, v_1^*)、および (L_2^*, u_2^*, v_2^*) で示される 2 色間の色差は、次式で求める。

$$\Delta E_{uv}^* = \{ (\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2 \}^{1/2} \dots \dots \dots (9)$$

ここで、 $\Delta L^* = L_2^* - L_1^*, \Delta u^* = u_2^* - u_1^*, \Delta v^* = v_2^* - v_1^*$ 。

この色空間は、一定の L^* に対して一つの $u'v'$ 色度図をもち、それは CIE 1931 色度座標の射影変換である。 xy 色度図内の直線は $u'v'$ 色度図でも直線になり、この特徴は、色光が加法的に混色されるとき重要な特性である。この色空間は略語として CIE LUV と記す。

5.2 CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) 空間とその色差式

これは Adams—Nickerson 空間と、その色差式を簡易化したもので、次式で定義される量 L^*, a^*, b^* を直交座標にもつ近似均等色空間である。

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116 (Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500 \{ (X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3} \} \\ b^* &= 200 \{ (Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3} \} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (10)$$

$X/X_0, Y/Y_0, Z/Z_0 > 0.01$

ここで、 X, Y, Z は対象とする物体の三刺激値、 X_0, Y_0, Z_0 は照明に用いた標準の光の三刺激値であり、 Y_0 は 100 に等しくされる。

座標が (L_1^*, a_1^*, b_1^*)、および (L_2^*, a_2^*, b_2^*) の 2 色間の色差は次式で求める。

$$\left. \begin{aligned} \Delta E_{ab}^* &= \{ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \}^{1/2} \\ \Delta L^* &= L_2^* - L_1^* \\ \Delta a^* &= a_2^* - a_1^* \\ \Delta b^* &= b_2^* - b_1^* \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (11)$$

この色空間は略語として CIE LAB と記す。

L^* が一定の場合、CIE 1931 xy 色度図中の直線は、一般に a^*, b^* 座標面内では曲線になる。しかし一定色相の線は一般に a^*, b^* 座標面内のほうが、 u^*, v^* 座標面内より直線に近くなる。

ΔE_{ab}^* と Adams—Nickerson (AN 40) 色差式による色差 $\Delta E_{(AN40)}$ と比較する場合、 $\Delta E_{ab}^* = 1.14 \Delta E_{(AN40)}$ の関係がある。

また、この CIE ($L^*a^*b^*$) 空間では $X/X_0, Y/Y_0,$

Z/Z_0 のどれか一つでも 0.01 より小さい場合、近似均等色空間を満足しない。

そこで Pouil²⁸⁾ は、 X/X_0 , Y/Y_0 , Z/Z_0 が 0.01 より小さい場合を考慮して色差公式を次式のように拡張した。

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116 f(Y/Y_0) \\ a^* &= 500 [f(X/X_0) - f(Y/Y_0)] \\ b^* &= 200 [f(Y/Y_0) - f(Z/Z_0)] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

ここで関数 $f(q)$ を次のように定義する。

$$q > 0.008856 \text{ に対し } f(q) = q^{1/3} - 16/116 \dots\dots\dots (13)$$

$$q \leq 0.008856 \text{ に対し } f(q) = 7.787q \dots\dots\dots (14)$$

(13)式は、 $q > 0.01$ として定義された CIE 勧告の(10)式と同様になる。

CIE 勧告では、CIE LUV 系の u' v' 色度図が定義されているが、CIE LAB 系では色度図の定義はない。

しかし、最近 Richter²⁹⁾ は CIE LAB 系の色度図を次式のように提案した。

色度図の色度座標 a' , b' とし

$$\left. \begin{aligned} a' &= (1/X_0)^{1/3} (X/Y)^{1/3} \\ b' &= -0.4(1/Z_0)^{1/3} (Z/Y)^{1/3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

ただし X_0 , Z_0 は照明光に関する刺激値で、そのときの CIE LAB における a^* , b^* は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} a^* &= 500 (a' - a'_0) Y^{1/3} \\ b^* &= 500 (b' - b'_0) Y^{1/3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

ここで、 a'_0 , b'_0 は照明光に対する a' , b' の値である。

6. お わ り に

本報では色差評価に対し、いくつかの主な研究動向に従って概観した。種々の色差公式による相互比較の報告も多いが、いずれの色差公式がすぐれているかは、当然ながら結論は出ていない。

CIE 1976勧告の色差式も暫定的なものであり、今後の色差に関する研究成果にまつところが多い。

CIE 1976色空間に対する均等色空間の検討などは紙面の都合で割愛するが、各種光源に関する色空間の均等性³⁰⁾や色順応効果が、その均等性に及ぼす影響³¹⁾などは文献を参照されたい。

ともあれ各国の色差研究もまだ発展の途上にあり、CIE TC-1.3 色差小委員会においても、各国協同研究に対するガイドライン³²⁾を示しており、今後の研究の発展が期待される。

参 考 文 献

- (1) G. Wyszecki: Proc. Helmholtz Memorial Symp. on Colour Metrics, Driebergen 1971 p. 339

- (2) D. L. MacAdam: J. Opt. Soc. Am. **32** (1942) 247
- (3) L. F. C. Friele: J. Opt. Soc. Am. **55** (1965) 1314
- (4) I. H. Godlove: J. Opt. Soc. Am. **41** (1951) 760
- (5) D. Nickerson and K. F. Stultz: J. Opt. Soc. Am. **34** (1944) 550
- (6) D. L. MacAdam: J. Opt. Soc. Am. **33** (1943) 18
- (7) W. R. J. Brown and D. L. MacAdam: J. Opt. Soc. Am. **39** (1949) 808
- (8) W. R. J. Brown: J. Opt. Soc. Am. **47** (1957) 137
- (9) G. Wyszecki and G. H. Fielder: J. Opt. Soc. Am. **61** (1971) 1135
- (10) G. Wyszecki: J. Opt. Soc. Am. **55** (1965) 1319
- (11) F. Parra: 1970 Proc. 1st Congr. Association Internationale de la Couleur, Stockholm 1969 pp. 727
- (12) B. H. Crawford: 1970 Proc. 1st Congr. AIC Stockholm 1969 pp. 302
- (13) W. D. Wright: Proc. Phys. Soc. **53** (1941) 93
- (14) D. B. Judd: J. Opt. Soc. Am. **25** (1935) 24
- (15) D. L. MacAdam: J. Opt. Soc. Am. **27** (1937) 294
- (16) H. R. Davidson and E. Friede: J. Opt. Soc. Am. **43** (1953) 581
- (17) S. M. Jaekel: Appl. Optics **12** (1973) 1299
- (18) D. Strocka: Appl. Optics **10** (1971) 1308
- (19) R. Kuehni: J. Color and Appearance **1** (1972) 4
- (20) CIE TC-1.3: Recommendation on uniform color space — color difference equations psychometric color terms (1978)
- (21) R. G. Kuehni and R. T. Marcus: Color Research and Appl. **4** (1979) 83
- (22) S. M. Newhall et al.: J. Opt. Soc. Am. **33** (1943) 385
- (23) E. Q. Adams: J. Opt. Soc. Am. **32** (1942) 168
- (24) D. Nickerson and K. F. Stultz: J. Opt. Soc. Am. **34** (1944) 550
- (25) G. Wyszecki: J. Opt. Soc. Am. **62** (1972) 117
- (26) A. R. Robertson: CIE 1975 London (Paris: Bureau Central de la CIE) p. 174
- (27) G. Wyszecki: J. Opt. Soc. Am. **53** (1963) 1318
- (28) H. Pauli: J. Opt. Soc. Am. **66** (1976) 866
- (29) K. Richter: Color Res. Appl. **5** (1980) 25
- (30) K. Ikeda et al.: Presented at CIE Kyoto Meeting (1979)
- (31) Y. Nayatani et al.: Acta Chromatica **3** (1980) 172
- (32) CIE TC-1.3 "Guideline for Coordinated Research on Colour Difference Evaluation" (1978.1)

(受付1980年11月25日)