

新しい色管理法の紹介

角野正夫*

New Inspection Method for Coloring Industry

By Masao Sumino

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

Although in general use, the N.B.S. unit of the color tolerance is not fitted for the industrial control of colors, because of extremely troublesome calculations necessary for obtaining figure values from the spectral reflectance curve, and the risk of error in the inspection of metameric isocolors, which could result in a serious color difference wherever the illumination is not "illuminant C".

The writer has found recently a new unit of the tolerance which is much more preferable to the industrial color control, and termed it "Huc unit". In Fig. 1, the standard sample is illustrated as the 0-Huc line. Besides the 0-Huc line, ± 1 , ± 2 , Huc lines are drawn following the Table 1, 2 or 3, corresponding to the sample character of the gloss; 1 for lusterless samples, 2 semiglossy and 3 glossy. If a sample curve to be inspected expands over the n -strips of the Huc lines (including 0-Huc line), it is defined that the sample has n -Huc of spectral reflectance tolerance compared with the standard sample. The writer has proved that, for ordinary specimens of the reflecting colors, and under ordinary illumination, the n -Huc of spectral reflectance tolerance corresponds to about n -N.B.S. unit of color tolerance, and the possible maximum is limited to about 1.5 n -N.B.S. unit.

〔I〕 緒 言

分光光度計を使用して試料の分光反射率が測定できたとき、この結果を色彩の管理に利用する具体的方法について記述する。従来知られている色差算出法を採用する場合には、まずC照明など適用照明を規定して、試料に関する色積分計算を実施し、C.I.E.の色表示(x, y, Y)を求めねばならない。この表示から等色差空間への変換計算を行ったのち、標準試料の値と比較して色差をN.B.S. unitなどで算出するという面倒な手続をすることになる。この結果は適用した照明のみに関するものであるから、工業的製品に対する管理のためには以上の手続を幾つかの照明について実施しないと、メタメリズムなどのために常識的には検査不合格となるべき製品を合格として出荷する可能性が発生する。

以上の取扱いが非常に面倒で非実用的であることは、各色材メーカーにおいても全製品につきかかる検査法を完全に適用しておられるところはきわめて少ないことから

も推察される。寡聞な筆者の知る範囲では、これの完全実施は日本色彩研究所の標準色紙製作に関してだけであり、われわれのつねに敬服するところである。しかしながら、かかる努力を一般のメーカーに推奨することは当をえないと考え、筆者は実用的な色管理法について考究を進めてきたのであるが、今回ようやく成案をえたので紹介し、関係各方面の御批判を仰ぐ次第である。

〔II〕 新しい色管理法

たとえば従来の考え方で4 N.B.S. unit程度の色管理を実施しようという現場の色管理に対しては、つぎに述べる4 Hucの分光反射率管理の実施を推奨する。Hucとは新しく見出した分光反射率差に関する単位である。この定義はつぎの通りである。たとえば第1図(次頁参照)において太い実線は標準試料の分光反射率曲線である。これには0-Hucが記入してある。この上下両側に ± 1 Huc, ± 2 Huc,の側線が記入してある。これをHuc lineと名付けておく。Huc lineの引き方はある波長 λ につき標準試料の分光反射率 $R(\lambda)$ に対して第1

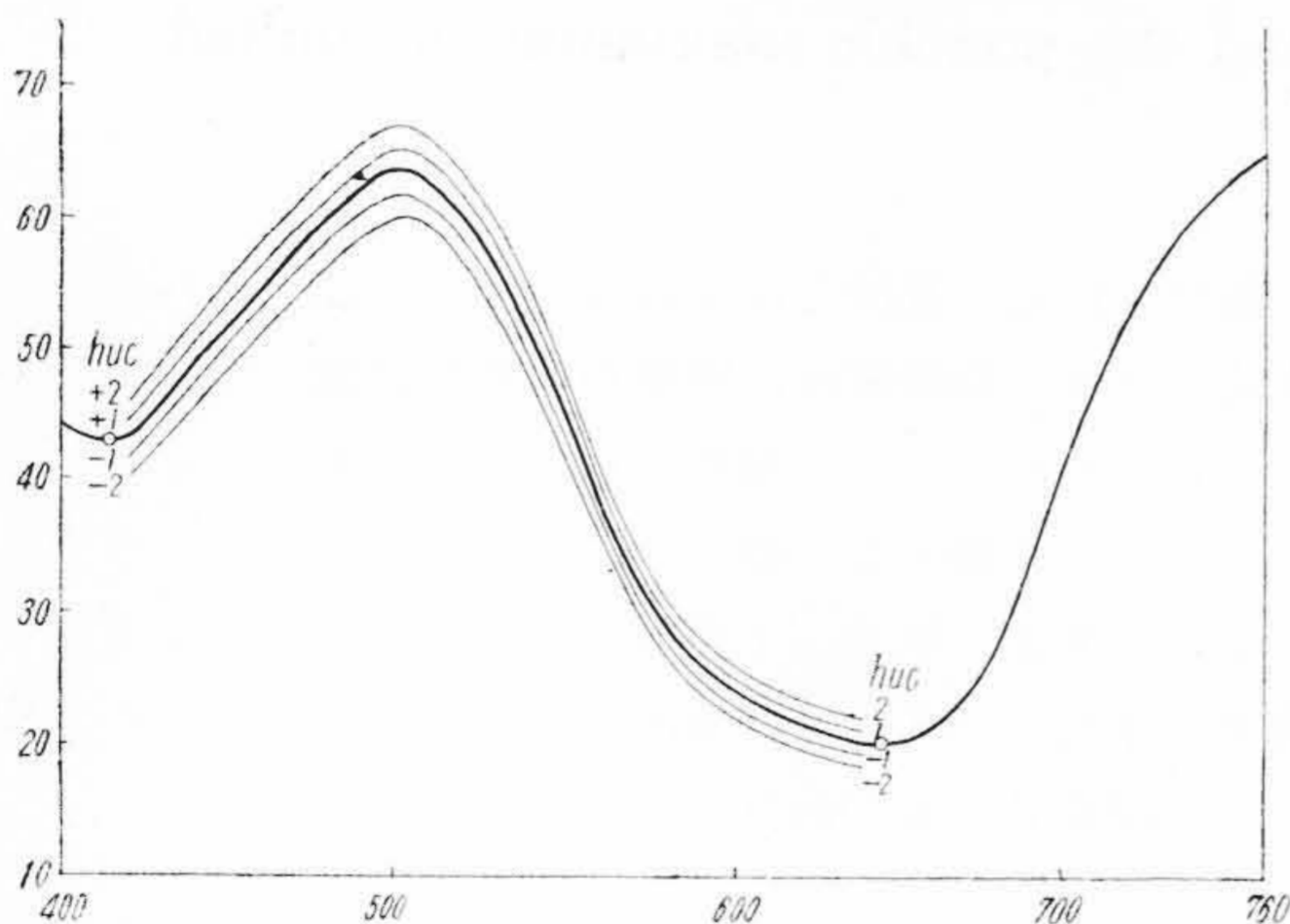
* 日立製作所中央研究所

表より $dR(\lambda)$ を読み取り、その値の n 倍だけ標準試料曲線 (0-Huc line) の上下にプロットした点の軌跡を $\pm n$ -Huc line とする。Huc 単位で表わされる分光反射率差は、試料の分光反射率曲線がかかる Huc line の何本にまたがっているかによつてきまるのであるが、もし試料の曲線が 0-Huc line の上側だけにあるとき、その曲線が最大 p -Huc line に接しているならば、この試料の標準に対する分光反射率差は p -Huc であるとする。また試料曲線が 0-Huc line の上下に振動して、最大 p -Huc line から負に最大の ($-q$) Huc line までの間に拡がっているときには $(p+q)$ Huc であると定義する。0-Huc line の下側だけの曲線については負の最大 ($-q$) Huc line につき q -Huc である。

筆者の研究によれば通常の照明条件、通常の反射試料に関しては、照明ならびに試料のいかにかわからず、つぎのことが成立つようである。すなわち標準試料にくらべて

n -Huc の分光反射率差の試料は通常約 n -N.B.S. unit 程度の色差を発生するのであるが、最大 1.5 n -N.B.S. unit 以内の色差にとどまる。

この結果を従来の Federal Specification などにみられる C 照明のみによる N.B.S. unit の管理に比較すると C 照明のみによる色差管理によつては他の照明条件下における色差の最大値に関する保証は存在せず、しばしば



第1図 フック線を記入した自記分光光度計記録用線の一例

この用紙上に試料曲線を記録させる。たとえば $+2 \sim 0$ の間もしくは $+1 \sim -1$ の間もしくは $0 \sim -2$ の間、あるいはこれに準ずる中間状態に曲線が収まっているものを検査合格とすると、2 Huc の分光反射率差管理を実施することになるが、これは大略 2 N.B.S. unit の色管理に相当する。

Fig. 2. Recording Paper with Huc Line

Record the reflectance curve of the specimen on this paper, and select only the specimen whose curve expands between $+2 \sim 0$, or $+1 \sim -1$, or $0 \sim -2$ or like these, then you will find yourself controlling the colors as 2 Huc of spectral reflectance tolerance. It corresponds to about 2 N.B.S. unit tolerance of the colors.

きわめて大きい差を発生することは周知の通りである。そこで実用上の簡便さを度外視しても Huc 単位による色管理の方が工業的にはより完全を期待することができる。

実用上の簡便さについては、Huc 単位を採用すれば自記分光光度計などで分光反射率曲線を書き上げた瞬間に検査合否決定、もしくは修正法が確定する故、N.B.S. unit 採用の場合とは比較にならないほど便利である。

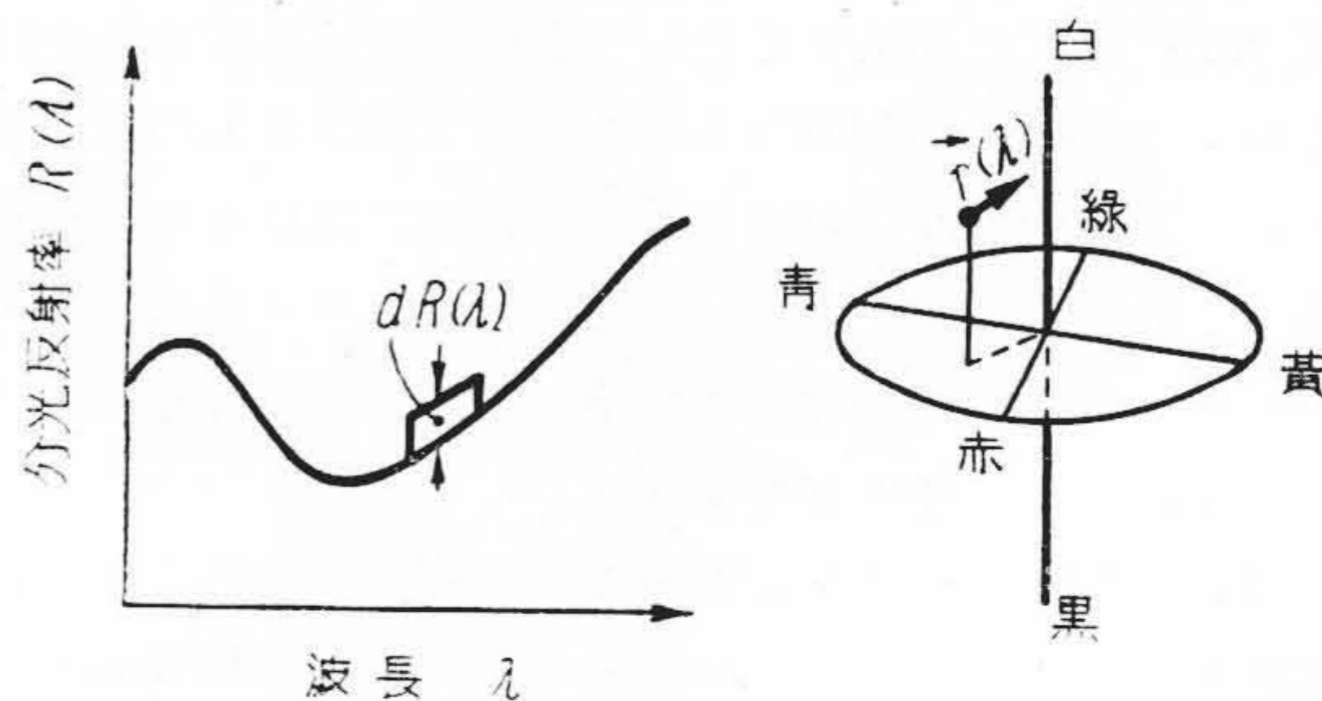
[III] Huc 方式の根拠

この新方式の厳密な証明は別誌にゆずり、本稿においてはその梗概だけを述べる。

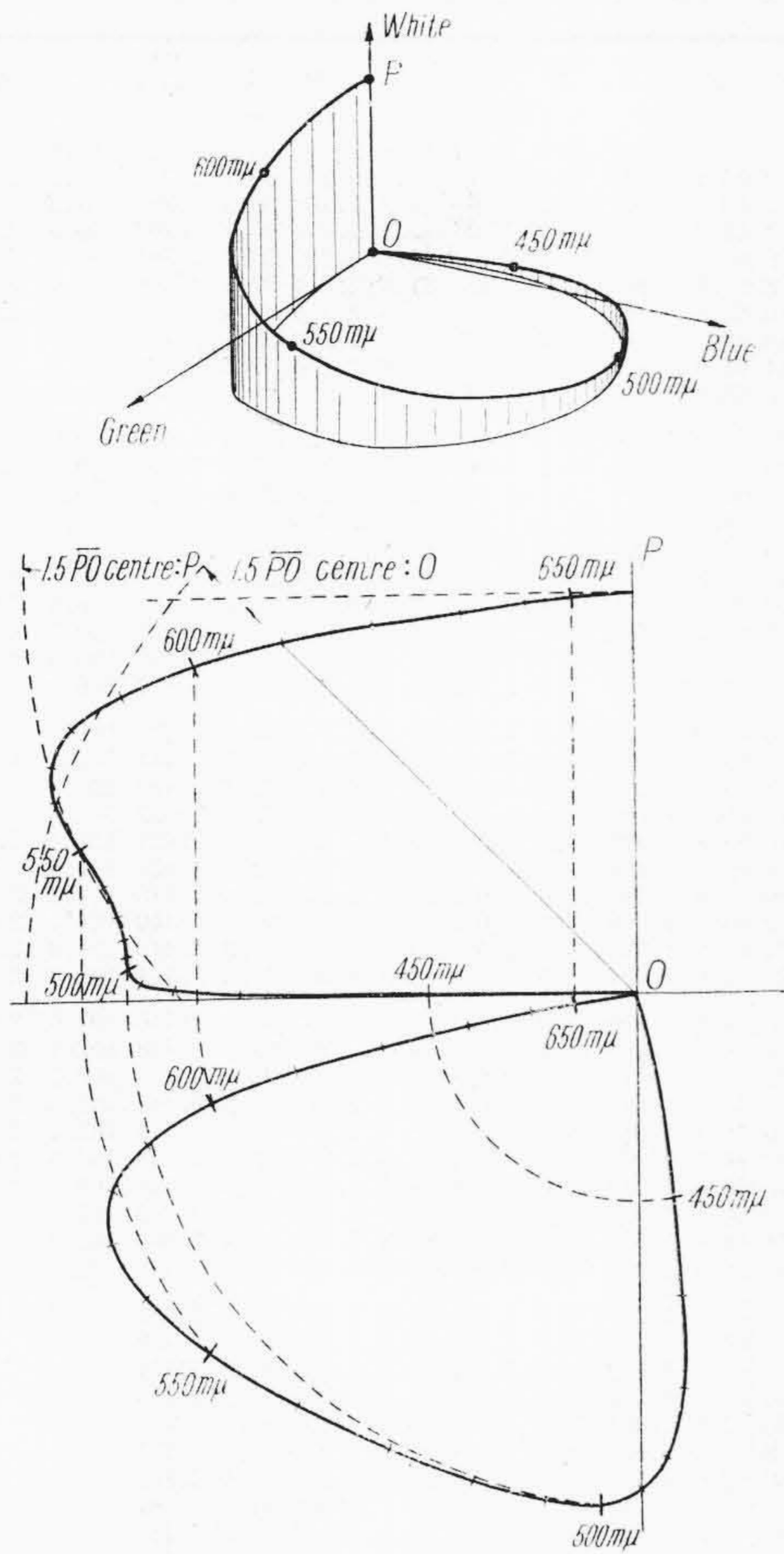
第1表等の常数表は次のようにして作成されている。

第1表 Lusterless の場合の表値は Value Function の $\Delta V=0.1$ に対する Gradient である。第2表 Semi-gloss および第3表 Glossy の値はこれに Judd-Hunter の Gloss Factor を考慮したものである。

さて第2図において、標準試料の分光反射率曲線に対しある波長 λ の近傍で単位波長幅につき $dR(\lambda)$ だけずれた試料を仮想すると、この試料をある照明下で見たとき色差空間上 $\vec{r}(\lambda)$ だけ色がずれると思われる。この $\vec{r}(\lambda)$ を色差ベクトルと名付ける。一般の試料に対しては各波長に付色差ベクトルを考えたとき、その全波長に関する積分値が総合色差と考えられるのであるが、 $dR(\lambda)$ に対して Huc line で与えられるような制限、たとえば 1 Huc の限界を与えるときの色差ベクトルの積分値は第3図で示すような回転面の内側に存在することが証明される。この回転面は O 点および P 点における等明度面と、O 点および P 点を中心とし $1.5 \overline{OP}$ を半径とする球面とで制限される回転面であつて、1 Huc に対しては \overline{OP} の長さは 1 N.B.S. である。この証明は二段に分けて行われる。まず白色ないし灰色の試料に対して色差ベクトル積分の軌跡を考えたとき $\Delta R(\lambda) = a$ a : 定値なるときが $0 < \Delta R(\lambda) < a$ なる条件下で起りうるあらゆる場合のうち、ベクトル積分の軌跡が一番 OP 線よりも遠ざかることになるのであるが、これを各種の照明について、また



第2図 色差ベクトルの説明図
Fig. 2. Color Tolerance Vector



第3図 色差ベクトル積分軌跡説明図

第2図に示した $\vec{r}(\lambda)$ は波長 λ の関数であるが、これを短波長側よりある波長 λ まで加算したものを $\int_{\lambda}^{\lambda_0} \vec{r}(\lambda) d\lambda$ なるベクトルを白色試料につき $\Delta R(\lambda) = \text{const.}$ として計算すると、上図(透視図)にえがいたようになる。これの \vec{CP} 線よりのへだたりを吟味するため、等明度面への投影ならびに \vec{CP} 線を含む等色相面への投影をえがいたのが下図である。この投影は O および P を中心とする $1.5 \vec{PO}$ の球面にほぼ接するとみてよい。図は照明 C にかんし Hunter 式で試算したものを示しているが、同条件でも Adams 式、Godlove 式、Ives 式など各種の式を用いると球面に対する凹凸の波長は異ってくる。また照明をかえても異なる。しかし、N.B.S. unit ないし色差という概念自体からして、これらのデータはこの軌跡が十分の精度で $1.5 \vec{PO}$ の球面に接していると思惟してよいと考えられる。

Fig. 3. Color Tolerance Vector Integral Loci

It shows the locus of $\int_{\lambda}^{\lambda_0} \vec{r}(\lambda) d\lambda$ for the white sample and $\Delta R(\lambda) = \text{constant}$.
When the sample is colored, and if we select $\Delta R(\lambda) \div \text{constant} \times \sqrt{R(\lambda)}$, then the locus of $\int_{\lambda}^{\lambda_0} \vec{r}(\lambda) d\lambda$ traces the another loop inside of this locus.

各種の色差式を適用して試算してみると、第3図の回転面にほとんど接することが判明する。ある種の色差式ではある波長域でこの面を越えて外に出ることがあるが、これについて調べてみると、その色差式ではその波長域の分光反射率変化によつて色差がおもに支配されるような色に対しては、他の色差式や経験的常識からいつて不合理に大きい色差値を出す傾向のあることが一般に知られている種類のものである。たとえば Hunter 式の黄色、Adams 式の紫などはその例である。

次段の証明は一般色に関するものである。これには Value Function として古い Munsell 系に関する Priest などの式を、色差空間として Adams の式とそして三色刺激値として Moon Spencer による Analytical Representation の式を採用すると純数学的に次の結論が出る。

$\Delta R(\lambda) = a\sqrt{R(\lambda)}$ とおいた場合のベクトル積分軌跡の波長 λ の点を図上に求めるには、まず灰色の場合の $\lambda \times (R(\lambda)/R(\lambda + \text{約 } 1 \text{ m}\mu))$ の点を求め、その点から $R(\lambda)$ によつてきまるある常数 (1 より小さいが、低彩度のものではほとんど 1 に近い) 倍だけ原点に近い側へずらせた点が必要となる。すなわち灰色の場合の回転面よりも外に出ることはない。

この結論に対して Value Function に関する Munsell, Recommendation の式ならびに Judd-Hunter の Gloss Factor の式の主旨を適用すると各常数表が構成される。

[IV] 結 言

以上述べたように筆者は分光反射率曲線を以て直接色管理を行うために、Huc なる分光反射率差に関する単位を導入した。

以上述べたことがもし間違いでなければ今後の工業的な色に関する諸規格のほとんどのものが従来の N.B.S. unit よりこの Huc unit に書き換えられるものと予想される。しかしながら筆者自身も、従来とはあまりに大きい飛躍であるため、このことの公表に大きい自信は持ちえない。関係各方面の御検討と御試用を御願ひする次第である。

本研究は日立製作所湯本、河合両博士の御指導の下に日月博士以下塗装委員会諸氏の御後援をえて実施したものである。擲筆にあたり、これらの方々ならびに種々御討議をいただいた東京工業大学稲村助教授ならびに日本色彩研究所川上主任に厚くお礼申し上げる。

(附記) 本稿の背景となっている最近の色彩論については次の文献を参考されたし。

久保田広: Color Space (物理学としての色彩論)

Huc: 日本物理学会誌 第7巻 (昭和27年) 249頁

なお線を引いておく波長域は、考慮に入れる照明の色温度範囲のきめ方によつて差異を生ずるが、通常の実用目的に対しては今のところ 420~640 mμ に選んで良いように思っている。さらに今後の実用統計により再検討したい。

第1表 Huc 常数表 (無光沢用) Table 1. Huc-Constants (for Lusterless)

Table with 24 columns (R, dR) and 24 rows of numerical data. The table lists Huc constants for various angles and materials, organized in a grid format.

第3表 Huc 常数表 (光沢性試料用) Table 3. Huc-Constants (for Glossy Samples)

Table with 24 columns (R, dR) and 24 rows of data. The table lists Huc constants for glossy samples across a range of R values from 0.0 to 8.9. Each row contains two pairs of (R, dR) values, with the second pair starting at R=10.0 for the first row and increasing by 1.0 for each subsequent row.