白色面の記述と測定の方法†

R. S. ハンター 専門会員 川 上 元 郎† (訳)

＜概要＞ 1953年に白色面の色彩学的研究をするために ISCC (Inter-Society Color Council) の第19問題小委員会が結成されたが、これはその委員会の報告文である。

物理学的には、白く見える物体の表面は可視スペクトル全域にわたって強くかつ拡散的に反射する。

心理物理学的には、白に色立体の中心頂点あたりに、ばく然と占める部分の色である。

白色度* とは好ましい白**との視感的近づきの度合いを示す白色面の属性をいうのである。この好ましい白は観測者、観測位置などによって、いくぶん変るものである。白色の測定と比較は、どのくらい標準となる白色に一致しているかどうかの程度を測定し、色の表示方法に従って表示する。白さの一つの定義方法として、白の反射率測定によって表わす方法も広く用いられている。三刺激値から、最も信頼のおける白色度の数値を得る公式を見つけ出すための調査は数多くあるが、これらの研究から求められた白色尺度*** (公式をいう) はまだ広く取引に用いられているわけではない。

＜本文＞ これは ISCC の第19問題、すなわち、白色面に関する小委員会の報告である。ISCC に加入している27の専門団体のなかで、少なくとも、白色材料を取り扱っている13の団体が材料の白色度の表示および測定について積極的に携わった。

1953年に米国陶磁器協会(American Ceramic Society)は合衆国のいろいろな器具・家具などを対象とする標準白色面、または白色標準(U. S. Appliance Standard White)を確立する時期であるという理由から、ISCCに白色面の研究の申し出をした。

このような標準ができれば、白色の家庭用具の全製造業者は同一白色を作り出すのが容易となるし、異なるメーカーの用具を買う消費者が、それらの用具を併置したときに、よく調和するものを得られることになるので便

利である。

陶磁器協会(Ceramic Society)では設備の多くが白色ホーロー仕上げであるから、この提案された白色標準に大変関心を示した。また、ISCCの会員であるペイント紙、印刷、織物、清浄剤、プラスチックなどを取り扱っている会員もまた、白色および白色度の研究に関心を表明したので、白色面の研究を委員会に取り上げることにしたのである。

1953年に、この委員会は、器具・家具用白色標準(Appliance Standard White)の計画を助力するために開催されたが、実はその後は中止の止むなきに至っている。

そこで、この委員会の企画は合衆国の工業における白色および近似白色を確定するために用いる技術的な方法の研究に向けられた。この報告には、その研究の結果が述べられている。すなわち、白色評価の現状を述べ、そして面の属性としての白色度、および白色度を評価するのに用いられる方法について論議されている。

白色と白色度

白は一般に表面の他の色とは違った、独特の色として知覚される。この白の視感の上での独特さは、次の定義に基づく。すなわち、白色面は普通の周辺状態で見て初めて白く現われるものである。もちろん、白といっても種々あって、白色面と比較的明るい多少色味のある近似白色面との間には、はっきりとした区別がない。オ1図は

オ1図 頂上のあたりに点線で示した部分に白色を包含している表面色色立体

表面色色立体の図である。

この色立体の中心頂上付近に点線で示した部分が白と呼ばれる部分である。

白色度は白色面の属性の一種で、ある好ましい白

(preferred white) にどの程度類似しているかを表わす。この好ま

† Richard S. Hunter: Description and Measurement of White Surfaces (JOSA: Vol. 48, No. 9, 1958, p. 597-605) translated by G. Kawakami.

†† 日本色彩研究所

* whiteness

** preferred white

*** whiteness scale

しい白は観測者¹⁾、観測状態、およびその時代の流行によって、種々変わることが明らかである。消費者についての調査では、特に織物を取り扱うときは、色味のない白よりも、青みの白³⁾の方が、しばしば好まれる。このように好ましい白は変化するので、白色度はあまり格一化した表面の属性とはいいい切れない。

物理的には、白色面は可視スペクトル全域にわたって強い反射（通常50%以上）をするものがある。その分光反射率が高ければ高いほど、またその分光特性曲線が平滑であればあるほど、その表面は白く見える。

白色面の例として、ホーロウ板、新聞紙、白色綿ブロード布、および半つやの壁用塗料の塗板を選んで、GE

※2図 無作為に選んだ4種の白色面に対する分光曲線(1)綿ブロード布(2)新聞紙(3)ホーロウおよび(4)室内用塗料

白色度を測定すための特別な測定基準がないかぎり、※2図の曲線からいずれが白いか決めることはできない

白い材料は大体、好ましい白よりも黄みまたは灰色の白にかたよっている。それは、一般は有機物質は第2図に示されている室内用ペイントおよび新聞紙の曲線のように、青の部分に低下傾向のある分光分布をもっているからにはかならない。この青の部分において低下する反射率は表面に黄みの帯びる原因となる。

幾何学的には、白色面はすべての方向に拡散反射する

※3図 ※2図に用いた同じ4種の試料に45°方向から照明して変角光度曲線、(1)綿ブロード布、(2)新聞紙、(3)ホーロウおよび(4)室内用塗料

白色面は、各方向における反射率の均一性から本質的に

製自記分光光度計⁴⁾で測定を行なってみた。

それらの試料の分光特性曲線を※2図に示した。

想像していたように、新聞紙はこれら4種のなかでは最も白くない。綿布とホーロウ板とは互いに分光特性は異なっているけれども、白色度はほぼ同じである

性質をもっている。ハンター自記変角光度計で前記4種の試料について求めた結果を曲線で※3図に示す。

日常用いられる普通の白

け離れていることがわかる。これらの差異は幾何学的な反射率(変角による反射率の差異)のほか、鏡面反射方向においていちじるしい、これらの差異は光沢に関連し、白色度には無関係である。このような白色面の反射率の幾何学的な変化は、測定に用いる器械の異なることによって、たがいに異なった測定結果を招くことになる。

色を表示するには、他の色の表示と同様に白に対して3種の数値が用いられる。白は CIE 色度座標、主波長、刺激純度および視感反射率、または※1図の心理的色立体で示した色相、彩度および明度によく対応するマンセル記号によって表示をすることができる。色空間の視感的均一性は、微小色差を表示するのに十分満足される公式を得るために必要である。

修正マンセル記号による色表示がわかっているれば、白色点を中性点と仮定するか、あるいは近似白色点(色差はこの点に関連する)を選定するかして、※1図に示す色立体の明度尺および極座標を白色度を表示するための基準に用いることができる。(このような方法で円板色彩計を種々応用したもののが作られている⁵⁾。)

※4図 色立体の直角座標 L, a, b の尺度: L-明度, a 赤み-緑み, b 黄み-青み

このほかに、白色度を表示するために色立体の直角座標の尺度が用いられる。実際にはこの方法がおそらく最も

※4図は色立体の中心を通る水平断面による骨組みであって、これらの尺度は(1)明度L、すなわち第1図における垂直軸の尺度と全く同じもの、(2) a は正号の場合赤みの程度を、ゼロの場合には無彩色を、負号の場合には緑みの程度を示すものである。(3) b は正号の場合黄みの程度を、ゼロの場合には無彩色を、負号の場合には青みを示すものである。

この一つの直角座標での尺度で示される黄み-青みと、赤み-緑みとは白色との差の視感的な感じときわめて一致する。色立体⁶⁾⁷⁾の直角座標は広く用いられている色彩計のデータから、微小色差を計算するのに便利であるという点において、極座標よりもすぐれている。

ある色の L, a および b は、ある種の型式の光電色彩計⁷⁾では直読することができるし、また三刺激値反射率計(tristimulus reflectometer)の読みからも容易に計算することができる。

実際には、ごく似た式によって、CIE 表色系に関係づけることができるような、L, a および b の値のいくつかの異なった組みがある。それらの式を導き出すのに、異なった知覚的均一性の研究データを用いるために、ま

た、異なったそれぞれの用途事情に適するように計画されたものであるために、かように種々の尺度が存在する

結果になったのである。表 1 には、種々の L, a b 色度座標系の五つを示した。

表 1 5種の等色差性をもつ色体系から求めた、L, a および b の相互比較。照明はすべての標準の光 C である。

名前, データおよび参考文献	重要な特徴	白 (L) 尺 黒度	CIE X, Y および Z で表わした式	
			赤 (a) 尺 緑度	黄 (b) 尺 青度
Judd-Hunter (1942) ^a	減法混色視感色彩計 ^b と Hunter 多能反射率計 ^c が用いられた。	100 kY ^{1/2} (ただし k は比較試料間の近接程度によって 0.2 から 1.2 まで変えられる)	700 Y ^{1/2} $\left(\frac{1.25X - Y + 0.1907Z}{1.25X + 2Y + 0.6563Z} \right)$ または Hunter の A, G, B で 700 G ^{1/2} $\left(\frac{A - G}{A + 2G + B} \right)$	2E0 Y ^{1/2} $\left(\frac{Y - 0.847Z}{1.25X + 2Y + 0.6563Z} \right)$ または Hunter の A, G, B で 2E0 Y ^{1/2} $\left(\frac{G - B}{A + 2G + B} \right)$
Judd-Hunter Scofield (1943) ^c	三刺激反射率計を用いると前述のものよりも簡易である。	100 Y ^{1/2}	700 Y ^{1/2} $\left(\frac{1.25X - Y + 0.1907Z}{1.25X + 2Y + 0.6563Z} \right)$	2E0 Y ^{1/2} $\left(\frac{Y - 0.847Z}{1.25X + 2Y + 0.6563Z} \right)$
Adams chromatic Value (1944) ^d	v=0.1V に等しい Munsell Value (V) に対し X, Y および Z を変換する数表が必要である。	92v (Y)	400[v(1.02X) - v(Y)]	160[v(Y) - v(0.847Z)]
Hunter Rd (1948) ^e	Rd (Y を) 目盛合せしたのち、自動的に a および b を計算するように設計した色差計を用いる。	100f _r Y ただし、 f _r = 0.51 $\left(\frac{21 + 20Y}{1 + 20Y} \right)$	175f _r (1.02X - Y)	70f _r (Y - 0.847Z)
Hunter L (1949) ^e	色差計が自動的に三つともに計算する。	100 Y ^{1/2}	175 Y ^{-1/2} (1.02X - Y)	70 Y ^{-1/2} (Y - 0.847Z)

備考 a. 参考文献 8 参照

b. D.B. Judd: Textile Research 9, 253(1939); D.B. Judd: Psychol. 52, 418(1939).

c. F. Scofield: Natl. Paint, Varnish Laquer Assoc., Sci. Sec. Circ. No. 664, Washington, D.C. (1943).

d. 参考文献 6 参照

e. 参考文献 7 参照

f. R.S. Hunter: J. Opt. Soc. Am. 30, 536(1940)[また, R.S. Hunter: J. Research Natl. Bur. Standards 25, 581 (1940) 参照]

白色評価方法

白い材料の色および白色度評価には、肉眼および三つの型式の色彩計が用いられる。(表 2 参照)

表 2

白についての研究理由	三色評価		白色度評価	
	色の表示方法準用	標準に色合わせ	反射率で白色度の完全度の部分評価 (三色) 評価	
(装置として) 肉眼		×		×
青または緑フィルターつき反射率計			×	
三刺激色彩計または三刺激反射率計	×	×	×	×
分光光度計	×	×	×	×

白の視感評価

表 5 図には、一般に用いられている白色の視感試験方法が示めされ、白色標準との色合わせに適当な試験と、

表 5 図 白材料の視感試験に用いる 3 種の照明方法

白色度の視感的比較判定との両方に用いる第 2 番目の方法が白色度そのものを

評価するのによく用いられる。

標準人工光源と検査用光源箱とは一般に用いられるい

るものであるが、自然昼光とくに北窓からの光の方が、それが視感的色試験でないにしてもなお、より多く用いられている。

第 5 図にも示すようにでこぼこのある、白色物体では、物体のくぼみのかでの多重反射によって、色相が強調される。実際には、検査者はそれに対していろいろな考案をする。また白色物体を検査する場合に、過去に経験した、いろいろな技術・手段を用いる。検査者が行なう判断は一般に驚くほど精密であるとはいえ、それらのメカニズムはよく知られていないものが多い。

白と白との間の色差の知覚はしばしば照明の差異によって変わる。近似白色面における黄みの差異は、青い光の吸収の差異による。昼光照明は白熱電灯に比べて青におけるエネルギーが 2~5 倍大きい。したがって目は白熱電灯光よりも昼光における方が黄みの差に対してはるかに敏感である。いいかえれば、青みの光に富んだ照明の下では第 4 図の b の差は、容易に見分けることができるが、黄みの光に富んだ照明の下ではあまり見分けることができない。

黄みの差異を重要視するような視感的白色度検査に青みの照明がよく用られるのはこのような理由が一つある。(例えば、7500°K 人工照明光は原綿の色検査、白紙に色印刷する場合現在標準照明として用いられている)

白色面用測定装置

肉眼で比較するものに比べ、白色面を順位づける器械

を用いる方は、記録することができ、またくりかえし数値を得ることができ、単なる心理的印象よりもはるかにすぐれている。しかし、色に対する感度が肉眼よりも少しくすぐれているからといって器械の欠点もある。このように多種の器械では、視覚（むしろ見え）に対応する数値を求めるためには、複雑な計算方法によって器械の読みを換算しなければならない。

白色測定用装置には三つの型式がある。（１）分光光度計、（２）三刺激値フィルタ反射率計、（３）三色色彩計。❷ 図はこれらの三つの型式の間の基本的な差異を示したものである。

❷ 表は今日、最も一般に使用されている三つの型式のおおのの測色器械を一表にしたもので、すべて光電式である

現在、用いられている。いずれの測色器械も、ある微小

色差を検知する能力において、肉眼よりも特にすぐれているとはいえない。

色立体の垂直尺度の差異は肉眼

以上の精度で、容易に測定することができるけれども、水平方向の差異はそれと同じ精度で測定することはできない。赤-緑方向の尺度が肉眼で色差を検知するのと同じ能力であるためには、三刺激値反射率計または色彩計は、電気信号の0.03%の信号変化を検知するものでなければならない。

分光光度計には可視スペクトル波長を取り出すために第6図に示すようなプリズム、または回折格子が用いられている。それは第2図に示したように、波長の関数としての反射率曲線が得られる。

三刺激値反射率計、または色彩計には異なった波長を取り出すため、分光光度計におけるプリズムまたは回折格子のかわりに、フィルタが用いられている。フィルタは狭いスペクトル帯を取り出すことができない。しかし色

の測定に広く用いられている三刺激値測定装置⁹⁾には、CIE 標準観測者の分光特性に一致したむしろ広いスペクトル帯をもつフィルタが要求される。

❷ 図には白色面の測定に用いる光源フィルタ光電池組み合わせ式の総合分光特性を示す

色彩計は反射率だけでなく、色立体中の位置を示す数値をも求めることができる。たとえば、Hunter の光電式色彩計および色差計⁷⁾では、第4図に示した、L、a およびbの値を求めることができる。

第3表と第6図とからわかるように、測色器械の間に

分光的差異のほかに、照明および受光の幾何学的な差異がある。反射率を求めるものとして、市販品はほぼ垂直方向からの照明で拡散反射した光を受光する拡散方式か、あるいは45°

❷ 図 白色面の測色に用いる4種の受光器（光源-フィルタ-光電池）の分光特性

—0° の照明受光条件の方式のいずれかが用いられている。この45°—0°方式は色の測定においても鏡面反射光（光沢寄与するもの）を避ける必要がある場合には有利である。拡散方式は光を多く利用する点でより有効である拡散方式による測定結果は、織目のある試料をその試料面で回転しても変らないが、45°—0°方式による測定方法では変化する。

しかしながらGE自記分光光度計のように試料へ入射する光が偏光である場合、または集光光学系の効率が試料から反射光の偏光面に依存するような場合には、拡散方法でさえも、上のような測定値に変化を生ずる。

標準との色合わせ

多くの白色市販製品において、製品の色を均一に仕上げることは、白色度と同様に重要な事がらである。した

❷ 表 白の測色に用いる一般的な市販装置

	幾 何 学 的 条 件	照 明 色	備 考
(1) 分光光度計 G. E. 自記分光光度計 ^a (General Electric co., Schenectady, New York) ベックマン DU 型 ^b (Beckman Instruments, Fullerton, California)	近似法線拡散 45° 0°	いずれも いずれも	自動的に曲線を書く。三刺激値積分器を取り付けることができる。 各読み取り前に波長および標準値を目盛合わせする。

第3表(つづき)

(2) 三刺激フィルター反射率計 Hunter 多能式 ^c (Gardner Laboratory, Bethesda, Maryland) Photovolt 610 型 (Photovolt Corporation, New York City) Color Eye (Instrument Development Laboratories, Needham, Massachusetts) Colormaster Differential Colorimeter ^d (Manufacturers Engineering and Equip- ment Co., Willow Grove, Pennsylvania)	45° 0° 45° 0° 近似法線 拡散 45° 0°	昼 光 昼 光 昼光および電灯光 昼 光	白および明るい色にのみ便利である。 安価。小型照射受光頭部を試料面まで持 つて行くことができる。 優良比色器で特に暗い試料に向く。 優良な安定度と精度とをもつ比色器
(3) 三色色彩計 Hunter 色差計 (Gardner Laboratory, Bethesda, Maryland および Hunter Associates Laboratory, Fall Church, Virginia) Nickerson-Hunter 綿用色彩計 ^f (Gardner Laboratory, Bethesda Maryland)	45° 0° 45° 0°	昼 光 昼 光	等色差尺度 L, a, b を直読する。 自動的に視感反射率および +b (黄色度) を読む。

備考

a) 参考文献4参照

b) H. H. Cary, A. O. Beckman: J. Opt. Soc. Am. 31, 682 (1941)

c) R. S. Hunter: J. Opt. Soc. Am. 30, 536 (1940), または R. S. Hunter: J. Research Natl. Bur. Standards. 25. 581(1940) 参照

d) L. G. Glasser, D. J. Tray: J. Opt. Soc. Am. 42, 652 (1952)

e) 参考文献7参照

f) 参考文献14参照

がって、たとえば一冊の本に用いられる紙、シャツのカ
 ラー、胴になる白布、台所に集められる家庭用品に施す
 白色ペイント、ホーロウ・エナメルなどは、いずれも均一
 な白色でなければならない。

測色器械またそれから求められる数値的な色の許容差
 はある面では非常に便利がられているが、白色に関する
 工業上の色合わせは、相変わらずほとんど肉眼によって行
 なわれている。市販の大部分のものは許容差が小さい。た
 とえば、台所用品の色の保証をするのに、ある通信販売
 店では白色標準板の色の許容差が平均、 $\Delta y = \pm 0.015$,
 $\Delta x = \pm 0.0025$, $\Delta y = \pm 0.003$ であることを要求してい
 る。これらの小さい色差に適合するために必要な精度を
 もつほど、注意して行なわれなければならない。

変色する材料を視感で色合わせを行なうためには、不
 変色性の標準を得ること、また、変色させないためには
 どうすればよいか、いまだに統一的な意見の一致をみ
 ない。陶磁器、ホーロウ、ある種のプラスチックなど
 はほとんど色が不変と考えてよいのでこれらは白色の標
 準として用いることができる。ときには、ペイント製造
 においても、無反応油と顔料とを混合してつくった特種
 なペイント状ペーストを不変色標準として用いることが
 ある。紙、織物、食品、その他変色性材料などでは、注
 意深く計測を行なうことによって、標準試料からの色ず
 れを防止することができる。したがって、これらの材料
 の標準試料を用いる人たちは、どのようにして標準試料
 の色を最もよく保持することができるか、また色を不変
 性にして標準試料をどのくらいの期間、信頼できるかに
 ついて十分に知っている。かつて不変色性磁器の標準は
 変色性材料の色合わせに用いるために探究された。しか

し磁器と磁器でない材料とのテクスチャーの相違によっ
 てしばしば色の視感比較を行なうのに困難を生ずる。計
 器で変色性の白い材料を、不変性の白い材料を標準にし
 て測定すると、異なったテクスチャーの面の相互比較の
 問題はほとんど解消する。白の色合わせに計器を用いる
 ことがだんだん多くなって来たのはこんなところにも理
 由がある。

色の表示方法

不幸にも Munsell Color System, Container Corpo-
 ration Color Harmony Manual の色片のように、よく
 標準化された白色片の分類したものが少ない。したが
 って視感色合わせにきわめて近い方法で白色表示をす
 るための系統化された体系がない。われわれは標準白色
 片を用意したり、供給したりすることができないにもか
 かわらず、なお白色を表示したいと望むならば、それは
 器械計測に基づいた表示方法しかない。

白色の表示方法には、CIE の普遍的な標準表色系が
 用いられる。米国連邦政府が買入れる米国旗は、CIE 標
 準の光 C の下で、MgO 白色に対して、 $Y=0.57$, $x=$
 0.32 , $y=0.33$ に相当する白色面に、視感的に一致す
 るよう、Federal Specification TTC-591 に規定され
 ている。しかしながら、多くの白は L, a, b およびそ
 の他の座標で表示されている。たとえば石けん工場の
 品質管理課では、白色清浄剤の白色度が、L は最小 93,
 a は 0 ± 1.0 , b は 3.0 ± 1.0 であることを要求してい
 る。もちろん、表示するには三刺激値色彩計か、あるい
 は反射率計を用いることになっている。白は分光的な選
 択特性がないので、三刺激値計器に付随する分光誤差を

極小にすることができるとともに、白の計測には三刺激値計器が最も広く用いられている。

白色度の一元的な反射率測定* は第7図に示したような三刺激値フィルタおよび光電池の組合わせの一つ、または他のもので求めることができる。異なったフィルタおよび異なった計器が業界で習慣によってそれぞれ採用

表 4 白色の反射率測定

	応 用	塗料およびプラスチック	紙および印刷	織物および退色	磁 器
視感反射率 (緑 光) (y_c , 第7図)	反射光に用いる表面の効率 a	×		×	×
	灰色汚れを除去して測定する清浄効率	×	×		×
	対比方法による不透明度 b_c	×	×		×
青光反射率 (Bおよび z_d , 第7図)	標白の度および化学的純度 d_c		×	×	
	染料または色印刷で明るくすること		×	×	
	けい光白色材の効果 (照明光に紫外線を伴う測定)		×	×	

備考 a. 参考文献9参照, b. 参考文献10参照, c. 参考文献11参照, d. 参考文献13参照, e. 参考文献12参照。

元の測定をしていないから色の完全な計測をしていないことになる。

視感反射率は第7図の $\bar{y}$ 組み合わせで測定する。これは洗たく器や洗たく石けんの研究に用いる。人工的に織物片を灰色によごし、その洗たくを行なう前後を測定し、反射率の向上の度合や、その割合を知り、洗たく手法や石けんととの組み合わせの効率などを調べている。

屋内の壁に塗るペイント、照明器具に用いる磁器、プラスチックなどの光の反射・透過効率を測定するために視感反射率測定が用いられている。ペイントは許容最低視感反射率**で広く表わされる。それらの測定方法には、ASTM と Federal Standard との二つの方法が規定されている⁹⁾¹⁰⁾。

視感反射率測定は紙、ペイントおよびホーロウの不透明度評価に用いられる。これらの材料の膜層の不透明物は黒で裏うちしたとき、白で裏うちしたときの2種の視感反射率の比で測定される。ペイント、紙そして磁器の業界および連邦政府はこの不透明度の標準反射率測定方法を規定している¹⁰⁾¹¹⁾。

青光反射率はつぎの二つの理由から、製紙工業において白色度の一元的測定として広く用いられている。

(1) 白紙のスペクトルの青部分の反射率は普通きわめて小さいから、青(の部分)の反射率は白色度の成分としての無彩色性の存在しないこと、および黄色性の存在しないことの総合的な目安となる。

(2) 青光反射率は仕上げられた紙に、漂白によって取り除かれる黄みのある不純物が、存在しないことの目安になる。したがって青光反射率は漂白の完全さと紙の不変色性との関連がある。

特定の状態のもとで測定した青光反射率は工業上「紙の

* reflectance partial measurement

** minimum acceptable luminous reflectance

されている。白色に対する最も普通に用いられる反射率測定方法を、材料別ならびに測定しようとする白色物の目的別に表4に示す。

これらの業界の多くは、白い材料に対して、反射率の一つの値で表わす方法を長年用いており、一元的な反射率で白色度の評価を確立している。どの業界も三つの次

明るさ」と呼ばれる。それは仕上り紙のみならず、紙の原材料の表示に対しても取引上一般的なことばである。現在 TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry)¹²⁾ が標準としている試験方法には、第7図におけるBとするような青分光分布を用いるこの試験に用いる校正された標準はWisconsin の Institute of Paper Chemistry of Appleton を通じて紙工業界に配布されている。ASTM の方法¹³⁾ で規定された分光分布は標準の光Aに対する CIE $\bar{x}$ 関数であって、いくぶん違っている(第7図における $\bar{x}_A$ 曲線)。

また、紙工業で青光反射率を用いることが有効であるという同じ理由によって、織物工業でも近似白色の測定に青光反射率を用いることが有効であろうと推察されている。それはいずれも主として繊維材料を取り引きするからである。

適当な条件で測定された青光反射率は、織物工業に対してきわめて取引上重要な要素を評価するのに役に立つ。

いわゆる光学的漂白は、もともと低い青光反射率を紫外線によって生ずるけい光青色で補って、白色度を強調するのに広く使用されている光学的漂白の格付けをするために、表8図に示すような反射計を用いて、青光反射率に対する近紫外の寄与の

表8図 青光反射率に寄与するけい光の測定をする Hunter lab. 反射率計の概要図: L-光源, N-試料の前面にある紫外吸収フィルタ, S-試料, F-反射紫外線のなかで、けい光に変換しない成分を吸収する、試料の後部にある同じフィルタ, B-青フィルタおよびP-光電受光器

度合の測定を行なうことができる。この反射率計はで二つの位置、すなわち(1)紫外線でけい光を生じないように試料のな前方と(2)紫外線で生ずるけい光青光を、試料の反射する青光に付加するように、試料の後方とに近紫外吸収フィルタをかけて、青反射率を測定するものである。

白色度の格付けのための視感反射率と黄色度との組み合わせ

市販の白材料の多くは、無彩色から赤または緑の方向におけるへだたりは一般は黄、または青の方向におけるへだたりに比べて小さい。また、一般に有機物質は青の方が下がる分光分布の形をもっている。多くの無機物質も黄みの色を生ずるような同じ傾向をもっている。したがって、白色度の評価においてaの値は無視することができるが、bの値は無視できない。

上記の反射率のほかに、黄色度*を組み合わせることによって、多くの目的に適合する白色度を求めることができる。スペクトルの黄と青との部分の、反射率の差を黄色度の測定基礎とする。あるプラスチック製造業者では分光測光曲線の読みから、つぎのような比を黄色度を用いている。

$$(R_{700} - R_{450}) / R_{700}$$

Federal Specification⁷⁰⁾ では $45^\circ - 0^\circ$ 反射光電色彩計で求める青は、アンバーおよび緑の反射率から、つぎのように比を求めて黄色度を表わす。

$$(A - B) / G$$

B、GおよびAはそれぞれ、 $\bar{z}_c$ 、 $\bar{y}_c$ 関数および $\bar{x}_c$ 関数の長波長部分(x_{ca})に対する標準の光Cにおける反射率である(第7図参照)。これらは第1表に示した三刺激値反射率計のいずれを用いても測定することができる。

Nickerson-Hunter 綿用色彩計¹⁴⁾ は近似白色の明度と黄色度とを、計算するだけでなく、自動的に打点することができるという点で、独特のものである。原料綿はこれら二つの尺度に基づいて色の等級づけをする。原料綿の“White grade”といわれる範囲では、明るいクリーム色が黄色度のより少ない同じ明るい色よりも好まれるという点で、原料綿の等級尺度は普通の白色度の尺度と少し異なっていることを注意しておく。ほぐされた新鮮な綿の丸玉は黄みまたはクリーム色をもっている。これはおそらく太陽や気候に長らくさらされて、漂白されることによるのであろう。(しかしながら、この好ましさは普遍的ではない。クリーム色の程度が十分に濃くなって白という等級から“Spotted or Tinged”といわれる等級へ移行すると、完全に振り落される。)

完全な(三色式)白色度の測定

* yellowness

白色度は清浄さと純真さを伴うから、市販の白材料については最も重要な属性である。そしてその白色度の等級および白色度の等級の比較は視感に基づいて行なわれる。

いかにして三刺激値から白色度を数量的に求めるかについて、過去25年間、多くの研究者によって注目されてきた。MacAdam¹⁵⁾、Judd¹²⁾、Harison¹⁶⁾、Hunter⁸⁾ および Selling と Friele¹⁷⁾ らは、白色度を一つの数値で求めるためにいろいろな式、あるいは測色方法について提案を行なっている。Asmussen と Buchmann-Olson¹⁵⁾、Selling と Friele¹⁷⁾、Hutchins, Sterns, と Sundstrom¹⁶⁾、Hemmendinger と Lambert³⁾、MacAdam²⁰⁾ らはいろいろな応用目的のための、白色度の式を比較検討している人々である。しかし、今日発表されている種々の公式を慣用的に使用するにはあまりにもみな複雑すぎてあまりに親迎されない。

第4図の色立体L, a b座標における2点の間のへだたりは、知覚的なへだたりに等しいという仮定に基づいている⁸⁾。

$$W = 100[(100 - L)^2 + (a^2 + b^2)]^{1/2}$$

取り扱う材料がなんであっても好ましい白の明度 L_p を第二の“100”としておきかえる。このことは理想的な白色から実際に得られる好ましい白へ変換することになる。もしも同じ白色面に対して、三刺激値を用いて標準観測状態の下で白色度の等級比較を行なってみせるとユークリッド色空間における距離を式は、視感による白色度の等級を正確に表わさないことがわかる。9図のL-b図には、(1)前記の式による白色度の等級に対応する。四半分の同心円および(2) MacAdam¹⁵⁾ によって得られた等白色度の軌跡を示す。図から黄色度(b尺度の値)と白色度との間の関係は非線形であることがわかる。黄色度(b)がある最小値を越えると白色度という考え方に、きわめて強く干渉することが MacAdam の実験からみうけられる。この黄みは除くことができるから、青染料によって明度は多少減少すれども、料の少量を用いて、白色度は改善することができる。

※9図 Hunter 方程式⁸⁾ による等白色度四半分円を点線で、また MacAdam¹⁵⁾ による等白色度を実線で示した明度-黄色度図

から、青染料によって明度は多少減少すれども、料の少量を用いて、白色度は改善することができる。

綿用色彩計¹⁴⁾のような直読式の白色度計による研究ならびに

MacAdam, Judd その他によつて与えられた白色度の公式による研究をすることによつて三刺激値のデータから、求められる単一数值をで表わす白色度の等級づけは、ますます広く、親しみと理解とをもたれるものと信ずる。

付 記

この論文の日本語の翻訳は、R. S. Hunter 博士により照明学会のために、訳者に対して1953年3月23日付書簡で心よく許可されたものである。また、この論文の JOSA からの転載は、編集理事 W. R. Brode 氏により訳者に対して1960年6月22日付の書簡で親切に許可手続をして下さったものである。

なお、この訳文の校閲を訳者より東京大学の日置隆一教授にお願い申上げたところ、御多忙にもかかわらず、懇切丁寧に加筆訂正を賜わり、この訳文に正確さを増すことのできたことは誠に幸いであった。

訳者はひょっとしたことから、Hunter 博士と交信の機会があつて、この論文の日本語の翻訳許可を得てから早くも2年の歳日が過ぎたが、仕事の合い間に少しづつ進めたため今日までかかってしまったことを Hunter 博士に対して深くおわび申し上げる。聞くところによれば、わが国でも白色度に関する工業規格の制定が望まれているとのことであるが、この訳文が、そのとき少しでも役に立てば訳者の望外の喜びである。

終りに臨み、著者の R. S. Hunter 博士、Optical Society of America の W. R. Brode 氏ならびに校閲を賜わった日置隆一教授に対し深く感謝の意を表する次第である (訳者)。

参考文献

- 1) D. B. Judd : Paper Trade J., Tech. Sec. **100** (1935)
: Tech. Assoc. Papers, Ser. **18**, 392(1935)
- 2) D. B. Judd : Paper Trade J., Tech. Sec. **103**, 154
(1936)
: Tech. Assoc. Papers, ser. **19**, 359(1936)
- 3) H. Hemmendinger, J. M. Lambert; J. Am. Oil.
Chemists' Soc. **30**, 163(1953)
- 4) A. C. Hardy : J. Opt. Soc. Am. **25**, 305(1935)

- 5) D. Nickerson : U. S. Dept. Agr. Misc. Pub. No. 580
(1946)
- 6) E. Q. Adams : J. Opt. Soc. Am. **32**, 168(1942)
D. Nickerson : Am. Dyestuff Repr. **39**(August 21
1950)
G. L. Buc : Am. Dyestuff Repr. **41**(June 9, 1952)
- 7) Gardner Lab., Bethesda, Maryland, Description
and instruction for Hunter color and color difference
meter(June, 1950)
Van den Akker, Aprison, Olson: Tappi **34**, 143A(19
51) R. S. Hunter: Direct-reading, photoelectric color
and color-difference meter (In preparation)
- 8) R. S. Hunter : Natl. Bur. Standards Circ. No. C42.9
(1942)
- 9) Am. Soc. Testing Material Method E97-53 T
(1953)
- 10) Federal Specification TT-P-1416, Method 612. 1,
512. 1, 613. 1,
- 11) Tech. Assoc. Pulp Paper Ind. Method T425m-44
(1944)
- 12) Tech. Assoc. Pulp Paper Ind. Method T425m-48
(1948)
- 13) Am. Soc. Testing Material Method D985-50
(1950)
- 14) D. Nickerson, R. S. Hunter, Powell : J. Opt. Soc.
Am. **40**, 446(1950)
- 15) D. L. MacAdam : J. Opt. Soc. Am. **24**, 188 (1934)
- 16) V. G. W. Harison : Patra J. Nos. 2 and 3 (London,
1938, 1939)
- 17) H. J. Selling, L. F. C. Friele : Appl. Sci. Research
B1, 453 [Vezelinst. T. N. O(Delft), 1950]
- 18) R. W. Asmussen, B. Buchmann-Olsen : Trans.
Danish Acad. Tech. Sci No. 9(1949)
- 19) Hutchins. Stearns, Sundson : Tappi **35**, 342(1942)
- 20) D. L. MacAdam : Tappi **38**, 78(1955)