

論文

昼光の色温度の相違に伴う蛍光物体色の変化

Changing Fluorescent Colors Under Daylights With Various Color Temperatures.

内田 洋子 Hiroko Uchida Otsuma Women's University

Abstract

It was presumed from a colorimetric point of view how to change the fluorescent materials color under various color temperatures of illuminants. 9 fluorescent color samples were used.

Consequently, in case of fluorescent achromatic color, the more color temperatures ascended, the more samples color added to bluish tint by degrees. In the samples with the fluorescent chromatic color, when the color temperatures ascended, the purity of samples increased and the hue of it changed.

The fluorescent samples from yellow to green color group became higher the rate of increase of luminous reflectance than fluorescent other group. Since yellow color have primarily high luminous reflectance, it was guessed that its color were perceived to glaring under illuminants with higher color temperatures.

要 旨

光源の色温度が変化したとき、蛍光物体色がどのように変化するかについて、測色的観点から推測した。試験色は9つである。

その結果、蛍光白色は色温度が高くなるほど青みが強まった。

蛍光有彩色は色温度が上昇すると試験色の純度が増加し、色相が変化した。黄～緑系の蛍光試験色は視感反射率も大変高くなった。黄色の視感反射率はもともと高いわけであるから、色温度の高い光源下ではまぶしさ感が現れてくるものと推察される。

1. はじめに

周知のように、晴・雨・曇・雪景における太陽光の放射エネルギーの質と量はかなり異なる上、同じ放射エネルギーを地球上あまねく同時に受けているわけではない。従って、四季折々、時々刻々と変化する太陽光が、日常生活の中で色の見え方に大きく影響を及ぼしていることは容易に推察される。

屋外における視覚情報の中で、太陽光の影響を受けるものの一つとして、道路標識や交通標識あるいは工事標識などの標識類が挙げられる。それらには蛍光物体色が多く利用されている。ところで、その標識の色は我々に常に同じ色を提供しているのであろうか？ おそらく、季節や地域そして空模様によって異なった色を呈しているに違いない。そうした光源のエネルギーの違いにより、蛍光物体色がどのくらい変化するかについての研究はあまりなされていないように思われる。そこで、光源の色温度を変化させたとき、蛍光物体色がどのように変わるかについて、測色的観点から推測した。その結果を報告しようと思う。

2. 条件と方法

異なるエネルギーを持つ光源の下で、さまざまな蛍光物体色のクロマティクネス指数が色空間をどのように移動するか、その変動を探った。以下に条件と方法を記す。

2.1. 条件

(1) 試料光源

太陽光のかわりに、CIEが提案した昼光の代表的分光放射輝度分布の内、相関色温度 T_c 。(以下、色温度と記す)が5000, 5500, 6000, 6500, 7000, 7500, 8000, 10000, 15000, 20000K及び直射光の、計11種のデータ¹⁾を用いた。

(2) 試験色

JIS Z 8717²⁾の付属書にある蛍光試験色1~9を試験色とした。試験色の相対外部蛍光放射効率 $Q_a(\mu)$ (以下、 $Q_a(\mu)$)をFig. 1に示す。なおこれらの試験色の内、試験色1~3は蛍光白色物質で、Fig. 1で判るように、蛍光性が大変低いと予想できる試験色である。前報でも記したように³⁾、実際にはこれらの試験色より蛍光性の高い白色物質が沢山存在すると考えられる。そこで、その基質があまり変化せず蛍光性の高い仮定の試験色を得るため、試験色1~3の $Q_a(\mu)$ を2, 3倍にしたものを試験色として用いることとした。なお、 $Q_a(\mu)$ が2倍の場合を、試験色1-

②, 2-②, 3-②, 3倍の場合を、試験色1-③, 2-③, 3-③とした。

2.2. 方法

JIS Z 8717²⁾の2光源蛍光分離方法の項に記載された分光放射輝度率の計算方法を用いて、試験色の全分光放射輝度率 $\beta_{t,K_i}(\lambda)$, CIE三刺激値 X, Y, Z , 色度座標 x, y, L^*, a^*, b^* 値を算出した。三刺激値は次式を用いて得ている。

$$X = K \sum S_{K_i}(\lambda) \beta_{t,K_i}(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda$$

$$Y = K \sum S_{K_i}(\lambda) \beta_{t,K_i}(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda$$

$$Z = K \sum S_{K_i}(\lambda) \beta_{t,K_i}(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda$$

$$K = 100 / \sum S_{K_i}(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda$$

ここで、 $S_{K_i}(\lambda)$: 各照明光源の分光分布

$\beta_{t,K_i}(\lambda)$: 各試験色の全分光放射輝度率

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: CIE1931標準観測者

$\Delta\lambda$: 波長間隔5 nm

なお、得られた各光源の色度座標はすべて異なる。従って、そのもとでの試験色間の比較は難しい。試験色を直接比較するには、基準となる光源に対する色の見えのモデルで対応色を求めればよいと思われる。そこで、各光源下における試験色の測色値を、CIE技術報告109-1994 (TC1-32)⁴⁾で提案されている方法によって、CIEの標準の光 D_{65} の下での対応色に変換した。

次に光源の色温度が6500Kを基準としたときの色差を求めた。

3. 結果

3.1. 蛍光白色

Fig. 2は試験色1~3において、 $Q_a(\mu)$ が1倍から3倍までの、各色温度の光源に対する蛍光分光放射輝度率 $\beta_f(\lambda)$ (以下、 $\beta_f(\lambda)$)を表したものである。ただし、 $Q_a(\mu)$ が1倍の場合の $\beta_f(\lambda)$ 値はかなり低い

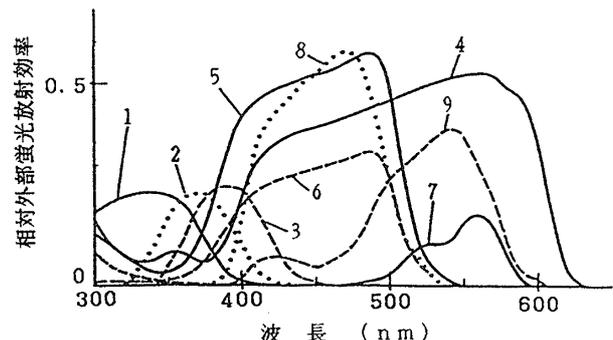


Fig. 1 各試験色の相対外部蛍光放射効率 $Q_a(\mu)$

(JIS Z 8717 解説図 8 より)

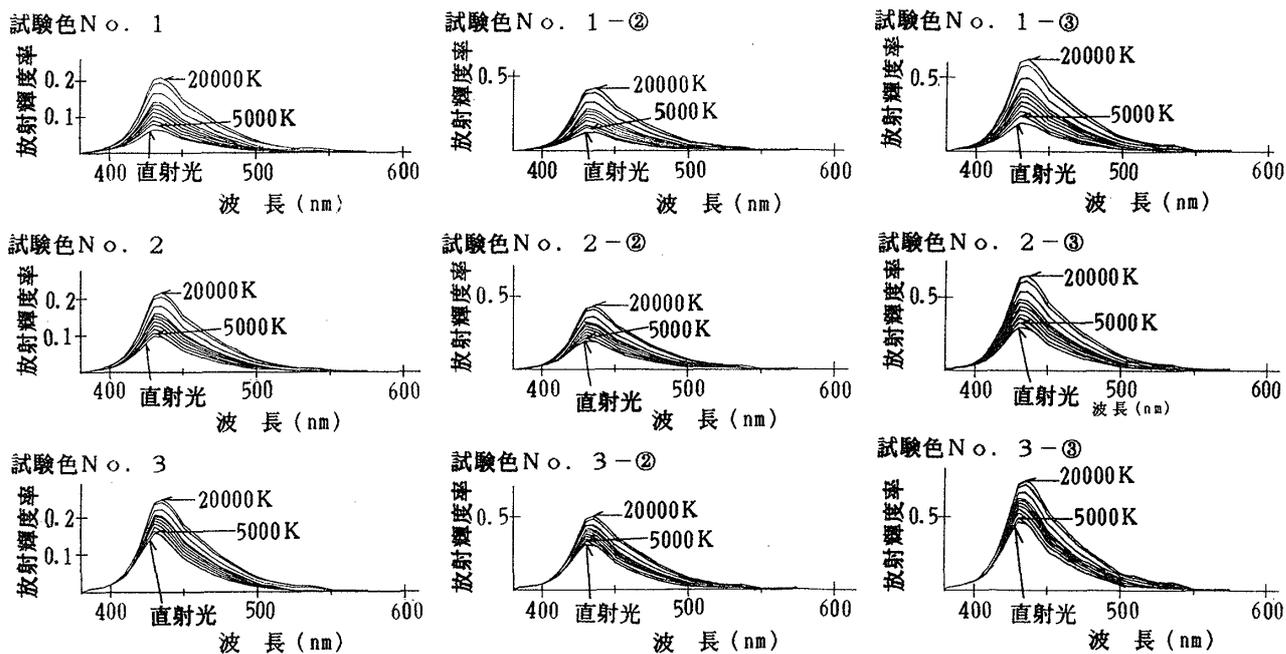


Fig. 2 各色温度の合成昼光に対する試験色1-3の蛍光分光放射輝度率 $\beta_f(\lambda)$

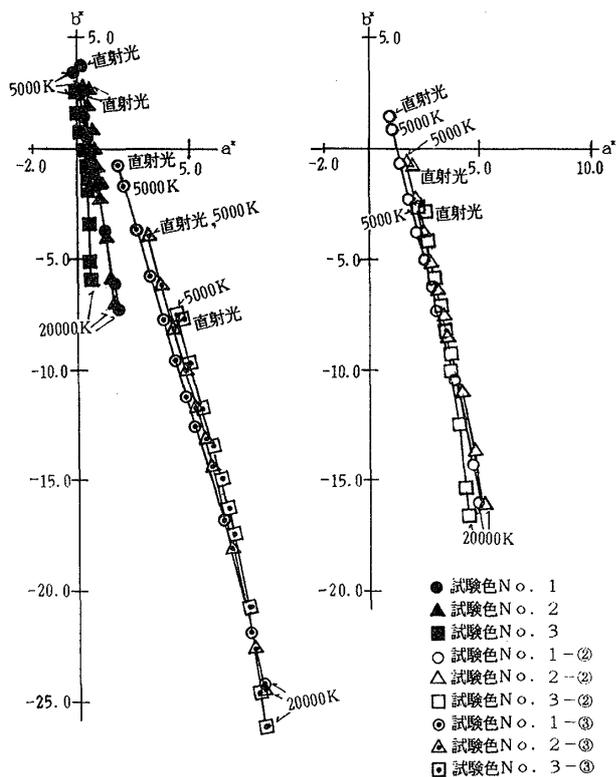


Fig. 3 L*a*b*空間における試験色1-3のクロマティックネス指数

ので、 $Q_a(\mu)$ が2, 3倍の場合とスケールが異なる。いずれの試験色も色温度の高い光源になるほど $\beta_f(\lambda)$ が段階的に上昇しており、高色温度の光源の方が紫外域のエネルギーを多く含んでいることが判る。また太陽からの直射光による試料の $\beta_f(\lambda)$ はどの試験色においても最も低いので、散乱光に紫外線が多量に含まれ

ていると思われる。

Fig. 3はそれぞれの試験色のクロマティックネス指数をプロットしたもので、光源の色温度が高くなるほど青みが強くなっていることが判る。

3.2. 蛍光有彩色

Fig. 4は各光源下における試験色4~9の $\beta_f(\lambda)$ を示したものである。いずれの試験色も光源の色温度が高くなるにつれ $\beta_f(\lambda)$ は段階的に上昇するが、その上昇率は試験色によりかなり異なることが判る。

直射光に対する各試験色の $\beta_f(\lambda)$ は蛍光白色物質の場合と同様に低い。

Fig. 5はそれぞれの試験色のクロマティックネス指数をプロットしたもので、色相・純度に影響が現れている。ところで、本来L*a*b*空間はYが100%以下であることが前提となっているが、本報で使用した試験色は蛍光物体色であるため、Yが100%を超えるものが存在する。残念なことには、Yが100%以上におけるL*a*b*空間が均等色空間であるという保証は、現在何もない。しかし、そうした試験色に対応できる均等色空間がない以上、現存する色空間を使用せざるをえない。従って本報では、Yが100%を超える試験色であっても、L*a*b*空間が均等色空間であると仮定して、論ずることとする。

4. 分析及び考察

4.1. 蛍光白色

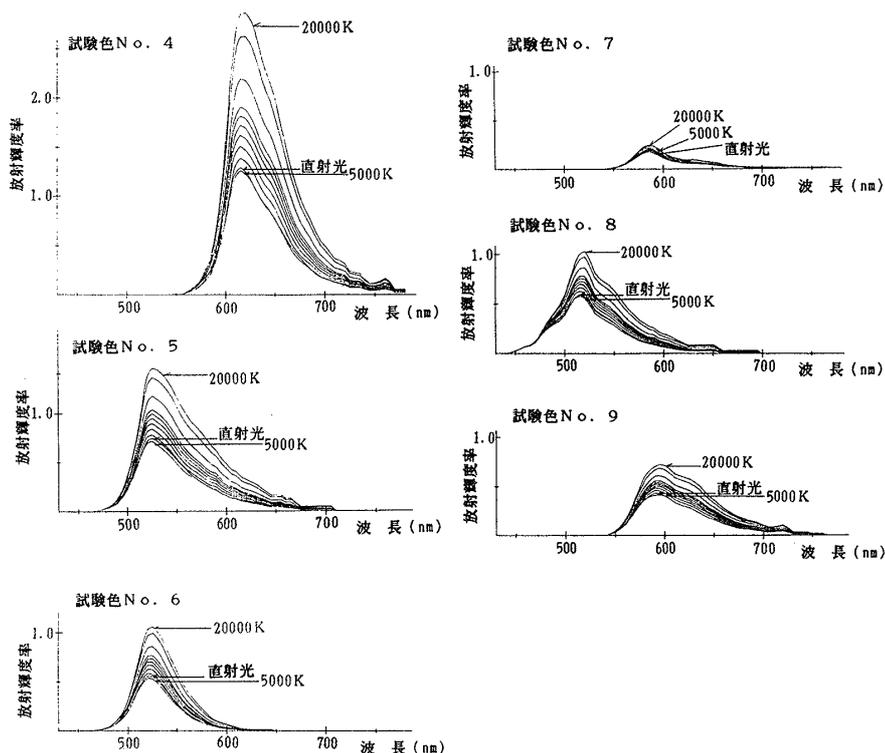
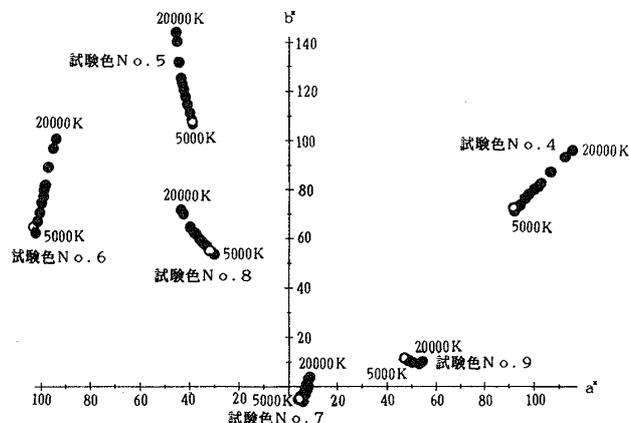
Fig. 4 各色温度の合成屋光における試験色4-9の蛍光分光放射輝度率 $\beta_f(\lambda)$ Fig. 5 $L^*a^*b^*$ 空間における試験色4-9のクロマティックネス指数

Fig. 2とFig. 3から、試験色3は1~3の試験色中最も $\beta_f(\lambda)$ が高いにもかかわらず、光源の色温度の上昇に伴う $\beta_f(\lambda)$ の増加率が少なく、また青みへの移動が一番小さい。逆に $\beta_f(\lambda)$ が最低の試験色1は光源の色温度が上がるにつれて $\beta_f(\lambda)$ の増加率が最も大きく、青み方向への移動が高い。試験色1~3の蛍光の相対分光分布 $F(\lambda)$ (以下、 $F(\lambda)$) はすべて等しく設定されているので、 $F(\lambda)$ に原因があるとは考えにくい。試験色3の $Q_a(\mu)$ は試験色中最も長波長側にあるため、 $\beta_f(\lambda)$ の短波長域が吸収されて青みの増加率が減

少するものと考えられる。一方、試験色1の場合は、 $Q_a(\mu)$ が一番短波長域に位置しているので、 $\beta_f(\lambda)$ にあまり影響を与えないかあるいは逆に高めていることが推察される。

$Q_a(\mu)$ を増加させると、試験色はいずれもさらに青みを増す。特に試験色3のクロマティックネス指数は $Q_a(\mu)$ が3倍になると(試験色3-③), 青みへの移動がきわだっていることが判る。これは励起放射束が増加して $\beta_f(\lambda)$ が比例的に大きくなるためと推察される。

Fig. 6は各光源における試験色1~3のCIE白色度指数をプロットしたものである。直射光の白色度指数が最も低く、光源の色温度が高くなるほど白色度指数も高くなっている。 $Q_a(\mu)$ が1倍のときは高温度の光源下における試験色3の白色度指数は最低である。しかし、 $Q_a(\mu)$ が3倍のときは、試験色3-③の白色度指数がいずれの光源の場合にも高くなっている。これも励起放射束が高くなるためと考えられる。

Fig. 7は試験色のYの変化を表したものであるが、光源の色温度が上昇してもYの変化は小さく、試験色の $Q_a(\mu)$ を3倍にしても大きく増加していないことが判る。図中、*印のついた試験色はCIE白色度式の適用制限(5Y-280)を超えていることを示している。この図から、試験色1-②、2-②、3-②程度の $Q_a(\mu)$ を有する試験色は色温度が15000Kくらいの光源の下では、CIE白色度式によると、試験色は白とは見なされないようである。さらに試験色3-③のように $Q_a(\mu)$ が高い試験色では、色温度が7000Kぐらいの光源の下でも白として見なされない可能性が大きいことがわかる。

Fig. 8は光源の色温度が6500Kを基準としたときの試験色の色差を図示したものである。Fig. 6と8の2つの図から、色温度6500Kの場合を境にして、それよりも低い色温度の光源では高い場合よりも色差、白色度差の増加の割合がやや大きい。そして6500から8000Kぐらいまでの光源下ではほぼ同じ率で変化しているといえる。しかし、15000K以上になると、増加の割合がかなり緩慢になってくることが判る。これは

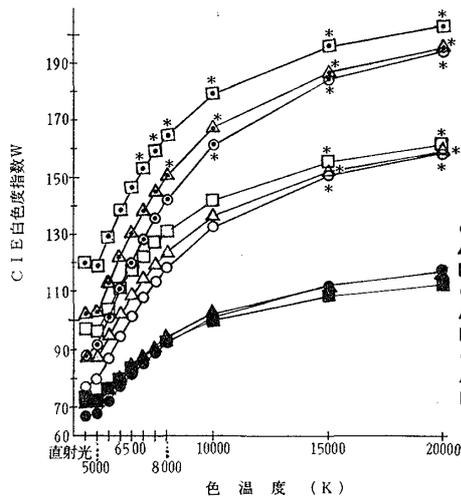


Fig. 6 光源の色温度の変化に伴う試験色1-3のCIE白色指数

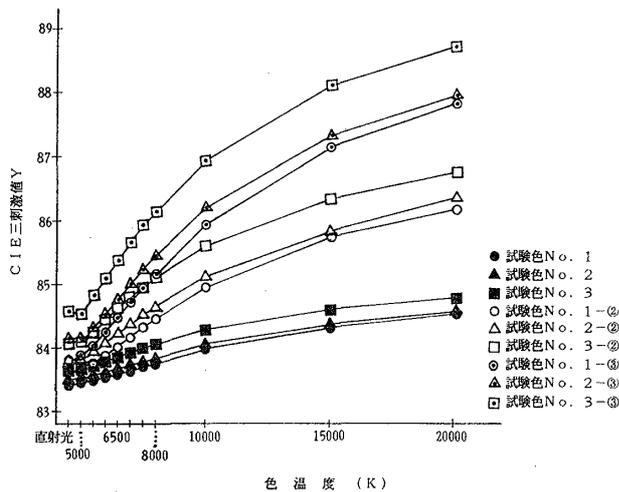


Fig. 7 光源の色温度の変化に伴う試験色1-3のCIE三刺激値Y

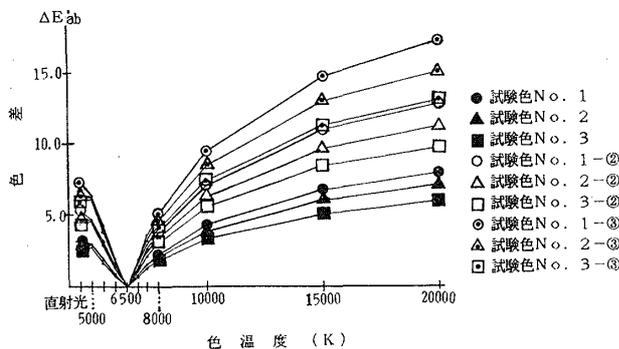


Fig. 8 光源の色温度の変化に伴う試験色1-3の色差

光源の色温度が2倍になっても試験色の $\beta_f(\lambda)$ は単純に2倍にならず、光源の特性がそのまま反映されるものと思われる。

4.2. 蛍光有彩色

Fig. 4 から、全ての試験色において、光源の色温度が上昇すると $\beta_f(\lambda)$ も段階的に増加をしていること

が判る。また各試験色の $\beta_f(\lambda)$ の波長域はそれぞれの $F(\lambda)$ の分光分布に当然一致するが、光源の色温度の変化に伴い、各試験色の蛍光強度は $Q_a(\mu)$ の強度と波長幅に大きく依存すると思われる。例えば、試験色4の $\beta_f(\lambda)$ は色温度の変化により最も激しく変動をしているが、Fig. 1の $Q_a(\mu)$ の分光分布を見ると、他の試験色に比べて $Q_a(\mu)$ が高く、広範囲の波長にわたっていることが判る。他方、試験色7は $Q_a(\mu)$ が低く波長域も小さいので、 $\beta_f(\lambda)$ の変動が一番小さい。従って、 $Q_a(\mu)$ が高く、その波長域が広範囲にわたっている試験色は、光源の影響を受けやすく、蛍光強度の変動が現れやすいものと推測される。

次にFig. 5において、試験色4, 5, 8の赤, 黄, 黄緑の蛍光色は光源の色温度が変化をすると試験色の純度が大きく変わっていることがわかる。しかし、これらの試験色の色相はあまり変化をしていない。また、試験色7はニュートラルに近い黄赤の蛍光色であるが、色相の変化が大きい。試験色9のピンクの蛍光色は光源の色温度が上昇しても純度や色相の変化がそれほど大きくない。試験色6の緑の蛍光色は色相と純度の両方に変化が大きい。

Fig. 4とFig. 5から、光源の色温度の変化と共に、 $\beta_f(\lambda)$ の変動が大きくなる試験色の方が、相対的に純度や色相の変動も大きく現れる傾向にあるといえる。Fig. 9は各試験色の反射分光放射輝度率 $\beta_o(\lambda)$ (以下、 $\beta_o(\lambda)$)を示したものである。この図とFig. 4, 5から、試験色の $\beta_f(\lambda)$ と $\beta_o(\lambda)$ の関係が重要になってくるとと思われる。つまり、試験色の $\beta_{f,K_i}(\lambda)$ は $\beta_o(\lambda)$ に $\beta_f(\lambda)$ が加えられるわけであるから、試験色4, 5, 8のように、試験色の $\beta_f(\lambda)$ の重心波長が $\beta_o(\lambda)$ の高い波長域にある場合は、比較的に色相より純度の変化が大きく現れるものと思われる。一方、試験色7の場合は試験色の $\beta_f(\lambda)$ の重心波長が $\beta_o(\lambda)$ の低い波長域

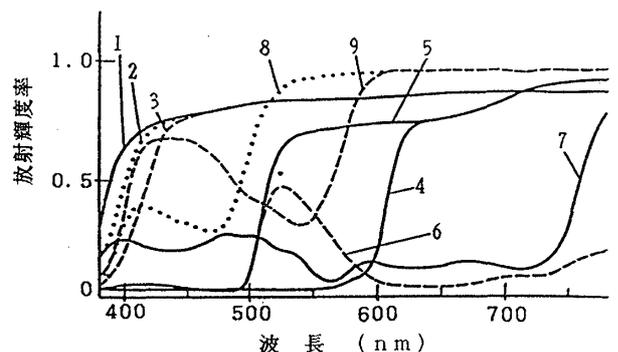


Fig. 9 各試験色の反射分光放射輝度率 $\beta_o(\lambda)$

(JIS Z 8717 解説図より)

にあるため、純度より色相に影響を及ぼすことが推察される。また、試験色 6, 9 は $\beta_r(\lambda)$ の重心波長が $\beta_0(\lambda)$ の高い波長域にあるが、試験色 6 は長波長域に、試験色 9 は短波長域に $\beta_0(\lambda)$ の第 2 の山を持っているため、純度ばかりでなく色相も変化するものと考えられる。

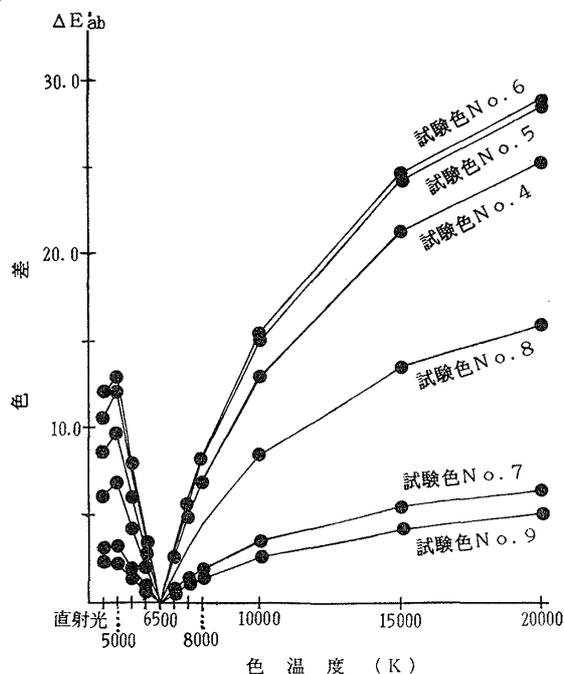


Fig.10 光源の色温度の変化に伴う試験色4-9の色差

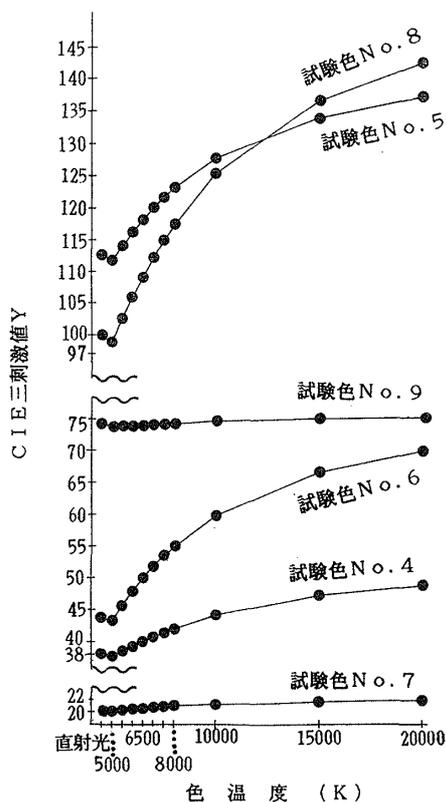


Fig.11 光源の色温度の変化に伴う試験色4-9のCIE三刺激値Y

Fig.10は光源の色温度が6500Kを基準としたときの試験色の色差を表したものである。蛍光白色の場合と同様に、光源の色温度が6500Kより低い方が、色差は大きいことが判る。光源の色温度が高くなるほど色差の増加率は緩慢になり、試験色 7 と 9 は10000K以上ではほとんど変化がみられないことが判る。

Fig.11は各試験色のYを光源ごとにプロットしたものである。試験色 7 と 9 は光源の色温度に関係なくYがほぼ一定で、試験色 4 は光源の色温度の上昇とともに僅かにYが増加するが、微々たるものといえる。それに比べ、黄・緑系の試験色 5, 6, 8 は色温度の上昇と共にYの増加が大変大きい。従って、黄～緑系の蛍光色は色温度の異なる光源の下では明るさ感覚に影響が現れるものと推測される。

5. 結論

蛍光白色の場合、色温度が高い光源の下で見るほど試験色の青みが強まり、CIE白色度指数が高くなることが判る。また $Q_a(\mu)$ の高い試験色や高色温度の光源の下では、CIE白色度式によると、試験色は白と見なされない可能性が高くなる。CIE白色度式は色み T_w よりも蛍光性（青み）に対する適用制限の方が緩やかであると思われるが、それを越えるということは、青みの強い色に変貌するものと思われる。とはいえ、色温度の差が1000K以内の相違の光源の下であれば、色差が僅かであるので、白さの見えにあまり変化がない。しかし、それ以上の差になると、光源の色温度の相違が見えに關与する比率が高まることが推察される。また色温度の高い光源下であったり、あるいは試験色の $Q_a(\mu)$ が大きくても、試験色のYにほとんど変化がない。従って、蛍光白色物質では、光源の色温度の差が見えに及ぼす影響は明るさよりも色相と純度に関与するものと推定される。

色温度6500Kの光源を基準とした場合の各試験色の色差は蛍光白・蛍光有彩色共に6500K以下の色温度を持つ光源下での試験色の方が大きく、光源の色温度が高くなるほど色差の増加率が低くなる。これは光源の特性をもろに被るためと思われる。

蛍光有彩色では光源の色温度が上昇すると試験色の純度と色相に変動をもたらすが、これは各試験色の $\beta_r(\lambda)$ と $\beta_0(\lambda)$ の放射特性に大きく依存する。即ち、 $\beta_r(\lambda)$ の重心波長が $\beta_0(\lambda)$ の高い波長域に有れば色相より純度に大きく変化をもたらすが、 $\beta_0(\lambda)$ の低い波長域であると色相のずれが大きい。また、 $\beta_r(\lambda)$ の重心波長

が $\beta_0(\lambda)$ の高い波長域にあっても、それとは異なる波長域で反射成分の山が存在すると、純度ばかりでなく色相も変化しやすい。さらに高色温度の光源の下では黄・緑系の試験色のYの増加が大変大きいので、明るさ感覚という面から見えに影響を及ぼすものと思われる。

一般的に視認度が高いということで、標識類には黒と併用して黄色が用いられることが多い。もともと黄色のYは高いわけであるが、高色温度の光源の下ではYがさらに高くなり、おそらく見た目にはグレアーに感じるのではないだろうか。もしそうであるとすると、丁度、太陽光に正反射をした信号機がなに色であるかが判らないのと同じように、まぶしさ感だけしか知覚されない可能性があるように思われる。

本稿で用いた試験色はJIS Z 9106「蛍光安全色彩使用通則」⁵⁾で規定された色の許容値ないしそれに近い色度座標を持つが、蛍光安全色彩を決定するときには季節・天候・時間などを十分考慮する必要があると思われる。

また、これはさらなる研究が必要であるが、本稿で用いた試験色を見る限りでは、Yが100%を超えた試験色であっても、そのL*a*b*値はそれほど突飛な数値を示しているとは思われない。従って、L*a*b*均等色空間はYが100%を超える試料に対しても使用に耐えうる色空間であると思われる。

今回はまだ理論的な段階であるが、今後、光源の紫外エネルギーの影響が色の見えにどのように関わるかについて、実験等の調査を行う必要があると思われる。

最後に本稿作成にあたり、元大妻女子大学、福田保教授にご指導頂きましたことを心より感謝致します。

引用文献

- 1) G. Wyszecki and W. S. Stiles: Color science, 8-9, John Wiley & Sons (1982)
- 2) JIS Z 8717「蛍光物体色の測定方法」(1989)
- 3) 内田：白色度評価における観測者の年齢による特徴, 色彩学会誌, 19-3 (1995)
- 4) 側垣：色順応予測式の国際標準化, 照明学会誌, 76-9, (1992)
- 5) JIS Z 9106「蛍光安全色彩使用通則」

(受付日：1995年10月4日)

著者紹介



うちだ ひろこ
内田 洋子

昭和24年12月28日生

昭和60年3月 大妻女子大学大学院修士課程家政学研究科被服学専攻修了

大妻女子大学非常勤講師, 山梨大学教育学部非常勤講師, 帝京短期

大学非常勤講師

日本色彩学会, 国際服飾学会所属

文部省認定日本編物技能検定協会評議員, 日本編物手芸協会理事, 日本手芸創作作家連合会評議員

学術博士