受光器の異色測光誤差の実用的評価方法

正会員 大塚 利恵 正会員 大野 義弘 専門会員 西山 英夫

Practical method for evaluating the error
caused by imperfect $V(\lambda)$ matching

Rie Ohtsuka (Member), Yoshihiro Ohno (Member),

Hideo Nishiyama (Fellow Member)

(Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

ABSTRACT

A practical method for evaluating the error caused by imperfect $V(\lambda)$ matching is developed. The method uses the color correction factor (K_{Hk}) of a detector for a clear-bulb high pressure mercury lamp as its evaluation value. Using various spectral response data of 81 photometric detector models and of 77 actual detectors, the correlation between the value K_{Hk} , in addition to the evaluation value k (400~760 nm) of Japanese Industrial Standard (JIS-C-1609) and the evaluation value f_1' recommended by CIE, and the color correction factors for 33 other kinds of discharge lamps is analysed. The results show that the value K_{Hk} obtained by this method gives as good a correlation with the maximum color correction factors for other discharge lamps as the evaluation value f_1' does. The evaluation value k of JIS, on the other hand, gives poor correlation. Since the value K_{Hk} can be measured quickly using a standard incandescent lamp and a high pressure mercury lamp, this method is useful as a practical method for evaluating the spectral matching of photometric detectors.

1. はじめに

照度計や輝度計などの照明計測機器における重大な測定誤差要因として、受光器の可視域相対分光応答度（以下、分光応答度と記す）の標準比視感度（以下、 $V(\lambda)$ と記す）からのはずれによる異色測光誤差がある。

このような測光用受光器の分光応答度の $V(\lambda)$ への整合性の評価方法として、わが国では、照度計については古くから計量法¹⁾に規定された評価方法が一般に使用され、同じ評価方法がそのまま現在の日本工業規格（以下JIS-C-1609と記す）²⁾に引き継がれている。輝度計の評価においても、分光応答度に関して照度計とほぼ同じ評価方法⁹⁾が推奨されている。また、国際的には、国際照明委員会（以下CIEと記す）で推奨される方法³⁾が普及しつつある。

この、JIS-C-1609およびCIEの分光応答度の評価方法は照明計測機器の測定精度を評価する基準のひとつとして重要であるが、これらの評価方法による評価値は、実際に放電ランプなどの

様々な光源を測定したときの異色測光誤差の値に必ずしも対応しないという問題がある。分光応答度の評価の目的は、異色測光誤差の程度を知ることであるということからすれば、実際に生ずる異色測光誤差の値によく対応した評価値を与える評価方法が望まれる。そこで、この異色測光誤差をより明確に表わすために、上記の評価方法で得られる値に加えて、各測光機器ごとに代表的な各種光源に対する色補正係数を算出して表示する方法が推奨され⁹⁾、現在までよく用いられてきた⁴⁾⁵⁾。しかし、この方法においては、評価値がひとつの数値で決まらず一般性に欠けるという問題点があった。そこでこの方法をより一般的なものとするため、CIEでは5種の代表光源に対する色補正係数の最大値 ($f_1(z)_{\max}$) を求める方法⁶⁾を、上記の方法³⁾とともに推奨している。しかし、この方法は、代表光源を決定する際に多数の光源の分光分布データが必要となり簡便さに欠けるといった問題があり、あまり普及していない。また、簡易的な方法として、3種類のカラーフィルタと白熱電球を用いる方法⁸⁾が知られているが、この方法により、 $V(\lambda)$ からのはずれを定量的に評価することは困難であり、分光応答度の経時変化の検出用として推奨されるにとどまっている。

このように、現在、様々な評価方法が推奨されているが、これらの方法による評価値では、必ずしも正確に異色測光誤差を表わせないことや、計算方法が複雑であるといった問題があった。

* 松下電器産業株式会社生活システム研究センター照明研究所

〒570 大阪府守口市八雲中町3丁目15番地

3-15, Yagumo-nakamachi, Moriguchi, Osaka 570, Japan

この論文の一部は、平成元年度および平成2年度照明学会全国大会で発表したものである。

そこで、本論文では、測光用受光器の異色測光誤差の実用的な評価方法の一つとして、代表的なひとつの放電ランプに対する色補正係数を実測することにより各種の一般照明用光源に対する誤差の最大値を推定する方法を検討し、簡易な評価方法として利用できる見通しが得られたので報告する。さらに、分光応答度の評価方法として、国内の基準である JIS-C-1609 の評価方法および国際的な標準になりつつある CIE 推奨の評価方法の各評価値と、実在の各種放電ランプに対する色補正係数との対応関係とその問題点を明らかにしたので報告する。

2. 現行の可視域相対分光応答度評価方法とその問題点

2.1 JIS-C-1609 の評価方法

JIS-C-1609 においては、分光応答度の $V(\lambda)$ への整合性を次のように評価するよう規定している。すなわち、受光器の分光応答度 $R(\lambda)$ から、(1)式により評価係数 k を求めるものである。

$$k = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \times \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P_A(\lambda) R(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

- λ_1, λ_2 : 表 1 の各波長における最小および最大の波長 (nm)
- $V(\lambda)$: 標準比視感度
- $P_A(\lambda)$: 温度 2856 K の黒体の分光放射発散度の相対値
- $R(\lambda)$: 受光器の相対分光応答度

評価係数 k は、光源の可視域全域 (400~760 nm) の等エネルギー放射と、50 nm ごとの帯域放射に対して、表 1 に示すような規定が設けられている。この JIS-C-1609 による評価値 k (400~760 nm) と各種放電ランプ測定時の測定誤差との対応関係について以下に述べる方法によって調べた。

表 1 可視域相対分光応答度特性評価値 (JIS-C-1609)

波 長 ($\lambda_1 \sim \lambda_2$)	AA 級
400~760 nm	1 ± 0.02
450~500	1 ± 0.40
500~550	1 ± 0.10
550~600	1 ± 0.10
600~650	1 ± 0.20
650~700	1 ± 0.50

図 1 81 個の各受光器に対する色補正係数最大値と JIS-C-1609 の評価値の関係

33 種類の現実に存在する一般照明用放電ランプ (3.3 参照) の相対分光分布と、 $V(\lambda)$ から 3.2 に示した計算によって系統的に応答度を変化させた 81 種類の仮想的な受光器の分光応答度とから、これらの各仮想的受光器 (81 個) ごとの、各放電ランプ (33 種類) に対する色補正係数 k_c を個々に求め、 $|1 - k_c|$ が最大になる光源に対する k_c (以下、この値を色補正係数最大値と記す) を各受光器ごとに求めた。この色補正係数最大値と JIS-C-1609 による評価値 k (400~760 nm) の関係を図 1 に示す。図 1 において、横軸は 33 種の光源に対する色補正係数最大値、縦軸は JIS-C-1609 の評価値 k (400~760 nm)、○および×は 81 個の各受光器を示す。○は評価値が表 1 に示す JIS-AA 級に適合している受光器であり、×は JIS-AA 級に不適合の受光器 (全波長域またはいずれかの波長域で表 1 の規格を満たさないもの) を示す。図 1 から、JIS-AA 級に適合した受光器でも、光源によっては最大 1.08 程度の色補正係数が必要になることがわかる。また、色補正係数最大値が約 1.02 でも、JIS-AA 級不適合となる場合が認められる。このように、JIS-C-1609 における JIS-AA 級の判定基準や評価値 k (400~760 nm) は実際の放電ランプ測定時の誤差 (色補正係数最大値) に充分対応していないことがわかる。この JIS-C-1609 は、有色光源も含めて異色測光誤差を一定以下に規制するように決められたものであり、上記の検討結果は一般的な白色光源のみを対象としたもので、これだけのデータによって総合的な判断はできないが、上記の結果はひとつの問題点であると言える。

2.2 CIE 推奨の評価方法

CIE は、次の(2)、(3)式から計算する f_1' によって、分光応答度の $V(\lambda)$ への整合性を評価するよう推奨している³⁾⁶⁾。

$$f_1' = \frac{\int_0^\infty |R^*(\lambda) - V(\lambda)| d\lambda}{\int_0^\infty V(\lambda) d\lambda} \times 100 [\%] \dots\dots\dots (2)$$

$$R^*(\lambda) = \frac{\int_0^\infty P_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty P_A(\lambda) R(\lambda) d\lambda} \cdot R(\lambda) \dots\dots\dots (3)$$

$R^*(\lambda)$: (3)式により規格化した相対分光応答度

2.1 と同様に、CIE 推奨の評価値 f_1' と放電ランプ測定時の測定誤差との対応関係について調べた。図 2 は、2.1 に用いたと同

図 2 81 個の各受光器に対する色補正係数最大値と CIE Pub. No. 69 の評価値の関係

図 3 受光器の分光応答モデル

じ仮想的受光器（81 個）について、33 種類の現実の光源に対する色補正係数最大値と CIE の評価値 f'_i を比較したものである。図 2 において、横軸は 33 種の光源に対する色補正係数最大値、縦軸は CIE 推奨の評価値 f'_i を示す。(2)式の f'_i は常に正の値となるため、座標の分布は V 字形となる。図 2 から、色補正係数最大値との対応関係は JIS-C-1609 に比べるとかなりよいことがわかるが、誤差の方向（＋）がわからないため、現実の色補正に使用できない不便さがある。

3. 新しい実用的評価方法（水銀ランプ法）の検討

3.1 原 理

各種光源に対する受光器の色補正係数は、受光器と光源の組合せによって様々に異なり、その値は実際に測定した受光器の分光応答度のデータを用いて計算しないとわからない。しかし、個々の光源に対する色補正係数がわからなくとも、その最大値がわかれば、それ以上の誤差は生じないことになり、これを誤差の限界値、すなわち分光応答度の評価値と考えることができる。

色補正係数の 1 からの偏差が最大となる光源は各受光器ごとに異なるが、受光器の分光応答度がどのような特性であっても、特定の光源に対する色補正係数が、各種光源に対する色補正係数最大値に近ければ、その特定の光源に対する色補正係数から、各種光源に対する色補正係数最大値を推定できることになる。この仮定にもとづき、様々な分光応答度をもつ受光器に対して、どの光源が色補正係数最大値に最も近い色補正係数を生じるかを計算により決定し、その光源（評価用光源）に対する色補正係数を評価値とする方法を試みた。

この評価方法を、受光器の分光応答度がどのような特性であっても適応できるようにするためには、多数の受光器を母集団とし、さらに光源の分光分布のデータも、対象とする範囲の光源をもれなく含めて検討することが重要である。このことをふまえた上で、今回の検討に用いた受光器の分光応答度のデータと光源の分光分布のデータの設定方法について以下に述べる。

3.2 受光器の分光応答モデルの設定

次のような方法で、様々な分光応答モデルを設定した。図 3 に示すように、 $V(\lambda)$ の値が約 0.5 になる波長（2 点：510 nm および 610 nm）およびピークの波長（555 nm）の 3 波長で分割し、可視領域を波長領域 A（420 nm～510 nm）、波長領域 B（510 nm～555 nm）、波長領域 C（555 nm～610 nm）、波長領域 D（610 nm～700 nm）の 4 つの領域に分け、分割した各々の波長領域において(4)式に示す偏差関数 $\Delta R(\lambda)$ を、(5)式に示すように $V(\lambda)$ に加算もしくは減算し、 $V(\lambda)$ に対して様々な偏差

図 4 受光器の分光応答モデル

を持った連続的な分光応答度特性を作成した。

$$\Delta R(\lambda) = c \cdot \sin^2 \left(\frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} 2\pi \right) \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{xy}(\lambda) &= V(\lambda) + \Delta R(\lambda) & (y = 1 \text{ とする}) \\ R_{xy}(\lambda) &= V(\lambda) & (y = 2 \text{ とする}) \\ R_{xy}(\lambda) &= V(\lambda) - \Delta R(\lambda) & (y = 3 \text{ とする}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

c : 変化係数

添え字 x : 分割した各波長領域 (x : A, B, C, D)

添え字 y : 変化方法 (y : 1, 2, 3)

λ_1 : 分割した各波長領域 x の最小波長

λ_2 : 分割した各波長領域 x の最大波長

(4)式において、 c は $R_{xy}(\lambda)$ を $V(\lambda)$ からどの程度変化させるかを定める係数である。今回の検討では、JIS-AA 級に適合する可能性のある受光器を対象とし、2.1 で述べたように色補正係数最大値が 1.08 程度生じることを見越して、 $V(\lambda)$ からのはずれが $\pm 10\%$ 以内のものを作成するため $c=0.08$ とした。このとき、より自然な分光応答度曲線とするため、分割した隣合う波長領域とともに $V(\lambda)$ から同じ方向にずれる場合、波長領域 A と波長領域 C では(6)式、波長領域 B と波長領域 D では(7)式を用いて $\Delta R(\lambda)$ を求め、それを(5)式に示すように $V(\lambda)$ に加算または減算した。

$$\Delta R(\lambda) = c \cdot \sin^2 \left(\frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \pi \right) \quad (6)$$

$$\Delta R(\lambda) = c \cdot \cos^2 \left(\frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \pi \right) \quad (7)$$

図 3 の実線は、この方法によって $V(\lambda)$ から偏差をもった分光応答度を作成した例である。また、今回用いた方法においては、 $V(\lambda)$ 曲線の形を保って波長だけをシフトさせたような分光応答度データは作成していないが、図 4 に示すように、波長領域 A, B の組と波長領域 C, D の組を、異なった方向に変化させることにより、波長をシフトしたものと同様のデータが得られる。

このようにして求めた各波長領域ごとの分光応答度の組み合わせによって、81 通り（4 領域で 3 通りの変化を行なった： $3^4=81$ 通り）の受光器の分光応答度 $R_i(\lambda)$ ($i = 1, \dots, 81$) を作成した。

3.3 光源の選択

評価方法を検討するための条件として、3.2 で述べたような様々な分光応答度をもつ多数の受光器とともに、実際に測定対象になる各種の多数の光源のデータが必要となる。今回は、一般の照明施設でよく用いられる放電ランプの中から相対分光分布の異なる 33 品種（松下電子工業㈱製の蛍光ランプ 14 種、メタルハラ

イドラランプ10種、高圧水銀ランプ4種、高圧ナトリウムランプ5種)の分光分布の測定データを用意した。ただし低圧ナトリウムランプなど単色とみなされる光源については、白色光源と比べて色補正の程度が大きいため、測定は必ず色補正係数による補正を行うことが前提となるので今回の検討からは除外した。表2に今回の検討に用いた光源の名称と品番を示す。また図5に今回の検討に用いた光源の分光分布の一例を示す。

3.4 各種光源に対する色補正係数の計算

3.2で作成した分光応答度 $R_i(\lambda)$ ($i = 1, \dots, 81$)をもつ受光器により、表2に示す33種類の光源 $P_j(\lambda)$ ($j = 1, \dots, 33$)を測定した場合の色補正係数 K_{ij} ($i = 1, \dots, 81, j = 1, \dots, 33$)を、(8)式により求めた。

$$K_{ij} = \frac{\int_0^\infty P_A(\lambda) R_i(\lambda) d\lambda \cdot \int_0^\infty P_j(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty P_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda \cdot \int_0^\infty P_j(\lambda) R_i(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (8)$$

次に、 K_{ij} の各 i (各受光器)ごとに求めた色補正係数最大値($K_{i-\max}$ ($i=1\sim 33$)で1からの偏差が最大のものを $K_{i-\max}$ ($i=1, \dots, 81$)とした。

3.5 評価用光源の決定

3.4で求めた色補正係数最大値 $K_{i-\max}$ は、3.2に示した方法で分光応答度を作成した仮想的な各受光器において、33種類の一般照明用光源を測定した時に、それ以上の測定誤差を生じない最大誤差(誤差の限界値)と考えることができる。しかし、 $K_{i-\max}$ を3.4のように求めることは、大量のデータと計算を必要とし、実用的でない。そこで、個々の $j=33$ の光源ごとに、ここで選んだ81種の受光器が示す色補正係数の集団を考え、この集団の標本(つまり個々の81の色補正係数の値)の相互関係はランダムでガウス分布に従うと考えた。そして、この集団ごとに色補正係数最大値(すなわち $K_{i-\max}$)と個々の値(すなわち K_{ij})の差の二乗和(分散) ΔK_j を求めた。

$$\Delta K_j = \sum_{i=1}^{81} (K_{ij} - K_{i-\max})^2 \dots\dots\dots (9)$$

この ΔK_j 、すなわち色補正の分散が最も小さい光源の色補正係数は、81個のどの受光器に対しても色補正係数最大値($K_{i-\max}$)からのはずれが最も小さい光源であり、したがって、色補正の評価基準用として使用できると考えられる。

表2 検討に使用した光源の名称、番号

j	光源の名称	番 号	ΔK_j
1	温白色蛍光ランプ	FL40SS. WW/37	0.234
2	昼白色蛍光ランプ	FL40SS. W-F/37	0.245
3	電球色蛍光ランプ1	FDL36LE	0.339
4	演色A A A電球色蛍光ランプ	FL40S. L-EDL	0.509
5	美術・博物館用蛍光ランプ1	FL40S. L-EDL. NU	0.494
6	白色蛍光ランプ	FL40S. W	0.222
7	昼光色蛍光ランプ	FL40S. D	0.262
8	紫外線防止用蛍光ランプ	FL40S. W. NU	0.223
9	美術・博物館用蛍光ランプ2	FL40S. W-SDL. NU	0.379
10	演色A A A昼白色蛍光ランプ	FL40S. N-EDL	0.387
11	電球色蛍光ランプ2	FLR40S. EX-L	0.321
12	美術・博物館用蛍光ランプ3	FL40S. N-EDL. NU	0.395
13	三波長域発光形蛍光ランプ1	FL40S. EX	0.280
14	三波長域発光形蛍光ランプ2	FL40SS. EX-D	0.298
15	演色改善形高圧ナトリウムランプ	NH450D. L	0.396
16	効率本位形高圧ナトリウムランプ1	NH360F. L	0.324
17	効率本位形高圧ナトリウムランプ2	NH400	0.301
18	高演色形高圧ナトリウムランプ	K-HICA150. G	0.546
19	高彩度形高圧ナトリウムランプ	K-HICA150. H	0.644
20	透明形水銀ランプ	H400	0.127
21	一般形水銀ランプ	HF400X	0.194
22	蛍光形水銀ランプ	HF400X. W	0.185
23	パラストレス水銀ランプ	BHF100-110V500W	0.247
24	昼白色メタルハライドランプ	HQI-TS250W/D	0.333
25	白色メタルハライドランプ	HQI-TS150W/NDL	0.320
26	透明形メタルハライドランプ1	M400L/BU	0.237
27	蛍光形メタルハライドランプ1	MF400L/BU	0.244
28	透明形メタルハライドランプ2	M400L/BU-SC	0.225
29	蛍光形メタルハライドランプ2	MF400L/BU-SC	0.231
30	透明形メタルハライドランプ3	M1000. S/VH	0.231
31	蛍光形メタルハライドランプ3	MF1000. S/VH	0.247
32	透明形メタルハライドランプ4	M100. L/BU	0.218
33	蛍光形メタルハライドランプ4	MF100. L/BU	0.221

表2に、 ΔK_j の計算結果を各光源ごとに示す。表2から、透明高圧水銀ランプの ΔK_j の値、すなわち ΔK_{20} が33種の中で最小であることがわかる。図6は、81個の各受光器ごとに、透

図5 光源の分光分布の一例

図 6 81 個の各受光器に対する色補正係数最大値と透明形高圧水銀ランプに対する色補正係数の関係

透明形高圧水銀ランプに対する色補正係数 K_{20} ($i=1, \dots, 81$) と、その受光器が示す色補正係数最大値 $K_{i-\max}$ ($i=1, \dots, 81$) の関係を示したものである。図 6 から、色補正係数最大値と透明形高圧水銀ランプに対する色補正係数とは比較的良く対応することがわかる。その相関係数 r' は 0.92 である（相関係数 r' の求め方については、4.2 を参照）。そこで、この透明形高圧水銀ランプを評価用光源として、この方法を以下、水銀ランプ法と呼び、透明形高圧水銀ランプに対する色補正係数を評価値 K_{Hg} と表現する。なお、さらに他メーカー製（2 社）の透明形高圧水銀ランプの測定データを用いて計算を行なった結果、表 2 および図 6 とほぼ同じ結果が得られることを確認した。このように水銀ランプが評価用光源に適する理由としては、現実存在する各種ランプの中に水銀輝線をもったランプが多いことと、水銀輝線の中で最も強度の大きい 546 nm の輝線付近（可視域の中央部分）に強いパワーをもったランプが多いことが考えられる。

4. 実際の受光器を用いた場合の評価結果

以上のように検討した結果、透明形高圧水銀ランプに対する色補正係数を求めることによって、各種光源に対する色補正係数最大値に近い値を推定できる可能性が確かめられた。しかし、これは計算により作成した分光応答度モデルを用いた結果であり、データとして充分であるとは言えない。そこで、実在の受光器を用いたとき、この評価方法がどの程度有効であり、各種光源に対す

る色補正係数最大値をどの程度予測できるかについて、筆者らが過去に測定した実在の受光器の分光応答度データを用いてさらに検討した。

4.1 受光器データの設定

受光器のデータとして、実在の受光器 77 台（市販照度計 20 台、当所で過去に製作した照度測定用受光器 57 個）の分光応答度の実測データを用意した。また、実在の受光器に準ずるサンプルとして、受光素子 2 個（シリコンホトダイオード、セレン光電池）と各種フィルタの様々な組み合わせから計算で求めた分光応答度を多数作成し、各分光応答度 $R(\lambda)$ を、(3)式で $R^*(\lambda)$ に正規化し、 $R^*(\lambda)$ の $V(\lambda)$ からのはずれが可視全域で 10% 以内（ $V(\lambda)$ のピーク値に対して）で、かつ 400 nm および 700 nm の値が 0.01 以下のものを 100 組選んだ。 $R^*(\lambda) - V(\lambda)$ は、波長 λ の放射に対するその受光器の測定誤差を表わしている。

4.2 各方法による評価値と色補正係数最大値の相関

水銀ランプ法による評価値 K_{Hg} 、JIS-C-1609 による評価値 k （400～760 nm）、CIE 推奨の方法による評価値 f' と、3.3 で述べた 33 種類の一般照明用光源に対する色補正係数最大値との対応関係を、4.1 で述べた実在の受光器の分光応答度データを用いて検討した。この結果を図 7～図 9 に示す。

これらの各評価方法による評価値と色補正係数最大値との相関を定量的に評価するため相関係数 r' を求めた。なお、計算に使用するデータは 3 つの評価方法とも評価基準を等しくするために、以下のように前処理をした。すなわち、水銀ランプ法および JIS-C-1609 の方法は、横軸の座標を x とすると、 $x > 1$ 、 $x < 1$ のそれぞれの領域で誤差の符号が逆方向（グラフでは直線状）になるが、CIE の方法は、 $x > 1$ 、 $x < 1$ で誤差の符号は同一方向（グラフでは V 字型）になる。したがって、水銀ランプ法および JIS-C-1609 の方法を CIE の方法に合わせるため、まず、水銀ランプ法および JIS-C-1609 の方法において、

$$y_i = -y_i \quad (x < 1) \quad (10)$$

とし、次に $x > 1$ 、 $x < 1$ の 2 つの領域に分かれたデータ群を一括して（重ね合わせて）評価するため、各方法において、

$$x_i = 1 + |x_i - 1| \quad (x < 1) \quad (11)$$

とした。

このようにして、前処理を行ったデータを用いて相関係数 r' を算出した（前処理しない通常の相関係数 r と区別するため、上記のように前処理を行った相関係数を r' と記す）。また、この相関係数は標本数を 77 および 50 としたときの試料相関係数であるため、信頼性を高めるために母集団の母相関係数の区間推定を行

図 7 各評価方法による評価値と色補正係数最大値との対応関係
— 実在の照度計受光器（77 個） —

図 8 各評価方法による評価値と色補正係数最大値との対応関係
—セレン光電池とフィルタを組み合わせた受光器 (50 個) —

図 9 各評価方法による評価値と色補正係数最大値との対応関係
—シリコンホトダイオードとフィルタを組み合わせた受光器 (50 個) —

表 3 各評価方法による評価値と色補正係数最大値との相関係数 r'

		照度計 (77個)	セレン+ フィルタ (50個)	シリコン+ フィルタ (50個)
水銀ランプ 法	相関係数 r'	0.83	0.81	0.74
	95%信頼区間	0.74~0.88	0.69~0.89	0.58~0.84
JIS-C- 1609 による 方法	相関係数 r'	0.18	0.38	0.58
	95%信頼区間	-0.04~0.38	0.11~0.59	0.35~0.74
CIE Pub. No. 69 による 方法	相関係数 r'	0.92	0.71	0.66
	95%信頼区間	0.87~0.94	0.53~0.83	0.46~0.79

い、信頼限界を求めた。各評価方法による評価値と色補正係数最大値の相関係数 r' および、95%の信頼区間の値を表 3 に示す。この結果から、以下のことが明らかになった。

(1) JIS-C-1609 による評価値 k と色補正係数最大値との相関は低い。

(2) 水銀ランプ法による評価値 K_{Hg} と色補正係数最大値との相関は高い。ただし、受光器の分光応答度によっては対応しない場合もある。(特に誤差が小さい領域)

(3) CIE の評価値 J' と色補正係数最大値との相関は高い。また、特定の受光器に対して評価値が大ききはずれることがないといえ

図 10 水銀ランプ法による評価値と各光源の色補正係数との関係
—シリコンホトダイオードとフィルタを組み合わせた受光器 (50 個) —

表 4 水銀ランプ法による評価値と各光源の色補正係数との相関係数 r (シリコンホトダイオードとフィルタを組み合わせた受光器(50個)―)

光源の名称	番 号	相関係数 r	95%信頼区間
白色蛍光ランプ	FL40S, W	0.85	0.75～0.91
透明形メタルハライド ランプ 2	M400L/BU-SC	0.76	0.61～0.86
効率本位形高圧ナトリ ウムランプ 1	NH360 F, L	0.15	-0.13～0.41

る。ただし、誤差の方向はわからない。

4.3 水銀ランプ法による評価値と各光源の色補正係数との関係

4.2において、水銀ランプ法による評価値 K_{Hg} と色補正係数最大値とが比較的良好な相関を示していることが明らかになったので、次に、水銀ランプ法による評価値が他の個々の種類の放電ランプの色補正係数とどのような関係にあるかを検討した。図 10 は、それぞれ、蛍光ランプ（電球色蛍光ランプを除く）、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプについて、それぞれの代表的な品種に対する色補正係数（縦軸）と水銀ランプ法による評価値（横軸）の関係を示した図であり、表 4 に、その相関係数 r および 95%の信頼区間の値を示す。なお、各種類のランプについて、代表以外の品種についても図 10 と同様の結果が得られている。これらの結果から、以下のようなことが言える。

(1) 蛍光ランプ（電球色を除く）に対する色補正係数と水銀ランプ法による評価値は良く対応している。（電球色は、他の光色に比べ、異色測光誤差は小さくなる。）

(2) メタルハライドランプに対する色補正係数と水銀ランプ法による評価値との対応関係は比較的良好。

(3) 高圧ナトリウムランプに対する色補正係数と水銀ランプ法による評価値は相関が低い。

以上の結果から、評価値 K_{Hg} から、各種高圧水銀ランプはもちろん、蛍光ランプ（電球色を除く）やメタルハライドランプの色補正係数の概略値を知ることができ、それによっておおまかな色補正が可能であると言える。

5. 水銀ランプ法による分光応答度の簡易検査方法

以上の検討の結果、透明形高圧水銀ランプに対する色補正係数により、測光用受光器の異色測光誤差をある程度予測できることが明らかになった。したがって、次の様な方法により、実験的に透明形高圧水銀ランプの色補正係数を求めれば、測光用受光器の分光応答度の $V(\lambda)$ からのはずれについて簡易的な検査が可能になる。すなわち、3.5 で決定した評価用光源（透明形高圧水銀ランプ）を用いて設定した一定の照度を測定した時の被測定受光器の出力を E_1 とし、光度標準電球を用いて設定した同じ照度を測定した時の出力を E_0 とした時、(12)式によって、評価用光源に対する被測定受光器の色補正係数 K_{Hk} を求めることができる。

$$K_{Hk} = \frac{E_0}{E_1} \dots\dots\dots (12)$$

このように、光度標準電球と評価用光源に対する受光器出力を読むことで、被測定受光器の分光応答度測定の必要なく、分光応答度の評価を簡易に迅速に実施することが可能となる。ただし、評価用光源により、正確な照度を設定するためには、評価用光源

に対する色補正係数を明らかにした標準照度計を使用することが必要である。

6. ま と め

様々な分光応答度をもつ 81 種類の分光応答度モデルを作成し、現在よく用いられている JIS-C-1609 および CIE 推奨の評価方法について検討した結果、JIS-C-1609 による評価値と色補正係数最大値とは対応があまりよくないことが明らかになった。また、CIE 推奨の方法では、評価値と色補正係数最大値とは比較的良好に対応するが、方向性を含めた誤差の予測ができない。そこで、色補正係数最大値とよく対応する評価値をもち、さらに誤差の方向性もわかるような評価方法を検討し、その 1 つの方法として、透明形高圧水銀ランプに対する色補正係数により、各種光源に対する色補正係数最大値を推定する方法（水銀ランプ法）を考案した。この方法による評価値は、分光応答度モデルとして作成した様々な分光応答度をもつ受光器に対して、高い確率で色補正係数最大値に近い値になることを確認した。したがって、様々な一般照明用光源（33 種類）を測定したときの測定誤差の最大値を推定できるという点で、測光用受光器の異色測光誤差の実用的評価方法として利用できる。また、この方法による評価値は、光源の種類を限定すれば、個々の種類の光源に対する色補正係数に対してさらに良い対応関係を示しており、限られた種類の光源に対する色補正係数の概略値（大きさと方向）を予測できる。このように、本方法は、実際に生ずる色補正係数によく対応した評価値が得られ、さらに分光応答度測定の必要なく実現できるという点で簡易法としても有効である。

本研究では、使用頻度の高い、白色とみなされる一般照明用の放電ランプのみを対象としたが、今後、対象光源の範囲を広げ、有色光源も含めた光源に対する適切な評価方法の検討が必要である。

最後に、本研究において、統計的データ処理方法などに関して懇切にご指導いただいた埼玉大学工学部の中川靖夫教授に、また、いくつかの観点で貴重なご意見をいただいた日本照明器具工業会の三嶋泰雄参事に謝意を表します。

参 考 文 献

(1) 計量法関係政省令
(2) 照度計, JIS-C-1609 (1983)
(3) Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters, CIE Pub. No. 69 (1987)
(4) 斎藤一朗: 受光器による実用測光標準の設定に関する研究, 電子技術総合研究所報告 No. 803 (1979)
(5) 戸沢均: ディスプレイデバイスの輝度測定における諸問題, 照明学会光放射の応用・関連計測研究専門部会研究会資料 AR-90-9 (1990)
(6) Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers, CIE Pub. No. 53 (TC-2.2) 1982
(7) たとえば Nielsen, O.: The Importance of spectral match in photometry, Ligh. Des. Appl. Vol. 17 No. 1 (1987) 38
(8) Photometry of floodlights, CIE Publ. No. 43 (TC-2.4) 1979
(9) 輝度計の性能評価方法ならびに使用方法, 照明学会技術指針 JIEG-006 (1986) (受付 1991 年 4 月 8 日)