三刺激値計算のための重価係数の求めかた

正会員 大久保 和明* 専門会員 側 垣 博 明**

The Calculation of Weighting Factors for Calculation
of Tristimulus Values

Kazuaki Ohkubo (Member)

(Lighting Research Laboratory, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd)

Hiroaki Sobagaki (Fellow Member)

(Osaka Life Electronics Research Center, Electrotechnical Laboratory)

ABSTRACT

For reflecting or transmitting object colours, the CIE tristimulus values of a colour stimulus are obtained by multiplying, at each wavelength, the value of the weighting factors by that of each of the spectral reflectance or the spectral transmittance of the object colour. Then each set of products is integrated over the wavelength range corresponding to the entire visible spectrum, 380 to 780nm. The integration may be carried out by numerical summation at a wavelength interval, equal to 5nm. The weighting factors are obtained by multiplying, at each wavelength, the value of the relative spectral power distribution of the illuminant by the CIE colour-matching functions.

In practical applications, all the required data may not be available because of measurement at greater intervals than 5nm, equal to the 10nm or 20nm intervals data. In this paper, the method for the calculation of the weighting factors for the 10nm or 20nm intervals measurement data using interpolation is reported.

1. ま え が き

物体色の三刺激値は、試料物体の分光反射率 $R(\lambda)$ 、試料を照明した光の分光分布 $S(\lambda)$ と等色関数(たとえば $\bar{y}(\lambda)$)の積を、波長に対して積分して求める。一般に照明光 $S(\lambda)$ には、標準の光を使用して、物体色を表現する場合が多いため、 $S(\lambda)$ と $\bar{y}(\lambda)$ の積を、試料物体の分光反射率 $R(\lambda)$ に対する重価係数と称し、 $R(\lambda)$ と重価係数との積を波長に対して積分して、物体色の三刺激値を求める。

一般にこの計算には、CIE 技術報告書 Pub.15.2¹⁾で定められた5nm おきに与えられた標準の光A, C, D65および等色関数の値を使用する。また、標準の光以外の照明光に対する物体色の三刺激値を求める場合、照明光の分光分布 $S(\lambda)$ は、JIS Z 8724 (光源色の測定方法)²⁾にしたがって、波長380nm から780nm まで有効波長幅5nm, 波長サンプリング間隔5nm で測定し計算を行うのが適当である。したがって、物体の分光反射率や分光透過率も5nm 間隔の測定データを用いて三刺激値の計算を行う必要がある。

しかし物体色を測定するための分光測定装置は、波長380nm から780nm まで有効波長幅5nm, 波長サンプリング間隔5nm で測定

する装置の他に、一次元イメージセンサなど複数の受光器を直線上に配置した受光器アレイと回折格子やブリズムなどの分散素子を組み合わせ、同時に複数の波長に光を測定するマルチチャンネル分光測定装置の普及にともない、波長380nm から780nm まで有効波長幅10nm, 波長サンプリング間隔10nm で測定する装置や、また波長400nm から700nm で有効波長幅20nm で測定する物体色測定用分光測定装置が広く使用されるようになった。このことから、有効波長幅10nm や20nm の物体色分光測定データから、その三刺激値を求めるための重価係数が、これらの装置で測色精度を得るうえで重要となり、このため従来不統一だった10nm 間隔や20nm 間隔の重価係数を算出する方法の見直しが必要となった。

以上のことから、平成3年「JIS Z 8722 物体色一測定方法」改訂原案作成委員会は、第1種分光測定器として波長380nm から780nm まで有効波長幅5nm, 波長サンプリング間隔5nm で測定する装置の他に、波長380nm から780nm まで有効波長幅10nm, 波長サンプリング間隔10nm で測定する装置も含め、また、第2種分光測定器では、波長400nm から700nm で有効波長幅20nm で測定する装置を物体色測定用分光測定装置として定めた。さらに重価係数については、CIE 技術報告書 Pub.15.2¹⁾で国際的に定められた分光分布の補間と外挿方法に準じた算出方法を定めた。

本資料は、筆者らが上記委員会のメンバーとして提案し、採択された上記の重価係数の導出方法について、その詳細を解説する

* 松下電器産業㈱生活システム研究センター照明研究所

** 通産省工業技術院電子技術総合研究所大阪ライフエレクトロニクス研究センター

ものである。

2. 分光分布の補間と外挿方法

物体の分光測定値 $P(\lambda)$ (分光反射率の場合 $R(\lambda)$ 、分光透過率の場合 $T(\lambda)$) は、波長に対して滑らかに変化することが多いので、10nm や 20nm の波長間隔の測定データでも、数学的な補間と外挿を使用して波長 380nm から 780nm まで波長間隔 5nm のデータを得ることができる。この補間の過程で生ずる係数を含んだ重係数表として、波長 380nm から 780nm まで有効波長幅 10nm の物体の分光反射率 (分光透過率) に対する重係数と波長 400nm から 700nm まで有効波長幅 20nm の物体の分光反射率 (分光透過率) に対する重係数の決定に使用した補間と外挿方法は、CIE 技術報告書 Pub.15.2¹⁾ で国際的に定められた以下の規約に基づいたものを採用した。

- (1) 補間：測定範囲内で、必要だが未測定の $P(\lambda)$ を予測するとき、予測は測定間隔の 2 倍以内の近接データを用い、3 次の多項式による補間公式か、あるいはラグランジェ補間公式によって行う。
- (2) 切り捨て：測定範囲が実用的な加算範囲の 380nm から 780nm より小さい場合、測定範囲の端での値の欠如は、計算される三刺激値に誤差をもたらすことがある。このような切り捨ては、三刺激値の使用目的に対して無視できるほど小さいことが示せるときだけ用いるべきである。これらの誤差が無視できるほどには小さくないとき、適当な外挿により、必要だが未測定の $P(\lambda)$ の値を予測し、使用する。
- (3) 外挿：他の情報なしで、測定範囲外で必要だが未測定の $P(\lambda)$ の値を予測するとき、 $P(\lambda)$ の未測定値には、粗い近似として、切断した波長域に最も近い波長点で得られる妥当な測定値に等しいと置く。

3. 10nm 間隔の重係関数

上記の規約をもとに波長 380nm から 780nm まで 10nm 間隔の重係関数 $f_{10}(\lambda)$ の導出方法を示す。10nm 間隔の分光測定データ $P_{10}(\lambda)$ (物体色の測定の場合、分光反射率 $R_{10}(\lambda)$ または、分光透過率 $T_{10}(\lambda)$) の、ある波長の 4 点連続の値 $P_{10}(\lambda)$ から、3 次のラグランジェ補間公式を使用することにより、その測定データの中央の 5nm 間隔のデータ $P_5(\lambda)$ は、(1) 式で与えられる。

$$P_5(\lambda) = \frac{-P_{10}(\lambda-15) + 9P_{10}(\lambda-5) + 9P_{10}(\lambda+5) - P_{10}(\lambda+15)}{16} \quad \dots\dots(1)$$

このとき、 $f_5(\lambda)$ を、照明光の 5 nm おきの分光分布と等色関数の積とすれば三刺激値は、次式で得られる。(550nm 近辺の項のみを示し、端部は後に説明する。)

$$\begin{aligned} \Sigma f_5(\lambda) \cdot P_5(\lambda) &= \dots \\ &+ f_5(545) \cdot P_5(545) + f_5(550) \cdot P_5(550) + f_5(555) \cdot P_5(555) \\ &+ f_5(560) \cdot P_5(560) + f_5(565) \cdot P_5(565) + f_5(570) \cdot P_5(570) \\ &+ f_5(575) \cdot P_5(575) + \dots\dots \\ &= \dots\dots \\ &+ f_5(545) \cdot \left[\frac{-P_{10}(530) + 9P_{10}(540) + 9P_{10}(550) - P_{10}(560)}{16} \right] \\ &+ f_5(550) \cdot P_{10}(550) \\ &+ f_5(555) \cdot \left[\frac{-P_{10}(540) + 9P_{10}(550) + 9P_{10}(560) - P_{10}(570)}{16} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ f_5(560) \cdot \frac{P_{10}(560)}{16} \\ &+ f_5(565) \cdot \left[\frac{-P_{10}(550) + 9P_{10}(560) + 9P_{10}(570) - P_{10}(580)}{16} \right] \\ &+ f_5(570) \cdot P_{10}(570) \\ &+ f_5(575) \cdot \left[\frac{-P_{10}(560) + 9P_{10}(570) + 9P_{10}(580) - P_{10}(590)}{16} \right] \\ &+ \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \dots\dots(2)$$

すなわち、

$$\begin{aligned} \Sigma f_5(\lambda) \cdot P_5(\lambda) &= \dots\dots \\ &+ \left[\frac{-f_5(545) + 9f_5(555) + 16f_5(560) + 9f_5(565) - f_5(575)}{16} \right] \cdot P_{10}(560) \\ &+ \dots\dots \end{aligned} \quad \dots\dots(3)$$

したがって $f_{10}(\lambda)$ は、次式で得られる。

$$f_{10}(\lambda) = \frac{-f_5(\lambda-15) + 9f_5(\lambda-5) + 16f_5(\lambda) + 9f_5(\lambda+5) - f_5(\lambda+15)}{16} \quad \dots\dots(4)$$

ただし $f_5(385)$ を求める場合、3 次のラグランジェ補間公式では、測定間隔の 2 倍以上の近接データを用いることになるため、2 次の補間式を用いた。

$$f_5(385) = \frac{6f_{10}(380) + 12f_{10}(390) - 2f_{10}(400)}{16} \quad \dots\dots(5)$$

したがって、 $f_{10}(380)$ から $f_{10}(400)$ の計算式は、下記ようになる。

$$f_{10}(380) = \frac{16f_5(380) + 6f_5(385) - f_5(395)}{16} \quad \dots\dots(6)$$

$$f_{10}(390) = \frac{12f_5(385) + 16f_5(390) + 9f_5(395) - f_5(405)}{16} \quad \dots\dots(7)$$

$$f_{10}(400) = \frac{-2f_5(385) + 9f_5(395) + 16f_5(400) + 9f_5(405) - f_5(415)}{16} \quad \dots\dots(8)$$

また、同様に $f_5(775)$ を求める補間式は次式で与えられる。

$$f_5(775) = \frac{6f_{10}(780) + 12f_{10}(770) - 2f_{10}(760)}{16} \quad \dots\dots(9)$$

したがって、 $f_{10}(780)$ から $f_{10}(760)$ の計算式は、下記ようになる。

$$f_{10}(780) = \frac{16f_5(780) + 6f_5(775) - f_5(765)}{16} \quad \dots\dots(10)$$

$$f_{10}(770) = \frac{12f_5(775) + 16f_5(770) + 9f_5(765) - f_5(755)}{16} \quad \dots\dots(11)$$

$$f_{10}(760) = \frac{-2f_5(775) + 9f_5(765) + 16f_5(760) + 9f_5(755) - f_5(745)}{16} \quad \dots\dots(12)$$

以上の重係関数 $f_{10}(\lambda)$ は、測定値 $P_{10}(\lambda)$ と、 $P_5(\lambda)$ に対して、 40×81 行列 F によって

$$\begin{aligned} &[P_5(380), P_5(385), \dots, P_5(780)] \\ &= [P_{10}(380), P_{10}(390), \dots, P_{10}(390)] F \end{aligned} \quad \dots\dots(13)$$

で推定すると、次式で求めることができる。

$$\begin{aligned} &[f_5(380), f_5(385), \dots, f_5(780)] \\ &= [f_{10}(380), f_{10}(390), \dots, f_{10}(390)] F^t \end{aligned} \quad \dots\dots(14)$$

$$F^t = \frac{1}{16} \times$$

$$\begin{array}{ccccccc}
16 & & & & & & \\
6 & 12 & -2 & & & & \\
& 16 & & & & & \\
1 & 9 & 9 & -1 & & & \\
& 16 & & & & & \\
& -1 & 9 & 9 & -1 & & \\
& & 16 & & & & \\
& & -1 & 9 & 9 & -1 & \\
& & & 16 & & & \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot
\end{array}$$

$$\begin{array}{cccc} & 16 & & \\ -1 & 9 & -1 & \\ & 16 & & \\ -1 & 9 & 9 & -1 \\ & & 16 & \\ & -2 & 12 & 6 \\ & & & 16 \end{array}$$

4. 20nm 間隔の重価関数

$$f_5(\lambda - 5) = \frac{-7f_{20}(\lambda - 30) + 105f_{20}(\lambda - 10) + 35f_{20}(\lambda + 10) - 5f_{20}(\lambda + 30)}{128}$$

$$f_5(\lambda) = \frac{-8f_{20}(\lambda-30) + 72f_{20}(\lambda-10) + 72f_{20}(\lambda+10) - 8f_{20}(\lambda+30)}{128}$$

$$f_5(\lambda + 5) = \frac{-5f_{20}(\lambda - 30) + 35f_{20}(\lambda - 10) + 105f_{20}(\lambda + 10) - 7f_{20}(\lambda + 30)}{128}$$

$$f_{20}(\lambda) = \frac{-5f_5(\lambda-35) - 8f_5(\lambda-30) - 7f_5(\lambda-25) + 35f_5(\lambda-15) + 72f_5(\lambda-10) + 105f_5(\lambda-5) + 128f_5(\lambda) + 105f_5(\lambda+5) + 72f_5(\lambda+10) + 35f_5(\lambda+15) - 7f_5(\lambda+25) - 8f_5(\lambda+30) - 5f_5(\lambda+35)}{128}$$
$$\dots (17)$$
$$f_5(405) = \frac{84f_{20}(400) + 56f_{20}(420) - 12f_{20}(440)}{128}$$

$$f_5(410) = \frac{48f_{20}(400) + 96f_{20}(420) - 16f_{20}(440)}{128}$$

$$f_5(415) = \frac{20f_{20}(400) + 120f_{20}(420) - 12f_{20}(440)}{128}$$

$$\dots\dots\dots (18)$$
$$f_{20}(400) = \frac{128f_5(380) + 128f_5(385) + 128f_5(395) + 128f_5(400) + 84f_5(405) + 48f_5(410) + 20f_5(415) - 7f_5(425) - 8f_5(430) - 5f_5(435)}{128}$$

$$f_{20}(420) = \frac{56f_5(405) + 96f_5(410) + 120f_5(415) + 128f_5(420) + 105f_5(425) + 72f_5(430) + 35f_5(435) - 7f_5(445) - 8f_5(450) - 5f_5(455)}{128}$$

$$f_{20}(440) = \frac{-12f_5(405) - 16f_5(410) - 12f_5(415) + 35f_5(425) + 72f_5(430) + 105f_5(435) + 128f_5(440) + 105f_5(445) + 72f_5(450) + 35f_5(455) - 7f_5(465) - 8f_5(470) - 5f_5(475)}{128}$$

$$\dots (19)$$
$$f_5(695) = \frac{84f_{20}(700) + 56f_{20}(680) - 12f_{20}(660)}{128}$$

$$f_5(690) = \frac{48f_{20}(700) + 96f_{20}(680) - 16f_{20}(660)}{128}$$

$$f_5(685) = \frac{20f_{20}(700) + 120f_{20}(680) - 12f_{20}(660)}{128}$$

$$\dots (20)$$
$$f_{20}(700) = \frac{128f_5(780) + 128f_5(775) + \cdots + 128f_5(705) + 128f_5(700) + 84f_5(695) + 48f_5(690) + 20f_5(685) - 7f_5(675) - 8f_5(670) - 5f_5(665)}{128}$$

$$f_{20}(620) = \frac{56f_5(695) + 96f_5(690) + 120f_5(685) + 128f_5(680) + 105f_5(675) + 72f_5(670) + 35f_5(665) - 7f_5(655) - 8f_5(650) - 5f_5(645)}{128}$$

$$f_{20}(660) = \frac{-12f_5(695) - 16f_5(690) - 12f_5(685) + 35f_5(675) + 72f_5(670) + 105f_5(665) + 128f_5(660) + 105f_5(655) + 72f_5(650) + 35f_5(645) - 7f_5(635) - 8f_5(630) - 5f_5(625)}{128}$$

$$\dots (21)$$
$$[P_5(380), P_5(385), \dots, P_5(780)]$$

$$= [P_{20}(400), P_{20}(420), \dots, P_{20}(700)] F \dots\dots (22)$$

$$[f_5(380), f_5(385), \dots, f_5(780)]$$

$$= [f_{20}(400), f_{20}(420), \dots, f_{20}(700)] F_{t_{20}} \dots \quad (23)$$

$$F_{20}^t = \frac{1}{128} \times$$

128				
128				
128				
128				
128				
84	56	-12		
48	96	-16		
20	120	-12		
	128			
-7	105	35	-5	
-8	72	72	-8	
-5	35	105	-7	
		128		
	-7	105	35	-5

表1 三刺激値X, Y, Zを計算するための重係数 [380-(10)-780,]

光源 波長 λ (nm)	A			C			D65		
	$S(\lambda)x(\lambda)$	$S(\lambda)y(\lambda)$	$S(\lambda)z(\lambda)$	$S(\lambda)x(\lambda)$	$S(\lambda)y(\lambda)$	$S(\lambda)z(\lambda)$	$S(\lambda)x(\lambda)$	$S(\lambda)y(\lambda)$	$S(\lambda)z(\lambda)$
380	0.001	0.000	0.004	0.002	0.000	0.012	0.004	0.000	0.018
390	0.005	0.000	0.023	0.019	0.001	0.089	0.023	0.001	0.109
400	0.018	0.000	0.084	0.077	0.002	0.364	0.102	0.003	0.483
410	0.070	0.002	0.333	0.324	0.009	1.544	0.374	0.010	1.783
420	0.271	0.008	1.302	1.285	0.038	6.172	1.201	0.036	5.770
430	0.645	0.026	3.148	2.974	0.123	14.523	2.381	0.098	11.624
440	0.924	0.061	4.637	3.962	0.261	19.875	3.425	0.226	17.186
450	1.035	0.117	5.457	3.929	0.443	20.713	3.706	0.418	19.539
460	1.018	0.210	5.843	3.362	0.692	19.296	3.232	0.665	18.546
470	0.779	0.362	5.130	2.283	1.060	15.024	2.146	0.996	14.119
480	0.428	0.618	3.637	1.114	1.612	9.473	1.043	1.506	8.862
490	0.160	1.039	2.330	0.363	2.358	5.283	0.332	2.159	4.840
500	0.025	1.800	1.513	0.049	3.413	2.868	0.047	3.352	2.807
510	0.058	3.089	0.963	0.091	4.841	1.514	0.098	5.131	1.604
520	0.427	4.758	0.532	0.577	6.450	0.719	0.635	7.066	0.788
530	1.210	6.320	0.306	1.520	7.935	0.383	1.670	8.724	0.422
540	2.313	7.599	0.162	2.786	9.146	0.195	2.881	9.464	0.202
550	3.734	8.571	0.075	4.285	9.832	0.086	4.254	9.762	0.085
560	5.511	9.220	0.036	5.878	9.835	0.038	5.626	9.418	0.036
570	7.573	9.456	0.021	7.323	9.148	0.020	6.979	8.712	0.019
580	9.718	9.225	0.017	8.414	7.990	0.015	8.233	7.820	0.015
590	11.583	8.543	0.013	8.985	6.629	0.010	8.705	6.423	0.010
600	12.708	7.547	0.010	8.957	5.320	0.007	9.023	5.356	0.007
610	12.672	6.360	0.004	8.325	4.177	0.003	8.494	4.263	0.003
620	11.351	5.063	0.002	7.057	3.147	0.001	7.058	3.148	0.001
630	9.007	3.714	0.000	5.324	2.196	0.000	5.112	2.108	0.000
640	6.552	2.560	0.000	3.692	1.442	0.000	3.522	1.376	0.000
650	4.344	1.639	0.000	2.352	0.887	0.000	2.163	0.816	0.000
660	2.627	0.972	0.000	1.360	0.503	0.000	1.252	0.463	0.000
670	1.455	0.533	0.000	0.712	0.261	0.000	0.679	0.249	0.000
680	0.795	0.289	0.000	0.365	0.132	0.000	0.342	0.124	0.000
690	0.406	0.147	0.000	0.172	0.062	0.000	0.153	0.055	0.000
700	0.207	0.074	0.000	0.081	0.029	0.000	0.076	0.027	0.000
710	0.109	0.040	0.000	0.039	0.014	0.000	0.040	0.014	0.000
720	0.056	0.020	0.000	0.018	0.007	0.000	0.017	0.006	0.000
730	0.028	0.010	0.000	0.008	0.003	0.000	0.009	0.003	0.000
740	0.014	0.005	0.000	0.004	0.001	0.000	0.005	0.002	0.000
750	0.007	0.003	0.000	0.002	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000
760	0.003	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
770	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
780	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
合計 色度座標	109.849 x=0.4476	100.002 y=0.4075	35.582 z=0.1449	98.072 x=0.3101	100.000 y=0.3162	118.227 z=0.3737	95.046 x=0.3127	100.001 y=0.3290	108.878 z=0.3583

表2 三刺激値 X_{10} , Y_{10} , Z_{10} を計算するための重係数 [380-(10)-780,]

光源	A			C			D65		
波長 λ (nm)	$S(\lambda)\bar{x}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{z}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{x}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{z}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{x}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{z}_{10}(\lambda)$
380	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.000	-0.002
390	0.002	0.000	0.009	0.007	0.001	0.030	0.009	0.001	0.037
400	0.025	0.003	0.110	0.102	0.011	0.456	0.136	0.014	0.611
410	0.133	0.014	0.613	0.591	0.061	2.717	0.674	0.069	3.102
420	0.377	0.039	1.792	1.705	0.179	8.115	1.611	0.169	7.665
430	0.686	0.084	3.384	3.024	0.372	14.927	2.429	0.298	11.990
440	0.964	0.156	4.946	3.948	0.638	20.248	3.426	0.555	17.577
450	1.080	0.260	5.806	3.919	0.942	21.070	3.708	0.893	19.938
460	1.006	0.424	5.812	3.178	1.340	18.352	3.066	1.292	17.702
470	0.731	0.696	4.925	2.047	1.948	13.781	1.931	1.836	12.994
480	0.342	1.082	3.296	0.854	2.693	8.205	0.802	2.525	7.703
490	0.078	1.615	1.972	0.170	3.501	4.272	0.156	3.218	3.927
500	0.022	2.422	1.152	0.040	4.388	2.088	0.039	4.322	2.049
510	0.218	3.528	0.657	0.325	5.290	0.985	0.347	5.623	1.048
520	0.750	4.842	0.383	0.970	6.274	0.494	1.068	6.897	0.544
530	1.642	6.098	0.211	1.971	7.316	0.253	2.174	8.072	0.279
540	2.842	7.252	0.102	3.271	8.342	0.117	3.394	8.661	0.122
550	4.335	8.112	0.032	4.754	8.895	0.035	4.736	8.862	0.035
560	6.199	8.759	0.001	6.319	8.930	0.001	6.096	8.580	0.001
570	8.264	8.989	0.000	7.639	8.312	0.000	7.304	7.943	0.000
580	10.224	8.758	0.000	8.461	7.250	0.000	8.308	7.120	0.000
590	11.947	8.306	0.000	8.857	6.159	0.000	8.611	5.988	0.000
600	12.747	7.468	0.000	8.588	5.031	0.000	8.680	5.083	0.000
610	12.340	6.324	0.000	7.748	3.970	0.000	7.933	4.066	0.000
620	10.817	5.033	0.000	6.427	2.990	0.000	6.450	3.001	0.000
630	8.563	3.747	0.000	4.839	2.117	0.000	4.661	2.039	0.000
640	6.011	2.504	0.000	3.238	1.349	0.000	3.099	1.291	0.000
650	3.888	1.560	0.000	2.011	0.807	0.000	1.856	0.745	0.000
660	2.309	0.911	0.000	1.143	0.451	0.000	1.055	0.417	0.000
670	1.276	0.499	0.000	0.597	0.234	0.000	0.571	0.224	0.000
680	0.666	0.259	0.000	0.292	0.113	0.000	0.274	0.107	0.000
690	0.335	0.130	0.000	0.136	0.053	0.000	0.121	0.047	0.000
700	0.166	0.065	0.000	0.062	0.024	0.000	0.059	0.023	0.000
710	0.082	0.032	0.000	0.028	0.011	0.000	0.029	0.011	0.000
720	0.040	0.015	0.000	0.013	0.005	0.000	0.012	0.004	0.000
730	0.019	0.008	0.000	0.006	0.002	0.000	0.006	0.002	0.000
740	0.010	0.004	0.000	0.003	0.001	0.000	0.003	0.001	0.000
750	0.006	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000
760	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
770	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
780	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
合計 色度座標	111.145 x=0.4512	100.001 y=0.4059	35.203 z=0.1429	97.285 x=0.3104	100.000 y=0.3191	116.144 z=0.3705	94.810 x=0.3138	100.000 y=0.3310	107.322 z=0.3552

表3 三刺激値X, Y, Zを計算するための重係数 [400-(20)-700]

光源	A			C			D65		
波長 λ (nm)	$S(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{z}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{z}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{z}(\lambda)$
400	0.006	-0.001	0.021	0.019	-0.003	0.062	0.106	0.000	0.481
420	0.630	0.017	3.021	2.993	0.087	14.387	2.623	0.073	12.585
440	1.808	0.118	9.098	7.634	0.510	38.439	6.648	0.452	33.526
460	1.984	0.411	11.439	6.642	1.382	38.130	6.343	1.318	36.391
480	0.888	1.205	7.440	2.360	3.206	19.545	2.209	2.934	18.255
500	0.023	3.715	3.032	0.068	6.907	5.746	0.052	6.858	5.536
520	0.900	9.448	1.095	1.196	12.876	1.444	1.347	14.108	1.614
540	4.619	15.188	0.314	5.590	18.261	0.359	5.770	18.989	0.383
560	11.078	18.429	0.069	11.751	19.593	0.073	11.298	18.863	0.067
580	19.471	18.412	0.031	16.796	15.991	0.026	16.257	15.456	0.025
600	25.300	15.107	0.018	17.898	10.694	0.013	17.933	10.693	0.013
620	22.538	10.093	0.004	14.021	6.261	0.002	14.026	6.279	0.003
640	13.190	5.144	0.000	7.453	2.901	0.000	7.051	2.741	0.000
660	5.277	1.942	0.000	2.731	1.003	0.000	2.512	0.922	0.000
680	1.668	0.603	0.000	0.756	0.273	0.000	0.711	0.257	0.000
700	0.471	0.168	0.000	0.166	0.059	0.000	0.158	0.056	0.000
合計 色度座標	109.851 x=0.4476	99.999 y=0.4074	35.582 z=0.1450	98.074 x=0.3101	100.001 y=0.3162	118.226 z=0.3737	95.044 x=0.3127	99.999 y=0.3290	108.879 z=0.3583

表4 三刺激値X₁₀, Y₁₀, Z₁₀を計算するための重係数 [400-(20)-700,]

光源	A			C			D65		
波長 λ (nm)	$S(\lambda)\bar{x}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{z}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{x}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{z}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{x}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{y}_{10}(\lambda)$	$S(\lambda)\bar{z}_{10}(\lambda)$
400	0.030	0.002	0.116	0.125	0.008	0.490	0.229	0.020	0.979
420	0.804	0.081	3.836	3.643	0.378	17.423	3.287	0.336	15.662
440	1.891	0.303	9.712	7.624	1.246	39.168	6.654	1.100	34.248
460	1.973	0.856	11.495	6.328	2.726	36.728	6.064	2.607	35.176
480	0.718	2.145	6.780	1.846	5.368	17.024	1.733	4.960	15.962
500	0.042	4.896	2.317	0.070	8.754	4.184	0.069	8.683	4.031
520	1.522	9.648	0.744	1.955	12.596	0.912	2.182	13.843	1.034
540	5.676	14.462	0.197	6.560	16.607	0.214	6.803	17.333	0.230
560	12.443	17.476	0.005	12.611	17.758	0.004	12.169	17.153	0.002
580	20.552	17.583	-0.002	16.955	14.589	-0.003	16.466	14.149	-0.003
600	25.340	14.898	0.000	17.143	10.079	0.000	17.230	10.115	0.000
620	21.576	10.081	0.000	12.825	5.978	0.000	12.877	6.014	0.000
640	12.174	5.067	0.000	6.576	2.733	0.000	6.243	2.592	0.000
660	4.639	1.819	0.000	2.292	0.897	0.000	2.115	0.827	0.000
680	1.409	0.546	0.000	0.610	0.236	0.000	0.576	0.223	0.000
700	0.358	0.137	0.000	0.120	0.046	0.000	0.114	0.044	0.000
合計 色度座標	111.147 x=0.4512	100.000 y=0.4059	35.200 z=0.1429	97.283 x=0.3104	99.999 y=0.3191	116.144 z=0.3705	94.811 x=0.3138	99.999 y=0.3310	107.321 z=0.3552