

測色の歴史と発展(5)

前号より続く

木村哲也
須賀茂雄

4.2 光の定義 (続き)

太陽の色温度は、種々の条件により異なる。快晴の昼光は 10000~12000K、晴天の昼光は 6000~6500K、薄曇りの昼光は 7500K、曇天の昼光は 6500K、日の出 2 時間後や日の入り 2 時間前では 4600K と条件により異なる。このため同じ試験片でも条件により異なって見える。

CIE では、昼光データの解析を行い、下記手順によって各相関色温度の CIE 昼光の相対分光分布を定めた¹⁷⁾。

始めに 622 組の測定結果を x-y 色度図上にプロットし、近似式を求めた。この軌跡を **図 25** に示す。

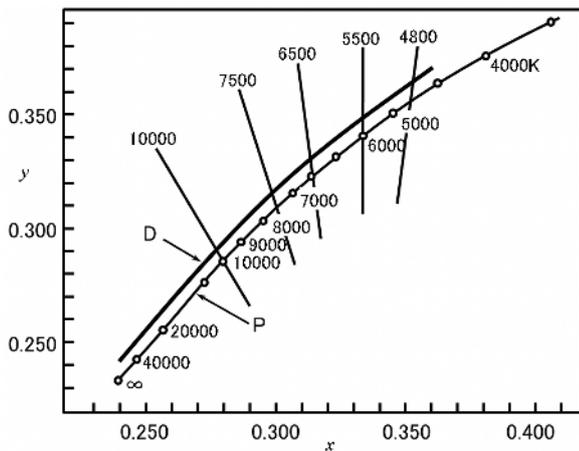


図 25 昼光の近似式と黒体軌跡

図中 D の曲線が近似式で表される CIE 昼光で、

$$y_D = -3.000x_D^2 + 2.870x_D - 0.275$$

で与えられる。P で示す黒体軌跡の曲線に大きな差はないと考えられる。

この昼光の軌跡を統計的方法で解析し、各種の相関色温度 T_{cp} の相対分光分布を計算するための成分 3 種の基本的な成分 $S_0(\lambda)$ 、 $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$ を求めた。

$S_0(\lambda)$ 、 $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$ と波長の関係図を、**図 26** に示す。

これにより、相対分光分布 $S(\lambda)$ は

$$S(\lambda) = S_0(\lambda) + M_1 S_1(\lambda) + M_2 S_2(\lambda)$$

ここで、 $S_0(\lambda)$ 、 $M_1 S_1(\lambda)$ 、 $M_2 S_2(\lambda)$ は相関色温度の CIE 昼光の相対分光分布を計算するための成分である。

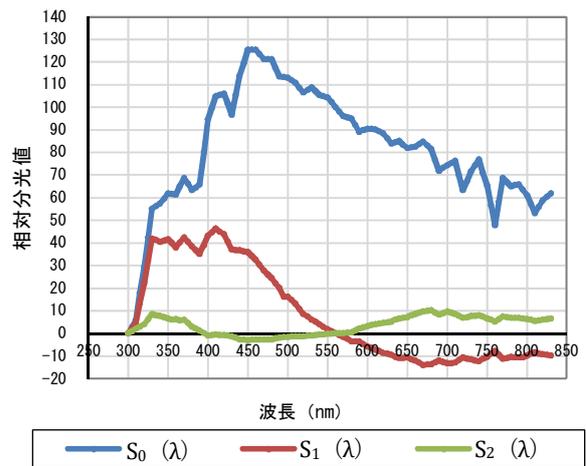


図 26 $S_0(\lambda)$ 、 $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$ と波長の関係

M_1 、 M_2 は、色度座標 x_D 、 y_D と関係する係数で、

$$M_1 = \frac{-1.3515 - 1.7703x_D + 5.9114y_D}{0.0241 + 0.2562x_D - 0.7341y_D}$$

$$M_2 = \frac{0.0300 - 31.4424x_D + 30.0717y_D}{0.0241 + 0.2562x_D - 0.7341y_D}$$

x_D 、 y_D は下記による。

4000K $\leq T_{cp} \leq$ 7000K の範囲では

$$x_D = \frac{-4.6070 \times 10^9}{T_{cp}^3} + \frac{2.9678 \times 10^6}{T_{cp}^2} + \frac{0.09911 \times 10^3}{T_{cp}} + 0.244063$$

7000K $\leq T_{cp} \leq$ 25000K の範囲では

$$x_D = \frac{-2.0064 \times 10^9}{T_{cp}^3} + \frac{1.9018 \times 10^6}{T_{cp}^2} + \frac{0.24748 \times 10^3}{T_{cp}} + 0.237040$$

ここに、 y_D は、前述の

$$y_D = -3.000x_D^2 + 2.870x_D - 0.275$$

で与えられる。CIE で規定されている標準のイルミナ

ント、及び補助標準イルミナントの相対分光分布のグラフを図 27 に示す。

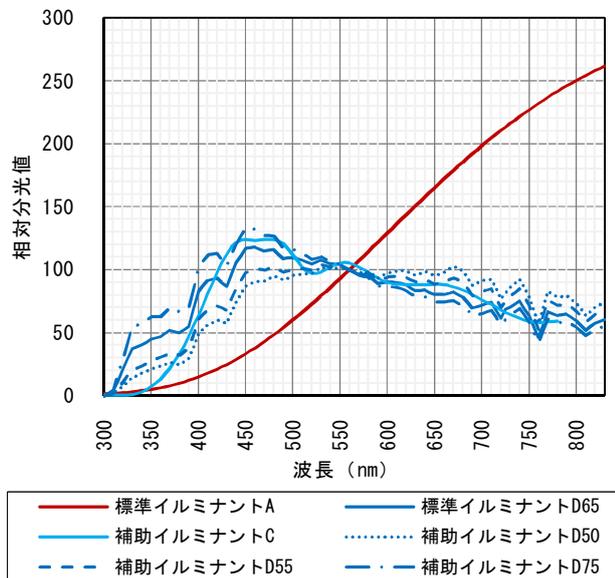


図 27 標準のイルミナント及び補助標準イルミナントの相対分光分布

標準イルミナントの数表については CIE では 1nm 間隔の表があるが、実用上 5nm で差し支えがないので 5nm 間隔を採用した。また、標準イルミナントより廃止されたイルミナント B を追加した表を表 7 に示す。

4.3 反射率の標準

CIE では、Publication CIE No. 15.2 (1986)で比較反射率の標準として完全拡散面を勧告した。完全拡散面は、反射率が「1」である理想的な等方的な拡散面として定義された。反射率の2次標準、例えば圧縮した硫酸バリウムは完全拡散校正されていなければならなくなった。以前の 1969 年 1 月 1 日より標準として採用していた煙着酸化マグネシウム面は、この標準、完全拡散面に置き換えられた。

4.3.1 煙着酸化マグネシウム面

初期において、分光反射率の標準として、新しい酸化マグネシウム面が当時最も優れていると考えられ、可視スペクトルの全波長で「1」に等しいとされた。1944

年に規定された ASTM Standard Method や JIS にも規定されていて、ASTM D 986-50 では次のように規定していた。

・煙着酸化マグネシウム面の作り方¹⁸⁾

- (1) マグネシウム：高純度のもので、厚さ約 0.15mm 幅約 3mm のコイル状のリボン
- (2) 煙着する基板はマグネシウムの燃焼中に熱くなるので、熱により影響されないものがよい。研磨面ははがれやすいので、研磨しない面が良く、非金属面より金属面の方が良い。白色の基板では、酸化マグネシウムを厚くつける必要がないし、煙着面が薄い方がはがれにくい。周囲からはがれるのを防ぐため、平らで 1~1.5mm くぼんだ皿状の形に加工することが推奨される。
- (3) マグネシウムの燃焼：マグネシウムリボンの表面の不純物を拭き取る。他端をバーナーで点火し、水平に保ちつつ、基板の真下のフードの下方約 8~10cm からゆっくり燃焼させる。周囲は、煙の流れを乱すような気流の乱れない埃や蒸気ができるだけ少ない場所が望ましい。作業は必ず遮光めがねをかけて行わなければいけない。

・煙の付け方

均一な膜を作るため、これ以上厚くしても反射率の変化が感ぜられなくなるまで何回も操作を繰り返す。約 0.5mm が臨界の厚さである。酸化マグネシウムの厚さを測定することが難しい場合は、付着する面の端の方へ黒インキで小さな点をつけ、その点が明るい照明の下で見えなくなるまで煙着を繰り返すとよい。

4.3.2 煙着酸化マグネシウム面の分光反射率

完全拡散面の採用により、煙着酸化マグネシウム面の絶対反射率は、可視域で 0.97~0.98 であり、可視域の全波長に対して変化は 1% 以下であるといわれている。煙着酸化マグネシウムの大きな欠点は、その表面が非常にもろいこと、そのため長期間使用できないことである。また、製作後わずかの間に分光反射率が変化し

てしまうことである。そのため、別の補正用白色板を準備して、作業標準として用いなければならなかった。CIE で採用された 1969 年以降、煙着酸化マグネシウム面は、反射率の標準として、100%と決められていたので、新品の煙着酸化マグネシウム面の反射率を 100%として比較した煙着酸化マグネシウム面の経時変化の一例¹⁸⁾を図 28 に示す。

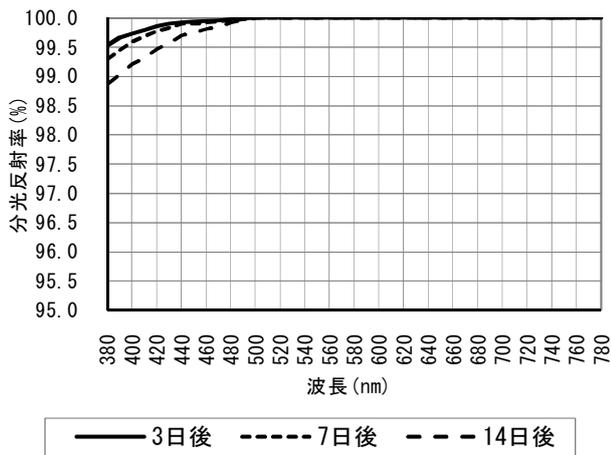


図 28 煙着酸化マグネシウム面の分光反射率の経時変化

また、アメリカでは National Bureau of Standard より“ビトロライト”と呼ばれる補正用白色板が販売され、国内では大阪工業試験所（大工試）で試作された白色ガラスや焼結セラミックスタイル、硫酸バリウム面等が用いられた。その分光反射率の一例¹⁹⁾を図 29 に示す。

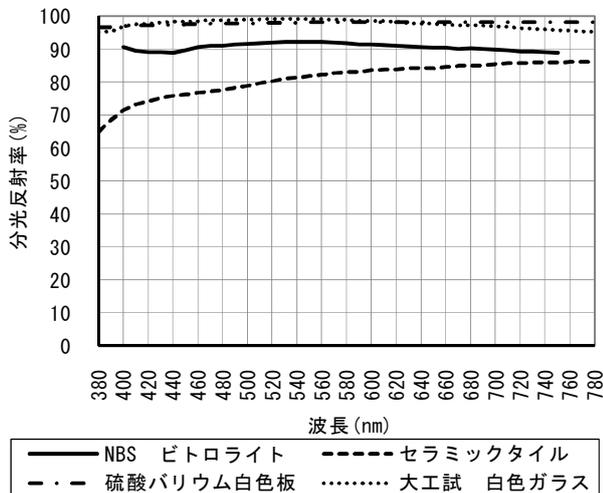


図 29 各種白色板の分光反射率

【参考文献】

- 17)測色 第2版 CIE 標準：測色の光 測色標準観測者
- 18)色の測定と応用 福田保著
- 19)スガ試験機（株）白色標準板資料

<スガ試験機が保管している色の標準の一例>



米国標準局(NBS)の白色標準板他、英国(NPL)、独国(PTB)の白色標準板



NBS 反射色標準板

表7 標準のイルミナント及び補助標準イルミナントの相対分光分布

(注:原表は1nm 間隔で記載されているが、ページの都合上5nmで記載した)

波長 nm	標準 イル ミナ ント A	補助 イル ミナ ント B	補助 イル ミナ ント C	標準 イル ミナ ント D65	補助 イル ミナ ント D50	補助 イル ミナ ント D55	補助 イル ミナ ント D75
300	0.93		0.00	0.03	0.02	0.02	0.04
305	1.13		0.00	1.66	1.03	1.05	2.59
310	1.36		0.00	3.29	2.05	2.07	5.13
315	1.62		0.00	11.77	4.91	6.65	17.47
320	1.93	0.02	0.01	20.24	7.78	11.22	29.81
325	2.27	0.26	0.20	28.64	11.26	15.94	42.37
330	2.66	0.50	0.40	37.05	14.75	20.65	54.93
335	3.10	1.45	1.55	38.50	16.35	22.27	56.09
340	3.59	2.40	2.70	39.95	17.95	23.88	57.26
345	4.14	4.00	4.85	42.43	19.48	25.85	60.00
350	4.74	5.60	7.00	44.91	21.01	27.82	62.74
355	5.41	7.60	9.95	45.78	22.48	29.22	62.86
360	6.14	9.60	12.90	46.64	23.94	30.62	62.98
365	6.95	12.40	17.20	49.36	25.45	32.46	66.65
370	7.82	15.20	21.40	52.09	26.96	34.31	70.31
375	8.77	18.80	27.50	51.03	25.72	33.45	68.51
380	9.80	22.40	33.00	49.98	24.49	32.58	66.70
385	10.90	26.85	39.92	52.31	27.18	35.34	68.33
390	12.09	31.30	47.40	54.65	29.87	38.09	69.96
395	13.35	36.18	55.17	68.70	39.59	49.52	85.95
400	14.71	41.30	63.30	82.75	49.31	60.95	101.93
405	16.15	46.62	71.81	87.12	52.91	64.75	106.91
410	17.68	52.10	80.60	91.49	56.51	68.55	111.89
415	19.29	57.70	89.53	92.46	58.27	70.07	112.35
420	20.99	63.20	98.10	93.43	60.03	71.58	112.80
425	22.79	68.37	105.80	90.06	58.93	69.75	107.94
430	24.67	73.10	112.40	86.68	57.82	67.91	103.09
435	26.64	77.31	117.75	95.77	66.32	76.76	112.14
440	28.70	80.80	121.50	104.86	74.82	85.61	121.20
445	30.85	83.44	123.45	110.94	81.04	91.80	127.10
450	33.09	85.40	124.00	117.01	87.25	97.99	133.01
455	35.41	86.88	123.60	117.41	88.93	99.23	132.68
460	37.81	88.30	123.10	117.81	90.61	100.46	132.36
465	40.30	90.08	123.30	116.34	90.99	100.19	129.84
470	42.87	92.00	123.80	114.86	91.37	99.91	127.32
475	45.52	93.75	124.09	115.39	93.24	101.33	127.06
480	48.24	95.20	123.90	115.92	95.11	102.74	126.80
485	51.04	96.23	122.92	112.37	93.54	100.41	122.29
490	53.91	96.50	120.70	108.81	91.96	98.08	117.78
495	56.85	95.71	116.90	109.08	93.84	99.38	117.19
500	59.86	94.20	112.10	109.35	95.72	100.68	116.59
505	62.93	92.37	106.98	108.58	96.17	100.69	115.15
510	66.06	90.70	102.30	107.80	96.61	100.70	113.70
515	69.25	89.65	98.81	106.30	96.87	100.34	111.18
520	72.50	89.50	96.90	104.79	97.13	99.99	108.66
525	75.79	90.43	96.78	106.24	99.61	102.10	109.55
530	79.13	92.20	98.00	107.69	102.10	104.21	110.44
535	82.52	94.46	99.94	106.05	101.43	103.16	108.37
540	85.95	96.90	102.10	104.41	100.75	102.10	106.29
545	89.41	99.16	103.95	104.23	101.54	102.53	105.60
550	92.91	101.00	105.20	104.05	102.32	102.97	104.90
555	96.44	102.20	105.67	102.02	101.16	101.48	102.45
560	100.00	102.80	105.30	100.00	100.00	100.00	100.00
565	103.58	102.92	104.11	98.17	98.87	98.61	97.81

波長 nm	標準 イル ミナ ント A	補助 イル ミナ ント B	補助 イル ミナ ント C	標準 イル ミナ ント D65	補助 イル ミナ ント D50	補助 イル ミナ ント D55	補助 イル ミナ ント D75
570	107.18	102.60	102.30	96.33	97.74	97.22	95.62
575	110.80	101.90	100.15	96.06	98.33	97.48	94.91
580	114.44	101.00	97.80	95.79	98.92	97.75	94.21
585	118.08	100.07	95.43	92.24	96.21	94.59	90.60
590	121.73	99.20	93.20	88.69	93.50	91.43	87.00
595	125.39	98.44	91.22	89.35	95.59	92.93	87.11
600	129.04	98.00	89.70	90.01	97.69	94.42	87.23
605	132.70	98.08	88.83	89.80	98.48	94.78	86.68
610	136.35	98.50	88.40	89.60	99.27	95.14	86.14
615	139.99	99.06	88.19	88.65	99.16	94.68	84.86
620	143.62	99.70	88.10	87.70	99.04	94.22	83.58
625	147.24	100.36	88.06	85.49	97.38	92.33	81.16
630	150.84	101.00	88.00	83.29	95.72	90.45	78.75
635	154.42	101.56	87.86	83.49	97.29	91.39	78.59
640	157.98	102.20	87.86	83.70	98.86	92.33	78.43
645	161.52	103.05	87.99	81.86	97.26	90.59	76.61
650	165.03	103.90	88.20	80.03	95.67	88.85	74.80
655	168.51	104.59	88.20	80.12	96.93	89.59	74.56
660	171.96	105.00	87.90	80.21	98.19	90.32	74.32
665	175.38	105.08	87.22	81.25	100.60	92.13	74.87
670	178.77	104.90	86.30	82.28	103.00	93.95	75.42
675	182.12	104.55	85.30	80.28	101.07	91.95	73.50
680	185.43	103.90	84.00	78.28	99.13	89.96	71.58
685	188.70	102.84	82.21	74.00	93.26	84.82	67.71
690	191.93	101.60	80.20	69.72	87.38	79.68	63.85
695	195.12	100.38	78.24	70.67	89.49	81.26	64.46
700	198.26	99.10	76.30	71.61	91.60	82.84	65.08
705	201.36	97.70	74.36	72.98	92.25	83.84	66.57
710	204.41	96.20	72.40	74.35	92.89	84.84	68.07
715	207.41	94.60	70.40	67.98	84.87	77.54	62.26
720	210.36	92.90	68.30	61.60	76.85	70.24	56.44
725	213.27	91.10	66.30	68.74	81.68	74.77	60.34
730	216.12	89.40	64.40	69.89	86.51	79.30	64.24
735	218.92	88.00	62.80	72.49	89.55	82.15	66.70
740	221.67	86.90	61.50	75.09	92.58	84.99	69.15
745	224.36	85.90	60.20	69.34	85.40	78.44	63.89
750	227.00	85.20	59.20	63.59	78.23	71.88	58.63
755	229.59	84.80	58.50	55.01	67.96	62.34	50.62
760	232.12	84.70	58.10	46.42	57.69	52.79	42.62
765	234.59	84.90	58.00	56.61	70.31	64.36	51.98
770	237.01	85.40	58.20	66.81	82.92	75.93	61.35
775	239.37		58.50	65.09	80.60	73.87	59.84
780	241.68		59.10	63.38	78.27	71.82	58.32
785	243.92			63.84	78.91	72.38	58.73
790	246.12			64.30	79.55	72.94	59.14
795	248.25			61.88	76.48	70.14	56.94
800	250.33			59.45	73.40	67.35	54.73
805	252.35			55.71	68.66	63.04	51.32
810	254.31			51.96	63.92	58.73	47.92
815	256.22			54.70	67.35	61.86	50.42
820	258.07			57.44	70.78	64.99	52.92
825	259.86			58.88	72.61	66.65	54.23
830	261.60			60.31	74.44	68.31	55.54

出典：CIE 15:2004 3rd Edition