CIE「光源の演色性評価方法」の改訂検討

専門会員 橋本 健次郎 (松下電器産業㈱)
正会員 矢 野 正 (松下電器産業㈱)

専門会員 森 礼 於 (東芝ライテック㈱)
専門会員 納 谷 嘉 信 (大阪電気通信大学)

Modification of the CIE Method of Specifying Color Rendering Properties of Light Sources

Fellow Member **Kenjiro Hashimoto** (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Fellow Member **Leo Mori** (Toshiba Lighting & Technology Corporation)

Member **Tadashi Yano** (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Fellow Member **Yoshinobu Nayatani** (Osaka Electro-Communication University)

ABSTRACT

The purpose of the present study is to describe the subject of the present CIE method of specifying color rendering properties of light sources and to propose a revised method to solve the subject. The revised method is as follows: (1) Test color samples consist of eight colors selected from the MacBeth Color-Checker with two actual skin colors added. (2) 5 reference illuminants are selected. (3) CIE LAB color space and CIE chromatic adaptation transform are used to calculate the color rendering indices of light sources.

The revised Ra values by this proposal correlated well with the Ra values of the present CIE method. A part of revised method of this proposal was suggested to CIE TC1-33.

KEYWORDS: Color rendering property, Light source, CIE Method, Color rendering index, Chromatic adaptation transform

1. はじめに

光源の演色性評価方法として、CIE 及び JIS で規定された評価方法が広く使用されている。CIE は1965年に第1版の評価方法¹⁾を定め、1974年に第1版の内容をわずかに改訂した第2版の評価方法²⁾を定めた。わが国においても、1967年に CIE 第1版を JIS 化し、その後1990年に CIE 第2版を取り入れたものに JIS を改訂した³⁾。現在、わが国を含め国際的に広く使用されているのは、CIE 第2版に基づく評価方法である。

しかし、現行 CIE 及び JIS の評価方法には、本質的にまたその後の研究結果により、次のような様々な問題点がある。

1) 相関色温度の異なる二つの試料光源間の演色性は、それぞれ基準光が異なるため、演色評価数の値で厳密に相互の比較はできない。

2) 特殊演色評価数の中には、一般照明として許容されているランプ (例えば、普通形の白色蛍光ランプ) でありながら、例えば R_9 (赤試験色) で -100 を超える負の値をあたえるものが存在し、実際の感覚と合わない。

3) 高圧ナトリウムランプの平均演色評価数 R_a (約25前後) は高圧水銀ランプの R_a (約40) にくらべ低い値であるが、実際の色の見え方は同等ないしはむしろ高圧ナトリウムランプの方が良いとの報告がある⁴⁾。このように、現行の R_a の数値は実際の色の見え方とは対応しない場合もある。

4) 演色評価数の計算に用いられている均等色空間 $U^*V^*W^*$ は

1964年に CIE で勧告されたものであり、その後、1976年に CIE ではこれに代えて $L^*u^*v^*$ 均等色空間及び $L^*a^*b^*$ 均等色空間を勧告している⁵⁾。すなわち、 $U^*V^*W^*$ 色空間は過去のものであり、現行の CIE のシステムと一致しない。

5) 演色評価数の算出に15種類の試験色が定められ、それぞれ分光放射輝度率が規定されているが、これらの分光放射輝度率を実現する実際の色票を安定的に入手できない。

さて、以上の問題は早くより認識され、CIE では1983年頃から現行の演色性評価方法の改訂案(第3版案)について検討し、1987年の CIE ベニス大会で審議されたが残念ながら合意されなかった。これは、第3版案における各種光源の平均演色評価数の数値が現行の R_a 値と大きく異なり大幅な改訂になること、さらに、改訂案については観察による評価が行なわれていなかったなどに起因する。

1991年にメルボルンで開催された CIE 大会で、Walter⁶⁾は納谷ら⁷⁾⁸⁾及び Hunt⁹⁾¹⁰⁾の2種の色知覚モデルを用いた平均演色評価数の計算値を示し、現行方式の基準光の選定方法を用いれば両者の結果に大差はないことを報告した。CIE は、この大会で開催された Div.1 会議で演色性に関する技術委員会(TC1-33、委員長: Walter, わが国からの委員: 池田紘一氏、森、橋本)を発足させた。わが国においても、1993年に TC1-33への対応を検討するため、日本照明委員会の TC1-33国内技術委員会(委員長・幹事はそれぞれ森、橋本が担当)を発足させた。

CIE TC1-33の目的は、色知覚モデルに基づく新たな演色性評価

方法を検討し、現行 CIE 出版物13.2の改訂のもとになる技術報告書をつくることである。色知覚モデルとは、任意の照明光下で任意の照度レベルのもとでの物体の色の見えを定量的に評価・予測するものであり、色知覚モデルを演色性評価に適用することは言わば演色性評価方法に関して究極の方法を探ることになる。色知覚モデルに関しては、これまで納谷モデル⁷⁾⁸⁾、Hunt モデル⁹⁾¹⁰⁾の二つの有効なモデルが提案されており、1991年に発足した CIE TC1-34(委員長：Fairchild)では、これら両モデルを含めてどのモデルが有効であるかを実地試験により検討が進められている。さて、CIE TC1-33は、1991年に発足後、1992年にプリンストン、1993年にハンガリーで会議が開催された。この間大きな進展はなく、試験色の検討に現行試験色とともにマクベスカラーチェッカーの使用も考慮すること、および基準光を5種類程度に減少させる(筆者の一人橋本の提案)ことなどが決まったが、具体的な内容には大きな進展はなかった。その原因の一つに、TC1-33の目的が色知覚モデルに基づく新たな演色性評価方法を検討することにあるが、色知覚モデルは上述した別の技術委員会(TC1-34)で検討中であり、その TC1-34の結論が直ちに出来る見込みはないからである。このため、TC1-33国内技術委員会で今後の対応を審議し、1994年7月に開催された TC1-33つくば会議で次のような提案を行なった。すなわち、CIE が現在認めている勧告・技術報告等(例えば、色空間として $U^*V^*W^*$ 色空間から現在 CIE が勧告している $L^*u^*v^*$ 色空間や $L^*a^*b^*$ 色空間に替える、フォンクリースの色順応式に代わって CIE 色順応式¹¹⁾を使用するなど)を活用した評価方法を、色知覚モデルが確定するまでの実地試験用の中間方法として纏めるという提案である。この提案が基本的に受け入れられ、現在実地試験用の中間方法としての技術報告書が審議されている。

本論文は、現行評価方法に関する問題点の明確化と、それらの解決案を提示することである。これにより、現行の演色性評価方法の改訂の試案が確立できることになる。なお、本研究の一部は、TC1-33国内技術委員会でも審議され、筆者らによって CIE の演色性に関する技術委員会(TC1-33)へ提案した¹²⁾。

2. 現行の演色性評価方法の改訂のための基本検討事項

現行評価方法に内蔵している上記1)～5)の課題を解決するため、演色評価数の計算に必要な下記の基本事項それぞれについて考察した。

a) 試験色

上記5)で記載したように、現行試験色は、分光放射輝度率を実現する実際の色票を安定して入手できない。このため、演色評価数の計算には問題はないが、演色評価数の数値との比較を目的とした観察評価には不備を生じる。一方、カラー TV、印刷などの分野で色再現の評価に広く使用されている試験色にマクベスカラーチェッカー¹³⁾がある。このマクベスカラーチェッカーの色票は分光放射輝度率が定められているため、演色評価数の計算検討とともに、計算結果との比較を目的とした色票による観察評価が可能である。また、筆者らはすでにマクベスカラーチェッカーの中の高彩度色4色と肌色2色を用いて演色評価数を計算検討した¹⁴⁾。その結果、(i)第1章「はじめに」の2)項で述べた現行演色性評価方法での問題点(特に、赤試験色に対する特殊演色評価数が大きい負値となる)が改善され、ほとんどの照明光源で負値とならない、(ii)高圧ナトリウムランプの平均演色評価数が高圧水銀ランプのそれよりも高い値となり、第1章でのべた問題点3)も

解決できる可能性がある、ことなどを明らかにした。以上の点から、筆者らは演色評価数の計算検討においてマクベスカラーチェッカーの使用を優先した。但し、次章の計算検討には、現行試験色がこれまで長年にわたり使用されてきている実績があるため、現行試験色についても比較のために併せて検討した。すなわち、試験色として、次の2セットを検討対象とした。

(1) セット A

筆者らはすでにマクベスカラーチェッカーの中の高彩度色4色と肌色2色を用いた演色性評価方法を検討し、上述したようにその有効性を報告¹⁴⁾しているが、今回、試験色については色相により偏りのないようにマクベスカラーチェッカーの中から8色を選定し肌色2色を追加した総計10試験色を採用した。なお、肌色に関しては、マクベスカラーチェッカーにも肌色色票(light skin, dark skin)があるが、色票の見えがメタメリックを有するため、実在の肌色の分光放射輝度率を採用した。それらは、現行 JIS に規定されている日本人女性の肌色 No.15、及び西洋人の肌色として Halstead から TC1-33に提供されている実測の肌色¹⁵⁾の計2種類である。表1に、セット A の試験色10色のマンセル値を、表2に各試験色の分光放射輝度率を示す。

(2) セット B

セット B は、基本的に現行 CIE 規定の試験色を使用するものである。ただし、現行 CIE 規定の試験色14色のうち、西洋人の肌色試験色 (No.13) は、肌色色票の分光放射輝度率を規定したものであり、実際の肌色の分光放射輝度率と異なる。このため、現行 CIE 規定の No.13試験色を、上記セット A でも述べた Halstead から提供された実測肌色に変更した。さらに、日本人の肌色(現行 JIS 規定の No.15試験色)を加えた。したがって、総計15試験色となる。15試験色は、現行 JIS の15種類の試験色の中で、西洋人の肌色 (No.13)のみを実測の肌色に変更したことになり、その他は現行どおりである。但し、試験色の番号 (No) は、現行の No.13を実測の西洋人の肌色に変更し、それを本論文では No.14に変更した。このため、本論文では、現行の No.14(木の葉の緑)は、新たな番号 No.13に変更した。表1にセット B の試験色15色のマンセル値を示す。

b) 基準光

現行 CIE 及び JIS 規定では、基準光は試料光源の相関色温度に依じて、その相関色温度と等しい色温度を持つ黒体放射あるいは合成昼光が選定される。これは、相関色温度の違いによる色順応効果を適切に補正することができない(フォンクリースによる方法が使用されているが、色温度や色度が大きく異なる光源間の色順応効果の違いを適切に補正・評価することができない)ため、

表1 セット A およびセット B の各試験色のマンセル値
Table 1 Munsell value of each test color sample of Set A and Set B.

セット A		セット B	
No	マンセル値	No	マンセル値
1 A	5.0R4/12	1 B	7.5R6/4
2 A	5.0YR6/11	2 B	5Y6/4
3 A	5.0Y8/11.1	3 B	5GY6/8
4 A	5.0GY7.08/9.1	4 B	2.5G6/6
5 A	0.1G5.38/9.65	5 B	10BG6/4
6 A	5.0B5/8	6 B	5PB6/8
7 A	7.5PB2.9/12.75	7 B	2.5P6/6
8 A	2.5RP5/12	8 B	10P6/8
9 A	0.4YR6.7/4.5	9 B	4.5R4/13
10 A	1YR6/4	10 B	5Y8/10

表2 セットAの各試験色の分光放射輝度率
Table 2 Spectral radiance factor of each test color sample of Set A

波長 (nm)	1 A	2 A	3 A	4 A	5 A	6 A	7 A	8 A	9 A	10 A	波長 (nm)	1 A	2 A	3 A	4 A	5 A	6 A	7 A	8 A	9 A	10 A
380	0.052	0.053	0.054	0.056	0.055	0.093	0.069	0.118	0.200	0.131	600	0.192	0.532	0.737	0.374	0.124	0.080	0.039	0.279	0.529	0.440
385	0.052	0.054	0.053	0.058	0.056	0.110	0.081	0.142	0.214	0.139	605	0.256	0.543	0.742	0.358	0.111	0.077	0.039	0.333	0.577	0.470
390	0.052	0.054	0.054	0.059	0.057	0.134	0.096	0.179	0.226	0.147	610	0.332	0.552	0.746	0.346	0.101	0.075	0.040	0.394	0.617	0.494
395	0.052	0.054	0.053	0.059	0.058	0.164	0.114	0.228	0.235	0.153	615	0.413	0.560	0.749	0.337	0.094	0.074	0.040	0.460	0.644	0.511
400	0.051	0.054	0.053	0.060	0.058	0.195	0.136	0.283	0.240	0.158	620	0.486	0.566	0.753	0.331	0.089	0.073	0.040	0.522	0.671	0.524
405	0.051	0.054	0.053	0.061	0.058	0.220	0.156	0.322	0.240	0.162	625	0.550	0.572	0.757	0.328	0.086	0.073	0.040	0.580	0.687	0.535
410	0.050	0.053	0.053	0.061	0.059	0.238	0.175	0.343	0.238	0.164	630	0.598	0.578	0.761	0.325	0.084	0.073	0.041	0.628	0.701	0.544
415	0.050	0.053	0.052	0.061	0.059	0.249	0.193	0.354	0.233	0.167	635	0.631	0.583	0.765	0.322	0.082	0.073	0.041	0.668	0.709	0.552
420	0.049	0.052	0.052	0.062	0.059	0.258	0.208	0.359	0.224	0.170	640	0.654	0.587	0.768	0.320	0.080	0.073	0.042	0.696	0.722	0.559
425	0.049	0.052	0.052	0.063	0.060	0.270	0.224	0.357	0.208	0.175	645	0.672	0.593	0.772	0.319	0.078	0.073	0.042	0.722	0.727	0.565
430	0.049	0.052	0.053	0.064	0.062	0.281	0.244	0.350	0.207	0.182	650	0.686	0.599	0.777	0.319	0.077	0.074	0.042	0.742	0.743	0.571
435	0.049	0.052	0.053	0.066	0.063	0.296	0.265	0.339	0.199	0.192	655	0.694	0.602	0.779	0.320	0.076	0.075	0.043	0.756	0.739	0.576
440	0.049	0.052	0.053	0.068	0.065	0.315	0.290	0.327	0.207	0.203	660	0.700	0.604	0.780	0.324	0.075	0.076	0.043	0.766	0.747	0.581
445	0.049	0.052	0.054	0.071	0.067	0.334	0.316	0.313	0.247	0.212	665	0.704	0.606	0.780	0.330	0.075	0.076	0.043	0.774	0.748	0.586
450	0.049	0.052	0.055	0.075	0.070	0.352	0.335	0.298	0.266	0.221	670	0.707	0.608	0.781	0.337	0.075	0.077	0.044	0.780	0.750	0.590
455	0.048	0.052	0.056	0.079	0.074	0.370	0.342	0.282	0.278	0.229	675	0.712	0.611	0.782	0.345	0.077	0.076	0.044	0.785	0.754	0.594
460	0.048	0.052	0.059	0.085	0.078	0.391	0.338	0.267	0.291	0.236	680	0.718	0.615	0.785	0.354	0.078	0.075	0.044	0.791	0.761	0.599
465	0.047	0.052	0.065	0.093	0.084	0.414	0.324	0.253	0.306	0.243	685	0.721	0.619	0.785	0.362	0.080	0.074	0.044	0.794	0.768	0.603
470	0.047	0.053	0.075	0.104	0.091	0.434	0.302	0.239	0.315	0.249	690	0.724	0.622	0.787	0.368	0.082	0.074	0.045	0.796	0.776	0.606
475	0.046	0.054	0.093	0.118	0.101	0.449	0.273	0.225	0.327	0.254	695	0.727	0.625	0.789	0.375	0.804	0.073	0.046	0.801	0.785	0.610
480	0.045	0.055	0.121	0.135	0.113	0.458	0.239	0.209	0.334	0.259	700	0.729	0.628	0.792	0.379	0.088	0.072	0.048	0.804	0.790	0.612
485	0.045	0.056	0.157	0.157	0.125	0.461	0.205	0.195	0.344	0.264	705	0.730	0.630	0.792	0.381	0.089	0.072	0.050	0.806	0.795	0.614
490	0.044	0.057	0.202	0.185	0.140	0.457	0.172	0.182	0.354	0.269	710	0.730	0.633	0.793	0.379	0.089	0.071	0.051	0.807	0.800	0.616
495	0.044	0.059	0.252	0.221	0.157	0.447	0.144	0.172	0.361	0.276	715	0.729	0.633	0.792	0.376	0.090	0.073	0.053	0.807	0.804	0.616
500	0.044	0.061	0.303	0.269	0.180	0.433	0.120	0.163	0.372	0.284	720	0.727	0.633	0.790	0.373	0.090	0.075	0.056	0.807	0.807	0.616
505	0.044	0.064	0.351	0.326	0.208	0.414	0.101	0.155	0.378	0.291	725	0.728	0.636	0.792	0.372	0.090	0.078	0.060	0.810	0.811	0.616
510	0.044	0.068	0.394	0.384	0.244	0.392	0.086	0.146	0.386	0.296	730	0.729	0.637	0.792	0.375	0.089	0.082	0.064	0.813	0.812	0.615
515	0.044	0.076	0.436	0.440	0.286	0.366	0.074	0.135	0.382	0.298	735	0.729	0.639	0.790	0.382	0.092	0.090	0.070	0.814	0.813	0.613
520	0.044	0.086	0.475	0.484	0.324	0.339	0.066	0.124	0.372	0.296	740	0.727	0.638	0.787	0.392	0.094	0.100	0.079	0.813	0.814	0.612
525	0.044	0.101	0.512	0.516	0.351	0.310	0.059	0.113	0.357	0.289	745	0.723	0.633	0.782	0.401	0.097	0.116	0.091	0.810	0.815	0.610
530	0.044	0.120	0.544	0.534	0.363	0.282	0.054	0.106	0.337	0.282	750	0.721	0.633	0.778	0.412	0.102	0.133	0.104	0.808	0.816	0.609
535	0.044	0.143	0.572	0.542	0.363	0.255	0.051	0.102	0.320	0.276	755	0.724	0.636	0.780	0.422	0.106	0.154	0.120	0.811	0.817	0.608
540	0.045	0.170	0.597	0.545	0.355	0.228	0.048	0.102	0.310	0.274	760	0.728	0.641	0.782	0.433	0.110	0.176	0.138	0.814	0.818	0.607
545	0.046	0.198	0.615	0.541	0.342	0.204	0.046	0.105	0.306	0.276	765	0.727	0.639	0.781	0.436	0.111	0.191	0.154	0.813	0.818	0.607
550	0.047	0.228	0.630	0.533	0.323	0.180	0.045	0.107	0.308	0.281	770	0.702	0.616	0.752	0.426	0.112	0.200	0.168	0.785	0.818	0.609
555	0.048	0.260	0.645	0.524	0.303	0.159	0.044	0.107	0.319	0.286	775	0.680	0.598	0.728	0.413	0.112	0.208	0.186	0.765	0.819	0.610
560	0.050	0.297	0.660	0.513	0.281	0.141	0.043	0.106	0.323	0.291	780	0.664	0.582	0.710	0.404	0.112	0.214	0.204	0.752	0.819	0.611
565	0.053	0.338	0.673	0.501	0.260	0.126	0.042	0.107	0.326	0.289											
570	0.057	0.380	0.686	0.487	0.238	0.114	0.041	0.112	0.316	0.286											
575	0.063	0.418	0.698	0.472	0.217	0.104	0.041	0.123	0.306	0.280											
580	0.072	0.452	0.708	0.454	0.196	0.097	0.040	0.141	0.309	0.285											
585	0.086	0.481	0.718	0.436	0.177	0.092	0.040	0.166	0.348	0.314											
590	0.109	0.503	0.726	0.416	0.158	0.088	0.040	0.198	0.406	0.354											
595	0.143	0.520	0.732	0.394	0.140	0.083	0.040	0.235	0.471	0.398											

試料光源の相関色温度と大きく異なる基準光を選定せず、等しい色温度の基準光が選定される。このように、現行評価方法では、試料光源の相関色温度が異なると比較の基準となる基準光も異なることから、異なる相関色温度を持つ2 試料光源の演色評価数を相互に比較することは困難である。

色度・相関色温度及び照度レベルが異なる試料光源間の色順応効果を適切に補正・評価できる色順応式がCIE から勧告されている¹¹⁾。このCIE 色順応式¹¹⁾を用いれば、現行方法のように、試料光源の相関色温度の値に応じて細かく基準光を選定する必要はなくなる。相関色温度の多少異なる同一光色区分内の試料光源間に対しても同一の基準光を選定することにより、演色評価数を用いてそれらの光源間の演色性を比較・評価できることになる。

基準光の選定については、現行JIS Z 9112¹⁶⁾で規定されている蛍光ランプの光色区分（電球色、温白色、白色、昼白色、昼光色の5つの区分）に基づいて、5つの基準光を選定した。5基準光のそれぞれの色温度は、JIS Z 9112で規定された各光色区分の色温度の範囲のほぼ中央値を選定した。これらの基準光の色温度はIEC が勧告する蛍光ランプの色温度¹⁷⁾ともほぼ対応する。表3に、5つの基準光の種類、相関色温度、色度座標(x, y 及びu', v')の各値を示す。一つの試料光源の演色評価数を計算する場合、試料光源の色度(u', v')に最も近い基準光を表3に示す5基準光から選ぶ方法である。この方法によれば、現行規定による蛍光ランプの各光色区分内に入る複数の試料光源は、いずれも同一基準光となるため、それらの試料光源間の演色性は演色評価数の数値で

表3 5つの基準光の(相関)色温度、色度座標

Table 3 Correlated color temperatures and chromaticity coordinates of 5 reference illuminants

基準光		(相関)色温度	x	y	u'	v'
D6500	CIE 合成昼光	6500K	0.3128	0.3292	0.1978	0.4684
D5000	CIE 合成昼光	5000K	0.3457	0.3586	0.2092	0.4881
P4200	プランク放射体	4200K	0.3720	0.3714	0.2217	0.4979
P3450	プランク放射体	3450K	0.4081	0.3921	0.2370	0.5123
P2950	プランク放射体	2950K	0.4405	0.4053	0.2523	0.5224

比較することができ、第1章で述べた課題1)は大幅に改善される。なお、基準光として、標準の光D₆₅だけを使用するという、絶対演色による方法も理論的に計算可能であるが、実用的にはあまり意味がないと考えられる。例えば、基準光を標準の光D₆₅とし、これと色温度が大きく異なる白熱電球(2800K)の演色評価数を計算しても、その数値の意味は少ない。それは、住宅や店舗照明分野など一般照明分野に使用される白熱電球と昼光の代表として用いられる標準の光D₆₅とは用途がおのずと異なるからである。すなわち、一般に光色区分に応じてそれぞれランプの使用用途が異なるため、色温度が大きく異なるランプ間の演色性を同一の基準光で評価することは理論的興味は別として実用的には必ずしも適切でないと考えられる。なお、基準光を一つに設定して演色評価数を計算検討する必要がある場合、本論文で述べる演色性評価方法は、後述するCIE色順応式を用いるため基本的にそれにも対応できる。

c) 色順応式

上記b)で述べたように、基準光の選定のためにCIE色順応式を用いる。ここでは、さらに、演色性評価にCIE色順応式を適用する場合の有用性について述べたい。CIE色順応式は、上記b)でも述べたように照度レベルの違いによる色順応効果をも予測・評価できる。現行CIE及びJISの演色性評価方法は照度レベルの効果は評価できない。光源そのもののだけを評価する場合、一般に照度効果を評価する必要はない。しかし、試料光源を実際の照明環境で使用した場合、照度レベルの違いによって色の見え方は異なる。このため、照度効果を含めた演色評価数を計算できれば、より実際の環境に応じた光源の演色性を多面的に評価できる。例えば、演色性は良いが、照度レベルを低く設定した照明環境と演色性は劣るが照度レベルを高く設定した照明環境では、両照明環境でどの程度の評価数の差異として生じるかを定量的に評価することができ、こういった情報は照明環境の評価に有用と考えられる。

さて、本論文での演色評価数の計算における、CIE色順応方程式の適用を説明する。試料光源下及び基準光下での各試験色の色ズレ(色差)を計算するにあたり、まずはじめに、各照明下でのそれぞれ試験色の三刺激値を算出する必要がある。この場合、上記b)で述べたように、試料光源と基準光との間で色度や相関色温度が異なるため、その差異を補正して三刺激値を計算する必要がある。この補正に、CIE色順応式が適用される。具体的には、次のような方法で適用する。すなわち、試料光源下及び基準光下での各試験色の三刺激値を、両照明下ともにそれぞれCIE色順応式により標準の光D₆₅下における対応色の三刺激値に変換する。次に、両対応色のそれぞれの三刺激値を均等色空間に変換して、試料光源下と基準光下との間の試験色の色ズレ(色差)を算出し、演色評価数の数値の基本となる計算結果を得る。

なお、本論文では、対応色の三刺激値の計算には、試料光源、

基準光、標準の光D₆₅とも照度を同一(例えば、1000lx一定)に設定してCIE色順応式を適用した。もし、上述したように試料光源の照度効果を含めて検討をする場合、それぞれ検討すべき照度に設定してCIE色順応式を適用すればよい。

d) 均等色空間

第1章の4)項で述べたように、現行評価方法で用いられている均等色空間U*V*W*は、すでに過去のものであり、現在は1976年にCIEで勧告したL*u*v*均等色空間及びL*a*b*均等色空間が使用されている。物体色の場合、両者のうちL*a*b*均等色空間の方がL*u*v*均等色空間よりも、より色知覚に相関するとして慣例的に活用されている。このため、試料光源下の基準光下での試験色に対する色ズレ(色差)の計算には、L*a*b*均等色空間及び色差式を使用することとした。

e) 演色評価数の計算式

現行の演色性評価方法は、制定以来約30年以上も経過し、これまで数多くの国の規格に採用されている。このため、現行評価方法に基づくRaの数値が業界で広く定着・活用されているのが現状である。このため、実務家の間では演色評価数の数値、特に平均演色評価数Raの数値を大きく変えるような変更は望まないという意見が強い。これは、上述のように各種一般照明光源に対する現行Ra値が業界で定着しているとともに、一部のランプ(高圧ナトリウムランプ)を除いて、現行Raの数値で使用経験上ほとんど問題が生じていないことを意味していると考えられる。

このため、筆者らは、正しい演色評価数を得ることを絶対条件とし、その条件下でRaの数値が現行値とできるだけ大きく変わらないものとするため、次の事項に配慮した。まず、演色評価数の計算式を次式のように現行計算式と同一の構造とした。

$$Ra, n = 100 - K \Delta E \quad (2.1)$$

ここで、現行評価方法によるCIEの普通形温白色蛍光ランプ(F04)の平均演色評価数Raが51であり、この値になるようにK=4.6が定められている。このため、筆者らの提案による評価方法においてもF04ランプで平均演色評価数Ra, nが51になる定数Kを新たに定め、Raの数値の安定化を図った。なお、(2.1)式で、平均演色評価数Ra, nで、添字n(nはnewの意味)を付け加えたのは現行Raと区別するためである。

以上、現行評価方法に対する筆者らの改訂案の基本骨子を述べた。上記の改訂案により、第1章で述べた現行評価方法が有している基本的な5つの課題のうち、1)、4)、5)にはほぼ対応できる。2)、3)については、次章において、各種ランプについて筆者らの提案方法による評価数と現行評価方法による評価数との比較検討の過程で対応の可能性を確認した。

3. 各種ランプの演色評価数の計算検討

第2章において、筆者らの提案する評価方法の骨子を述べた。ここでは、その評価方法の計算の詳細を述べるとともに、各種ランプについて筆者らの方法による演色評価数を計算し現行方法によるそれと比較検討した。

3.1 筆者らの提案による計算方法

1) 試験色

第2章で述べたように、試験色としてセットA及びセットB(ともに表1に試験色の種類を示す)を用いた。なお、セットBは現行規定の方法との関連を考慮して、参考のために使用したものである。

2) 基準光

表3に記載した5つの基準光を用い、試料光源の色度(u', v')に最も近い基準光を選定した。

3) 試験色の試料光源下及び基準光下それぞれの三刺激値から標準の光D₆₅下の対応色の計算と均等色空間への変換

試料光源(k)及び基準光(r)の各照明下での試験色(i)の三刺激値[(X_{k,i}, Y_{k,i}, Z_{k,i}), (X_{r,i}, Y_{r,i}, Z_{r,i})]をそれぞれCIE色順応式により標準の光D₆₅の照明下での対応色^(注)の三刺激値[(X_{Dk,i}, Y_{Dk,i}, Z_{Dk,i}), (X_{Dr,i}, Y_{Dr,i}, Z_{Dr,i})]を算出する。CIE色順応式を適用する場合に必要なパラメータの条件を次のように設定した。すなわち、背景の反射率=20%, 試料光源・基準光及び標準の光D₆₅の照度は同一で1000lx, ノイズn=1にそれぞれ設定した。CIE色順応式の適用に際して、ノイズは通常n=1に設定して用いられるため、今回の演色評価数の計算にもノイズn=1を適用した。なお、種々の色覚現象の検討にCIE色順応式を適用する場合、視覚系のノイズ成分をパラメータにした計算解析が可能である。この場合、ノイズnの値を目的に応じて種々変化させて適用される。次に、対応色の三刺激値[(X_{Dk,i}, Y_{Dk,i}, Z_{Dk,i}), (X_{Dr,i}, Y_{Dr,i}, Z_{Dr,i})]それぞれをCIE1976均等色空間L*a*b*に変換[(L*_{Dk,i}, a*_{Dk,i}, b*_{Dk,i}), (L*_{Dr,i}, a*_{Dr,i}, b*_{Dr,i})]した。

4) 演色による色ズレ(色差)の算出

試料光源(k)下での試験色(i)に対する基準光(r)下での同一試験色(i)の色ズレ(色差: ΔEi)はCIELAB色差式を用いて算出した。

$$\Delta E_i = [(L^*_{Dk,i} - L^*_{Dr,i})^2 + (a^*_{Dk,i} - a^*_{Dr,i})^2 + (b^*_{Dk,i} - b^*_{Dr,i})^2]^{1/2} \quad (3.1)$$

5) 特殊演色評価数及び平均演色評価数の算出

(a) 特殊演色評価数の算出

(3.1)式で得られた色ズレ(色差: ΔEi)に基づいて、次式で試料光源の特殊演色評価数を算出する。なお、試験色の種類(セットA, セットB)によって、係数K_A, K_Bの値は異なる。

・セットAの試験色の場合

$$R_{iA} = 100 - K_A \Delta E_i \quad (i = 1 \sim 10) \quad (3.2)$$

ここで、K_A=3.51に設定した。前述のように係数K_Aの値は、次のような条件を満足するように定めた。すなわち、CIEの普通形の温白色蛍光ランプ(F04)に対する筆者らの平均演色評価数(後述するR_{a,n(A)})の値が、現行評価方法に基づくRaと同じ値(=51)になるように設定した。

・セットBの試験色の場合

$$R_{iB} = 100 - K_B \Delta E_i \quad (i = 1 \sim 15) \quad (3.3)$$

ここで、K_B=6.05に設定した。係数K_Bの値は、上記セットAの場合と同様に、CIEの普通形の温白色蛍光ランプ(F04)に対する筆者らの平均演色評価数の値が、現行評価方法に基づくRaと同じ値(=51)になるように設定した。

(b) 平均演色評価数の算出

・セットAの試験色の場合

10試験色に対する特殊演色評価数の算術平均で平均演色評価数R_{a,n(A)}を算出する。

$$R_{a,n(A)} = (1/10) \sum R_{iA} \quad (3.4)$$

なお、(3.4)式によるR_{a,n(A)}はセットA試験色10色に対する特殊演色評価数の平均値を算出したものである。これに対して、肌色2色を除く8試験色の特殊演色評価数の平均値で平均演色評価

数(R_{a,n(A)})と区別するため、R_{a,n(A8)}と記す)を規定することも考えられる。筆者らは、肌の重要性の点から肌色2色を含めた10試験色に基づいてR_{a,n(A)}を算出する方法を用いた。参考までに、肌色2色を除く8試験色によるR_{a,n(A8)}は次式で表わせる。

$$R_{a,n(A8)} = (1/8) \sum R_{iA} \quad (3.5)$$

この場合、(3.2)式での係数K_Aは3.27となる。

・セットBの試験色の場合

15試験色のうち、現行評価方法と同様にNo.1~No.8の8試験色に対する特殊演色評価数の算術平均で平均演色評価数R_{a,n(B)}を算出する。

$$R_{a,n(B)} = (1/8) \sum R_{iB} \quad (3.6)$$

以上の計算条件で、電球2種類、蛍光ランプ18種類、HIDランプ6種類の総計26種類の試料光源について演色評価数を計算し、現行評価方法に基づくそれと比較した。

3.2 演色評価数の計算結果

3.2.1 平均演色評価数の計算結果

表4に、26種類の試料光源について、現行評価方法に基づく平均演色評価数Ra, セットA試験色を使用した場合のR_{a,n(A)}, セットB試験色を使用した場合のR_{a,n(B)}の比較を示す。なお、参考までに、セットA試験色(10試験色)のうち肌色2色を除く8試験色に基づくR_{a,n(A8)}の値も併記した。また、図1にRaとR_{a,n(A)}の関係、図2にRaとR_{a,n(B)}の関係を示す。さらに、図3(a)~(c)にR_{a,n(A)}, R_{a,n(A8)}, R_{a,n(B)}が現行Raとどの程度の差があるかを明らかにするためRaとの差、すなわち、[R_{a,n(A)}-Ra], [R_{a,n(A8)}-Ra], [R_{a,n(B)}-Ra]の値を各光源について示す。これらの図表から次のことが明らかである。

(a) 図1, 図2から明かなように、R_{a,n(A)}及びR_{a,n(A8)}ともに現行Raと一対一に比較的良好に対応する。

(b) R_{a,n(A)}, R_{a,n(A8)}, R_{a,n(B)}のいずれが現行Raと数値が近いかは、図3から明かなようにR_{a,n(A)}が最もRa値に近い。現行Ra値との差の許容度を±3以内とすれば、これより差が大きい場合の試料光源の数は、R_{a,n(A)}で4種類、R_{a,n(A8)}で8種類、R_{a,n(B)}で8種類である。R_{a,n(A)}で現行Raと最も大きな差が生じているのは、高圧ナトリウムランプ(表4のNo.22)であり、現行Raで26がR_{a,n(A)}で41となり数値が大きく上昇している。これは後述するように、むしろ観察結果との対応を考慮すれば良い方向に数値が上昇していると考えられる。

また、現在最も広く使用されている3波長域発光形蛍光ランプ(表4のNo.13~No.15)や白熱電球(No.19)について調べてみると、R_{a,n(A)}はR_{a,n(A8)}, R_{a,n(B)}にくらべ現行Ra値に近い。

(c) 高圧ナトリウムランプ(No.22)と高圧水銀ランプ(No.26)との比較では、R_{a,n(A)}でそれぞれ41および38となり、R_{a,n(B)}ではそれぞれ32および37となった。これらのランプに対する観察結果は、高圧ナトリウムランプ(No.22)は高圧水銀ランプ(No.26)と同等以上の演色特性を有していることが報告されており、観察結果との対応を考えれば、R_{a,n(A)}の方がR_{a,n(B)}よりも適している。

以上、平均演色評価数に関しては、第2章(e)の項で述べたように、特に高圧ナトリウムランプを除いて、現行評価方法に基づくRa値に近い平均演色評価数が得られること、また、高圧ナトリウムランプに関しては、観察結果に対応して高圧水銀ランプと同等以上の平均演色評価数の値が得られる。これらを考慮すれば、セットA(マクベスカラーチェッカー8色+肌色2色)の試験色10

注) 試料光源下での物体色の色の見えと等しい色の見えを与える基準光源下での物体色を対応色という。

表 4 各種試料光源の平均演色評価数の比較

Table 4 General color rendering indices of test light sources based on various evaluation methods

No	Test lamp (CCT)	Ref. illum.	R_a	$R_{a,n(A)}$	$R_{a,n(A8)}$	$R_{a,n(B)}$
1	CIE F 1 (6430K)	D6500	76	74	75	77
2	CIE F 2 (4230K)	P4200	64	63	63	65
3	CIE F 3 (3450K)	P3450	57	56	56	58
4	CIE F 4 (2940K)	P2950	51	51	51	51
5	CIE F 5 (6350K)	D6500	72	70	71	75
6	CIE F 6 (4150K)	P4200	59	59	59	63
7	CIE F 7 (6500K)	D6500	90	90	90	89
8	CIE F 8 (5000K)	D5000	95	95	95	93
9	CIE F 9 (4150K)	P4200	90	90	90	89
10	CIE F10 (5000K)	D5000	81	78	75	76
11	CIE F11 (4000K)	P4200	83	79	77	80
12	CIE F12 (3000K)	P2950	83	77	76	76
13	3 波長形 FL (6700K)	D6500	88	85	83	84
14	3 波長形 FL (5000K)	D5000	88	85	83	84
15	3 波長形 FL (3000K)	P2950	88	85	84	85
16	演色 AAA 昼光色 (6500K)	D6500	98	99	99	98
17	演色 AAA 昼白色 (5000K)	D5000	98	97	97	97
18	演色 AAA 電球色 (2700K)	P2950	93	92	93	91
19	白熱電球 (2820K)	P2950	100	97	97	95
20	高彩度形白熱電球 (2780K)	P2950	80	82	83	82
21	メタルハライドランプ Sc-Na 系 (4000K)	P4200	70	70	72	72
22	高圧ナトリウムランプ (2050K)	P2950	26	41	39	32
23	高演色形高圧ナトリウムランプ (2500K)	P2950	84	82	83	81
24	高彩度形高圧ナトリウムランプ (2800K)	P2950	76	77	79	76
25	高圧水銀ランプ (透明型) (5780K)	D6500	14	7	-9	21
26	高圧水銀ランプ (蛍光形) (4000K)	P4200	39	38	37	37

図 1 現行 Ra とセット A 試験色による $R_{a,n(A)}$ の関係

Fig. 1 Relation between present CIE Ra value and $R_{a,n(A)}$ value by Set A color samples for test light sources.

図 2 現行 Ra とセット B 試験色による $R_{a,n(B)}$ の関係

Fig. 2 Relation between present CIE Ra value and $R_{a,n(B)}$ value by Set B color samples for test light sources.

図3 26種類のテスト光源に対する $[R_{a,n(A)} - Ra]$, $[R_{a,n(A8)} - Ra]$, $[R_{a,n(B)} - Ra]$ の値
 Fig. 3 Values of $[R_{a,n(A)} - Ra]$, $[R_{a,n(A8)} - Ra]$, $[R_{a,n(B)} - Ra]$ for 26 test light sources.

色を用いる方法 ($R_{a,n(A)}$) が、より適していると考えられる。

3.2.2 特殊演色評価数の計算結果

表5に現行評価方法に基づく特殊演色評価数 ($R_1 \sim R_{15}$)、表6にセットAの試験色10色に対する特殊演色評価数 ($R_{1A} \sim R_{10A}$)、表7にセットBの試験色15色に対する特殊演色評価数 ($R_{1B} \sim R_{15B}$)の計算結果を示す。以下、セットA試験色、セットB試験色ごとに特殊演色評価数の計算結果について述べる。

(1) セットA試験色に対する特殊演色評価数

セットA試験色に対する特殊演色評価数と現行規定によるそれとの関係と比較するために、図4に高彩度の色票(赤, 黄, 緑, 青)それぞれについて両者の関係を図示した。図4(a)が赤色票に対する比較(横軸: R_9 , 縦軸: マクベスで R_{1A})、図4(b)が黄色票に対する比較(横軸: R_{10} , 縦軸: R_{3A})、図4(c)が緑色票に対する比較(横軸: R_{11} , 縦軸: R_{5A})、図4(d)が青色票に対する比較(横軸: R_{12} , 縦軸: R_{7A})を示す。なお、図4の各色票で現行試験色とマクベスカラーチェッカーではマンセル値が一致しないが、それぞれ近い色に対する特殊演色評価数を比較した。また、図4(a)では透明型の高圧水銀ランプ (No.25) の特殊演色評価数 R_9 が極めて大きな負の値 (-333) となり図からはみ出すため、図から除くこととした。

図4及び表6から明らかなように、ほとんどのランプについて特殊演色評価数に負値が生じないことがわかる。特に、現行評価方法で問題となっていた普通形の白色蛍光ランプにおいては、全く負値は生ぜず現行評価方法の課題が大きく改善されることがわかる。セットAを用いて特殊演色評価数に比較的大きな負値が生

表5 現行CIE評価方法に基づく各試験光源の特殊演色評価数
 Table 5 Special color rendering indices of test light sources based on the present CIE method

Lamp No	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}
1	69	84	92	73	74	80	82	53	-47	62	68	75	73	95	60
2	56	77	90	57	59	67	74	33	-84	45	46	54	60	94	47
3	48	72	90	46	49	59	69	21	-102	36	31	38	52	94	39
4	42	70	90	38	41	54	65	11	-111	31	18	25	47	94	35
5	63	80	91	67	69	75	81	48	-68	54	61	68	67	94	53
6	49	72	88	51	52	60	73	27	-105	35	38	42	54	93	39
7	89	92	91	91	90	89	93	87	61	78	89	87	90	95	88
8	98	96	91	96	97	94	95	95	98	89	96	91	97	94	98
9	90	93	90	90	89	88	94	89	70	79	87	83	90	94	90
10	94	90	53	86	84	74	87	80	26	42	68	54	94	69	96
11	98	93	50	88	87	77	89	79	25	47	72	53	97	67	96
12	99	95	54	89	88	83	89	68	1	53	77	53	96	68	94
13	99	97	63	92	91	85	93	85	42	62	76	72	97	76	97
14	99	98	64	93	92	87	92	80	29	64	79	74	96	76	97
15	94	96	67	94	97	97	89	65	1	75	89	79	89	76	96
16	99	99	96	98	99	100	98	98	96	99	100	94	98	98	98
17	99	97	99	99	98	97	98	97	94	96	98	90	98	100	99
18	95	95	86	94	93	89	93	95	92	82	93	80	95	91	96
19	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	75	89	89	75	77	88	84	62	24	82	75	80	77	92	69
21	64	86	89	66	69	87	71	29	-86	73	66	81	71	92	44
22	17	64	62	-4	13	50	42	-35	-173	40	-35	21	21	75	10
23	94	88	78	85	85	72	86	83	72	66	62	56	86	85	87
24	84	95	65	89	95	79	66	37	-18	78	88	69	94	78	60
25	-15	32	58	2	2	6	45	-16	-333	-56	-23	-26	-3	75	-38
26	26	53	62	30	28	26	62	25	-121	-18	4	-17	32	77	26

表6 セットAの試験色10色それぞれに対する特殊演色評価数
Table 6 Special color rendering index R_{1A} of each test color sample of Set A for test light sources

Lamp No	R_{1A}	R_{2A}	R_{3A}	R_{4A}	R_{5A}	R_{6A}	R_{7A}	R_{8A}	R_{9A}	R_{10A}
1	48	66	77	91	82	72	83	64	76	80
2	34	50	64	83	73	52	74	53	70	74
3	27	42	55	76	68	40	68	46	66	71
4	24	36	48	71	64	32	64	41	63	68
5	41	61	73	91	79	67	80	60	72	77
6	26	45	60	83	71	46	68	49	66	71
7	86	86	87	92	94	88	90	89	91	93
8	99	97	93	93	94	95	95	94	95	98
9	90	87	87	91	94	86	89	91	93	95
10	77	82	67	69	74	63	73	83	93	96
11	78	88	71	69	71	67	74	87	89	95
12	68	90	70	67	67	75	80	75	86	90
13	80	88	79	81	82	72	85	88	95	99
14	77	90	80	80	80	76	87	85	94	97
15	67	98	84	80	76	90	95	76	90	93
16	98	99	99	99	99	98	98	98	97	99
17	95	96	98	97	98	98	95	97	97	99
18	95	92	93	92	92	90	92	94	87	94
19	97	97	97	96	95	99	99	96	97	98
20	69	79	88	93	76	84	93	74	80	84
21	34	68	82	85	66	81	92	52	69	75
22	1	18	80	61	8	-1	77	29	69	72
23	82	80	89	92	93	59	80	79	79	87
24	56	94	89	79	77	80	83	58	72	81
25	-67	-25	0	51	47	-9	20	2	17	31
26	22	15	22	50	63	11	38	40	59	64

じるランプは透明型の高圧水銀ランプ (No.25) である。しかし、このランプは演色性を問題とする所ではほとんど使用されていないため、透明型の高圧水銀ランプで特殊演色評価数に負値が生じてても実用的には問題ないと考えられる。

(2) セットB試験色に対する特殊演色評価数

図5(a)~(d)に高彩度の色票(赤, 黄, 緑, 青)それぞれについて、現行評価方法に基づく特殊演色評価数($R_9 \sim R_{12}$)と、今回の計算方法に基づいて得られたそれらの各試験色(セットB試験色)に対応する特殊演色評価数($R_{9B} \sim R_{12B}$)との比較を示す。なお、図5(a)では透明型の高圧水銀ランプ(No.25)の特殊演色評価数 R_9 が極めて大きな負の値(-333)となり図からはみ出すため、図から除くこととした。

図5から明らかなように、セットB試験色を用いた場合、赤色票に対する特殊演色評価数(R_{9B})の値は、現行 R_9 の値よりも大きな負値が生じるのが改善されている。しかし、一般照明用光源として許容されている普通形の白色蛍光ランプ(No.6のF6ランプ)の R_{9B} が-40という未だ大きな負値(現行評価方法による R_9 は-105であるため、数値は改善されているが)を生じ、大幅な改善に至っていない。さらに、青色票に対する特殊演色評価数は図5(d)からわかるように、逆に R_{12B} の方が現行 R_{12} よりもランプによっては大きな負値を生じる。したがって、セットB試験色の場合、 $L^*a^*b^*$ 色空間を用いても、従来の特殊演色評価数で大きな負値を生じるのが少しは改善されるものの大幅には改善されないことが明らかになった。なお、本論文では検討内容は省略したが、参考までにセットB試験色で $L^*u^*v^*$ 色空間を用いた場合の特殊演色評価数を計算した結果、現行評価方法によるそれらとほぼ等しい値となり、実用光源で特殊演色評価数に大きな負値が生じるのが全く改善されないことがわかった。これは、現行評価方法に用いられている $U^*V^*W^*$ 色空間と $L^*u^*v^*$ 色空間とは基本的には

表7 セットBの試験色15色それぞれに対する特殊演色評価数
Table 7 Special color rendering index R_{1B} of each test color sample of Set B for test light sources

Lamp	R_{1B}	R_{2B}	R_{3B}	R_{4B}	R_{5B}	R_{6B}	R_{7B}	R_{8B}	R_{9B}	R_{10B}	R_{11B}	R_{12B}	R_{13B}	R_{14B}	R_{15B}
1	74	83	87	73	75	78	86	64	1	61	62	59	94	58	66
2	64	74	76	59	61	60	77	50	-25	41	39	24	88	48	56
3	58	67	69	51	52	49	71	43	-38	27	27	5	84	41	49
4	55	61	62	45	46	39	63	36	-45	17	19	-4	79	36	45
5	69	81	86	69	72	77	85	59	-12	54	54	46	94	52	60
6	59	71	77	55	58	60	80	47	-40	34	29	4	93	42	50
7	91	91	87	89	90	85	90	89	73	77	87	83	92	85	89
8	98	96	89	92	97	93	92	93	96	87	95	92	92	91	96
9	92	91	85	90	90	85	91	91	79	77	86	77	91	88	91
10	95	87	38	79	85	66	79	81	51	37	64	18	56	89	93
11	98	91	38	80	89	73	84	86	53	44	73	18	55	81	91
12	96	89	40	69	90	77	76	71	35	43	74	54	55	76	84
13	99	95	54	89	89	75	86	85	58	59	70	43	66	91	98
14	99	95	54	88	91	79	86	83	52	59	76	55	65	90	96
15	95	95	59	82	97	90	84	73	34	68	87	84	65	82	88
16	99	99	96	98	98	100	98	97	98	99	100	88	97	94	99
17	99	98	98	99	97	95	95	95	92	95	98	80	96	95	99
18	96	91	80	83	94	88	84	87	87	84	95	83	86	78	89
19	97	98	94	96	97	94	92	92	95	96	94	93	92	95	97
20	79	90	87	75	81	95	83	67	43	84	70	78	85	66	73
21	70	89	82	65	77	83	67	43	-25	77	50	83	74	47	57
22	28	74	45	-7	27	44	34	9	-89	71	-90	-99	11	46	51
23	95	90	75	89	86	70	75	67	70	75	51	-4	75	64	78
24	84	95	59	80	91	78	70	50	21	77	90	37	71	53	67
25	2	29	31	6	15	8	59	15	-220	-69	-34	-114	75	-43	-19
26	42	45	30	28	37	14	51	45	-54	-34	1	-66	62	29	37

図4 現行規定による特殊演色評価数 ($R_9 \sim R_{12}$) とセット A 試験色のそれとの関係

Fig. 4 Relation between present CIE R_i ($i=9 \sim 12$) value and the corresponding R_{iA} ($i=1, 3, 5, 7$) value of Set A test color samples for test light sources.

同質な空間であるからであると考えられる。

セット A 試験色、セット B 試験色に対する特殊演色評価数の計算結果の比較より、セット A の試験色を用いた方法がセット B の試験色を用いる方法よりも適していることが明らかになった。

以上、平均演色評価数及び特殊演色評価数の計算結果から、セット A のマクベスカラーチェッカーを用いる方法によって第 1 章で述べた課題 2) 及び 3) が解決されることが明らかになった。また、マクベスカラーチェッカーは、分光放射輝度率にはば対応した色票が入手できるため、計算結果を実際の色票を用いて観察により評価できる利点 (第 1 章で述べた課題 5) の対応) もある。さらに、今回提案した評価方法は、均等色空間も過去の $U^*V^*W^*$ 色空間から現在 CIE が勧告している $L^*a^*b^*$ 色空間に変更することにより CIE 勧告と整合がとれている点 (課題 4) の対応) 、さらに基準光を 5 種類に限定し、且つ CIE 色順応式を使用することにより、5 つの光色区分内に入るランプ間の演色性は相関色温度が多少異なっても演色評価数の数値で比較できる (課題 1) の対応) ことなど、現行評価方法の問題点を改善した方法と言える。ただし、基準光を 5 種類に限定したため、基準光の色温度に近い試料光源ほど演色評価数が高く評価される可能性がある。この点については今後の課題である。

4. 結論

現行 CIE 及び JIS で規定されている「光源の演色性評価方法」の基本的な課題を述べ、それらの課題を改善する評価方法の改訂案を提案した。

提案した評価方法は、マクベスカラーチェッカー 8 色と肌色 2 色 (日本人と西洋人) の計 10 試験色、5 基準光 (D6500, D5000, P4200, P3450, P2950) を使用し、基準光と試料光源の色度や相関色温度の違いを CIE 色順応式により補正し、試料光源下に対する基準光下での試験色の色ズレ (色差) を CIELAB 系の色差式に

より計算するものである。本提案による演色性評価方法に基づく平均演色評価数は、現行評価方法によるそれと基本的に整合が取れており、実務家にとっても受け入れやすいものとなっている。以上の解析をベースに、セット A 試験色及びセット B 試験色をそれぞれ用いた両方式を CIE TC1-33 へ提案した。CIETC1-33 では、セット A を用いた方式を実地試験のためのテクニカルレポートとして取りまとめる方向で検討が進められている。

謝辞

本研究を推進するにあたり、各種ランプの演色評価数の計算解析を担当された大阪電気通信大学経営工学科 4 回生の小山恵都子、金川正人の両氏及び CIETC1-33 への提案原案についてご討議いただいた日本照明委員会の TC1-33 国内技術委員会委員各位に厚く謝意を表します。

参考文献

- (1) Publ. CIE No.13 : Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources (1965)
- (2) Publ. CIE No.13.2 : Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources, 2nd Edition (1974)
- (3) JIS Z 8726 : 光源の演色性評価方法 (1990)
- (4) 橋本, 角, 金谷 : 高圧放電ランプの実用的演色効果, 昭51 電気関係学会関西支部連合大会 G 352 (1976)
- (5) Publ. CIE No.15.2 : Colorimetry-2nd edition (1986)
- (6) Walter, W. : Computation of Color Rendering Indices Using Color Appearance Models, CIE Proceedings 22nd Session Melbourne Vol 1 Part 1 (1991)
- (7) Nayatani, Y. et al. : A nonlinear color-appearance model using Estevez-Hunt-Pointer primaries, Color

図5 現行規定による特殊演色評価数 ($R_9 \sim R_{12}$) とセット B 試験色のそれとの関係

Fig.5 Relation between present CIE R_i ($i = 9 \sim 12$) value and the corresponding R_{iB} ($i = 9 \sim 12$) value of Set B test color samples for test light sources.

- Res. Appl. 12, pp.231-242 (1987)
- (8) Nayatani, Y et al.: Lightness Dependency of Chroma Scales of a Nonlinear Color-Appearance Model and its Latest Formulation, Color Res. Appl. 20 pp.156-167 (1995)
- (9) Hunt R. W. G: A model of colour vision for predicting colour appearance in various viewing conditions, Color Res. Appl. 12 pp.297-314 (1987)
- (10) Hunt R. W. G: Revised colour-appearance model for related and unrelated colours, Color Res. Appl. 14 pp.146-165 (1991)
- (11) CIE Publ 109-1994: A Method of Predicting Corresponding Colours under Different Chromatic and Illuminance Adaptations (1994)
- (12) 森, 橋本: TC1-33国内技術委員会報告—CIE 演色評価方法への改正提案, 日本照明委員会誌12-3 pp.13-22 (1995)
- (13) McCamy CS, Marcus H and Davidson JG: A color-rendition chart, Jr. Photographic Engng. 2-3, pp.95-99 (1976)
- (14) Hashimoto K, Yano T, Tonomoto T, Tabata Y and Nayatani Y: Suggested method of specifying the color rendering properties of light sources, 平6照学全国大会・国際シンポジウム講演論文集 P-2, pp.379-380 (1994)
- (15) Lovett PA, Hill AR and Halstead MB: The effect on clinical judgements of new types of fluorescent lamp: III, Further statistical analyses leading to a new specification for lamps. Lighting Res.Technol. 23-1, pp.69-80 (1991)
- (16) JIS Z 9112: 蛍光ランプの光源色及び演色性による区分 (1990)

- (17) IEC 81-1984: Tublar Fluorescent Lamps for General Lighting Service, 4th Ed. Amendments 3 (1992) and 4 (1993)

(受付日1996年6月5日/採録日1996年9月3日)

はしもとけんじろう
橋本健次郎 (専門会員)

松下電器産業株式会社
〒

昭和24年5月12日生まれ、昭和50年京都工芸繊維大学工学研究科電気工学修士過程修了、同年松下電器産業(株)に入社、平成6年3月博士(学術)。目立ち感情に基づく明るさ感の効果、色知覚特性に関する研究開発に従事、日本色彩学会、テレビジョン学会、日本人間工学会、日本視覚学会所属。

もり れお
森 礼於 (専門会員)

東芝ライテック株式会社

1925年7月16日東京生れ。1944年9月台北高校(理工)、1947年4月東大(物理)卒。1960年4月工学博士。1947年10月～1988年7月東芝(総合研究所首席技監)、1988年9月～1991年7月スガ財団(技術主幹)、1991年10月～1993年12月東芝ライテック(技術顧問)在籍。現在、東芝ライテック(株)参与。測色、演色、光源の開発、郵政等自動化機器開発に従事。照明学会、日本照明委員会、日本色彩学会名誉会員。

やの まさひろ
矢野 正 (正会員)

松下電器産業株式会社
〒

昭和39年6月11日生まれ、平成1年千葉大学大学院工学研究科画像工学修士過程修了、同年松下電器産業(株)に入社、照明研究所で光源の演色性評価技術、高齢者の不快グレア、色識別性に関する研究開発に従事。日本色彩学会、日本視覚学会、日本光学会所属。

なやたに よしのぶ
納谷 嘉信 (専門会員)

大阪電気通信大学

昭和2年5月25日生まれ、昭和26年大阪大学工学部電気工学科卒業、昭和26年4月電気試験所(現、電子技術総合研究所)に入所、大阪支所に配属され、色彩計測および色彩感覚に関する研究に従事。大阪支所長を経て、現在、大阪電気通信大学工学部経営工学科教授、昭和41年5月照明学会賞を受賞、昭和63年5月照明学会副会長。電気学会、日本光学会、心理学会、日本色彩学会、日本人間工学会、日本照明委員会、OR学会、品質管理学会、行動計量学会各会員。