

# 127. 均等色空間における測色上の色差と知覚された色差との比較

荒川真澄 黒田厚志 樋山秀敏 得能かおり 難波英嗣 池田紘一  
東京理科大学

1. はじめに  
色差とは、色の知覚的な相異を定量的に表したものであるが、XYZ表色系での距離として求めた色差は、知覚的には均等にはならない。これを改良するために各種の均等色空間が考え出されてきた。CIEではXYZ座標に座標変換を施した均等色空間を考案し、CIE1976L\*a\*b\*空間及びCIE1976L\*u\*v\*空間を勧告した。しかし、いずれの空間においても色差を均等に表示するにはいたっていない。  
そこで本研究ではL\*a\*b\*空間、L\*u\*v\*空間及び新均等色空間NC-IIIICといった各種均等色空間における色差式に加え、L、C、Hについて、異なる重みを用いて計算するCIE-LCH色差式で求めたそれぞれの色差と知覚上の色差とを比較検討する。

## 2. NC-IIIIC空間の色差式及びCIE-LCH色差式

<NC-IIIIC空間>  

$$\Delta E = ((\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$$

$$L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16$$

$$a^* = k_1 \cdot k_2 \cdot a''$$

$$b^* = k_1 \cdot k_2 \cdot b''$$

$$a'' = 255 r [(X/X_0)^{1/3} - \gamma (Y/Y_0)^{1/3} + (1-\gamma)(Z/Z_0)^{1/3}]$$

$$b'' = 255 [(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}]$$

$$r = 2.614040, \gamma = 0.974180$$

$$k_1 = 1 - 0.10153 [1 + 0.210 \sin(\theta - \theta_0)]^8$$

$$k_2 = 1 - 0.00264 [1 - 1.830 \cos(\theta - \theta_0)]^4$$

$$\theta = \tan^{-1}(b''/a'') = \tan^{-1}(b^*/a^*), \theta_0 = 6.6^\circ$$

## <CIE-LCH色差式>

$$\Delta E = [((\Delta L/1)^2 + (\Delta C^*_{ab}/(1+0.045C^*_{ab}))^2 + (\Delta H^*_{ab}/(1+0.015C^*_{ab}))^2)]^{1/2}$$

$$\Delta C^*_{LCH} = \Delta C^*_{ab} / (1+0.045C^*_{ab}) = \Delta C^*_{ab} / K_c$$

$$\Delta \theta_{LCH} = \Delta \theta_{ab} / (1+0.015C^*_{ab}) = \Delta \theta_{ab} / K_h$$

$$a^*_{LCH} = C^*_{LCH} \cos \theta_{LCH}$$

$$b^*_{LCH} = C^*_{LCH} \sin \theta_{LCH}$$

## 3. 視覚実験

視覚実験に用いるのは色相方向の色差を考えるためのV=6, クロマ=8の160色を40色ずつ8つに分けたものとクロマ方向の色差を考えるためのH=5R, 5Y, 5Y, 7.5GY, 3.5G, 10BG, 2.5PB, 5RPの8色相155色を用いた。図3に視覚実験に用いた色票を示す。  
視覚実験を行う前に乱数表を用いて色票対を作製し、同時に色差を判定する際に用いる基準色票も作製した。基準色票には無彩色のNo. 7-8を用いた。上記の視覚実験用色票対を用い二つの光源からの光の下で視覚実験をそれぞれ行った。

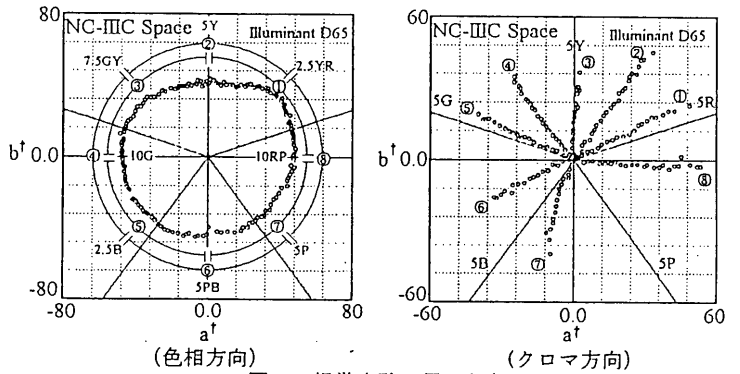


図3 視覚実験に用いた色票

光源からの光として、CIEで定められた標準の光Aと標準昼光D65を用いる。本研究では図4に示したような実験用の台を用い、光源を設置し、各色票対に対しての視感判定を行った。また、照度は平均でA光源、D65光源ともに約1000 [lx]に設定し、色差評価を行った。差評価の被実験者は2人で一つの色票対に対して1人3回の色差評価を行い、2人で合計6回のデータを平均したものをその色票対の知覚される色差とした。

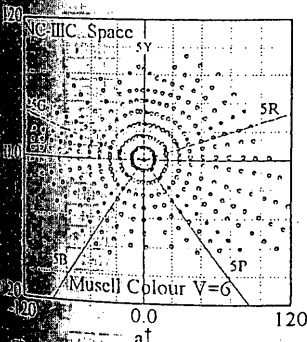


図1 NC-IIIIC空間におけるJISのマンセル系の色

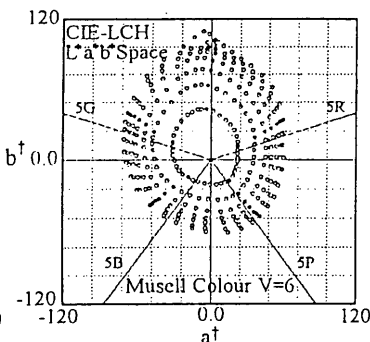


図2 L\*a\*b\*空間で異なる重みを用いて表示したJISのマンセル系の色

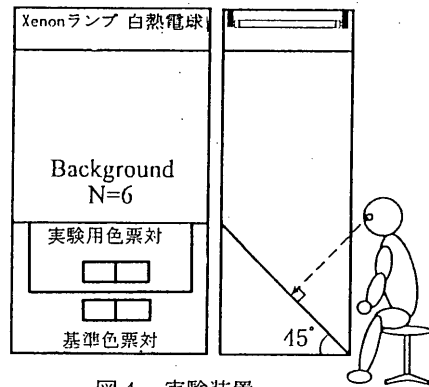


図4 実験装置

Correspondence between perceived colour differences and colorimetric colour differences in uniform colour space

Masumi Arakawa Atsusi Kuroda Hidetosi Hiyama Kaori Tokunou Hidetugu Nanba Koiti Ikeda

4. 実験結果

上記の色票対を測色し、 $L^*a^*b^*$ 、 $L^*u^*v^*$ 、NC-IIIC各種均等色空間における色差式及びCIE-LCH色差式により求められる色差と知覚される色差との対応についての相関を求めた。

図5のグラフにおける●は測色で得られた色差と知覚される色差との対比を表し、○は相関係数を表している。なお、各種色差式による測色で得られた色差と知覚される色差との対比及び相関係数をそれぞれ表1、2に示す。

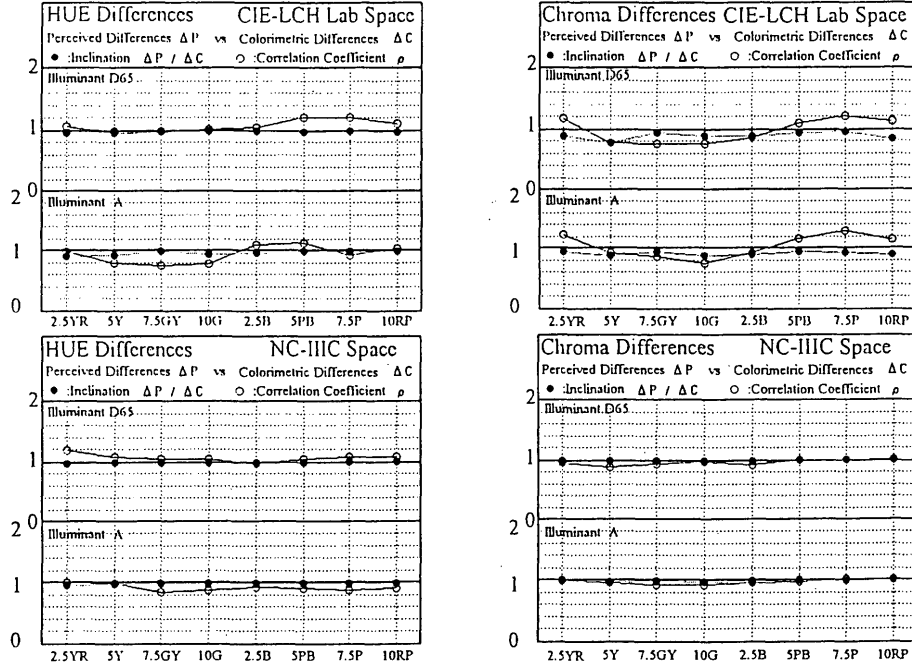


図5 各種色差式による知覚された色差と測色によって求められた色差との対比と相関係数

表1 各種色差式による色相方向における知覚された色差と測色によって求められた色差との対比と相関係数

L*a*b* Hue Differences											
	HUE	2.5YR	5Y	7.5GY	10G	2.5B	5PB	7.5P	10RP	MAX	MIN
D65	$\Delta P/\Delta C$	1.11	1.01	1.08	1.15	1.28	1.54	1.57	1.32	1.01	1.57
	$\rho$	0.930	0.950	0.972	0.974	0.942	0.944	0.971	0.948	0.903	0.974
A	$\Delta P/\Delta C$	1.01	0.88	0.87	0.98	1.21	1.27	1.18	1.14	0.87	1.27
	$\rho$	0.923	0.909	0.980	0.966	0.968	0.989	0.977	0.980	0.909	0.989

L*u*v* Hue Differences											
	HUE	2.5YR	5Y	7.5GY	10G	2.5B	5PB	7.5P	10RP	MAX	MIN
D65	$\Delta P/\Delta C$	1.08	0.91	1.01	1.07	1.19	1.35	1.13	1.04	0.91	1.35
	$\rho$	0.891	0.956	0.972	0.988	0.918	0.969	0.952	0.979	0.891	0.988
A	$\Delta P/\Delta C$	0.56	0.49	0.62	0.93	0.78	0.74	0.74	0.73	0.49	0.93
	$\rho$	0.699	0.989	0.816	0.912	0.889	0.989	0.952	0.829	0.699	0.989

NC-IIIC Hue Differences											
	HUE	2.5YR	5Y	7.5GY	10G	2.5B	5PB	7.5P	10RP	MAX	MIN
D65	$\Delta P/\Delta C$	1.19	1.07	1.05	1.05	0.96	1.05	1.07	1.07	0.96	1.19
	$\rho$	0.961	0.976	0.984	0.982	0.982	0.984	0.995	0.994	0.961	0.995
A	$\Delta P/\Delta C$	1.01	0.99	0.85	0.87	0.93	0.90	0.88	0.90	0.85	1.01
	$\rho$	0.956	0.965	0.983	0.992	0.984	0.992	0.996	0.989	0.956	0.996

CIE-LCH Hue Differences											
	HUE	2.5YR	5Y	7.5GY	10G	2.5B	5PB	7.5P	10RP	MAX	MIN
D65	$\Delta P/\Delta C$	1.06	0.95	0.97	1.02	1.04	1.20	1.20	1.11	0.95	1.20
	$\rho$	0.941	0.978	0.980	0.981	0.981	0.966	0.973	0.971	0.941	0.981
A	$\Delta P/\Delta C$	0.98	0.80	0.74	0.77	1.10	1.13	0.92	1.04	0.74	1.13
	$\rho$	0.915	0.924	0.988	0.947	0.955	0.985	0.981	0.994	0.915	0.994

表2 各種色差式によるクロマ方向における知覚された色差と測色によって求められた色差との対比と相関係数

L*a*b* Chroma Differences											
	HUE	2.5YR	5Y	7.5GY	10G	2.5B	5PB	7.5P	10RP	MAX	MIN
D65	$\Delta P/\Delta C$	0.91	0.72	0.56	0.65	0.69	0.95	1.07	1.04	0.56	1.07
	$\rho$	0.979	0.960	0.970	0.986	0.981	0.997	0.990	0.993	0.960	0.997
A	$\Delta P/\Delta C$	0.94	0.77	0.62	0.64	0.77	0.97	1.08	1.06	0.62	1.08
	$\rho$	0.987	0.969	0.980	0.976	0.985	0.998	0.995	0.998	0.969	0.998

L*u*v* Chroma Differences											
	HUE	2.5YR	5Y	7.5GY	10G	2.5B	5PB	7.5P	10RP	MAX	MIN
D65	$\Delta P/\Delta C$	0.69	0.65	0.61	0.70	0.75	0.81	0.76	0.90	0.61	0.90
	$\rho$	0.980	0.975	0.964	0.986	0.985	0.996	0.989	0.984	0.964	0.996
A	$\Delta P/\Delta C$	0.50	0.53	0.81	0.56	0.45	0.60	0.82	0.47	0.45	0.82
	$\rho$	0.986	0.985	0.986	0.985	0.985	0.991	0.984	0.996	0.984	0.996

NC-IIIC Chroma Differences											
	HUE	2.5YR	5Y	7.5GY	10G	2.5B	5PB	7.5P	10RP	MAX	MIN
D65	$\Delta P/\Delta C$	0.94	0.89	0.93	0.97	0.91	1.00	1.00	1.01	0.89	1.01
	$\rho$	0.981	0.972	0.979	0.987	0.986	0.998	0.989	0.994	0.972	0.998
A	$\Delta P/\Delta C$	1.00	0.96	0.93	0.93	0.96	0.98	1.02	1.02	0.93	1.02
	$\rho$	0.987	0.976	0.984	0.978	0.988	0.998	0.996	0.998	0.976	0.998

CIE-LCH Chroma Differences											
	HUE	2.5YR	5Y	7.5GY	10G	2.5B	5PB	7.5P	10RP	MAX	MIN
D65	$\Delta P/\Delta C$	1.17	0.77	0.76	0.76	0.85	1.09	0.20	1.13	0.76	1.20
	$\rho$	0.887	0.779	0.933	0.891	0.888	0.924	0.946	0.840	0.779	0.946
A	$\Delta P/\Delta C$	1.22	0.92	0.85	0.74	0.92	1.17	1.29	1.15	0.74	1.29
	$\rho$	0.939	0.872	0.934	0.883	0.888	0.939	0.930	0.898	0.872	0.939

5. 結論

$L^*a^*b^*$ 空間における色差式は色相方向についてはP、B付近において知覚される色差が測色で求められた色差に比べ大きくなっており、クロマ方向については反対にY付近において測色で求められる色差の方が大きく5になっている。これを改良したCIE-LCHにもこの

傾向は見られる。また、 $L^*u^*v^*$ 空間における色差式は全体的に測色で求められた色差の方が大きくなる傾向がある。新均等色空間NC-IIICにおける色差式は色相方向、クロマ方向のいずれについても知覚された色差と測色で求められた色差とがほぼ一致しており、他の色差式と比較して優れていることがわかった。