

巨視的評価による色差空間構成

Color Difference Space Construction by Macroscopic Evaluation

中川 隆子

要 約

色差は、微視的な立場と巨視的な立場の、2つの方向から研究することが重要である。

これまで、微視的な立場では、マンセル表色系の彩度と明度の影響を検討して報告し¹⁾、色差による問題は、巨視的な立場として論じてきた²⁾。この実験方法として、色差の検討試料の明度6、彩度8の20色相を選出し、20色相すべての2色の組合せで並置し、この色差判定後のデータに基づいた色差空間構成は、*eij*型数量化法を用いて試した。

色差の色構成は、赤、黄、緑、青、紫の順で、色相環を配列している。微視的評価による色差の空間構成も、巨視的評価とほぼ同様の結果となり、相関性が認められた。また、CIE 1998 ($L^*a^*b^*$) と CIE1998 ($L^*u^*v^*$) の2つの色差式においては、巨視的な立場に立った心理的評価が認められた。

キーワード：色差、微視的評価、巨視的評価、色差空間構成、色相環

緒 言

日常、われわれが色の差を比較するさい、きわめてわずかな色の差を評価する場合と、大きな色の差を評価する場合とがある。そこで、色差の表示を確立するためには、微視的な立場と巨視的な立場との両面から検討する必要がある。

微視的な面については、前報までに、マンセル表色系の明度を一定に保ち、彩度を変化させた場合¹⁾、および彩度を一定に保ち、明度を変化させた場合²⁾の色相弁別閾を極小変化法により求め、色差に及ぼす明度・彩度の影響を検討し、報告してきた。

他に、2002年AICトロイ大会におけるFred W. Billmeyer, Jr.³⁾の講演では、マンセル表色系の中から特定の色相を選び、*H, V, C*をおおの段階変化させ、測色値と視覚尺度との関連を検討した結果、大きな色差から識別可能な小さな色差まで、視覚的に均一であるという報告もある。

さらに、池田ら⁴⁾は、各種光源の下で測色上の色差と知覚される色差との比較において、物体色の知覚される色差に関する視覚心理実験を行うとともに、CIE 1998 ($L^*a^*b^*$) と CIE 1998 ($L^*u^*v^*$) の式を用い、どちらが知覚される色差とよりよく対応するかを比較検討している。また、Kuehniら⁵⁾も小さな色差による

視感尺度の実験を行った報告などがある。

そこで、本研究では、巨視的な面より色差の評価を行い、SD法による5段階評価で視感判定し、*eij*型数量化法を用いて色差の空間構成を試み、色差の表示を確立するための一資料を得た。また、微視的な面についても色差の空間構成を行い、巨視的な評価との関連を検討した。

さらに、色差の空間構成より求めた相対距離とCIE 1998均等空間に代表される色差式との相関係数を算出し、心理的評価と物理的測定との一致性を追究した。

実験方法

試料は、色差の検討においてJIS標準色票の明度6、彩度8を照合し、各色相環2.5Rから10RPまでの40色相と、明度6、彩度4の2.5Rから10Bまでの28色相、さらに明度6、彩度2の2.5Rから2.5Gまでの17色相を作製した。その中より、今回は、表1に示した明度6、彩度8の5Rから10RPまでの20色相を選出した。これらの試料の色相、明度、彩度 (*HV/C*) とその色度座標 (*x, y*)、主波長は表1のとおりで、明度の平均値5.96、標準偏差0.26、彩度の平均値7.72、標準偏差0.85である。

視感判定に提示する試料は、20色相によるすべての2色の組合わせの合計190通りを、N 7.5の台紙上に直径10cmの半円を等面積の2色で並置し、図1に示すよ

表1 試料

目標値		作製試料による測定値				
HV/C		HV/C		λ	y	主波長 (nm)
5.0R	6/8	5.0R	5.9/9.0	0.437	0.319	613.3
10.0R	6/8	10.0R	6.0/8.8	0.469	0.365	593.6
5.0YR	6/8	5.0YR	6.4/8.6	0.468	0.386	587.6
10.0YR	6/8	10.0YR	6.0/8.0	0.459	0.424	582.0
5.0Y	6/8	5.0Y	6.2/7.4	0.437	0.449	577.1
10.0Y	6/8	10.0Y	6.4/7.0	0.406	0.465	571.6
5.0GY	6/8	5.0GY	6.2/8.0	0.359	0.482	563.0
10.0GY	6/8	10.0GY	5.7/8.8	0.304	0.461	547.6
5.0G	6/8	5.0G	5.9/7.8	0.259	0.388	509.7
10.0G	6/8	10.0G	6.2/6.5	0.256	0.360	500.8
5.0BG	6/8	5.0BG	6.1/6.2	0.244	0.332	493.8
10.0BG	6/8	10.0BG	5.6/7.0	0.227	0.299	488.2
5.0B	6/8	5.0B	5.7/7.7	0.212	0.270	485.1
10.0B	6/8	10.0B	5.9/8.4	0.208	0.235	480.6
5.0PB	6/8	5.0PB	5.6/7.0	0.236	0.239	476.6
10.0PB	6/8	10.0PB	5.8/7.0	0.269	0.245	460.5
5.0P	6/8	5.0P	5.6/7.0	0.293	0.250	— 562.0
10.0P	6/8	10.0P	5.7/7.2	0.328	0.263	— 529.2
5.0RP	6/8	5.0RP	6.1/8.5	0.369	0.281	— 497.9
10.0RP	6/8	10.0RP	6.1/8.0	0.393	0.311	631.0

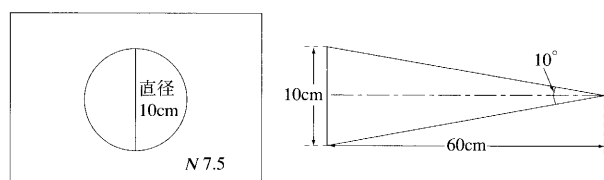


図1 試料の構成と視感判定方法

うに構成した。

視感判定は、北窓自然昼光、照度1,000～1,100ルクスのもとで、試料との視角が10° 視野になるよう、判定距離を約60cmとした。

被験者は本学学生54名で、2名ずつ1組とし、判定方法は試料をランダムに提示してゆき、1試料について「色の差がある—色の差がない」「親近性がある—親近性がない」「対比性がある—対比性がない」「強弱感がある—強弱感がない」の4尺度を用いて、5段階評価によるSD法で行った。

これらの視感判定より、「非常に差がある」に5点、「やや差がある」に4点、「中間」に3点、「やや差がない」に2点、「非常に差がない」に1点の得点を与え、各段階における判定者数を掛け、評価の平均値を算出した。その結果の中の「色の差がある—色の差がない」について、表2に示した。

この評価の平均値から、4尺度について、互いの相関係数を求めた。また、微視的評価との関連性について検討するため、前実験において調べた、ちょうど可知差異 (j.n.d.) の数を基にして、4尺度とJ.n.d.の数による相関係数を求めた。

次に、*eij* 型数量化法⁶⁾を用いて、色差の空間構成を試みた。この方法によれば、2色の組み合わせである190通りの結果がすべて包含され、色の差のない色相は近くに、色の差のある色相は遠くなるよう、20色相を同一の空間内に位置付けることができる。そこで、先の5段階評価による「中間」の項目をはさんで、「差がある」「差がない」の3段階に分け、この段階における各判定者数を数え、全判定者数に対する比率を計算した。その「色の差がない」と判定した比率マトリックスを、表3に示した。そして、全判定者数に対して「色の差がない」と判定した表3の数値を用いて、色差の空間分布を求めた。この数量化法による各尺度間の色差の空間構成の分布から、色相間における色の差異の特徴を検討するとともに、この空間における190通りの相対距離を算出し、4尺度の互いの関係ならびに4尺度とj.n.d.の数による相関係数を求めた。

また、視感判定による結果とCIE 1998均等空間に代表される色差式⁷⁾との相関を求めるため、先に算出した相対距離とこれに対応する試料間の色差値を計算し、心理的評価と物理的測定との一致性を追究した。

実験結果および考察

色差をSD法により視感判定し、次のような結果を得た。「色の差がある—色の差がない」の尺度の平均値は、表2に示したように5Rと5BG、10Rと10B、5YRと5B、5YRと10B、5Gと5RPの間は色の差が非常に大きいと判断し、10GYと5G、5Gと10G、10Gと5BG、5Bと10Bの間は色の差が非常に小さいと判断している。また、10Rと10Y、5Gと5PB、5Bと5Pの間においては、色の差を前二者の中間の段階に判断している。しかし、非常に色の差が小さいものの中にも、色相によって差が認められた。この詳細については、色差の空間構成の結果より述べることにする。なお、他の3尺度についても、ほぼ同様の結果が得られた。

この評価の平均値を用いて、4尺度について互いの相関係数を算出し、表4に示した。その結果、「色の差がある」「親近性がない」「対比性がある」「強弱感がある」という、いずれの評価尺度との組合せに対しても、0.95以上の高い相関が認められ、4尺度が色の差を評価するさい、色の差については、すべて同様の意味解釈をして判定しているものと考えられる。

以上の結果と微視的評価との関連性を追究するため、j.n.d.の数をもとに、4尺度との相関係数を求めた。このj.n.d.の数においても危険率1%有意となり、相関が得られ、巨視的な色の見方と微視的な色の見方との

表2 SD法による視感判定結果（色の差がある一色の差がない）

	5 R	10 R	5 Y R	10 Y R	5 Y Y	10 Y Y	5 G Y	10 G Y	5 G G	10 G G	5 B G	10 B G	5 B B	10 B B	5 P B	10 P B	5 P P	10 P P	5 R P	10 R P
5R		1.25	2.00	2.16	3.58	3.69	3.83	4.32	4.16	4.24	4.51	4.34	4.26	4.49	4.29	3.44	2.09	1.62	1.36	1.05
10R			1.42	1.85	2.76	3.03	3.80	4.48	4.27	4.17	4.29	4.40	4.50	4.67	4.20	4.16	3.13	2.44	2.20	1.62
5YR				1.33	2.51	2.00	3.66	4.11	4.15	4.04	4.02	4.40	4.58	4.72	4.22	4.13	3.72	3.26	2.67	2.00
10YR					1.36	1.89	2.55	3.47	3.44	3.45	3.91	4.20	4.02	4.49	3.82	4.22	3.95	3.33	3.64	2.38
5Y						1.30	2.18	2.35	2.73	2.27	3.22	4.07	4.11	4.26	3.51	3.85	3.56	3.36	3.69	3.91
10Y							1.06	1.82	2.35	2.18	3.34	3.46	4.20	4.07	3.49	3.87	3.93	3.86	3.90	3.51
5GY								1.11	1.42	1.62	2.07	2.40	3.27	3.29	3.09	4.05	4.29	3.53	4.02	4.36
10GY									1.04	1.73	1.96	2.11	2.82	2.73	2.91	3.96	4.38	3.91	4.42	4.42
5G										1.04	1.11	1.38	2.44	2.36	3.03	3.95	3.95	4.02	4.51	4.41
10G											1.00	1.62	1.44	2.67	2.47	3.42	3.75	3.82	4.09	4.00
5BG												1.22	1.53	1.64	1.93	3.16	3.84	3.93	4.35	4.16
10BG													1.06	1.23	2.00	2.64	3.24	3.84	4.62	4.46
5B														1.00	1.36	2.47	3.00	3.62	3.91	4.33
10B															1.16	2.22	2.89	4.02	4.46	4.28
5PB																1.38	2.31	2.91	3.73	4.07
10PB																	1.16	1.46	2.57	2.15
5P																		1.06	1.46	1.67
10P																			1.36	1.42
5RP																				1.06
10RP																				

表3 「色の差がない」による比率マトリックス

	5 R	10 R	5 Y R	10 Y R	5 Y Y	10 Y Y	5 G Y	10 G Y	5 G G	10 G G	5 B G	10 B G	5 B B	10 B B	5 P B	10 P B	5 P P	10 P P	5 R P	10 R P
5R		0.98	0.82	0.76	0.09	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	0.07	0.18	0.84	0.95	0.95	1.00
10R			1.00	0.80	0.49	0.33	0.05	0.00	0.04	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.29	0.62	0.75	0.98
5YR				1.00	0.56	0.85	0.13	0.04	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.13	0.27	0.36	0.80
10YR					1.00	0.85	0.60	0.11	0.16	0.20	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.22	0.18	0.58
5Y						0.98	0.80	0.69	0.47	0.75	0.25	0.02	0.00	0.00	0.15	0.00	0.16	0.13	0.05	0.00
10Y							1.00	0.93	0.73	0.82	0.25	0.13	0.00	0.00	0.15	0.09	0.05	0.04	0.02	0.15
5GY								1.00	1.00	0.98	0.89	0.62	0.20	0.18	0.31	0.05	0.00	0.16	0.04	0.00
10GY									1.00	0.87	0.87	0.69	0.47	0.47	0.36	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
5G										1.00	1.00	0.96	0.58	0.69	0.33	0.04	0.02	0.09	0.00	0.00
10G											1.00	0.96	0.95	0.55	0.60	0.22	0.05	0.07	0.05	0.04
5BG												1.00	0.96	0.91	0.91	0.27	0.00	0.04	0.00	0.00
10BG													1.00	0.98	0.82	0.36	0.22	0.09	0.00	0.00
5B														1.00	0.98	0.65	0.47	0.07	0.00	0.00
10B															1.00	0.71	0.44	0.09	0.02	0.00
5PB																0.93	0.60	0.44	0.18	0.07
10PB																	1.00	1.00	0.62	0.82
5P																		1.00	1.00	0.95
10P																			0.96	0.95
5RP																				1.00
10RP																				

表4 視感判定結果による各尺度間ならびに各尺度とj. n. d. の数との相関係数

評価尺度	相 関 係 数				
	色の差がある	親近性がない	対比性がある	強弱感がある	j. n. d. の数
色の差がある		0.989**	0.967**	0.955**	0.897**
親近性がない			0.966**	0.958**	0.906**
対比性がある				0.961**	0.874**
強弱感がある					0.853**
j. n. d. の数					

** 1%有意

間には一致性が認められた。

次に、各色相が空間上においてどのように位置するかを検討するため、視感判定の結果から算出した表3に示す比率を用いて、 eij 型数量化法により色差の空間構成を行い、その結果を図2, 3, 4に示した。

eij が「色の差がない」においては、図2に示すように5Rから10RPまでの全色相が、I 軸とII 軸の2次元平面空間上に一巡して分布している。この色差の空間において、I 軸上では5Rと5BGが対の関係にあり、II 軸上では5Yと10PBであり、とくに5Yと10PBの色相の間は、色の差が最大であると判定している。これは、修正マンセル表色系の知覚等歩度分割のほぼ反対色に該当する色の組合せにあたり、この色差の空間分布においても、相向かい合う色相は等歩度分割による色相環と大略一致した。そして、相向かい合う色相についても、R系とG系の色の差よりも、Y系とB系の色の差のほうが、やや大きく判定する傾向がみられた。

また、隣接する色相にも色の差の大小があり、5PB～5R～5GYにかけては相対距離が大きく、色の差がやや大きいことを示している。なかでも、5Rと10R、10Rと5YR、10YRと5Y、10Yと5GY、5PBと10PBの間は、色の差を大きく判定している。反対に、5GY～5B～5PBにかけては、先に比較して相対距離が小さく、色の差は小さく判定している。とりわけ、5Gと10G、5Bと10Bの間は色の差が小さく、G系、B系はR系、Y

系よりも、色の差をいっそう小さく判定することが明らかとなった。

eij が「親近性がある」においては、図3に示すように20色相がI 軸とII 軸上に位置し、「色の差がない」とほとんど合致した色差の空間構成をしている。さらに、 eij が「対比性がない」「強弱感がない」については、図は省略したが、「色の差がない」「親近性がある」と類似した色差の空間構成を示した。

これらの色差の空間分布より得られた各軸の寄与率をみると、表5に示すように「色の差がない」においては、I 軸の寄与率が0.95857と高い数値を示し、II 軸では0.03545、III 軸では0.00551、IV 軸では0.00045の数値が認められた。このI、II 軸の累積寄与率は0.99402となり、構成した色差空間は、I 軸とII 軸で空間分布の大部分を現しており、20色相の位置がほぼ代表されるものと考えられる。しかし、本実験は明度と彩度を一定にし、色相のみを変化させて評価を行ったので、色差空間は楕円になるはずであるが、図2において、10Y、10G、5PB、5RPは構成した空間分布の円より多少ずれた点を示した。これは、試料作製のさい、明度と彩度にやや高低が生じ、先の10Y、10G、5PBは周囲の色に比べて彩度がやや低く、5RPはやや高くなり、隣接する色に対して彩度差が認められたと思われる。

同様に、I、III 軸の色差空間においては5YR、5RP

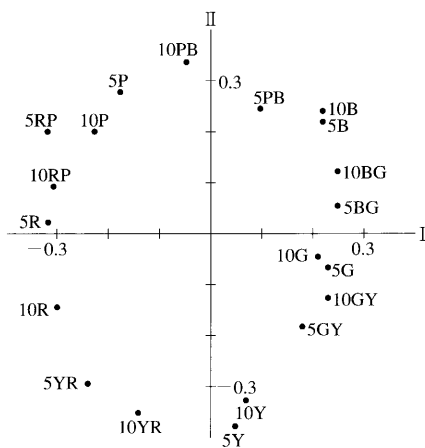


図2 色差の空間構成
 eij =色の差がない

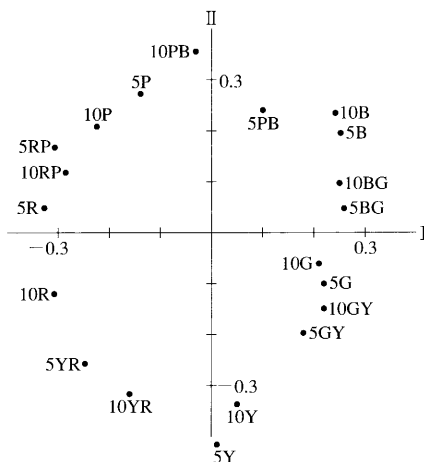


図3 色差の空間構成
 eij =親近性がある

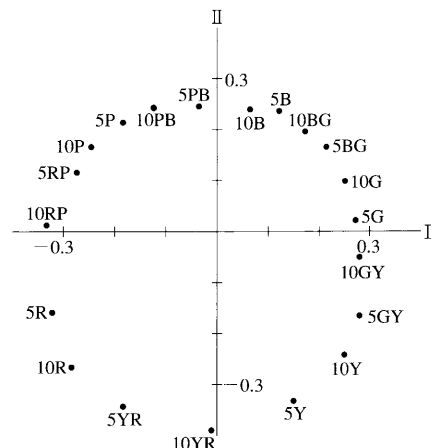


図4 色差の空間構成
 eij =j. n. d. の数

表5 各軸の寄与率

	色の差がない		親近性がある		対比性がない		強弱感がない		j. n. d. の数	
	寄与率	累積寄与率	寄与率	累積寄与率	寄与率	累積寄与率	寄与率	累積寄与率	寄与率	累積寄与率
I	0.95857	0.95857	0.96203	0.96203	0.96473	0.96473	0.96841	0.96841	0.96656	0.96656
II	0.03545	0.99402	0.03187	0.99390	0.02903	0.99376	0.02750	0.99591	0.02733	0.99389
III	0.00551	0.99953	0.00562	0.99952	0.00577	0.99953	0.00382	0.99973	0.00576	0.99965
IV	0.00045	0.99998	0.00046	0.99998	0.00045	0.99998	0.00026	0.99999	0.00032	0.99997

表6 相対距離による各尺度間ならびに各尺度とj. n. d. の数との相関係数

評価尺度	相 関 係 数				
	色の差がない	親近性がある	対比性がない	強弱感がない	j. n. d. の数
色の差がない		0.992**	0.979**	0.933**	0.915**
親近性がある			0.978**	0.933**	0.918**
対比性がない				0.976**	0.881**
強弱感がない					0.827**
j. n. d. の数					

** 1%有意

表7 色差公式と色差の空間構成との相関係数

色 差 式	相 関 係 数				
	色の差がない	親近性がある	対比性がない	強弱感がない	j. n. d. の数
CIE 1976 ($L^*a^*b^*$)	0.889**	0.896**	0.903**	0.891**	0.906**
CIE 1976 ($L^*u^*v^*$)	0.488**	0.493**	0.500**	0.494**	0.515**

** 1%有意

が円からごくわずかにずれた点に位置し、これは、明度や彩度がやや高いためであり、I、IV軸では10Rと5RPが楕円から若干ずれ、これは、彩度がやや高いことに起因してきたものと考えられる。

また、「親近性がある」「対比性がない」「強弱感がない」の尺度に対しても、各軸の寄与率は「色の差がない」とほぼ同様の数値が認められ、色差の空間分布と大略一致した傾向を示した。

次に、微視的評価によるj.n.d.の数をもとにして求めた色差の空間分布は、図4に示すように、全色相が2次元平面空間上に循環して、整然と並んでいる。この空間で、I軸とII軸上において対の関係となる色相は、5Rと10G、5Yと10PBである。隣接する色相の相対距離は、5RP～5YR～10GYにかけて色の差がやや大きく、5GY～5B～5RPの間は色の差が小さくなっており、前4尺度とほぼ同様の色差空間を構成した。このj.n.d.の空間分布の寄与率も前記4尺度と似た数値を示し、巨視的評価の結果とよく一致した。

この色差の空間分布を基にして各色相の間の相対距離を算出し、4尺度について、互いの関係ならびに各尺度とj.n.d.の数との相関係数を求めた。この結果は表6に示すとおりで、巨視的評価、微視的評価ともに高い相関係数を示し、両者の関連性が認められた。また、*eij* 型数量化法を用いて色差の空間構成を行うことは、色相の分布状態が一見にして明らかとなり、色の差を調べるうえで適当であると考えられる。

次に、色差式から算出した色差値と、それに対する色差の空間構成から計算した相対距離との相関係数を求め、一致性を追究し、これを表7に示した。その結

果、CIE 1998 ($L^*a^*b^*$) とCIE 1998 ($L^*u^*v^*$) の公式はすべての評価に対し、危険率1%有意で相関が認められた。このように、いずれの評価にも相関性が得られたが、CIE 1998 ($L^*u^*v^*$) の公式はCIE 1998 ($L^*a^*b^*$) の公式に比べ、数値が低くなっている。ところで、これらの色差式⁸⁾について検討がなされたものをみると、CIE 1998 ($L^*u^*v^*$) は開口色の色弁別データを良好にすることから派生し、光の色評価が重視される分野に適合するとされており、一方、CIE 1998 ($L^*a^*b^*$) はマンセル色を均等に表示することから派生し、物体の色評価が重視される分野に適合するといわれている。そこで、本実験に使用した試料が、修正マンセル表色系を代表する色であったため、CIE 1998 ($L^*a^*b^*$) の公式がCIE 1998 ($L^*u^*v^*$) の公式よりも高い数値を示したものと考えられる。

結 論

色差の巨視的評価において、SD法により視感判定した結果、5Rと5BG、5YRと10B、5Gと5RPは色の差が大きく、10Rと10Y、5Gと5PBは中位となり、5Gと10G、5Bと10B、5BGと10BG、10Rと5YR、10YRと5Yは色の差が小さく判断された。しかし、色の差が小さいと判断された隣接する色相の中にも、色の差の大小が認められ、例えば、5Gと10G、5Bと10Bは最も色の差が小さく、10Rと5YR、10YRと5Yはやや色の差が大きいと判断された。

色差の空間構成においては、巨視的評価による各尺度とも類似した空間分布を示し、全色相が2次元平面空間上に一巡して位置した。微視的評価によるj.n.d.の

数を基にして求めた色差の空間構成も、巨視的評価とほぼ同様の結果となり、各尺度との相対距離の相関係数も有意となり、両評価の間には高い相関性が認められた。

また、視感判定と色差公式との関連性を求めた結果、CIE 1998 ($L^*a^*b^*$) と CIE 1998 ($L^*u^*v^*$) の色差式において、いずれも有意性が得られたが、とくに、CIE 1998 ($L^*a^*b^*$) のほうが、本実験の評価に高い相関があり、心理的評価と物理的測定との一致性が認められた。

引用文献

- 1) 中川隆子：色彩間における差の研究．高崎健康福祉大学紀要，2: 1-7，2003.
- 2) 中川隆子：色相弁別閾におよぼす彩度の影響．桐生短期大学紀要，15: 121-125，2004.
- 3) 大田 登：基本色にもとづく色空間の3次元ファジィ分割の試み．色彩誌，3: 35-41，2003.
- 4) 池田紘一，中山昌春ら：視覚特性の色差と心理．色彩誌，3: 12-17，2003.
- 5) R.G.Kuehni and R.T.Marcus: Colorimetric Approach to the Skin Color. Color Res. Appl., 4: 83-88, 1989.
- 6) 林 知己夫：統計数理研究．日科技連出版社（東京），112-145，1999.
- 7) A. R. Robertson: History of the Study on Defective Color Vision. Color Res. Appl., 10: 23-29, 1999.
- 8) 高浜幸太郎，側垣博明ら：知覚ディメンジョン．金原出版（東京），157-161，1998.

Color Difference Space Construction by Macroscopic Evaluation

Takako Nakagawa

Abstract

Microscopic and macroscopic approaches to the investigation of color difference are important. In microscopic evaluation, the effects of Munsell chroma and Munsell value on hue discrimination thresholds had been investigated systematically. This paper deals with the macroscopic evaluation of color difference. Color samples having Munsell chroma values of 6/8 were selected and 2 color combinations taken from 20 colors were prepared. Utilizing the *ej* method, the color difference space construction based on the results of the color difference evaluation was attempted.

The color difference was arranged in a hue circle according to the order of red, yellow, green, and blue. Both microscopic and macroscopic evaluation showed similar results. Two color difference equations CIE 1998 ($L^*a^*b^*$) and CIE 1998 ($L^*u^*v^*$) agree most with the psychological scale obtained from macroscopic evaluation.

Keywords: Color difference, Microscopic evaluation, Macroscopic evaluation, Construction of space in the color difference, Hue circle