

素材の違いによる色相弁別

白濁との関係

橋 本 令 子*・大 森 正 子**

Hue Discrimination by Difference of Material
Relationship to Cataract Cloudiness

Reiko HASHIMOTO and Masako OMORI

1. はじめに

高齢社会といわれる現在、増え続ける高齢者に快適で安全な日常生活を送ることができるよう環境整備が盛んに行われているが、視覚機能を把握した視環境の整備も重要である。

人間の視覚機能は加齢に伴って衰え、20歳頃が視力のピークを迎え、35歳頃から視力が低下し始め、個人差はあるが早い人は40歳頃より老眼が始まる。

こうした症状の一つに白内障がある。白内障¹⁾は、本来は無色透明であるべき水晶体の主成分であるタンパク質が加齢とともに白く濁り混濁が生じることで起こる。この影響により白内障になると光を透過して眼底の網膜上に結ばれる像が、光が眼底に届く前に散乱し網膜に結ぶ働きが弱くなり、細かい作業がしにくい、眼がかすむ、色合いの判別能力が衰える、まぶしさを感じるようになるといった様々な変化が起きてくる。

高齢者の色覚特性についてはこれまで各分野で研究^{2)~5)}が行われているが、近年、商品開発や文字の見やすさなどを検討するため、白内障の視覚に近い見え方をする疑似体験ゴーグル⁶⁾を使用した開発も多数行われている。しかし、実際の高齢者による色の見えは若年者とは違い個人差が大きいと考えられる。そこで今回は若年者と高齢者といった年齢による分類ではなく、白内障の原因となる白濁度測定を行い、各白濁レベルの色覚特性を正しく理解したうえで色相弁別実験を行うこととした。

色相弁別については、これまで矢野や下村⁷⁾ら、佐藤⁸⁾、宮本⁹⁾らが、100色相配列検査器（日本色彩研究所製ND-100）を使用し100hueテストを行い光源色が高齢者と若齢者の色識別に及ぼす影響を調べている。しかし日常生活の中で実際に目にし、使用している素材を用いた色相弁別についての研究はほとんどないことに筆者らは注目した。

そこで本研究は、ある程度一定の白濁レベルの人に適した素材・照明を明らかにすることで、視環境において快適な生活を送ることができる手助けとなることを目的として、2

* 生活科学部 生活環境デザイン学科

** 神戸女子大学 家政学部 家政学科

種の布を用いて各種照明光源下において実験を行い、水晶体の白濁が色相弁別能力に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 水晶体白濁度の測定による被験者選定

被験者の視覚機能を把握するため、名古屋大学情報連携基盤センターにて前眼部撮影解析装置（EAS-1000NIDEK 製）を使用して、水晶体白濁度を左右眼別に2回ずつ測定し、両眼平均値を算出した（図1）。

水晶体白濁度は、角膜前面と水晶体前面の曲率中心を通る測定軸上における濃度が0～255段階で表われ、数字が大きいほど白に近い。そこで白濁度0～99はレベル1（白濁なし）、100～149はレベル2（少し白濁あり）、150～199はレベル3（白濁あり）、200～255はレベル4（白濁が強い）とされている。

白濁度測定の結果を図2に示す。本測定結果より白濁なしとして21～22歳の女子学生5名を対象者として選出した。両眼平均白濁度はA49.0, B59.5, C57.5, D43.5, E47.0であり、平均白濁度は51.3標準偏差は±6.9である。白濁ありは、48歳以上の男女10名に対し測定を行った。その中から白濁なしと同人数とするために水晶体白濁度の高い対象者から男性3名、女性2名の5名を選出した。対象者の白濁度は70歳代がF190.0, G138.0, 60歳代がH135.0, I150.0, 50歳代がJ146.0であり、平均白濁度は151.8, 標準偏差は±22.6である。これより白濁度は年齢とともに上昇するが個人差が大きいことがわかる。

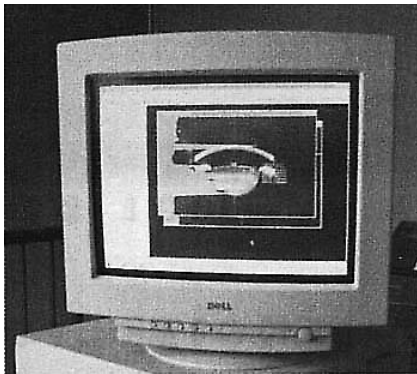


図1 水晶体白濁度測定

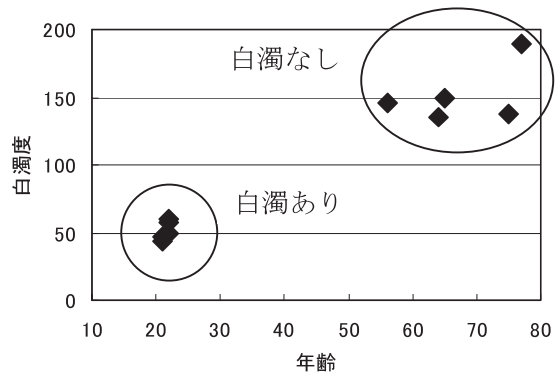


図2 被験者の白濁度測定結果

2.2 96色相配列検査器の作製

素材の異なる布を用いて色相弁別実験を行うにあたり、色相配列検査器を作製した。使用する素材は、表1に示すとおり日常生活の中で衣服やインテリア、カーテンなど広く用いられる綿の平織ブロードと朱子織サテンとした。ここでの布諸元は、色相弁別を行う際に関係すると判断される糸密度と光沢度を記した。

色相配列検査器は、色を見極める能力となる弁別能力が鋭いかそうでないかを判断する

素材の違いによる色相弁別

表 1 布諸元

試料	素材	糸密度(本/cm ²)	光沢度(入射角 60°)	組織
ブロード	綿	47 × 29	3.6	平織
サテン	綿	75 × 32	4.8	朱子織

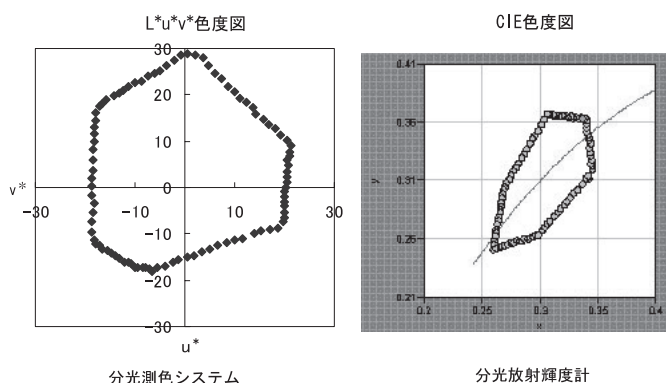


図 3 試料の測定

日本色研 100 色相配列検査器¹⁰⁾ を参考に作製した。この検査器の色彩基準は CIE 色度図の明度 6 の座標上から色が選ばれ 100 種類の色駒から作られており、環状に配列すれば等明度、ほぼ等彩度の色相環のうえで色変化を調べることができる。

そこで、100 色相配列検査器を見本にして、筆者らは明度 6 の試料を作成した。作製手順は、標準光源 D₆₅ の下で光による RGB の値を基に作られた Windows HSV Chart と 100 色相配列検査器を並置して視感判定した。そして Windows HSV Chart のの中から試料色を選出し、図 3 に示す分光測色システム Color Space for PC (村上色彩研究所製) を用いて、試料色の測定を行った。さらに分光放射輝度計 CS1000 (コニカミノルタ製) を使用して輝度測定を行い、96 色相 (平均色相角度 3.75°) を本実験試料として決定した。

これを EPSON MAX-ART7500 プリンターを使用して各布に印刷し、縦×横 1.5cm² の黒の亚克力台に縦×横 1.2cm² の試料を添付し、96 色相配列検査器 (96hue Test) とした。なお、各試料の一駒の面積は 100 色相配列検査器に準拠した。

作製した駒には No. 1 か No. 96 までの通し番号をつけ、24 個の駒を 1 サオとし、サオ 1 ～サオ 4 まで作製した。96 駒の色相を分類したところ、No. 1 ～ 8 は R (赤)、No. 9 ～ 15 は YR (黄赤)、No. 16 ～ 23 は Y (黄)、No. 24 ～ 36 は GY (黄緑)、No. 37 ～ 47 は G (緑)、No. 48 ～ 53 は BG (青緑)、No. 54 ～ 62 は B (青)、No. 63 ～ 76 は PB (青紫)、No. 77 ～ 84 は P (紫)、No. 85 ～ 96 は RP (赤紫) となった。

2.3 実験方法

実験装置は、横 75cm、奥行き 66cm、高さ 60cm の大きさの照明用機器 (TOSHIBA 製) を高さ 85cm の台の上に設置した。天井面には 3 種の蛍光灯を各 4 本取り付け、照明光

が均一に拡散するよう照明光源下に乳白色の亚克力板を設置した。装置内の壁面はN8.5、床面はN7とした。

使用する3種の照明光源は、3波長域発光型蛍光灯を使用した。光源の種類とそのエネルギー分光分布は表2と図4に示すが、ウォーム色（3200K）、ナチュラル色（5200K）、クール色（7200K）であり、光源演色性は84である。

実験は各光源を1種点灯し、まず始めに光源下で10分間、被験者の眼を順応させた。次に駒の並べ方を確認するため練習を1回行い、つづいて本実験を開始した。このとき、被験者が観察する面上の明るさは、作業を行うのに適正な照度である1200ルクスに設定した。

実験手順として1回にブロードとサテンの2種の素材を取りあげ光源とサオの呈示はランダムとした。そして実験者は1サオごとに24駒の色相をばらばらにして並べ、被験者の前に呈示した。被験者は制限時間となる2分以内で駒を色相順に並べ替え、1サオ終了ごとに2分間の休憩をとった。この方法で4サオを1サイクルとして実験を進めたが、白濁ありは眼が疲れ疲労感が生じるので、2素材×3光源の6サイクルについて3回に分けて行った。白濁なしも同様とした。

表2 光源の種類

光源	品番	全光束(lm)	色温度(K)	演色性(Ra)
ウォーム色	FL20SS. ELW/18	1470	3200	84
ナチュラル色	FL20SS. ENW/18	1470	5200	84
クール色	FL20SS. ECW/18	1380	7200	84

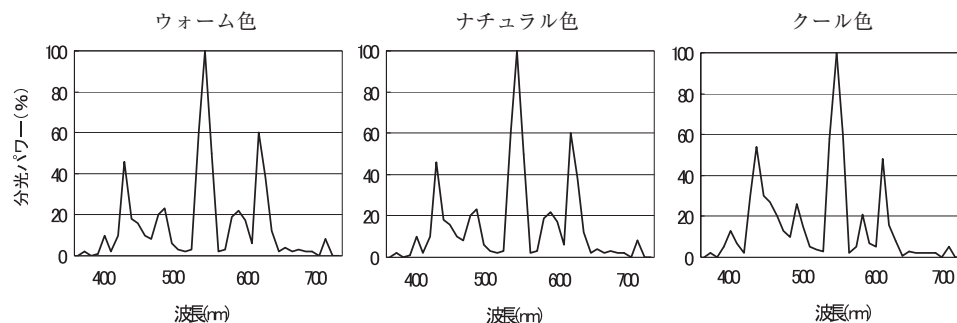


図4 照明光源の分光分布

3. 実験結果および考察

被験者が並べた駒は、駒の裏側に記載した色相番号と並んだ色相順とを照合して色相間の差を求め、エラースコアとした。エラースコアは駒の順番が間違っているほど大きくなるので、色相弁別能力が低いといえる。図5には白濁なし・ありの被験者の一例を示す。この結果を基にして白濁なしのグループ、ありのグループとしてまとめ全体、サオ別、色

素材の違いによる色相弁別

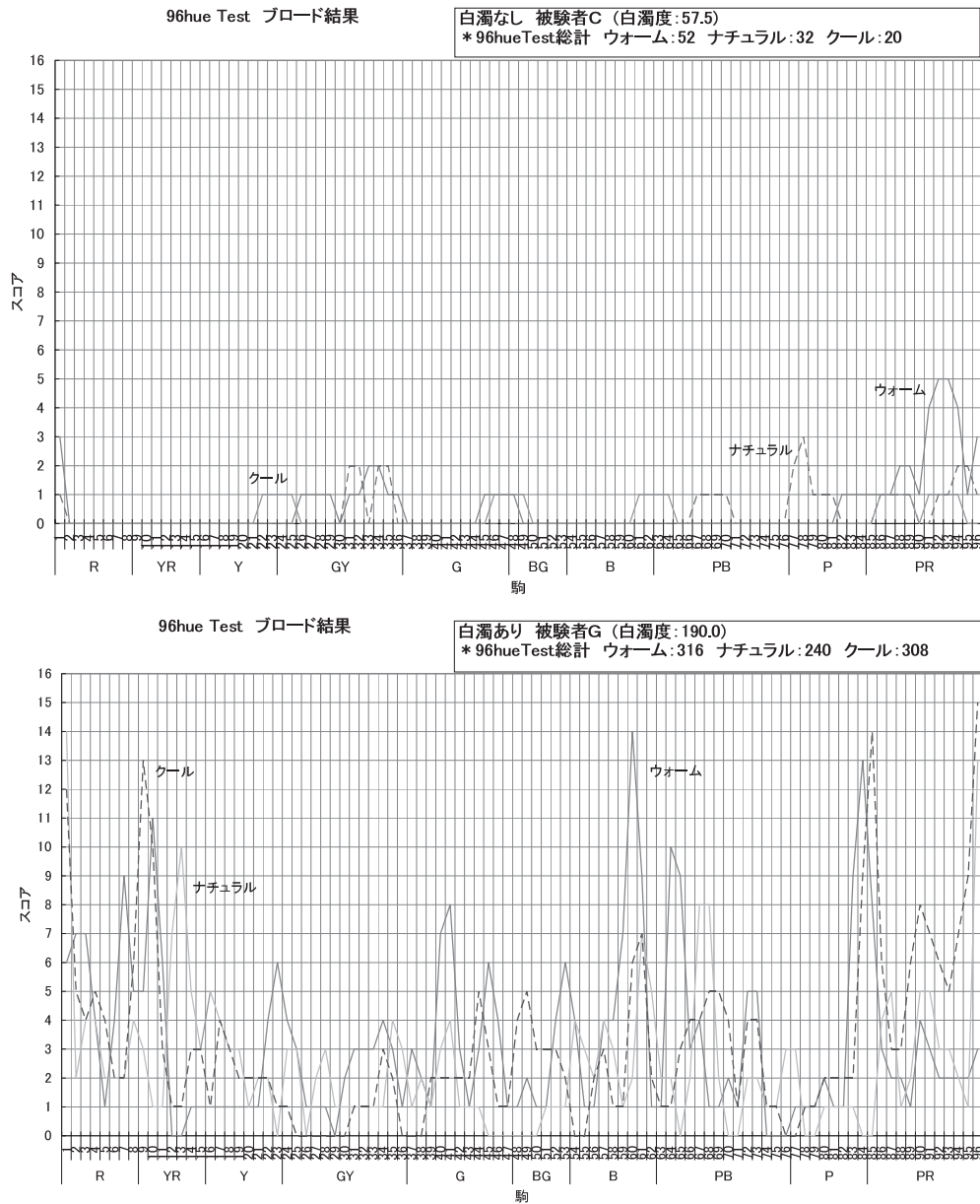


図5 被験者のエラースコア例

相別のエラースコアと順次検討した。以後、各グループはこれまで通り白濁なし、ありと記していく。

3.1 全体のエラースコア総計

素材別に白濁なし・ありについて被験者各5名ずつの全エラースコア総計と標準偏差を

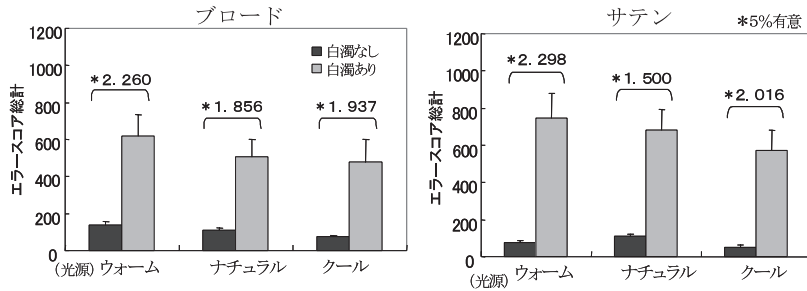


図6 全体のエラースコア総計 (素材別)

算出した。また両者間の差を調べるために Levene の検定により等分散性を確認後、T 検定を行った。その結果を図6に示す。

素材別に白濁なしとありを比較するとエラースコアに有意な差が認められ白濁ありはなしに比べエラースコアがかなり大きい結果となった。一方、白濁なしはブロードとサテンともにエラースコアは小さく、また両者間には有意差は認められなかった。白濁ありはなしに比べ、ブロードもサテンもエラースコアが大きく、特にサテンはエラースコアが大きい結果であった。これはブロードの織物組織が平織で、規則正しく縦糸と横糸が交互に上下しているため光源による反射が小さく、色相弁別がし易いことが示唆される。しかし、サテンは朱子織で縦糸が布表面に多く現れているため、ブロードのように糸の上下が均一ではない。そのため、光沢があり反射が強く色相弁別がしづらくなったと考えられる。以上から水晶体白濁なし、ありにより素材の種類によって色の見え方が違うことが示唆された。

また全体に照明光源のウォーム色、ナチュラル色、クール色の順にエラースコアが小さくなっている。これはウォーム色での色相弁別が困難であり、クール色の方が色相弁別しやすい傾向にあることを示している。矢野⁷⁾が行った研究においても、色温度により色相弁別の違いが生じ、色温度が高い照明光源が色相弁別しやすいと説明していることから、本研究においても同様の結果を得た。

3.2 サオ別によるエラースコア

各サオのエラースコア総計を図7に示す。いずれの照明条件においても白濁なしはブロード、サテンの素材ともに、ばらつきが少なくエラースコアは小さい。しかしその中でもサオ4 (P ~ RP) のエラースコア総計がやや大きく、サオ1 (R ~ Y) のエラースコアは小さいことがわかる。したがって、白濁なしは紫系から赤紫系にかけての色相弁別が難しく、赤系から黄系にかけての色相弁別は容易であることが明らかとなった。

白濁ありは、ブロードが各照明光源においてサオ4 (P ~ RP) のエラースコアが大きく、ついでサオ1 (R ~ Y)、サオ3 (BG ~ PB) とつづき、サオ2 (GY ~ G) のエラースコアが小さい。つまりブロードはサオ4 (P ~ RP) の紫系から赤紫系の色相弁別が難しく、サオ2 (GY ~ G) の黄緑系から緑系にかけて色相弁別は容易であるといえる。サテンはエラースコアの大きい順に、ウォーム色とクール色はサオ4 (P ~ RP)、サオ1 (R ~ Y)、サオ2 (GY ~ G)、サオ3 (BG ~ PB)、ナチュラル色はサオ4 (P ~ RP)、サオ3 (BG

素材の違いによる色相弁別

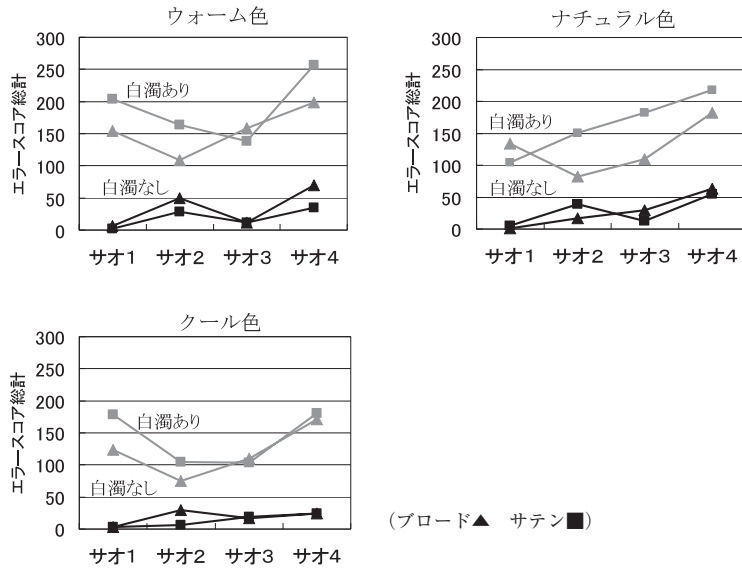


図7 サオ別のエラースコア

表3 白濁度なし・ありによる分散分析結果

白濁なし	要 因	平方和	自由度	F 値	
	光源	219.800	2	5.391	**
	素材	81.675	1	4.006	*
	サオ	1108.958	3	18.131	**
	光源×素材	48.200	2	1.182	
	光源×サオ	271.667	6	2.221	*
	素材×サオ	34.025	3	0.556	
	光源×素材×サオ	178.600	6	1.460	

白濁あり	要 因	平方和	自由度	F 値	
	光源	814.017	2	0.481	
	素材	1056.133	1	1.249	
	サオ	4850.833	3	1.912	
	光源×素材	87.717	2	0.052	
	光源×サオ	776.517	6	0.153	
	素材×サオ	264.467	3	0.104	
	光源×素材×サオ	920.283	6	0.181	

** 1%有意 * 5%有意

～PB), サオ2 (GY～G), サオ1 (R～Y) の順となり, ここでもいずれの照明条件においてもサオ4の紫系から赤紫系にかけては, 色相弁別能力が劣る傾向にある。その他のサオについては照明光源により色相弁別の認識順位が異なる結果となった。

以上から, 白濁なしも白濁ありもエラースコアのばらつきの小さい, 大きいはあるが, サオ4 (P～RP) の紫系から赤紫系の色相変化は, 誰もが色相弁別の認識能力が劣っている部分であると推察できる。また, 白濁ありのサテンのみが, 白濁なしのブロードやサテン, 白濁ありのブロードのように系統的に類似した結果が生じなかった要因として, 白濁が高くなると光が乱反射されまぶしさを強く感じるようになるため, 光沢度が大きいサテンは反射量も大きいため, 色相弁別が困難となり個人差が生じたものと考えられる。

次に白濁なしとありによる光源と素材とサオの関係を検討するため, エラースコアをもとに三元配置の分散分析を行った。その結果, 表3に示すように白濁なしは要因となる光源 ($P<0.01$), 素材 ($P<0.05$), サオ ($P<0.01$) の項目で認められ有意な主効果, これら

の影響により色相弁別が明確に行われていることが判明した。また光源とサオ間において交互作用が確認され、サオ間におけるエラー数の変化は光源によって異なると言える。同様に白濁ありについてみるといずれも有意な差は認められず、色相弁別への影響は明らかではない。これはエラースコアのばらつきが大きいことから、個人差が生じており光源、素材、サオの違いが判断されにくい状況にある。したがって、白濁なしは色相変化に対応する認識能力は高いが、白濁ありは色相変化に対応する認識能力はかなり低いといえる。

3.3 色相とエラースコアの関係

分散分析により白濁なしにおいてサオの影響が高いことが証明されたので、さらに R, YR, Y, GY, G, BG, B, PB, P, RP までの 10 色相別にエラースコアの平均を算出し検討した。その結果を図 8 に示す。

白濁なしはブロード、サテンと素材が変化しても 3 種の光源によるエラースコアは、小さいが、RP の赤紫において色相弁別能力の低下がみられる。反対に R から Y の赤から黄、PB の青紫はエラースコアはなし (0) で、色相弁別能力は高く色の認識は鮮明であるといえる。これに対して白濁ありは、ブロード、サテンともにウォーム色とナチュラル色は類似した色相弁別傾向を示している。特に R, RP の赤や赤紫、G, BG, B, PB の緑、青緑、青、青紫のエラースコアが高く、色相弁別能力の低下が生じている。反対に Y, GY, P はエラースコアが低く、色相弁別能力が高い。

次にクール色をみると R, YR, RP の赤、黄赤、赤紫はエラースコアが高く、ウォーム色やナチュラル色と同じように色相弁別が困難である。しかし G, BG, B, PB の緑、青緑、青、青紫はウォーム色とナチュラル色に比べ、エラースコアが低いので色相弁別がしやすいようである。これはクール色の光源は色温度が 7200K であり、先に述べたように 3 種の光源の中で最も明るい。また光源の分光分布より、430 ～ 450nm においてエネルギーが高い

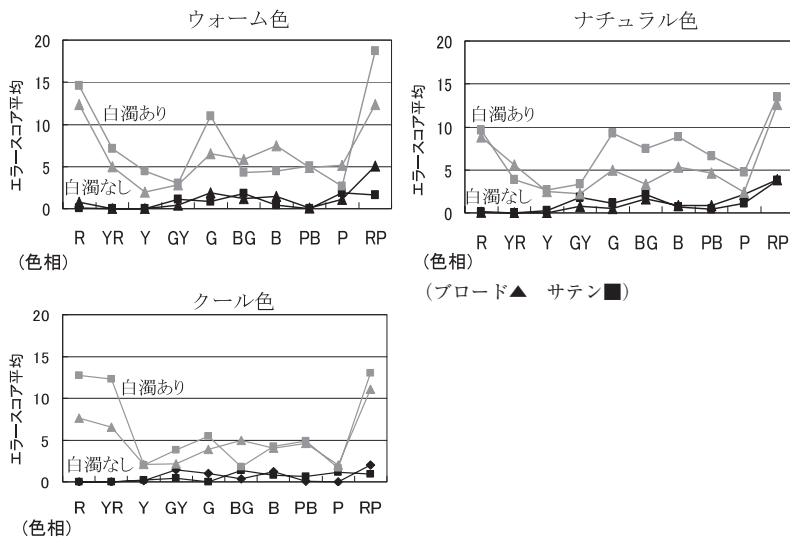


図 8 色相別エラースコア平均

ので、青系周辺が一層明るくみえた状態で色相弁別を行ったものと示唆される。

3.4 色差とエラースコアの関係

96hue test の隣り合う色相差とエラースコアとの関係を検討した。今回は明度を6と一定にして試料を作成したため、被験者が色相弁別を行う際には色相差の及ぼす影響が強いと考え、隣接する色相との差を CIE1976 ($L^*u^*v^*$) の色差式をもとにメトリック色相差 (ΔHuv^*) を算出し、エラースコア平均との相関関係を求めた。なおこの時、各色相範囲の試料数は同数ではなく、Rは8、YRは7、Yは8、GYは13、Gは11、BGは6、Bは9、PBは14、Pは8、RPは12試料であるため、相関係数 γ は異なる。例えば試料数6の場合は1%有意 ($\gamma^{**} > 0.973$) 5%有意 ($\gamma^* > 0.876$) であり、試料数14の場合は1%有意 ($\gamma^{**} > 0.661$) 5%有意 ($\gamma^* > 0.532$) となる。そこで今回は相関係数を省略し、検定結果のみを表4に示した。

全体にみると白濁なし、ありともに光源ウォーム色とナチュラル色においてR、G、BG、B、PB、P、RPの赤、緑、青緑、青、青紫、紫、赤紫系でエラー数と、有色差の間において意な差があり相関関係が認められた。これらはこれまでの結果から、色相弁別によるエラースコアが多く、色相変化による弁別が困難である色相であった。しかし色相弁別が容易に行うことができるYR、Yの黄赤、黄は有意な差は認められなかった。

中でも白濁なしはウォーム色とナチュラル色のRPの赤紫を除いて正の相関となり、色

表4 エラースコア平均と色差との関係

ウォーム色					ナチュラル色				
色相	白濁なし		白濁あり		色相	白濁なし		白濁あり	
	ブロード	サテン	ブロード	サテン		ブロード	サテン	ブロード	サテン
R				* (-)	R				* (-)
YR					YR				
Y					Y				
GY					GY				
G	*	*		* (-)	G	*		*	** (-)
BG			*		BG		*		* (-)
B	*	**			B				
PB			* (-)	* (-)	PB			* (-)	* (-)
P	*		*		P	*	**		*
RP		* (-)			RP		* (-)		

クール色				
色相	白濁なし		白濁あり	
	ブロード	サテン	ブロード	サテン
R				*
YR				
Y				
GY	*	*		
G			* (-)	
BG			* (-)	
B	*	*	* (-)	
PB				* (-)
P		*	*	*
RP				

** 1%有意 * 5%有意

相差が小さければエラースコアが小さく、色相差が大きければエラースコアが大きくなる傾向にある。一方、白濁ありは、G, BG, Pの緑、青緑、紫を除き負の相関を示し、色相差が小さくなるほどエラースコアが大きく、色相差が大きくなるほどエラースコアは小さくなる傾向にあった。これは白濁なしのグループは色相が変化しても詳細に弁別することが可能であるが白濁ありのグループは弁別が難しいことを示した。また素材サテンにおいてR（赤系）はブロードの違いが明確である。以上より隣接する駒の色相差との関係が明らかとなった。

4. ま と め

白濁度を測定して被験者を白濁なしとありのグループに分類し、作製した96色相配列検査器を使用して、ブロードとサテンの素材の違いによる色相弁別を各種光源下で行った。その結果、次のような知見を得た。

1. 白濁なしとありともに、3種の光源となるウォーム色、ナチュラル色、クール色においてエラースコアはブロードよりもサテンが大きく、色相弁別ににくいことがわかった。
2. エラースコアは光源の色温度も影響し、特に白濁ありは色温度が低いウォーム色のエラースコアが大きく、色温度が高いクール色はエラースコアが小さい。
3. 白濁なしは素材、光源の変化によっても色相弁別能力は優れており、ばらつきが小さい。しかし白濁ありは色相弁別能力が劣り、個人差がありエラースコアにばらつきがみられた。
4. 特に白濁ありは、赤紫系ついで緑から青紫系において、白濁なしと違いが認められた。特に光源ウォーム色、ナチュラル色における素材ブロードは顕著であった。
5. 色相差とエラースコアの関係を検討した結果、白濁なしについても白濁ありについても緑、青、青紫、紫にかけて相関関係がみられた。しかし白濁なしは正の相関であるが、白濁ありは負の相関を示し、色相弁別が困難であることを示唆した。

本研究は日常生活の中にどこにも使用されているサテンとブロード素材を使用して実験を行ったが、白濁により色相弁別に相違が生じていることが確かとなった。特に青から青紫系の色相は顕著であり表示する際には注意する必要がある。しかし色温度が高い照明光源のもとであれば色相弁別がし易いことから、室内を明るくしすこしでも色相が認識できるよう配慮しておく必要がある。

参考文献

- 1) 大野重照・澤充・木下茂編：標準眼科学第7版，医学書院，2000
- 2) 岡嶋克典・須賀誠一郎・高瀬正典：色覚の年齢変化——水晶体加齢効果シミュレーションと色順応実験，日本色彩学会誌，Vol. 22, SUPPLEMENT, 16-17, 1998
- 3) 栗木一郎・石井渉・内川恵二：加齢による水晶体黄変が色覚におよぼす効果，照明学会誌，Vol. 84, No. 2, 107-116, 2000
- 4) 岡嶋克典：高齢者の色覚特性，日本色彩学会誌，Vol. 25, No. 3, 213-214, 2001

素材の違いによる色相弁別

- 5) 篠森敬三：色覚の加齢効果, 日本色彩学会誌, Vol. 27, No. 3, 216-223, 2003
- 6) 池田光男・久住亜津沙・小浜朋子・篠田博之：白内障疑似体験ゴーグルによる色票の見えの変化, 日本色彩学会誌, Vol. 27, No. 2, 113-124, 2003
- 7) 矢野正, 下村容子, 橋本健次郎, 金谷末子：高齢者の色識別性——光色との関係, 日本色彩学会誌, Vol. 17, No. 2, 107-118, 1993
- 8) 佐藤千穂：加齢に伴う色見えの変化, 照明学会誌, Vol. 82, No. 8A, 530-537, 1998
- 9) 宮本雅子：高齢者・若齢者の色識別性と色彩イメージ, 日本色彩学会誌, Vol. 30, No. 3, 124-134, 2006
- 10) 「100hue Test 取り扱い説明書」 色彩研究所