

100hue testに於ける光源と加齢の効果

行田 尚義

(受理 平成3年5月31日)

LIGHT SOURCE AND AGE EFFECT IN THE 100 HUE TEST

Prof. Dr. Naoyoshi NAMEDA

This paper reports the results of an investigation on light sources and ages of subjects for the 100 hue test. The 100 hue test is mainly used in the eye check field for color dealing inspectors and for clinical usage in ophthalmology. The color specimens used for the test, produced by the Japanese Color Research Institute, are almost the same as the Farnsworth-Munsell 100 hue test specimens, which are widely used throughout the world. For light sources, a white color fluorescent lamp, a specially color improved D65 fluorescent lamp, a tri-phosphor fluorescent lamp and an incandescent lamp, were used. Subjects were segregated into two groups. One was a young person's group, whose two members were 20 years of age. Another was an older person's group, including two members, one was 50 year old, while another was 60 year old. The best color discrimination property was presented by a lamp which has high color rendering index and has a component for continuous spectral distributed energy. The most effective factor involved human visual properties, especially an aged person's eye.

Deterioration in color discrimination for an aged person's eye, seems to depend on eye lens coloring and accommodation to power decrease. The color discrimination ability is considered approximately as the color hue discrimination.

Therefore, the color discrimination ability is estimated from metric hue angles between the color specimens indicated on a a^*b^* color coordinates, under illumination by a lamp.

1. 緒 言

本論文は100hue testにおける光源と加齢の効果を調査した結果を報告するものである。関東地方では100hue testに普通型の白色蛍光ランプが使用されているケースがある。ところが、蛍光ランプには演色性[1]に問題があることがある。また黒体放射に近い連続スペクトルの光源であっても色票の設計時と異なる色温度では色の恒常性が若干崩れてくる[2]ことがある。100 hue testのような純度の低い僅かの色差を問題にする場合は無視出来ない問題になる。そこで、100 hue testを行って加齢の効果を含めた光源の影響を検討することにした。100 hue testと光源の関係については1977年に boyce らの研究が報告されている[3]。しかし、boyce らの報告の中には色相についての検討が不十分と思われたので本研究を計画した。こ

こで注意しなければならないのは色相の問題(例えば特定の色相の領域にエラースコアが大きい問題など)は光源の問題ばかりではない。北原[4]や市川[5]によると正常眼の特徴として Farnsworth-Munsell の 100hue test (本実験とは若干異なる色票を用いたテストであるが基本的には同じ)の色象限(3)群、(5)群にエラースコアが多いと報告されている。また内川ら[6]はスペクトル光の波長に対する波長分離能力を測定しているが、特定の波長領域に分離能力の低い領域があることを報告している。一方、人間サイドの問題ばかりでなく色票の製造バラツキも問題があろう。“特定の色相にエラースコアが多い問題”にはこれらの問題が複雑にからみあっている。

そこで実験室の暗室内で、照明光源を白色蛍光ランプ、3波長タイプ蛍光ランプ、D65純正色蛍光ランプと白熱電球の4種類の光源について100 hue testを

行った。その結果、試験目的によっては光源の影響が無視出来ないことが明らかになった。実際には本測定器を供給する日本色研ではC光源が演色性の良い蛍光灯を使用するように推奨している。100 hue testは演色性の良い連続スペクトル成分を含む光源を使えばかなりの程度まで光源色による偏りが少なく測定出来ると考える。それに人間の個人差や加齢の効果が大きい、これらが色票にたいするエラースコアの主な原因と考えられる。

2. 方 法

100hue testに使った検査器は1978年に入手した財団法人日本色彩研究所製“日本色研100色相配列検査器 (ND-100)”である[7]。使用回数が少なかったので色票面は色の変化や損傷も無い新品同様の試験器であった。色相の異なる100個の色コマ(色票は直径23mm, 高さ14mmの黒色プラスチックの円筒の上面に取付けられている。本文ではこれを色コマと称する)が25個ずつ4本(4本を各々(1), (2), (3), (4)の4象限と表現することがある)のさお型操作板に収納されている。試験方法は各さお型操作板毎に色コマをバラバラにした後、決められた基準に従って並べ直してからその誤りの数を求めるものである。正規の試験方法では並べ直すに要する時間が決められているが本測定では被験者が納得するまで充分の時間を与えた。そうすることで被験者の色弁別能力を十分に引出そうと考えた。ここでエラースコアの算出の仕方を説明する。図1のように並べられた色コマがあったとして、その配

Original color disc order	99	100*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Number of color discs placed Under test.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Difference between adjacent disc numbers.	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
Sum of differences.	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
Subtract 2 (Error score).	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

図1 エラースコアの計算例
*印は disc order No.1から計算するとき0と見なす。

列の一部の順序が乱れていたとする。まず色コマに予め付けられている番号の隣同士の差をとる。この場合士に関係なく絶対値をとる。次に求められた隣合った差同士を合計して2を引くと求められるエラースコアになる。この方法では色差を判別出来なかった点を特定出来ないが、誤り易い色コマの領域と誤りの程度を示すことになる。

測定は白色蛍光灯(以後FL・Wと略称する)、D65純正色蛍光灯(FL・D65と略称)、3波長タイプ蛍光灯(FL・Mと略称)、白熱電球(ILと略称)の4種類の照明光で作業面の照度を500lxにして測定した。測定は各条件で3回ずつ行いエラースコアの最小の値をとった。被験者は24歳の女子TN, 24歳の男子FJ, 53歳の男子NN, 61歳の男子SYの4名であった。全員色覚異常検査票(石原式)で色覚検査を行って色感覚は正常であることを確かめた。また万国式近点検査表で矯正後距離視力が1.0以上であることも確かめた。

2. 1 光源と色票

色票はC光源(色温度6774Kの平均昼光)で照明した時にL*U*V*色空間(1964年CIEで設定された均質色空間[8])上で等輝度で色差が1になるように設計すると周辺長が色差100の円になる。そこで100個の色票の軌跡は半径15.93になるが、実際の製品には製造バラツキが入るのでその広がり状態をチェックしておく必要がある。そこでD65ランプで照明した色コマを被験者の観察する角度45度上方からTOPCON SR-1型色彩輝度計で10色コマおきに分光エネルギー分布を測定し、それから分光反射率を求めた。この分光反射率を使ってC光源で照明した時の10コマ置きの色票の色度を計算した。図2はU*V*色座標上にプ

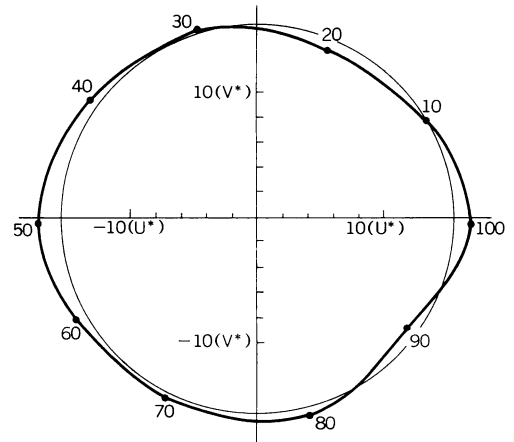


図2 C光源で照明した10コマ置きの色票の色度(U*V*)

ロットとした10コマ置きの色票の色度を結んだ軌跡を示している。図中に描かれた円は色票の設計上の色度軌跡であるが、製造された検査器の色票は円に添って広がっていることが分かる。使用した全部の光源の分光エネルギー分布を図3に示す。また各光源の相関

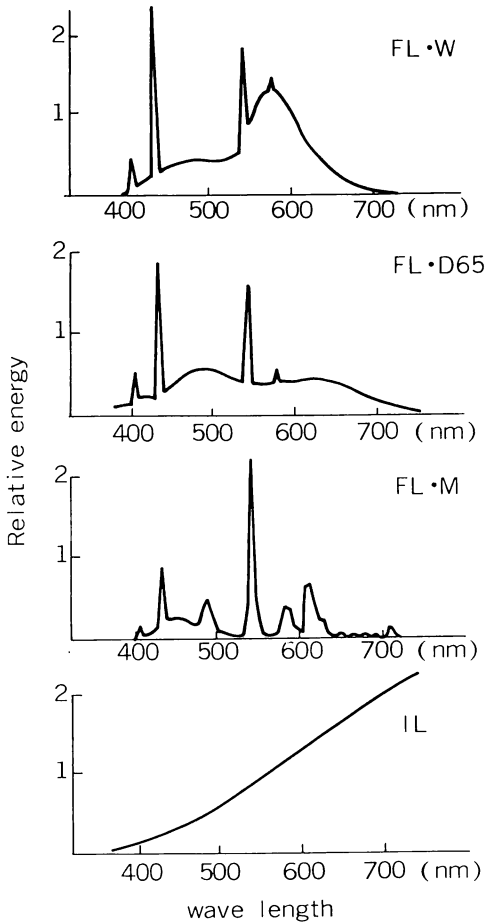


図3 光源の比分光エネルギー分布

表1 実験に使用した光源の色特性

光源の種類(略称)	記号	相関色温度(K)	平均演色評価数
白色蛍光灯(FL・W)	W	4200	63
D65純正色蛍光灯(FL-D65)	D-EDL-D65	6500	98
3波長タイプ蛍光灯(FL・M)	EX-N	5000	84
白熱電球(IL)	-	2856	100

色温度, 平均演色評価数を表1に示す。

3. 実験結果

D65ランプについて被験者NNと被験者FJの場合の測定結果を図4に示すが, NNはエラーの発生する箇所が一定ではなく適当な広がりを持っていて, 回数を経るにつれてエラースコアが減ってくるのが分かっ

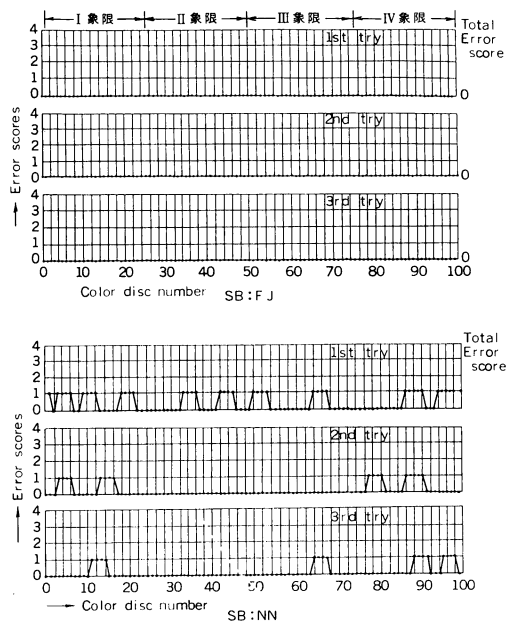


図4 エラースコアの測定結果(被験者FJ, NN) 被験者FJは3回ともエラーが無い, 被験者NNは回数を重ねると若干改善が見られる。発生する箇所はかなりバラツキている。

た。FJは3回ともエラーがなかった。被験者FJの場合を正しいとするとNNのエラーの発生は偶然の要素があると考えられる。又, 学習効果もあると考えられる。そこでデータは3回の内最小のエラースコアを取上げることにした。エラーの発生の様態から色コマの個々のスコア数よりも, ある範囲を纏めたほうが解析し易いと考えて10コマを単位にエラースコアを合計した。この考えを全部の光源と被験者に適用してデータを求めたのが表2である。

4. 考 察

表2の光源・被験者・色コマを因子とした実験計画法の3元配置[9]の分散分析を行った(表3)。その結果被験者と色コマが1%の危険率で有意, 光源が5%の危険率で有意, 被験者と色コマの交互作用が5%の危険率で有意となった。Boyceらが行ったように色コマ全部についてエラースコアを合計して被験者別のデータを観察するとFJ, TN, とNN, SYの2つのグループの間に顕著な差が認められる。またFJとTNとでは大差がないが, NNとSYではNNの方が年齢が若いにもかかわらずいずれの場合もSYよりエラースコ

表2 10色コマ単位にまとめたエラースコア

Color disc number 色コマ No	Wランプ				D65ランプ				Mランプ				ILランプ				Dominant wave length (mm)
	FJ	TN	NN	SY	FJ	TN	NN	SY	FJ	TN	NN	SY	FJ	TN	NN	SY	
1- 10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	584~700
11- 20	0	4	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	574~584
21- 30	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	7	0	4	564~575
31- 40	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	4	4	545~565
41- 50	0	4	0	8	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	4	8	495~545
51- 60	0	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	483~495
61- 70	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	471~483
71- 80	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	400~471
81- 90	0	0	3	0	0	0	5	6	0	0	2	4	4	4	6	0	-
91-100	0	4	8	7	0	0	4	2	4	4	11	8	0	0	7	7	-
Total Error Scores	4	12	28	24	0	0	17	12	4	8	22	12	8	21	29	24	

表3 色コマ, 光源, 被験者の3元配置の分散分析表

要因	自由度 f	平方和 S	$V=S/f$	F	
色コマ (A)	9	209.8	23.3	10**	
光源源 (B)	3	26.9	8.9	3.8*	
被験者 (C)	3	102.6	34.2	14.7**	
交互作用	A×B	27	110.3	4.1	1.75
	A×C	27	233.6	8.7	3.7*
	B×C	9	10.4	1.1	0.5
誤差 e	81	189.2	2.3	-	

** Significant (p<0.01)
* Significant (p<0.05)

アが大きい。これは年齢とともに個人差も存在することを示している。しかし、その差よりも Verriestら [10] のデータと比較して考えると20歳台と50歳~60歳台の年齢によるグループ分けをする方が適切と思われる。そこで表2よりFJ・TNとNN・SYの2グループのそれぞれを平均して、色コマに対するエラースコアの関係性を求めた(図5)。NN・SYグループ(高齢者グループ)からFJ・TNグループ(若者グループ)を引くと図の斜線を付した部分が残るが、FL・WとFL・D65は似ているが、FL・MとILは多少異なっている。これは分光エネルギー分布の違いにもとづくと思われる。

図5下はこの老若差を全部の光源について平均して

描いた図である。色コマの色相から推定した主波長を横軸にして図5下を描きなすと図6になる。エラーの生ずる位置が橙色と青緑であるところから加齢に伴う水晶体の着色による色弁別能力の低下が原因ではな

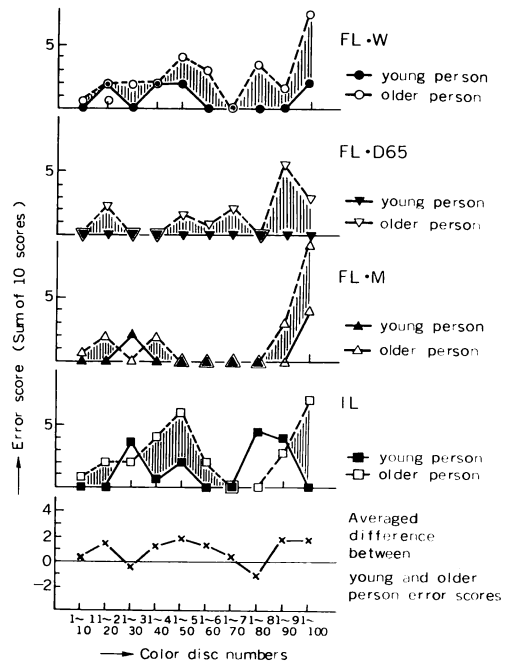


図5 各種の光源に対する老若被験者に対するエラースコア

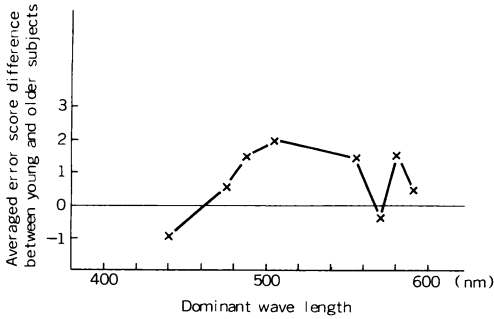


図6 主波長に対する老若カラースコア差

いかと推察される。一方、赤紫の領域は主波長が求められないがエラースコアの一番大きな値の所である。この理由は眼球内部で赤と青で約2ディオプターの色収差を生じている[11]ことを考慮すると水晶体の調節力不足による色情報の不完全さから来ると考えられる。

次に、色票の色差と弁別能力を検討した。正確には各光源による100個全部の色票の色度を求めて検討すべきではあるが、今回は10コマ置きに測定した分光反射率から計算した各光源の色度をCIE1976年の a^*b^* 色座標上にプロットし(図7)、その図からメトリッ

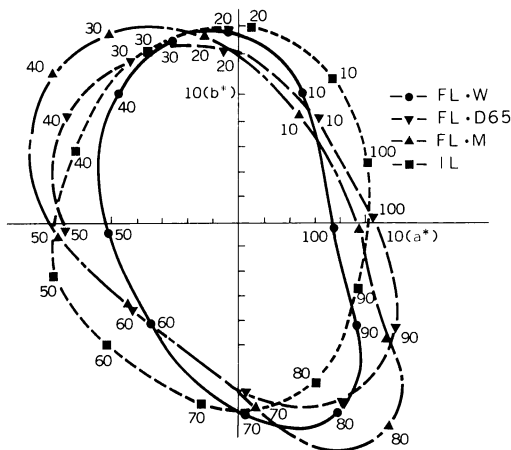


図7 $L^*a^*b^*$ 座標上にプロットした色票の色度
図中のマークに付した番号は色コマの番号

ク色相角を求めた。10等分すれば色コマ間の色度差の目安とすることが出来る。 $L^*a^*b^*$ 色空間を採用したのは人間の色覚上の色空間と良く合うと報告した森ら[12]の実験結果を参考としたことによる。メトリック色相角を採用したのは色票の弁別作業は大半は色相の

差を弁別していると考えたことによる。高齢者グループと若者グループに別けて、エラースコアの平均値を横軸にとり縦軸に10コマ分のメトリック色相角をとると図8になった。図中の実線は高齢者の場合を示し、

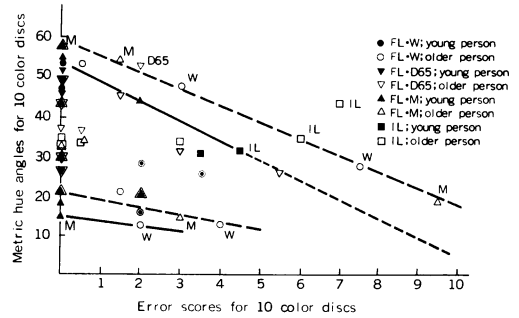


図8 10色コマ分のエラースコアとメトリック色相角の関係

点線は若者の場合を示している。いずれの場合にも最大の色相角と最小の色相角が求められるが、両者ともこの2つのグループの間のエラースコア0線上の差はほぼ同じ5°であった(最大の色相角は老若差が無いとみることも出来る)。しかし、最大の色相角についてエラースコアが増えるにつれて差が広がって来る傾向があり、色度差を弁別出来ない最小の色相角(エラースコアが10の点でエラースコアが1づつ10コマ均一に分布したと仮定する。：図中の矢印の箇所)になると若者の場合5°(隣同士の色コマの場合は1/10で0.5°になり色弁別能力がかなり高いことを示している)、高齢者の場合15°(隣同士の色コマの場合は1.5°でかなり色弁別能力が弱くなっていることを示している)になった。

次に光源の影響を考察する。FL・D65は若者グループではエラーが出なかったのは上述の色弁別能力から考えて10コマ単位の最小メトリック色相角が25°以上であったことから頷けることである。表1に示すようにランプの特性を示す平均演色評価数もFL・D65が一番高い。次に、FL・MとFL・Wがほぼ同一の値になった。FL・Mは平均演色評価数が高いにもかかわらずエラーが大きい。これは Boyce らも指摘しているが連続的でない分光エネルギー分布によると考える。10コマ単位のメトリック色相角が比較的大きいにもかかわらずエラーの大きいIL(白熱電球2856K)の場合は検査器の色票の設計時の光源(C光源:6774K)と色温度の差が大きいためHelson効果による色覚の恒常性のずれが生じた結果と考える。

今後、機会があったら100個の色票の分光反射率を全て測定し被験者の数も増やして検討したい。また本実験では照度を500 lx一定で行ったが、Boyceらの実験では高齢者には照度が大きく影響すると報告しているので照度と色覚の問題も確認したい。

5. 結 論

以上の研究の結果次のことが分かった。

- (1) 100hue test に使用する光源は検査器の設計した時の色温度と近い色温度を有して、連続的な分光エネルギー分布があり、演色評価数の高い光源を選択することが望ましい。今回の実験ではD65純正色傾向ランプが一番良い結果となった。
- (2) 若者と高齢者には色弁別能力に大きな差がある。その原因は水晶体の黄色化と調節力の減少が原因と推定される。
- (3) 色弁別能力は L^*a^* , b^* 色空間上のメトリック色相角で概ね推定できるのではないかと考える。

6. 文 献

- 1) 進藤貞和他：照明ハンドブック，オーム社，(1978)，pp.91-97
- 2) Helson H., Judd D.B., and Warren M.H.: Object-Color Changes From Daylight to Incandescent Filament Illumination, *Illum. Eng. Vol.47, No.3*, (1953), 221-233
- 3) Boyce P.R. and Simons R.H.: Hue Discrimination and Light Sources, *Light. Res. Technol. Vol.9, No.3*, (1977), 125-140
- 4) 北原健二：後天性色覚異常の Farnsworth-Munsell 100hue test による検討，*臨床眼科学会誌*, Vol.36, No.9, (1982), 1085-1089
- 5) 市川宏：色相配列による色覚検査法（小尾氏）について，*Vol.10*, (1956), 405
- 6) Uchikawa K. and Ikeda M.: Wavelength Discrimination with a Chromatically Alternating Stimulus; *Color Research and Application, Vol.10, No. 4, Winter*, (1985), 204-209
- 7) 川上元郎，平井敏夫，渡辺幸次，島善一郎，福井哲夫：日本色研100色相配列検査器（ND100），*Vol.22, No.2*, (1975), 24-35
- 8) 森礼於他：新編色彩科学ハンドブック，（財）東京大学出版会，(1980), 87-142
- 9) 田口玄一：実験計画法 下，丸善（株），(1958), 444-453
- 10) Verriest G., Laethem J.V., and Uvijls A.: A New Assessment of the Normal Ranges of the Farnsworth-Munsell 100-hue test Scores, *Am.J. Ophthalmol.*, Vol.93, No.5, (1982), 635-642
- 11) Wald G. and Griffin D.R.: The Change in Refractive Power of the Human Eye in Dim and Bright Light, *J.O.S.A.*, Vol. 37, No.5, (1947), 321-336
- 12) Mori L. and Fuchida T.: Subjective Evaluation of Uniform Color Spaces Used for Color-Rinding Specification, *Color Research and Application, Vol. 7, No. 4, Winter*, (1982), 285-293