

福岡工業大学 学術機関リポジトリ

New measurement for small color difference in vision

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-02-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 行田, 尚義 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/11478/00001627

視覚における小色度差に対する新しい測定法

行 田 尚 義 (情報システム工学科)

New measurement for small color difference in vision

Naoyoshi NAMEDA (Department of Computer and Systems Engineering)

Abstract

There was an experiment for employees in Japanese public facilities to experience an aged person's life. For the aged person's life simulation, shackle-like binders restrained their movement and special glasses simulated visual constraints of the aged person. Limiting speculation in the color vision, their glasses were colored yellow. However, the author never heard it claimed that an aged person observed everything yellowish. In 1998, J. S. Werner, a professor at the University of Colorado, reported no difference in color vision among from 13 years old to 72 years old. The color vision for an aged person must be measured correctly and precisely. This report concerns the new color visual measurement. Color grating under the same luminance is presented on a liquid crystal display of a laptop computer. Further, the JAVA word program controls the measurement procedure. Subsequently, the tentative experimental operation showed successful results.

Key word : *Color vision, Color visual MTF properties, Aged vision.*

1. はじめに

最近、人口の高齢化に伴いあちこちの公共施設で働く作業者に手足を不自由にしたり、特殊の眼鏡を掛けて老人の不便さを体験させる試みが行われている。色の見え方に絞って議論を進めると、加齢によって水晶体が黄色になるからといって、黄色の眼鏡を掛けるので、極端に外界が黄色に見える状態を体験させている。

しかし、実際に老人は黄色に見えるのだろうか？老人達からそんなクレームを聞いたことがない。J. S.

Werner は13歳から72歳までの被験者に色の見え方に変化がないと報告している¹⁾。筆者は高齢者の視覚について赤や黄色が見易くて青色が見づらくなるというような加齢の効果がなく、むしろ逆に、調節力を補う色収差の効果で青が見易い場合があると報告している²⁾。

水晶体が黄色くなっても人間は脳で色補正していると思われる。それは白内障で水晶体を摘出してその代わりにプラスチックの人工水晶体を入れた老人が術後、世界が真っ青に見えることと証言していることから分かる³⁾。

上記の作業者の黄色眼鏡の体験から公共施設の視環境が改善されたとしたら、実際の老人に良からう筈は

ない。かえって危険の場合さえある。しかし、老人の目は脳で補正されているといっても若年者と見え方に多少の違いがあるかもしれない。納谷は色票が光源の分光分布によって見え方が異なる現象であるメタメリズムの研究において老人の色知覚が若年者と異なると報告している。しかし、別の研究によって得られた実験データを整理したもので、実験条件など具体性に欠けるところがある⁴⁾。本研究は通常の測定条件では検出されない老人の色知覚の微妙な差を検出する方法について研究したものである。

2. 従来の方と新しい方法

色知覚の検査方法として心理物理的な方法や医学の眼科の技術として行われてきた方法がある。心理物理的な方法の1つにカラーネーミング法がある。被験者に試験色を見せて決められた表現で色を答える方法である。個人差や判断誤差が大きいが何人も人の平均をとると機器測定に匹敵する精度になるといわれている⁵⁾。一般的な方法は石原博士が考案した異なる色の“点”で構成された文字を読ませる方法で、色知覚に異常があると正しく文字が読めない。この測定は小学校以来の身体検査でおなじみの方法である。色には色相・彩度・明度の3要素があり、石原式は色相の見え方の違いは検出するが、色の他の要素で見える場合があって検出を逃れる場合がある。もうすこし精度が高い方法は彩度と明度のほぼ等しい色相の差が少ない色票(コマ状になっている)を多数個用意して色相の差異を検出させる方法である。具体的にはランダムに置かれた色票を決められた色相の順、例えば赤・橙・黄・緑・青・紫の順序に並べさせて発生した間違いの数から異常の程度を検出するものである。色票の数により精度が異なり色票が15個の場合は Panel D-15 Test、100個の場合は100 Hue Test と呼ばれている。さらに厳密な方法は眼科が使うアノマロスコープ (Anomaloscope) を使う方法である⁶⁾。隣あわせに異なる色を視野内に提示して色の差を見出す方法である。しかし、これらの方法で色弱などの異常が検出できて老人の色知覚の変化が検出されたとの報告はない。

そこで筆者はコンピュータのディスプレイを使って輝度の等しい2つの色による縞模様を作って色比較を行う方法を開発した。上述したカラーヒューテストや縦縞模様を使った従来の方⁷⁾では色同士を比較する。こうすると組み合わせた色のどちらの色が、検知し易

いのか、あるいは、しづらいのか、が不明である。さらに提示した色度差が2色の選択によって異なる(たとえば図1の場合、緑-青の色度差は他の隣あった2色の色度差より大きいし、また2色を対角線上でも大きくする)場合が多いので人間の色知覚の反応が変化するおそれがある。筆者の提案する方法は比較する一方の色は試験の度に変わらない灰色を使う。試験色の色度空間としてはCIEできめられた均等色空間の u^*v^* 座標を使った。そして中心に灰色を置きその周辺に u^*v^* 座標図上で灰色から等距離に試験色を配置するものである。縦縞模様は灰色と試験色の2色が正弦的に変化する。測定は2色の色度差がなくなる(同じ色になる)まで縮めて行く過程で2色の差が判別できない閾値を色度差で求めて逆数を取り色知覚の検出力とする方法である。これにより色知覚を数値化できるし、さらに、縞の荒さを変化して色のMTF (Modulation Transfer Function) も測定できる。そのため感度だけで無く、色の空間周波数特性も測定できるので年齢による色知覚の空間的变化も調べることができる。

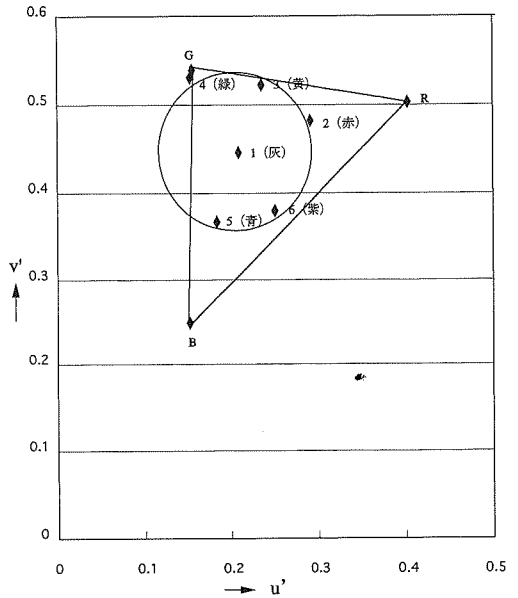


図1 試験色と R, G, B 3原色
灰色を中心とした円と RGB 3原色を結んだ三角形

3. 試験色の設計と縦縞の発生

装置は移動が容易なことからラップトップ・コンピュータを選んだ。使用した機器は東芝ダイナブック2590Xである。表示部は液晶ディスプレイであるが、以前にくらべて最近の液晶は表示できる色の範囲が広がったことから選択した。縞模様を表示したディスプレイを直角に立てて被験者の顔が正面にくるようにして1mの距離に顔を固定して測定した。周囲は暗幕で被い暗室状態にした。

色度の測定には被験者の顔の目の位置にトプコンSR-1分光色彩光度計を置いて2°視野で測定した、またトプコンBM-7色彩輝度計でも測定した。両計器の測定値の差は2%以下で、測定によるバラツキも2%以下であった。人間の色度の検出力から測定誤差のバラツキが2%以下であれば測定の精度としては十分であろう⁸⁾。本論文ではSR-1を基準にしてデータを処理している。

はじめ、赤 (R)・緑 (G)・青 (B) の3原色と灰色 (R・G・Bのデフォルト値がそれぞれ等しい) を測定した。測定結果を図1に示す。試験色はR・G・Bを結んで出来る三角形の内側に灰色を中心になるべ

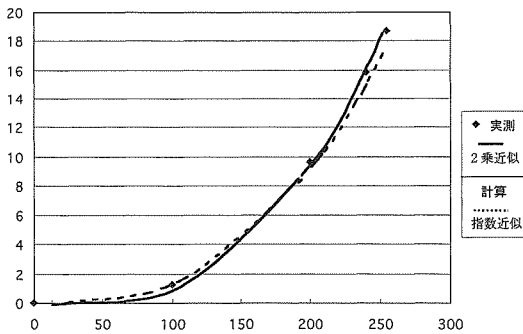


図2 デフォルト値と輝度

く大きい円を描きその円周上に配置した (図1参照)。R・G・Bから作れる色はR・G・Bの色度点を頂点とする三角形の内側にある色しか作れない。図1で、青緑を加えると試験色は円周上にはほぼ等間隔に配置することになるが、青緑は三角形の外側にあるので作れない。無理に作る場合は三角形に内接する円周上に設定しなければならないので、灰色との色度差 (半径) が小さくなり測定精度が落ちるのでとりやめた。しかし、色同士を比較する訳ではなく、全ての試験色と等距離にある灰色と比較するので独立に色の効果が出ると考えられるので問題はないと思う。

灰色も含めて全ての試験色は等輝度になっていなければならない。人間の輝度パターンの感度は色パターンの感度より鋭いので、万一縞模様にわずかでも輝度変化があると輝度変化で縞を認識してしまう⁷⁾。さらに色の成分 (R・G・Bのデフォルト値) を変えると輝度も変わるので色の設計に際し輝度と色度を両方計算して推定しなければならない。はじめR・G・Bのデフォルト値から輝度を推定する方法を記述し、次に色度を推定する方法を述べる。

3・1 輝度の推定

ディスプレイ上の縞模様の提示面は縦135mm×横180mmの矩形で全面が等輝度である。図2はR・G・Bを等しいデフォルト値に採り、0から255まで100, 200, 240, 255の4段階に変化してその輝度を測定した結果である。測定値をもとに2次式と指数式による近似をおこなった。従来からこの種の非線形性の補正技術に (γ:ガンマ) 補正の技術があることから指数で近似することにした。図2に指数近似した場合と2次式で近似した場合をしめしている。数量的に近似の度合いを検討していないが、図上でみればかぎり同等のように見受けられる。

$$L_R = \alpha v^\gamma (cd/m^2) \dots\dots\dots(1)$$

表1 指数近似式の定数

(a) 輝度

	輝度の定数	
	α	γ
赤 (R)	1.20 E-05	2.31
緑 (G)	6.03 E-06	2.58
青 (B)	4.12 E-05	2

(b) XYZ表色系のX・Y・Z値

	色度の定数					
	X 値		Y 値		Z 値	
	α	γ	α	γ	α	γ
赤 (R)	5.10 E-06	2.57	8.98 E-06	2.38	4.63 E-03	1.1
緑 (G)	1.18 E-05	2.38	5.99 E-06	2.58	1.55 E-04	1.86
青 (B)	2.15 E-05	2.19	3.93 E-05	2.01	7.48 E-06	2.66

ここで α と γ は定数で測定値より計算で求めた。 v はRのデフォルト値である。G・BそれぞれについてもRと同様にデフォルト値を変化させてLを上式で近似した。R・G・Bに対して求めた定数を表1(a)に記す。求める色の推定輝度はR・G・Bを(1)式で別個に計算して合計して求めた。

$$L=L_R+L_G+L_B\cdots\cdots(2)$$

3・2 色度値の推定

色度を求める場合基準になる数値は加算法則が適用できるXYZ表色系のX, Y, Zの値である(文献8参照)。たとえば、2色の色を混合する場合2色の混合比からX, Y, Z値を計算して求めることができる。

さて、3原色の赤について検討すると、Rをある値にしてGとBを0にした時に、赤色光の実際のスペクトル成分はかなり広いのでX成分だけが出てくるのではなく、Y成分もZ成分も出てくる。そこでRにたいするY値、Z値の近似式を求めなければならない。RのX値の近似式は輝度の場合と同様に指数近似とした。

$$X_R=\alpha v^{\gamma}\cdots\cdots(3)$$

(3)式の定数 α と γ は v (Rのデフォルト値)を0, 150, 250の3段階に変化した3個のデータから計算した。同様に Y_R, Z_R を求めた。その関係はGもBも同じなので、G・BそれぞれのX値、Y値、Z値の定数をもとめて表1(b)に記載した。

R・G・BそれぞれのX値、Y値、Z値は別個に計算して合計してX, Y, Zの値を求めた。

$$\begin{aligned} X &= X_R + X_G + X_B \\ Y &= Y_R + Y_G + Y_B \\ Z &= Z_R + Z_G + Z_B \cdots\cdots(4) \end{aligned}$$

最後に次式により u', v' を求めた。

$$\begin{aligned} u' &= (4X)/(X+15Y+3Z) \\ v' &= (9Y)/(X+15Y+3Z) \cdots\cdots(5) \end{aligned}$$

その値をもとに全ての試験色になるべく大きい輝度になるように選ぶとLは7.5cd/m²になった。試験色の輝度を5%以内に合わせ、さらに色度を希望する値になるまでR・G・Bの比率を変えて計算して色を決め、最終的に実測によって確かめた。輝度を5%以内におさえた根拠は、文献によると理想的な測定条件では1~2%の輝度の差を検出できる⁷⁾といわれているが、一般的な照明環境条件では1.5倍の輝度の差が検出限界である⁹⁾と記述している。実際に作成した試験色で作った縞模様の視感測定では輝度の差が20%程度あっても認められなかった。そこで、本実

験では提示するパターン輝度変化を5%以内におさえることにした。試験色にたどりつくまでに行った実際の計算例の1つを以下にしめす。

3・3 実際の計算例

デフォルト値としてR=240, G=240, B=240の灰色の場合。

表1の係数を使って計算した。

A 輝度の計算

$$\begin{aligned} L_R &= 1.2 \cdot 10^{-5} \cdot (240)^{2.31} = 3.78 \\ L_G &= 6.03 \cdot 10^{-6} \cdot (240)^{2.58} = 8.72 \\ L_B &= 4.12 \cdot 10^{-5} \cdot (240)^{2.00} = 2.36 \\ L &= L_R + L_G + L_B = 14.86 \text{ (cd/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

B u', v'色度値の計算

$$\begin{aligned} X_R &= 5.1 \cdot 10^{-6} \cdot (240)^{2.57} = 6.90 \\ X_G &= 1.18 \cdot 10^{-5} \cdot (240)^{2.38} = 5.53 \\ X_B &= 2.15 \cdot 10^{-5} \cdot (240)^{2.19} = 3.57 \\ X &= X_R + X_G + X_B = 16.00 \\ Y_R &= 8.98 \cdot 10^{-6} \cdot (240)^{2.38} = 4.21 \\ Y_G &= 5.99 \cdot 10^{-6} \cdot (240)^{2.58} = 8.43 \\ Y_B &= 3.93 \cdot 10^{-5} \cdot (240)^{2.01} = 2.27 \\ Y &= Y_R + Y_G + Y_B = 14.90 \\ Z_R &= 4.63 \cdot 10^{-3} \cdot (240)^{1.10} = 1.92 \\ Z_G &= 1.55 \cdot 10^{-4} \cdot (240)^{1.86} = 4.06 \\ Z_B &= 7.48 \cdot 10^{-6} \cdot (240)^{2.66} = 16.43 \\ Z &= Z_R + Z_G + Z_B = 22.47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u' &= \{(4X)/(X+15Y+3Z)\} \\ &= 4 \cdot 16.00 / (16.00 + 15 \cdot 14.90 + 3 \cdot 22.47) \\ &= 0.208 \\ v' &= \{(9Y)/(X+15Y+3Z)\} \\ &= 9 \cdot 14.903 / (16.00 + 15 \cdot 14.90 + 3 \cdot 22.47) \\ &= 0.437 \end{aligned}$$

実測値はL=15.5, u'=0.2087, v'=0.4424であり、実測値と計算値の差は5%以内であった。これでは輝度が高すぎるのでデフォルト値を240, 200, 100にして計算し最後に181になった。この時の計算結果と実測結果を表2に示す。他の試験色は3原色と灰色の座標からR, G, Bの各デフォルト値にあたりをつけて輝度と色度を計算し試行錯誤をくりかえして、ほぼ所要の条件が得られたところで実測して試験色を決定した。

求めた試験色は灰色(1)・赤色(2)・黄色(3)・緑色(4)・青色(5)・紫色(6)の6種類で表3と図1上に記載する。

表2 灰色について輝度と色度の計算例

	デフォルト値			計 算 値			実 測 値		
	R	G	B	L	u'	v'	L	u'	v'
灰色 1	240	240	240	14.9	0.21	0.44	15.5	0.21	0.44
灰色 2	200	200	200	9.37	0.21	0.44	9.62	0.21	0.44
灰色 3	100	100	100	1.7	0.2	0.43	1.3	0.21	0.44
試験灰色	181	181	181	7.57	0.21	0.45	7.87	0.21	0.44

表3 試験色のデフォルト値と輝度・色度

	デフォルト値			実測値		
	R	G	B	L	u'	v'
1 灰色	181	181	181	7.87	0.21	0.44
2 赤色	250	150	150	7.62	0.29	0.48
3 黄色	195	195	0	7.76	0.24	0.52
4 緑色	0	220	0	7.88	0.15	0.53
5 青色	160	160	255	7.3	0.18	0.37
6 紫色	255	115	186	7.33	0.25	0.38
純赤	255	0	0	43.6	0.4	0.5
純緑	0	255	0	9.98	0.16	0.54
純青	0	0	255	2.61	0.15	0.25



図3 提示した縦縞模様

(2)~(6)の隣合った2色ずつと中心の灰色(表2の(1))と各試験色(表2の(2)~(6))とを組み合わせた場合について測定した。その結果、灰色と比較した場合の方が色の特色が顕著に出ているように思える。(図4)。実験数が少なく統計処理もしていないので明確には言えないが本論文で提案する方式は色の知覚の程度を測定するのに適していると思われる。今後、若年者と高齢者について被験者の人数を増やして測定する予定である。尚、色度測定用機器は情報システム工学科中川貴氏から借用したことを付記する。

3・4 縞模様の作成

縞模様の作成プログラムは他の装置への移植性を考慮して JAVA 言語を使って作成した。あらかじめ試験色を選択し、灰色と他の試験色からなる縞模様をディスプレイ上に提示する。縞の荒さを空間周波数(この場合は cycles/degree)で決め、色の純度(表2の色度値からスタートする)は測定の進行にもなってキーボードの(上・下キイ)の下キイをおすことで自動的に灰色と混色して下げて行くプログラムを設計した。もちろん上キイをおせば灰色と混色割合が減り純度が上がる(しかし最高は表2の色度値)。図3に縦縞模様の例を提示するが、輝度を等しくあわせているので輝度変化では見づらいが色の差では見える。縞に見えなくなる限界(上昇別閾値)の色度差をもとめてYキイを押すとコンピュータ内で逆数を取り色知覚の感度として出力する、まだ閾値でないとNキイを押して上記の操作をくり返すことになる。

4. 色知覚の測定と考察

本装置の稼働を確かめるために年齢60歳代の男子1名を被験者として、図1の円周上の試験色(表2の

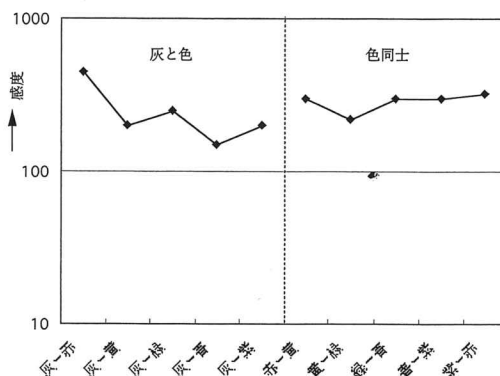


図4 本論文で提案した方式(灰と色)と色同士の測定の比較
提案の方式の方が色による特徴を明確にしている。

5. 文 献

- 1) John S. Werner : Alexander von Humboldt Stiftung / Mitteilungen, AvH-Magazin Nr. 6812 (1996) pp.3-14
- 2) 行田 : 視覚の科学(日本眼科学会誌)13(3), (1992) pp.175-178
- 3) 森, 河本, 秋山, 土方, 東 : 日本色彩学会誌, 71(3), (1983) pp.107-114
- 4) 納谷, 橋本, 高浜, 側垣 : 照明学会誌, 67(10), (1983), pp.520-526
- 5) 湯尻, 中嶋 : 昭和63年照明学会全国大会講演論文集 (1988) pp.134
- 6) 清水, 野寄, 糸井編 : 標準眼科学, 医学書院, (1981) pp.190
- 7) 渡部, 坂田, 長谷川, 吉田, 畑田 : 視覚の科学, 写真工業, (1981) pp.94
- 8) 日本色彩学会編 : 新編 色彩ハンドブック, 東京大学出版会 (1989) pp.96
- 9) 照明学会編 : 照明ハンドブック, オーム社, (1978), pp.52, 618