

色覚の手引

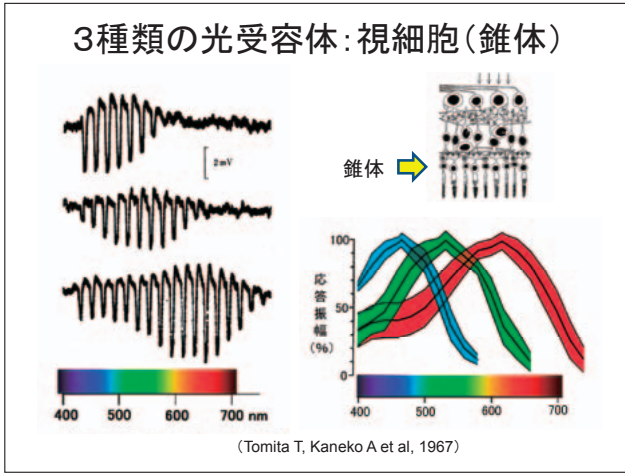
# 色覚異常 その特性と課題



愛知県眼科医会



図 1



## <網膜細胞と色覚>

図 1

網膜には短波長、中波長、長波長に感受性が高い視物質を持った3種類の錐体があり、それぞれ短波長感受性錐体（S錐体）、中波長感受性錐体（M錐体）、長波長感受性錐体（L錐体）と呼ばれている。この3種類の錐体はコイの網膜から単一錐体の活動電位が測定されたことでその存在が証明され、「色覚の3色説」で予測された3つの受容体が錐体レベルにあることが明らかになった。

図 2

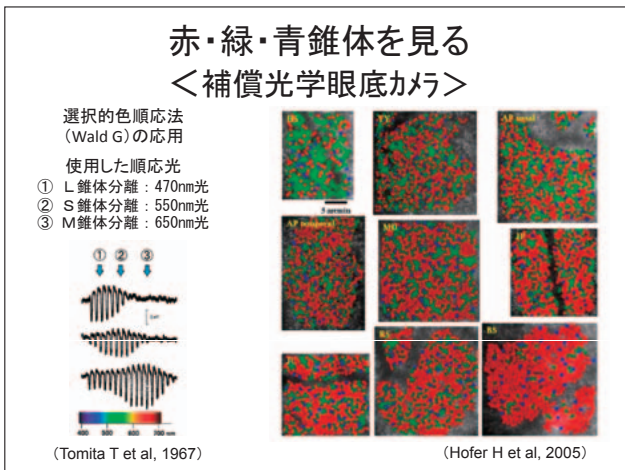


図 2

選択的色順応法を応用した補償光学 (AO) 眼底カメラを用いると、S錐体、M錐体、L錐体を個々に同定でき、各錐体の分布には大きな個人差があることも分ってきた。

図 3

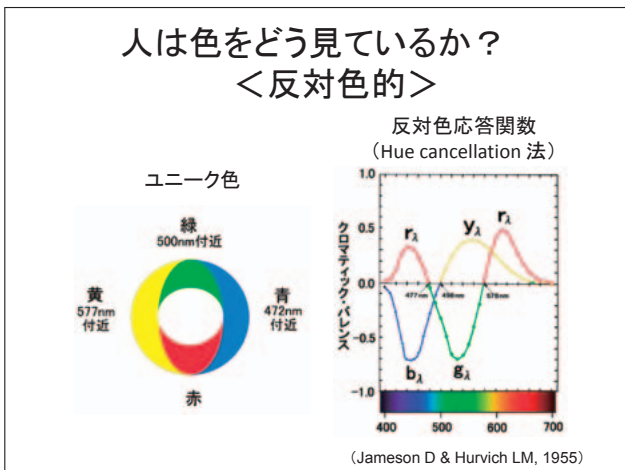


図 3

一方で、色には混じり気のない青、緑、黄、赤の純粋な色相がある。青と黄、あるいは緑と赤は互いに拮抗し、同時に知覚することができないため、「色覚の反対色説」が提唱されていた。右図はキャンセレーション法によって心理物理的に求められた反対色応答関数である。

色光は青味か黄味成分と、緑味か赤味成分を持っているため、黄色光か青色光を適量加えると青味も黄味もない色になるし、赤色光か緑色光を適量加えると緑味も赤味もない色になる。反対色応答関数は、このときに必要となった青、黄、緑、赤のキャンセレーション光の強度から求められたものである。

視細胞レベルを3色説で説明し、反対色応答に変換される水平細胞以降を反対色説で説明するのが「色覚の段階説」である。

図 4

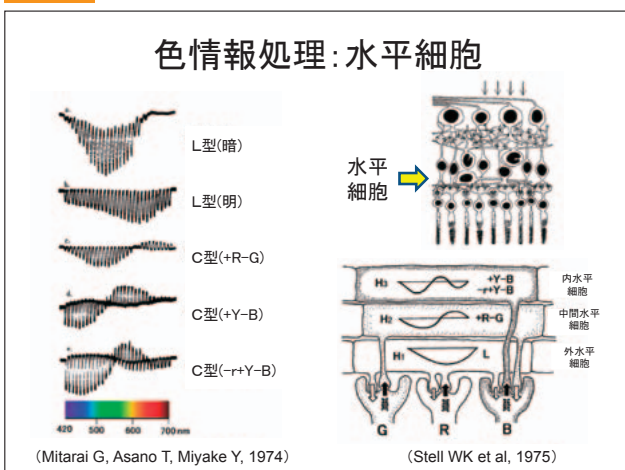


図 4

コイの網膜の水平細胞からは、この説を裏付ける反対色応答を示す電位が記録されている。内層側の水平細胞からはより複雑な応答が得られる。

図 5

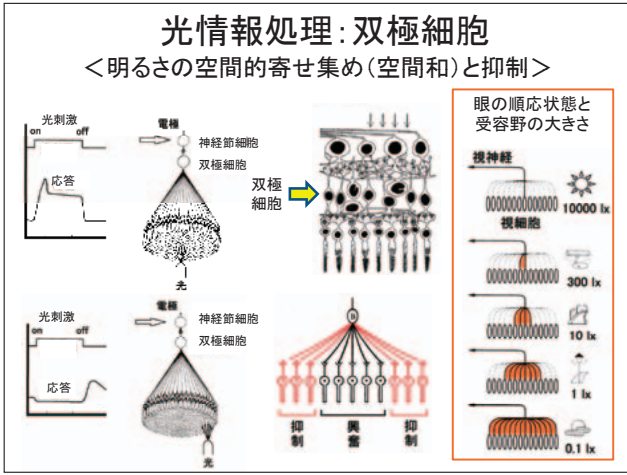


図 5

網膜の双極細胞は同心円状の受容野特性を持っており、中心にある興奮野を抑制野がとり囲んでいる。この受容野の大きさは、眼の順応状態によって変わることも知られている。

図 6

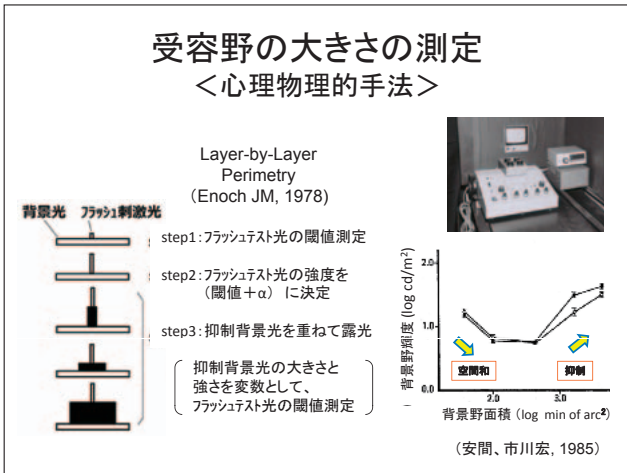


図 6

心理物理的に受容野の大きさを測定すると、通常の条件下では、中心野の大きさは視角10分程度であることが分っている。

図 7

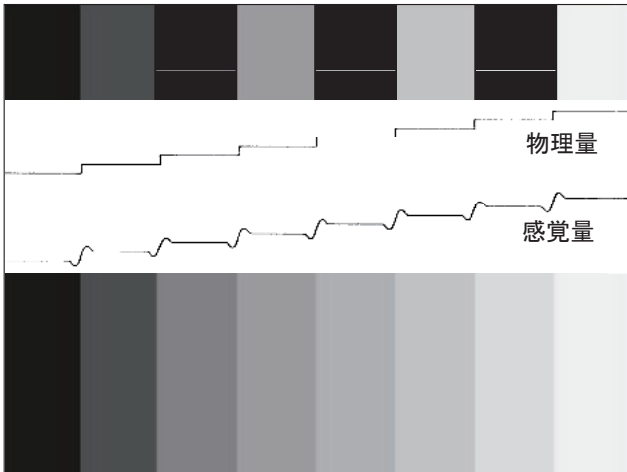


図 7

マッハバンドと呼ばれる図形であり、受容野の存在を理解しやすい。各帯内の明度は均一であるが、下図では抑制野からの側抑制によって帯のエッジが強調されており、明度の高い領域との境界部は暗く感じ、暗い領域との境界部はより明るく感じられる。

## <色度図とは? : r g 色度図>

図 8

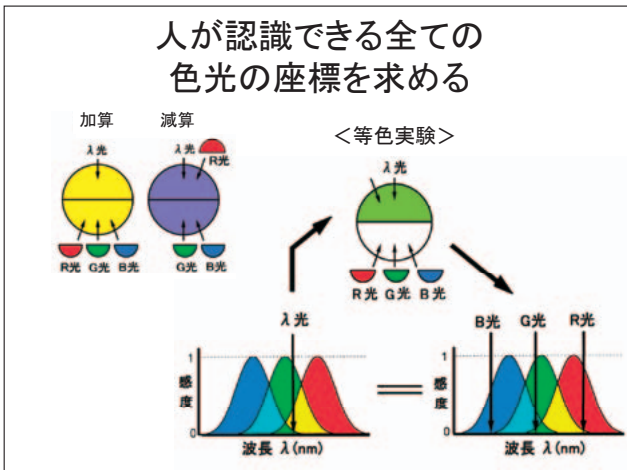


図 8

人が認識できる全ての色は、赤、緑、青の3つの色光から作りだすことができる。色の分光スペクトルが違っていても、網膜にある3種類の錐体が受ける刺激量が同じであれば同じ色と感ずるからである。

2分割した視野の一方に色の強さを調整した青(460nm)、緑(530nm)、赤(650nm)の3つの原刺激のうち2つを混色させて提示し、もう一方には残りの一つの原刺激とテスト光とを混色させた光を提示して、各原刺激の強さを調整すると、両視野を等色させることができ、その結果からテスト光の色味成分が求められる。

図 9

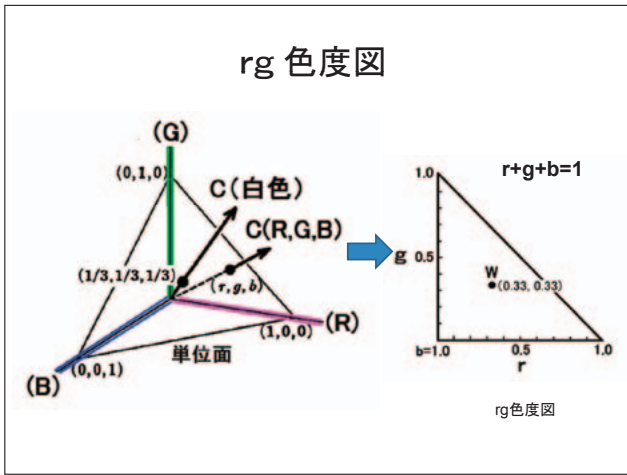


図 9

等色テストの結果を表示する rg 色度図である。rg 色度図とは、色を RGB の3次元空間にベクトルで表示した時、その長さが  $r+g+b=1$  となる単位面を RG の2次元空間に投影したものである（右図）。

図 10

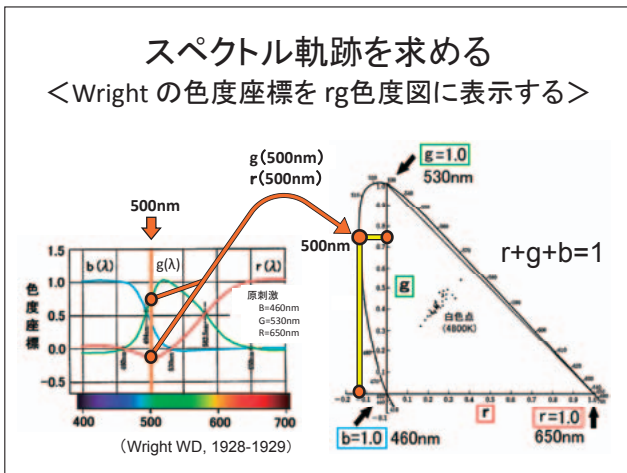


図 10

等色テストを様々な波長で繰り返すと、各波長ごとにその色味成分としての3つの原刺激の大きさ（等色関数）が求められる。この等色関数から原刺激の大きさの比率を求めると、左図のような色度座標が得られるので、これを rg 色度図上にプロットすると、人が認識できる全ての色を2次元空間に表示したスペクトル軌跡を描くことができる。

図は500nmの波長光の色度座標を rg 色度図上にプロットして、スペクトル軌跡を求める過程を示している。

図 11

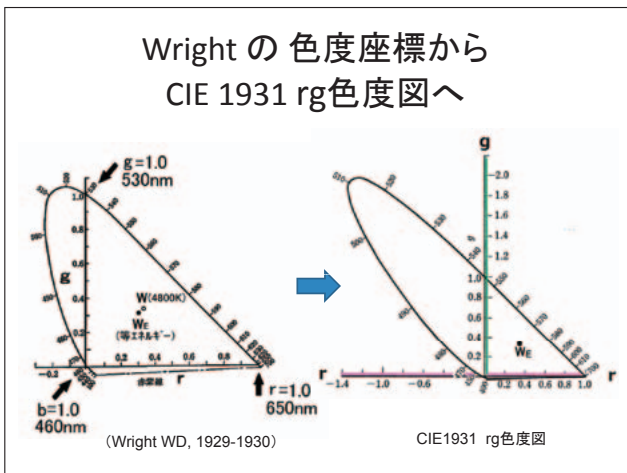


図 11

白色点を4800Kの白色から等エネルギースペクトルの白色に変更して座標の中央に配置し、3つの原刺激の波長をより普遍的な波長（700nmと、水銀灯の輝線である435.8nmと546.1nm）に変えると、CIE1931rg色度図が描かれる（右図）。

図 12

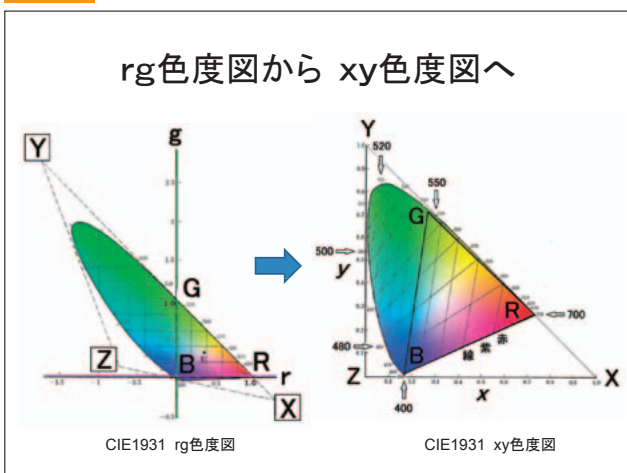


図 12

等色テストを行なう際、3つの原刺激のうち1つは常にテスト光側に入れ、残りの2つの原刺激を混色した光と等色させている。つまり、等色関数のいずれか一つの値は常に負か0となり、r値やg値が負になる部分がでてくる（左図）。

等色関数を全て正にすることを主眼として、色度座標を求めた時に用いられた赤、緑、青の3つの原刺激を実在する色ではない「虚色」に変更し、再構築したものが CIE1931xy色度図である（右図）。

図 13

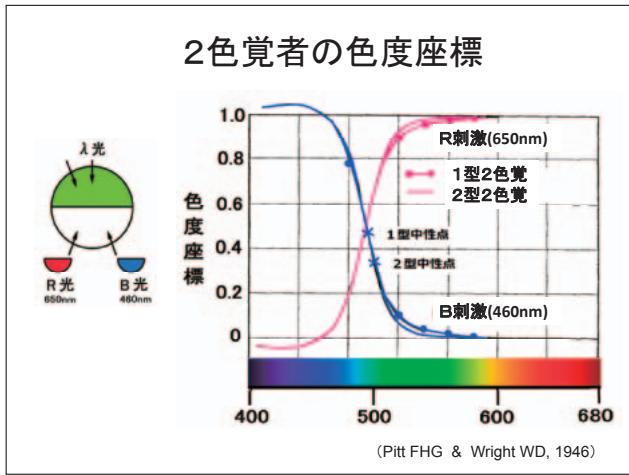


図 13

2色覚者では赤と青の2つの色光を混色すれば全ての色と等色させることができるため、この2つの色光だけを用いて同様の等色テストを行うと、1型2色覚、2型2色覚の色度座標が求められる。

得られた両者の色度座標はほぼ同じになってしまうが、この理由は、等色テストに用いられた原刺激は比視感度で補正されており、1型色覚と2型色覚とでは用いられた原刺激の輝度（明度係数）が最初から異なっていたためである。

図 14

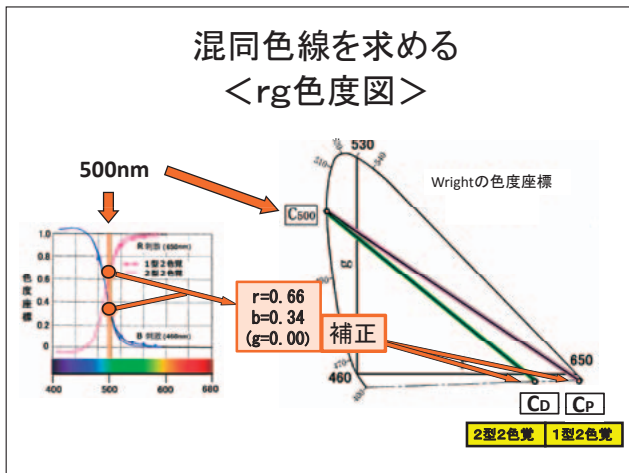


図 14

原刺激の明度係数を色覚正常者の値で補正して、色度座標の値を rg 色度図上にプロットした点と、各スペクトル点とを結び、1型、2型それぞれの混同色線が求められる。

この図は、500nm の波長光と等色した原刺激の色度座標値である r (500nm) と b (500nm) を、明度係数を補正した後に Wright の色度座標上にプロットし、スペクトル軌跡上の500nm の点と結んで、混同色線を描く過程を示している。

図 15

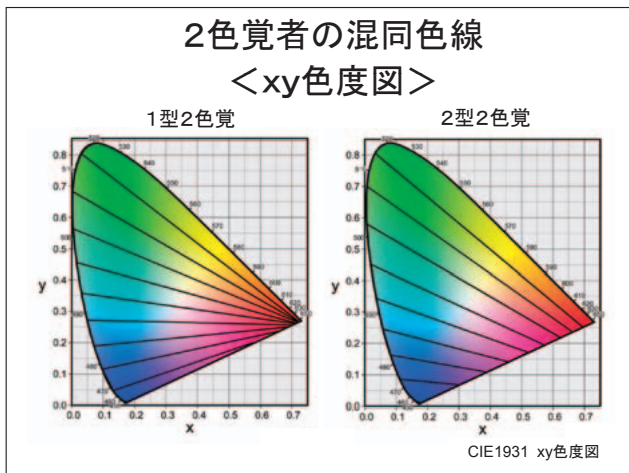


図 15

rg 色度図を xy 色度図に変換して、混同色線を表示した。色覚異常の検出や型判定に用いられる仮性同色表やパネルD-15テスト、あるいはアノマロスコープなどは全てこの混同色線を基本にしたものであり、先天色覚異常の色混同を知るためには、この混同色線を理解することが一番の早道である。

図 16

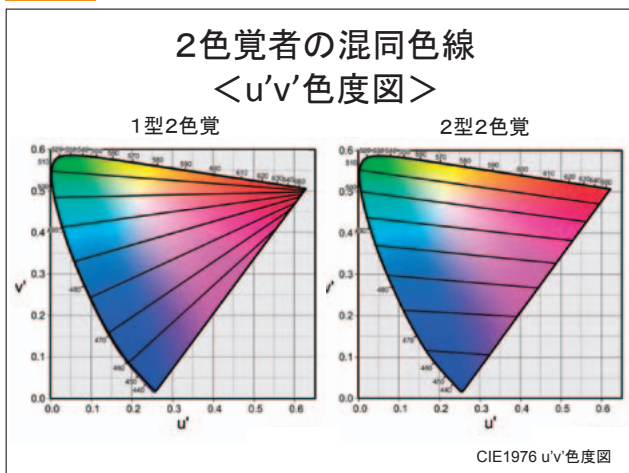
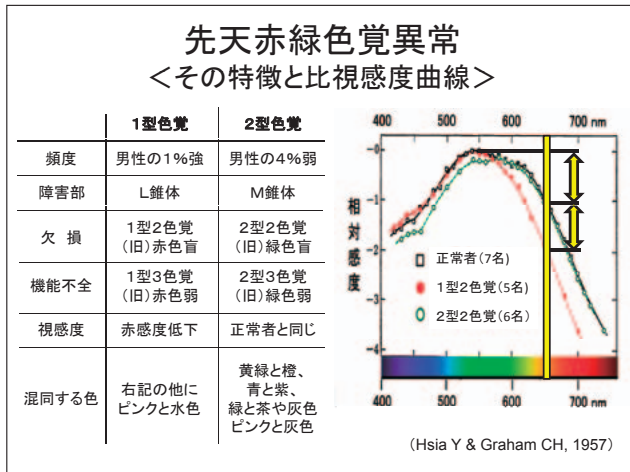


図 16

xy 色度図は全ての実在色を簡便に表示できる便利さはあるが、緑の領域が広すぎるなど、色度図上の色差が等間隔ではない。座標上の幾何学的距離と色差とをほぼ等しくした均等色度図 (CIE1976  $u' v'$  色度図) が考案されているので、その  $u' v'$  色度図上に混同色線を表示した。

図 17



## ＜先天色覚異常のタイプと色覚検査＞

図 17

1型色覚と2型色覚の特徴を列記した。両者の一番の違いは、1型色覚では長波長域の赤の感度が低下していることである。

正常色覚、1型2色覚、2型2色覚の比視感度曲線を右に示した。例えば、650nmの波長の赤色光に対する1型色覚の比視感度は正常色覚あるいは2型色覚より約1 log 低く、1/10程度であることがわかる。なお、異常3色覚の比視感度曲線は、それぞれの型の2色覚のものと同じである。

図 18

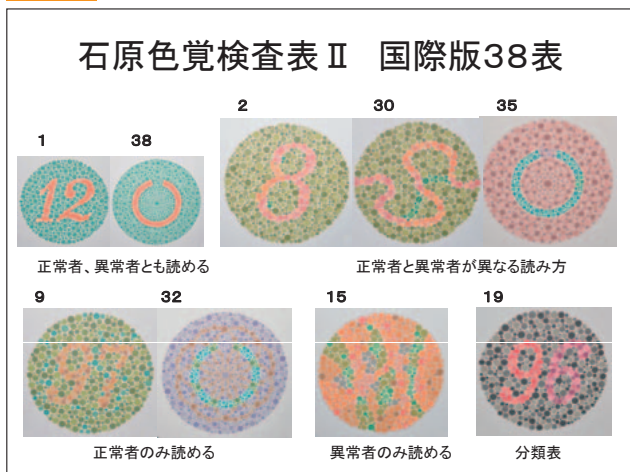


図 18

色覚異常を検出するための仮性同色表としては、石原色覚検査表Ⅱ（半田屋商店）が国際的にも認められている。写真は国際版38表からの抜粋である。

一見、ランダムに配置されたように見える明度や彩度を巧妙に変えた多数の丸い色斑を用いて文字や形が描かれている。色覚正常者には描かれた図柄が容易に判別できるが、色覚異常者には判別しにくい。一方、色覚正常者は色相差に注意を奪われるために形状が理解できないものでも、色覚異常者には濃淡差が強調されて文字や形が判別される表もあり、混同色線上の色の組み合わせや濃淡差が巧妙に利用されている。

図 19

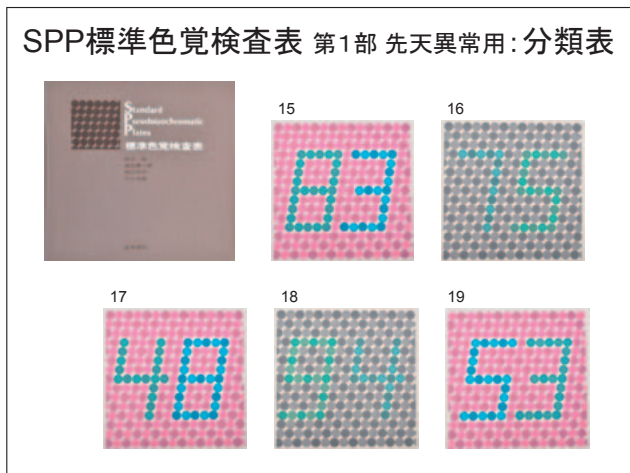
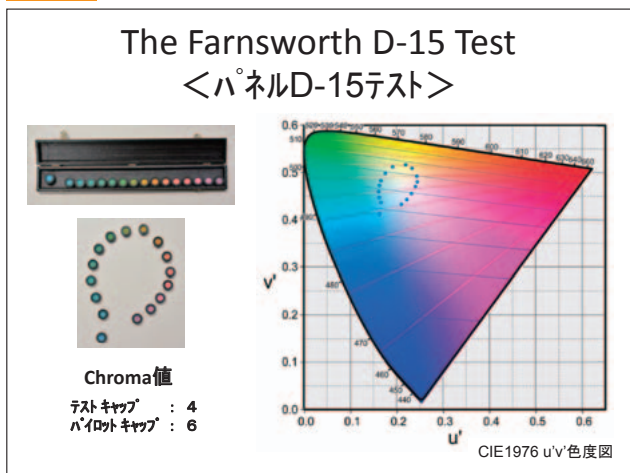


図 19

1型色覚と2型色覚とを判別する仮性同色表としてはSPP標準色覚検査表第1部先天異常用（医学書院）の5枚の分類表が最も定評がある。

SPP第1部分類表を使用する際、1枚の分類表に提示された2つの数字の両方が読める場合には、どちらがはっきり読めるかを聞くことが大切で、1型色覚と2型色覚とを判別する上での大きな手掛かりとなる。

図 20



## ＜パネル D-15テスト＞

図 20

色覚異常の程度判定に汎用されているものが色相配列検査（The Farnsworth D-15 test、通称：パネル D-15テスト）である。u' v' 色度図上に各キャップ を表示した。

図 21

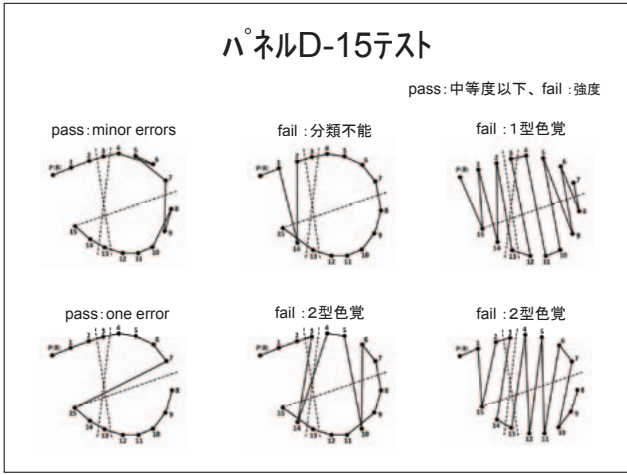


図 22

### Panel D-15テストの fail率

| 195名 (中学校生) |        |           |             | 384名 (小学校高学年以上) |        |           |             | 100名 (高校生) |        |           |             |
|-------------|--------|-----------|-------------|-----------------|--------|-----------|-------------|------------|--------|-----------|-------------|
|             | 比率 (%) | fail率 (%) | 型別fail率 (%) |                 | 比率 (%) | fail率 (%) | 型別fail率 (%) |            | 比率 (%) | fail率 (%) | 型別fail率 (%) |
| P           | 9.2    | 100.0     | 46.8        | P               | 12.0   | 100.0     | 50.9        | P          | 8.0    | 100.0     | 45.8        |
| PA          | 14.9   | 13.8      |             | PA              | 17.2   | 16.7      |             | PA         | 16.0   | 18.8      |             |
| D           | 33.3   | 100.0     |             | D               | 28.9   | 99.1      |             | D          | 30.0   | 100.0     |             |
| DA          | 42.6   | 9.6       | 49.3        | DA              | 41.9   | 9.9       | 46.3        | DA         | 46.0   | 6.5       | 43.4        |
| 全体          |        | 48.7      |             | 全体              |        | 47.7      |             | 全体         |        | 44.0      |             |

(馬嶋, 1972)

| 1,484名 (18施設 5-55歳) |        |           |             | 162名 (11歳-29歳) |        |           |             | 1,478名 (総覧区大) |        |           |             |
|---------------------|--------|-----------|-------------|----------------|--------|-----------|-------------|---------------|--------|-----------|-------------|
|                     | 比率 (%) | fail率 (%) | 型別fail率 (%) |                | 比率 (%) | fail率 (%) | 型別fail率 (%) |               | 比率 (%) | fail率 (%) | 型別fail率 (%) |
| P                   | 8.6    | 86.6      | 45.5        | P              | 3.7    | 100.0     | 30.3        | P             | 7.4    | 99.1      | 48.2        |
| PA                  | 13.7   | 19.7      |             | PA             | 16.7   | 14.8      |             | PA            | 20.8   | 30.2      |             |
| D                   | 32.0   | 87.4      | 45.2        | D              | 19.8   | 96.9      | 42.6        | D             | 16.8   | 100.0     | 48.5        |
| DA                  | 45.8   | 15.8      |             | DA             | 59.9   | 24.7      |             | DA            | 55.0   | 32.8      |             |
| 全体                  |        | 45.3      |             | 全体             |        | 40.1      |             | 全体            |        | 48.4      |             |

(深見, 1970)

| 753名 (小学校4年生) |        |           |             |
|---------------|--------|-----------|-------------|
|               | 比率 (%) | fail率 (%) | 型別fail率 (%) |
| P             | 8.5    | 90.6      | 52.6        |
| PA            | 14.5   | 30.3      |             |
| D             | 30.3   | 95.2      | 58.1        |
| DA            | 46.7   | 34.1      |             |
| 全体            |        | 56.8      |             |

(安間・高柳・上嶋, 1982)

P : 1型2色覚  
 PA : 1型3色覚  
 D : 2型2色覚  
 DA : 2型3色覚

図 23

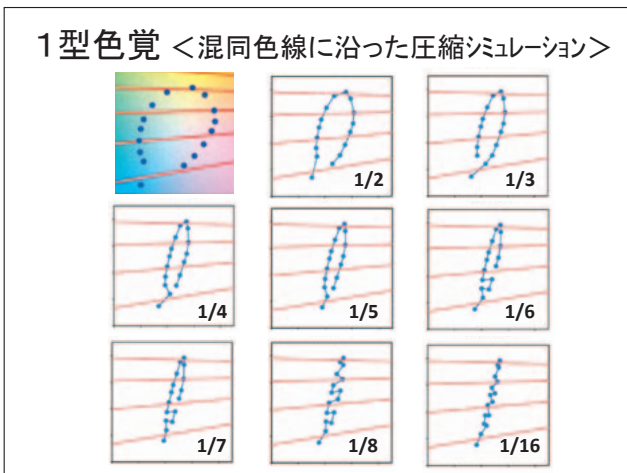


図 24

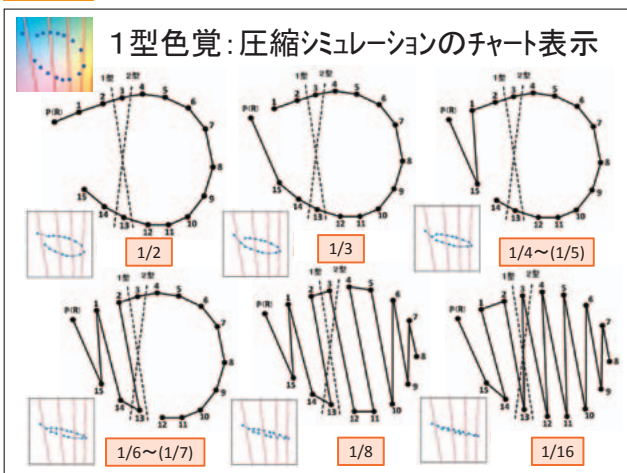


図 21

色覚異常では混同色線上にある色同士の弁別能が低下しているが、低下の度合いがある一線を越えると、隣りあった色同士よりも混同色線上にある色同士の方が似て見えるようになる。パネル D-15 テストはこの色の近似度合が隣の色から混同色線上の色へと切り替わる境界を求めるもので再現性が高い。チャート上で混同色線に沿って1往復の混同があった場合、fail と判定される。

図 22

パネル D-15テストは、2色覚者は1型、2型を問わずほぼ全員が fail し、異常3色型色覚も含めた色覚異常者全体ではその約半数が fail するため、職業適性検査として使用されることが多い。

## <パネル D-15テスト：色覚異常のシミュレーション>

図 23 図 24

$u'$   $v'$  均等色度図上に表示されたパネル D-15 のキャップの座標を、その中央部を基点として混同色線に沿って圧縮すると、色覚異常の程度が強くなるにつれて色混同が発生するシミュレーションを行うことができる。

ここに示した図は、表示された種々の割合で、1型混同色線に沿って圧縮したシミュレーションで、その結果をチャートに表示した。

なお、パネル D-15テストに付属している表示用のチャートは、 $u'$   $v'$  均等色度図を時計回りに90度回転して図示しているため、図24では、図23のシミュレーション結果を時計回りに90度回転して表示した。



図 25

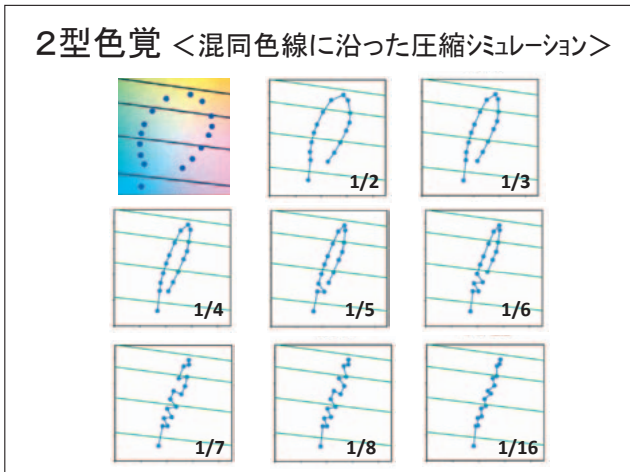


図 26

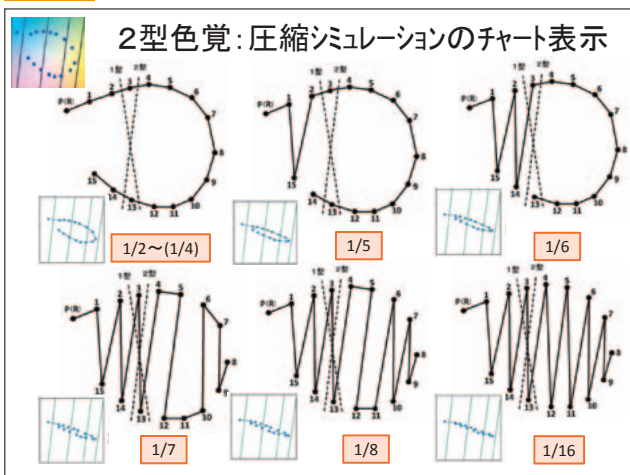


図 27

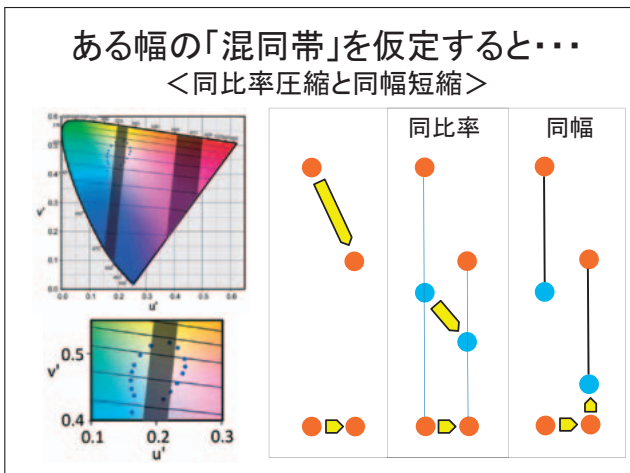


図 28

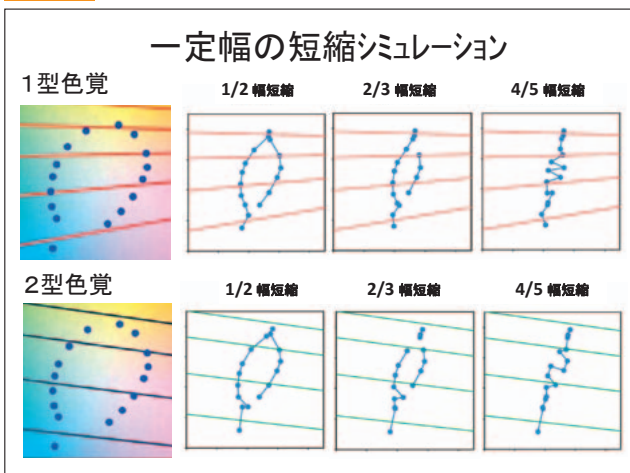


図 25 図 26

同様に、2型混同色線にそって圧縮したシミュレーションを示す。

図 27

混同色線上にある色同士の弁別能低下は、混同色線に沿って一定幅が短縮したとも考えられるため、種々の割合で一定幅を短縮したシミュレーションを行った。

図 28 図 29

パネル D-15 のテストキャップの彩度である chroma 4 の色相環と混同色線とは2か所で交叉する。この2か所の交点間の距離が最大となる混同色線を選び、その最大の交点間距離を基準として、種々の割合で、中央部を基点に一定幅を短縮したシミュレーション結果である。一定比率で圧縮した場合とは結果がやや異なっており、キャップ No.7、8、9で発生する minor error を説明しやすい。

図 29

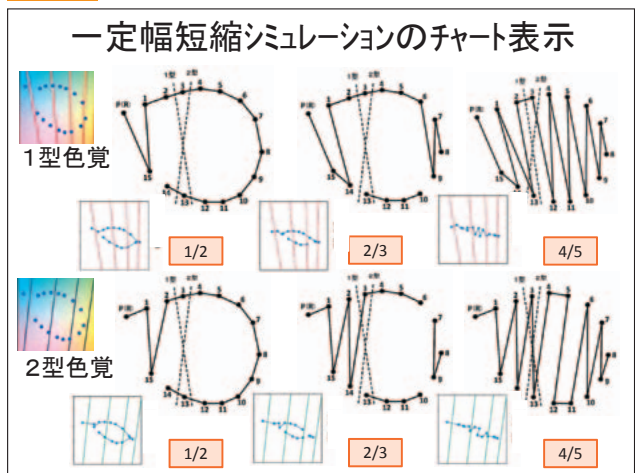


図 30

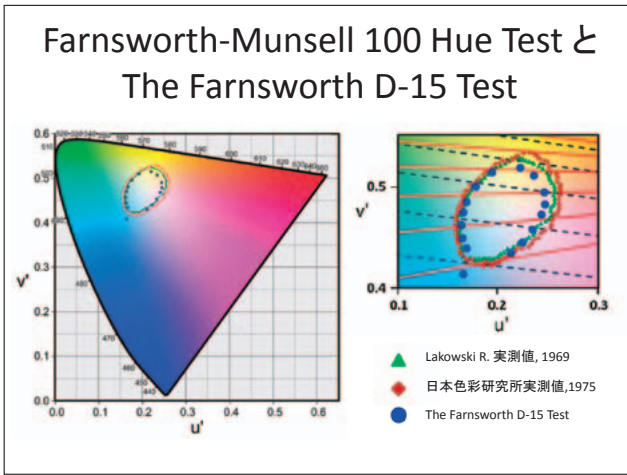


図 31

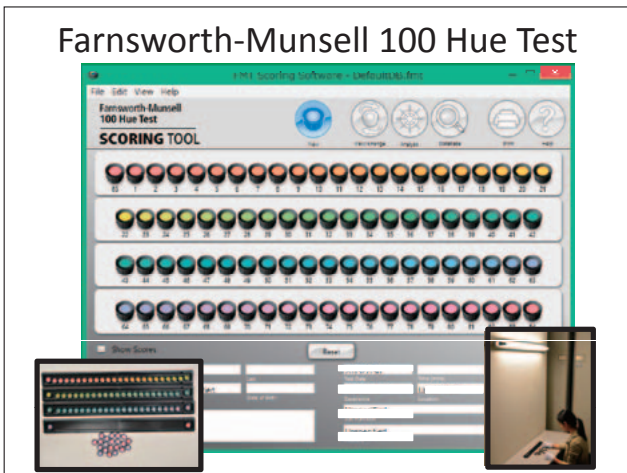


図 32

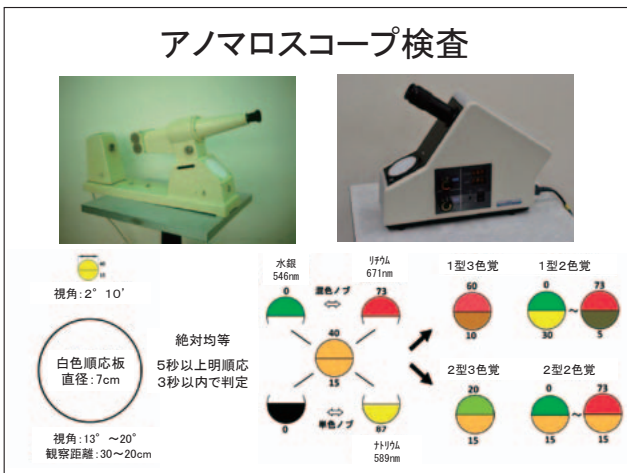
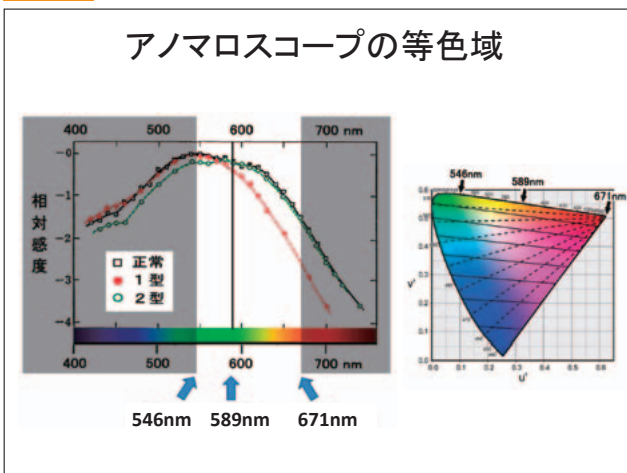


図 33



## < Farnsworth-Munsell 100-Hue テスト >

図 30

パネル D-15 テストでは、パイロットキャップ以外の 15 個のテストキャップの chroma 値は 4 に統一されているが、これとほぼ同じ彩度の色相環上で、キャップ数を 85 個に増やした Farnsworth-Munsell 100 Hue テストが市販されている。

100 Hue テストのキャップ値は公表されていないので、2 か所の施設で実測された値を  $u'$   $v'$  色度図に表示した。右はその拡大図で、Panel D-15 テストのキャップと混同色線を一緒に表示した。

100 Hue テストは、似た色のキャップを集めて 4 つのグループに分け、4 分割されたそれぞれの色相環の中で色相配列検査をするものであるため、色差弁別能を詳細に知ることができる。しかし、混同色線に沿った色混同を調べるものではないため、先天色覚異常の検査には不向きである。色覚正常者を対象として、色を取り扱う人の職業適性を調べたり、後天色覚異常者を対象として、症状の進展状況や治療の効果判定などの継時的な変化を調べるのに適している。

図 31

100 Hue テストには採点ソフトウェアが附属している。画面上にキャップが表示されるので、マウスのドラッグ & ドロップで並び替えると、総偏差点や混同軸などが一瞬で表示される。

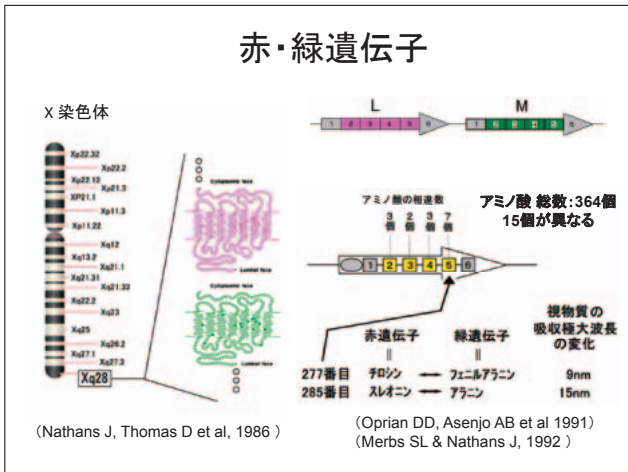
## < アノマロスコープ検査 >

図 32 図 33

アノマロスコープは色覚異常分類の基礎になっているものであり、色覚異常者の色光に対する視感度の違いや色混同を利用している。

検査光には 1 型色覚と 2 型色覚の混同色線が一致するスペクトル軌跡上の緑 (546nm)、黄 (589nm)、赤 (671nm) の 3 色が選ばれており、緑と赤を混色させて黄と等色させ、その等色域の位置と範囲から色覚異常の型を診断するものである。

図 34



## <色覚の遺伝子：赤遺伝子と緑遺伝子>

図 34

視物質は視物質タンパク質であるオプシンにビタミン A 誘導体であるレチナールが結合したものである。オプシンをコードする遺伝子の構造やアミノ酸配列はすでに解明されており、オプシンの違いにより波長吸収特性が異なってくることも明らかにされた。

L オプシン遺伝子（赤遺伝子）や M オプシン遺伝子（緑遺伝子）は X 染色体長腕の末端 Xq28 に存在し、1 個の赤遺伝子の下流に緑遺伝子が 1 個から複数個、隣接して配置されている。

赤遺伝子と緑遺伝子は、いずれも 364 個あるアミノ酸のうち 15 個だけが異なっているが、両者を分ける鍵となっているものは、エクソン 5 にある 277 番目と 285 番目のアミノ酸である。

図 35

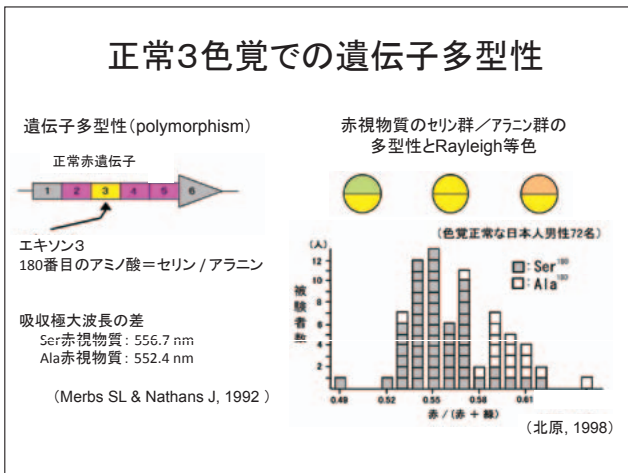


図 35

色覚の遺伝子には多型性がある。最も良く知られているものは正常赤遺伝子におけるエクソン 3 の 180 番目のアミノ酸にセリンがコードされているか、アラニンがコードされているかによる遺伝的多型性である。この違いはアノマロスコープの Rayleigh 等色の個人差に関与していることが報告されている。

図 36

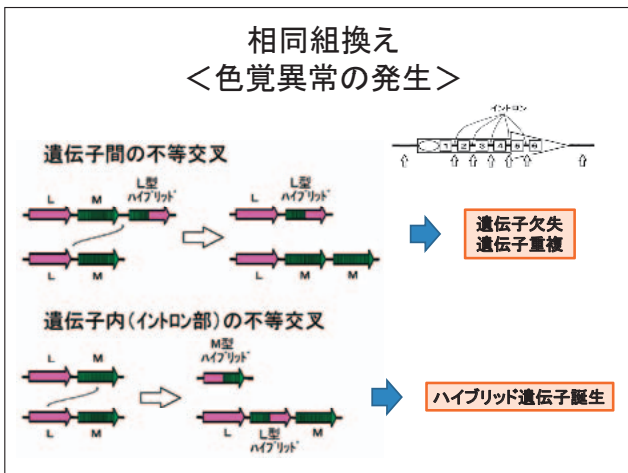


図 36

赤遺伝子、緑遺伝子が不等交叉を起こすと、色覚異常が発生する。2 つの遺伝子の間での相同組換えでは遺伝子の欠失や重複が生じるし、遺伝子内のイントロン部での相同組換えではハイブリッド遺伝子が生まれる。

図 37

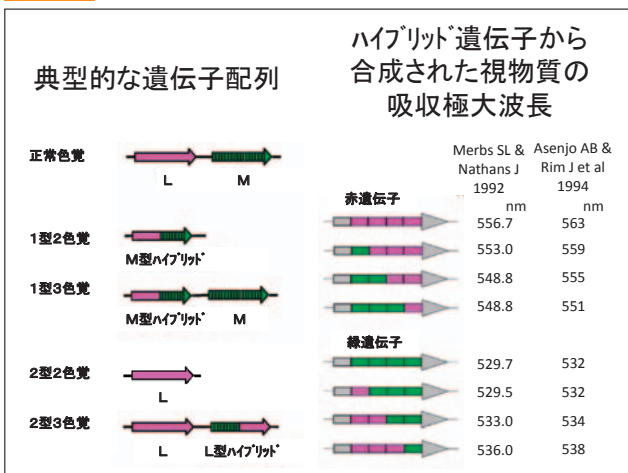


図 37

典型的な色覚異常の遺伝子配列を左に表示した。1 型色覚は全例、上流に赤遺伝子、下流に緑遺伝子から成る M 型ハイブリッド遺伝子を持ち、これに続く緑遺伝子が欠失していれば 1 型 2 色覚となり、緑遺伝子がこれに続けば 1 型 3 色覚となる。一方、正常な赤遺伝子のみで緑遺伝子が欠失すれば 2 型 2 色覚となり、上流に緑遺伝子、下流に赤遺伝子から成る L 型ハイブリッド遺伝子がこれに続けば 2 型 3 色覚となる。

この際、相同組換えがイントロンのどの部位で起きたかによってハイブリッドオプシンの分光吸収特性が決まり、異常 3 色覚の個人差が生まれる (右図)。

図 38

### <色覚異常の遺伝子解析から分ったこと>

図 38

以前、異常3色型色覚は特異な異常錐体色素を持っていると考えられており、デンストメーターを用いた方法、あるいは、一方の錐体に等価な色光を交互に点灯させ、求めようとする錐体だけにフリッカーを検知させることによってその錐体の感度を測定する、いわゆる「フリッカー検知法」を用いた心理物理的な方法など、異常錐体色素の分光特性を求める仕事が多く行われていた。

しかし現在では、異常3色型色覚は特異な異常錐体色素を持っているのではなく、ハイブリッドオプシンの分光特性の多様性で説明されるようになった。

図 39

仮性同色表は誤読するが、アノマロスコープは正常均等を示す色覚異常、いわゆる Pigmentfarbenamblyopie についてもハイブリッドオプシンの多様性で説明されている。

図 40

色覚異常の遺伝子は X 染色体上に存在するために伴性劣性遺伝をする。日本人男性の約6割は、X 染色体上に1個の赤遺伝子とそれに続く緑遺伝子を2個以上もっているが、色覚の表現型として発現する遺伝子は上位2個であり、3番目以降の遺伝子が発現することはない。

このため、発現しないハイブリッド遺伝子を3番目以降に持った色覚正常な男性が存在する(右下図)。

このような色覚正常な男性では、不等交叉により、色覚異常保因者である女性との間に色覚異常の女儿が生まれる可能性がある。遺伝相談の際に注意したい点である。

### <色覚異常保因者の色覚>

図 41

色覚異常保因者の女性では、2本ある X 染色体の内の1本に発現していない色覚異常遺伝子をもっているため、S 錐体、M 錐体、L 錐体の網膜内分布が異なっている可能性が報告されている(左図)。

また、微小テスト光を使った色名呼称では、どちらか一方の X 染色体が不活性化するという Lyonization で予測されたモザイク的な誤答がみられたとの報告もある(右図)。

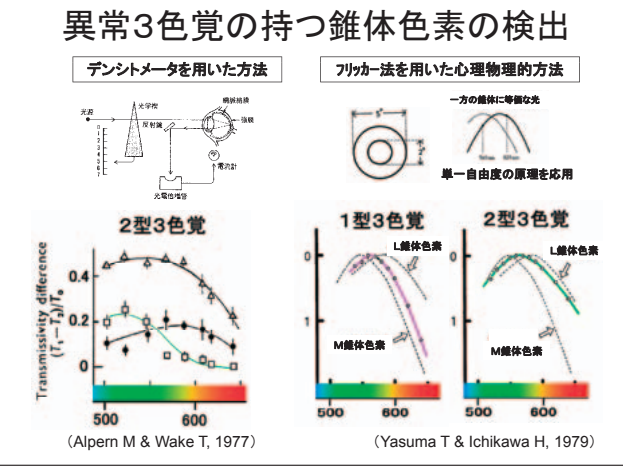


図 39

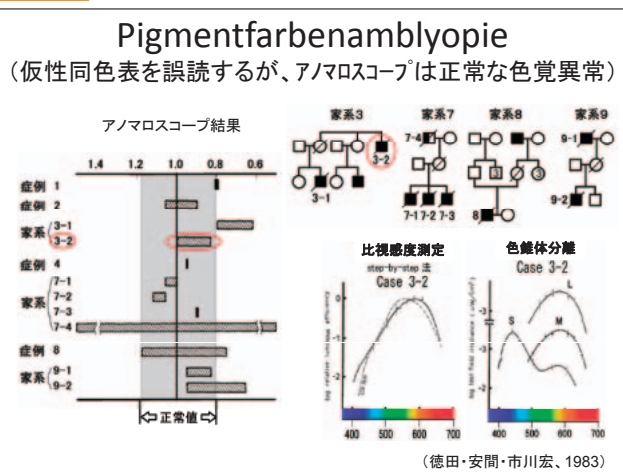


図 40

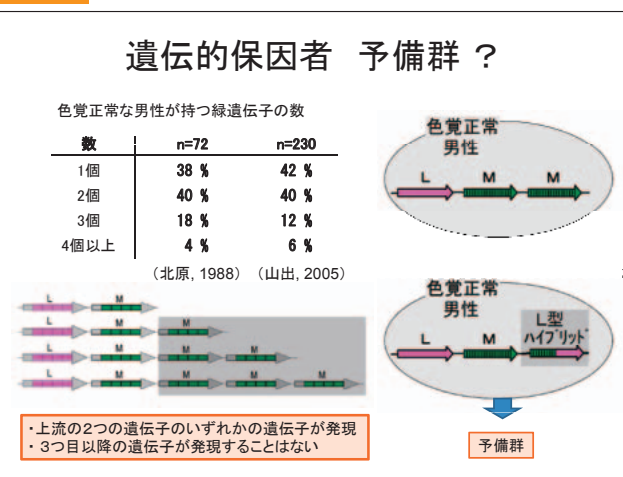


図 41

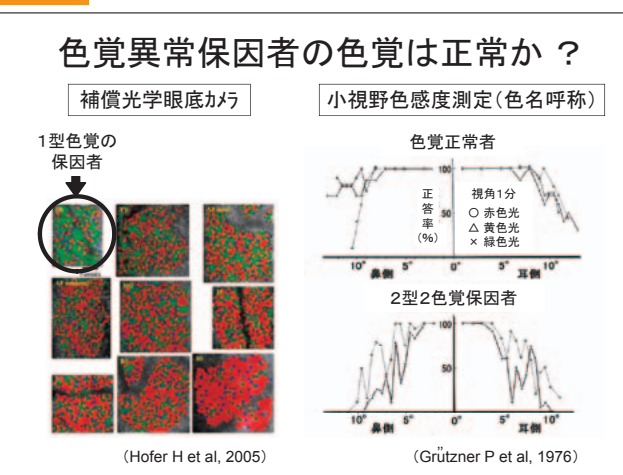


図 42

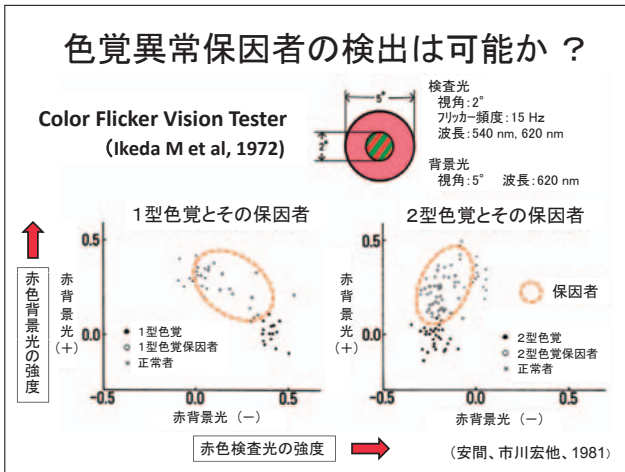


図 42

精密な心理物理的検査を行うと、色覚異常保因者の女性は色覚正常者や色覚異常者とは異なる色覚特性をもっていることも分っている。

赤色光と緑色光をフリッカーさせて比視感度測定を行い、赤色の背景光を点灯させた時の効果を加味すると、色覚異常保因者を検出することができる。

図 43

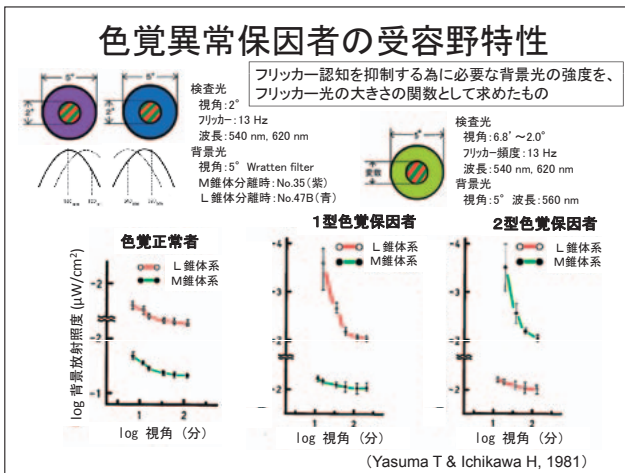


図 43

色覚異常保因者のL錐体系とM錐体系を分離し、「フリッカー検知法」を応用してそれぞれの受容野を測定すると、保因者の持つ色覚異常の遺伝子タイプにより、M錐体系あるいはL錐体系の受容野の大きさが、色覚正常な男子とは異なっていることも報告されている。

図 44

### 色覚異常者への対応とその緩和

|        |                                        |
|--------|----------------------------------------|
| 大 9年   | 義務教育のなかでの色覚検査が規定                       |
| 昭33年   | 学校保健法施行規則：毎年、全児童生徒に義務づけ                |
| 昭62年   | 調査書(小→中学、中→高校)から色覚の項が削除                |
| 平 4~7年 | 大学入学資格で、全ての学部で色覚制限が撤廃                  |
| 平 5年   | 調査書(高校→大学)から色覚の項が削除                    |
| 平 7年   | 小学校4年のみに色覚検査の義務づけ                      |
| 平13年   | 労働安全衛生規則の一部改正<br>雇入時健康診断の検診項目から色覚検査が削除 |
| 平14年   | 学校保健法施行規則の一部改正<br>健康診断の必須項目から色覚の検査が削除  |

## ＜色覚異常に対する 社会の対応の変化とその影響＞

図 44 図 45

色覚異常をもつ人への対応は1980年代から2000年代初頭にかけて大きく変わった。殊に平成13年(2001年)の労働安全衛生規則の一部改正で「雇入時健康診断」の検診項目から色覚検査が削除されたことにより、色覚異常者に対する就業制限がほぼ撤廃された。

また、平成14年(2002年)には学校保健法施行規則の一部改正があり、その後、学校での色覚検査は殆ど行われなくなった。

図 45

### 学校保健法施行規則の一部改正

平成14年3月29日  
文部科学省スポーツ・青少年局長

＜健康診断＞

- ・色覚の検査を必須の項目から削除したこと。
- ・平成15年度健康診断から適用。

＜留意事項＞

- ・今後も、適切な対応ができる体制を整えること。
- ・色覚異常検査表は、色覚異常の有無を検査し得るものでなければならないこと。
- ・教職員は、色覚異常について正確な知識を持ち、常に色覚異常を有する児童生徒がいることを意識して、色による識別に頼った表示方法をしないなど、学習指導、生徒指導、進路指導等において、色覚異常について配慮を行うとともに、適切な指導を行う必要があること。

図 46

### 色覚制限緩和の効果と影響

全ての人に、均等な機会を与える

||

全ての人に、同等に、その結果責任を負わせる  
色誤認が誘因の場合も、勘案されない



- ・色に対する能力を自分で判定し、自己責任で、進むべき分野を選択することが必要になった
- ・自身の色覚特性を知らなかったことによるトラブル発生が表面化

図 47

### 色覚異常者の眼科受診実態調査

＜日本眼科医会＞

期間：平成22年4月1日～平成24年3月31日（2年間）

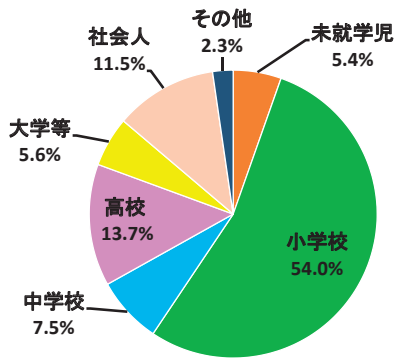
場所：全国 228 定点眼科医療機関  
（参考：全国眼科診療所数 6,131）  
アノスコープ所有：26医療機関（26/228=11.4%）

結果：941例の受診者が報告された

日本眼科医会学校保健部：日本の眼科83(10):1421,2012  
日本の眼科83(11):1541,2012

図 48

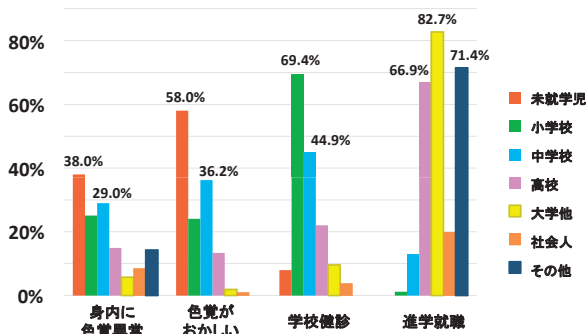
### 初診時における学校区分



日本眼科医会学校保健部, 2012

図 49

### 学校区分別の受診動機



日本眼科医会学校保健部, 2012

図 46

色覚異常者に対する制限の緩和は全ての人に均等な機会を与えるという、本来あるべき姿に戻ったが、反面、全ての人に同等に結果責任を負わせることになり、自己責任で進むべき分野を選択する必要がでてきた。

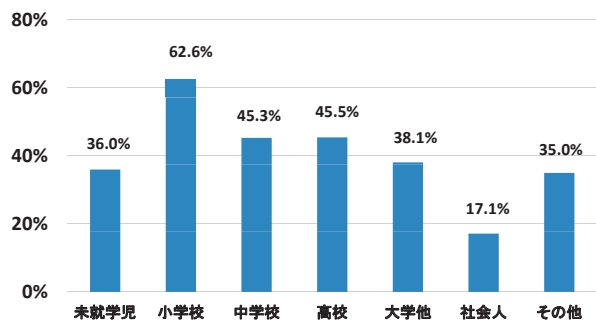
### ＜色覚異常者の眼科受診実態調査＞

図 47 図 48 図 49 図 50

自身の色覚特性を知らなかったことが誘因となったトラブルが表面化してきたため、日本眼科医会は色覚異常者の眼科受診の実態調査を行なった。色覚異常に気付いていなかった人が受診者の約半数に上ることがわかった。

図 50

### 色覚異常に気付いていなかった人 ＜全体で 50.2%＞



日本眼科医会学校保健部, 2012

## 色覚に係るエピソード

### 色を感じたまま表現

- 5歳 お絵かきで、顔を緑色にしていた。
- 16歳 美術で顔の影を緑に塗っていた。
- 6歳 クリスマスツリーの絵を描かせたら木の葉を赤で書いた。
- 7歳 公園の木の葉を茶色という。
- 13歳 木を緑で書いたり、葉を茶色で書いたりすることがあった。
- 7歳 お寿司屋さんでサーモンを緑色と言った。
- 9歳 幼稚園の時、キュウリを茶色く塗り気付いた。

日本眼科医会学校保健部, 2012

## 色覚に係るエピソード

### 周囲の人の知識不足

- 8歳 色間違いをして、先生に「ふざけてはダメ」と注意されたことがある。
- 9歳 幼稚園の時、赤や緑等、違うところに貼り、まじめにやっていると言われたことがあった。
- 10歳 小2の時、熟していない柿を描くよういわれ、オレンジ色で描いてしまったため学校の先生に怒られた。
- 19歳 船の信号灯が識別できず、上司に怒られた。努力で何とかなるといわれた。

日本眼科医会学校保健部, 2012

## 色覚に係るエピソード

### 食べ物

- 9歳 熟した赤いトマトなのか、熟してない青なのか分からない。
- 9歳 ハンバーグの中が焼けていないのがわからなかった。
- 17歳 焼き肉が焼けているかどうかわからないで、生肉を食べてしまうことが多かった。
- 38歳 刺身の鮮度がわかりにくい。古いものを出してしまった。

日本眼科医会学校保健部, 2012

## 色覚に係るエピソード

### 生活上不便

- 6歳 緑の草の中で赤色の花を見た時、花がわからなかった。
- 5歳 ゲーム機の充電の色(橙と黄緑)が区別できない。
- 19歳 充電のLEDの色に赤と緑があることを知らなかった。
- 10歳 ルービックキューブで色がそろったと言ったが、違っていておかしいと思った。
- 13歳 地下鉄の路線図の緑と茶色の区別が難しい。
- 18歳 自動車運転中に夜の信号の黄と赤で迷うことがある。
- 18歳 福祉施設で働いているが、入所者の顔色が判別できない。
- 23歳 赤のボールペンと黒のボールペンの字を区別しにくい。
- 55歳 クリーニング業だが、染み抜き作業の時のシミの色が区別できない。

日本眼科医会学校保健部, 2012

日本眼科医会の報告の中で、様々なエピソードが語られている。

## 色覚に係るエピソード

### 学校生活

- 9歳 社会科のテストで地図の色で判断する問題が誤答だった。今後、どのように対応していったらよいか不安がある。
- 9歳 黒板の赤いチョークの字を読み飛ばした。
- 10歳 色づかいが級友と違うことをからかわれた。
- 14歳 理科の実験で薄い赤のライトの点滅に気づけなかった。
- 15歳 勉強で大事な部分が赤で書かれているが、青に見えるので戸惑う。
- 17歳 リトマス紙のピンクと淡いブルーが見えにくい。
- 18歳 工業高校3年生。コードをつなぐ実習がうまくできなかった。
- 21歳 スライドでパワーポイントの色の区別がしにくい。

日本眼科医会学校保健部, 2012

## 色覚に係るエピソード

### 就職-1

- 18歳 警察官志望だったが、色覚異常とわかり断念した。
- 22歳 警察官の試験に合格し、採用が決まったが、採用後に色覚検査等で不安があり、精査を希望して受診。
- 18歳 自衛隊志望だったが、色覚異常とわかり断念した。
- 20歳 自衛隊レンジャーに行こうと思ったが、検査でひっきり、色弱では行けないと言われた。
- 18歳 消防の仕事我希望。願書提出時に「色覚異常あり」のままでは受診ができないと言われ、「信号が識別できる」という診断書が必要と言われて眼科を受診。
- 23歳 消防局の試験でパネルD-15で引っかかった。インターネットで研究したら、検査をパスする方法を見つけたので、練習させてほしいと受診。

日本眼科医会学校保健部, 2012

## 色覚に係るエピソード

### 就職-2

- 19歳 水産高校を卒業するにあたり、船舶免許を取ることにになり、色覚異常が強いと免許が取れないことを知り、慌てて受診。
- 23歳 海技士受験手続きに行ったところ、受付の段階で色覚異常を指摘され、申請用紙に精密検査結果を記入してもらうよう言われた。
- 18歳 鉄道会社を就職希望のため色覚検査を希望。
- 15歳 色覚異常には気づいていたが、どうしても競艇選手になりたいと診断書をもって来院。
- 23歳 調理学校入学願書に添付する健康診断票に色覚異常の有無の記載欄があった。
- 16歳 美容専門学校希望。ヘアカラーが全然わからない。
- 26歳 薬剤師免許申請のため診断書が必要となった。

日本眼科医会学校保健部, 2012

図 58

### 自身が色覚異常であることを 知ることは重要である

色覚異常者が  
色の判断能力を発達させる為には  
自分の感じている色と  
他の人が感じている色とが  
違っていることを認識する必要がある

他の人との違いを知ることは  
色以外の手掛かりを利用した  
代償能力を発達させる最初の契機となる

図 59

### 道路交通上の課題

- ・色覚異常者は交通信号の色を混同するし、交通信号に対する反応が遅い。  
(Nathan J et al, 1964, Shirley SY et al, 1968)
- ・色覚異常者の35%~60%は交通信号が見にくいことを体験している。  
(Steward JM et al, 1989)
- ・1型色覚では赤信号が見にくく、赤信号に対する反応が遅い。  
(Cole BL et al, 1966, Pun HW et al, 1986)
- ・1型色覚の運転手は赤のストップライトや危険信号の見落としによる事故が  
色覚正常者の2倍程度ある。(Verriest G et al, 1980)

| 色覚型          | 悪条件              | 注意点                 |
|--------------|------------------|---------------------|
| 1型色覚<br>2型色覚 | 雨降り、夕暮れ<br>信号が点滅 | 赤信号を黄信号や橙黄色の街灯と間違える |
| 1型色覚         | 同上               | 前の車の赤のテールランプを見落とす   |
|              | 晴天時              | 前の車のストップランプへの反応が遅れる |

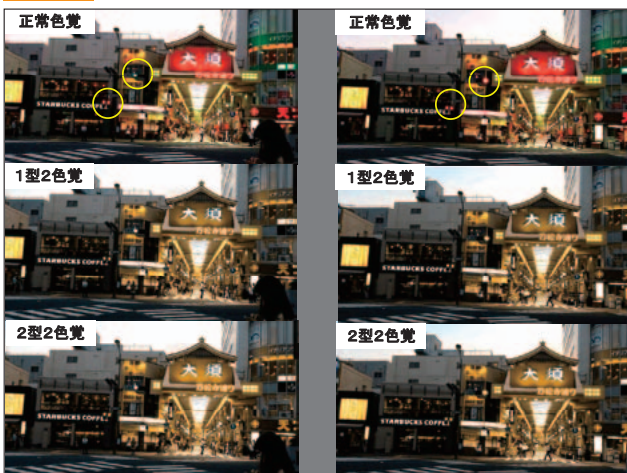
図 60

### 職業適性上の課題

#### 適性がないと考えられる職業

- ◎ 悪条件下でも、色の正確な判断が求められる職業  
悪条件:色を判断する他の情報がない  
信号灯が小さい  
天候が悪い など
- ・ 航空機パイロット
- ・ 鉄道運転士
- ・ 船舶航海士
- ・ 職業運転手: 1型色覚のみ (国際照明委員会CIE 2001の勧告)  
(ただし、日本での制限はない)  
International Recommendations for  
Colour Vision Requirements for Transport

図 61



## <色覚異常を自覚することは大切である>

図 58

色覚異常者は、自分の感じている色と他の人が感じている色とが違っていることを認識して、初めて、色以外の代償能力を使った色の判断能力が向上してくる。自身が色覚異常であることを自覚することは大切である。

図 59 図 60

色覚異常者の道路交通上の課題や職業適性などについて列記した。色の判断能力には大きな個人差があるため、その点への配慮も必要である。

様々な職種で色の判断を必要とする状況は多々あるが、多くの場合、色以外の手掛かりを利用した代償能力の発達や、周りの人たちの助言などによって十分に業務を遂行することができる。

しかし、視標が小さかったり点滅しているなど、見る条件が悪い場合には色覚異常が軽度であっても色を間違い易く、正答する場合でも反応が遅延するため、他人の生命に危害を及ぼす可能性のある航空機のパイロットや鉄道運転士、船舶航海士などには適さない。

殊に長波長域の視感度が低下している1型色覚者は「赤」の危険信号に対する判断が遅れる可能性があることから、国際照明委員会は運輸に関する国際提言の中で、「職業運転手には不適である」と勧告している。

図 61 図 62

夕方と夜間の信号灯の見え方のシミュレーションである。昼間であれば問題のないものであっても、夜間では信号灯の光は周囲の照明に紛れてしまい、その存在に気づきにくくなっている。

図 62





図 63

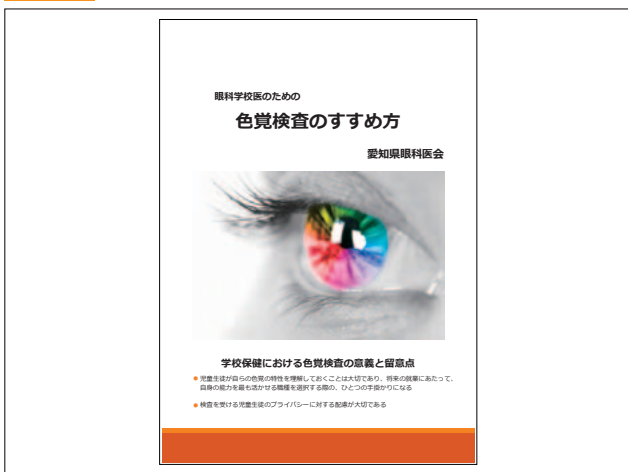
## 学校保健安全法施行規則の一部改正

平成26年4月30日

文部科学省スポーツ・青少年局長

- ・平成14年3月29日付けの趣旨を十分に踏まえ、
- ・特に、児童生徒等が自身の色覚の特性を知らないまま不利益を受けることのないよう、保健調査に色覚に関する項目を新たに追加するなど、より積極的に保護者等への周知を図る必要があること。
- ・施行期日(附則関係)  
改正後の規定の施行期日を、児童生徒等の健康診断に係る改正規定等については平成28年4月1日としたこと。

図 64



## <学校保健安全法施行規則の一部改正>

図 63

自らが色覚異常者であると気づかないまま進学や就職を迎え、その時点で初めて色覚異常を指摘され、余儀なく進路変更をせざるを得なかった状況等も報告されてきたことから、平成26年(2014年)に学校保健安全法施行規則の一部改正が行われ、「児童生徒等が自身の色覚の特性を知らないまま不利益を受けることのないよう、より積極的に保護者等への周知を図る必要があること」とされた。

## <眼科学校医のための色覚検査のすすめ方>

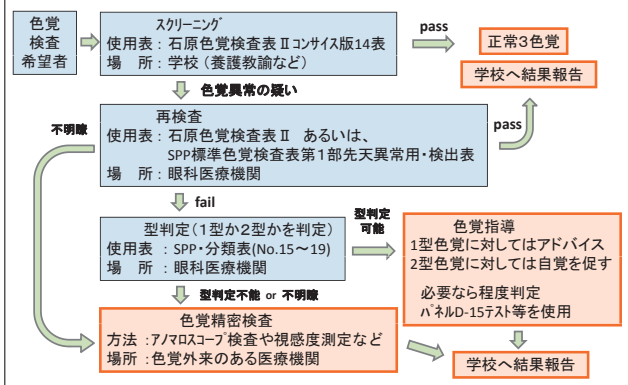
図 64 図 65

愛知県眼科医会では「眼科学校医の為の色覚検査のすすめ方」のパンフレットを作成した。

学校での石原色覚検査表Ⅱ コンサイス版14表を用いたスクリーニング検査で色覚異常の疑いとなった児童生徒に対し、眼科医療機関で再検査を行う。そこで色覚異常と診断された児童生徒には SPP 標準色覚検査表第1部先天異常用の分類表を用いた色覚異常の型判定を行い、1型色覚か2型色覚かを判定する。

図 65

### 色覚検査フローチャート(推奨)



1型色覚か2型色覚かの判定ができた場合には色覚指導を行う。1型色覚と2型色覚の両者に、色を混同し易いこと、信号灯などを見落とし易いので注意深い状況判断に心掛けることなどを話し、赤の感度が低い1型色覚者には、赤色で表示されることが多い危険信号に気づきにくい場合があることなどをアドバイスする。

職業適性検査として考案されたパネル D-15テストは、色覚異常をその程度に応じて強度と中等度以下に2分することを目的としたものであり、passとfailに分ける必要のない児童生徒の就学指導上の検査には適さない。児童生徒に対してパネル D-15テストを行う場合にはこの点に配慮する必要がある。

図 66

### 色覚検査表分類表の判別能力

使用した分類表:4種13表  
石原表国際版分類表:4表  
東京医科大学式色覚検査分類表(TMC表):3表  
SPP標準色覚検査表第1部先天異常用分類表:5表  
石原大熊程度表:6表(1表として換算)

| <1型の判定> |      |      | <2型の判定> |      |       | 林の数量化理論第Ⅱ類<br>変数のカテゴリ:5種<br>1)P表のみ読める<br>2)D表のみ読める<br>3)P表が読みやすい<br>4)D表が読みやすい<br>5)同様に読めるか、いずれも読めない<br>判別得点<br>正=1型色覚<br>負=2型色覚 |
|---------|------|------|---------|------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 表       | カテゴリ | 判別得点 | 表       | カテゴリ | 判別得点  |                                                                                                                                  |
| SPP-17  | P-容易 | 0.68 | SPP-15  | D-のみ | -0.28 |                                                                                                                                  |
| SPP-15  | P-のみ | 0.64 | SPP-17  | D-のみ | -0.19 |                                                                                                                                  |
| SPP-15  | P-容易 | 0.51 | SPP-18  | D-のみ | -0.18 |                                                                                                                                  |
| SPP-19  | P-容易 | 0.50 | SPP-18  | D-容易 | -0.17 |                                                                                                                                  |
| SPP-19  | P-のみ | 0.46 | SPP-15  | D-容易 | -0.17 |                                                                                                                                  |
| SPP-15  | 同様   | 0.40 | SPP-17  | D-容易 | -0.13 |                                                                                                                                  |
| 石原大熊    | P    | 0.38 | 石原大熊    | D    | -0.13 |                                                                                                                                  |
| SPP-17  | 同様   | 0.34 | SPP-19  | D-容易 | -0.12 |                                                                                                                                  |
| SPP-17  | P-のみ | 0.27 | 石原-24   | D-容易 | -0.11 |                                                                                                                                  |
| SPP-18  | P-のみ | 0.25 |         |      |       |                                                                                                                                  |
| TMC-3   | P-のみ | 0.20 |         |      |       |                                                                                                                                  |

(安間・高柳・長屋幸, 1986)

図 66

色覚異常の型判定に SPP 第1部の分類表を使用する根拠のひとつになった判別分析結果である。4種類13表の仮性同色表の分類表の判別能力を林の数量化理論第Ⅱ類で判定した。例えば、判別得点が2倍であれば、その表の判別結果は2倍の重みを持って判定してもよいことを意味している。

SPP第1部分類表が上位を独占しており、この分類表の判別能力が高いことが分る。

図 67

### 色覚正常者の石原表国際版誤読率

| 1982年<br>検査<br>受診者数 | スクリーニング<br>石原表国際版<br>4表以上<br>誤読者数 | 2次検診         |             | 2次検診               |                                | 統計量=14.94<br>p<0.0001 |        |
|---------------------|-----------------------------------|--------------|-------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------|--------|
|                     |                                   | 2次検診<br>受診者数 | 2次検診<br>受診率 | アノマロスコープ診断<br>色覚異常 | 2次検診<br>受診者中の<br>色覚正常<br>正常者比率 |                       |        |
| 男子                  | 15,273                            | 1,053        | 833         | 79.1%              | 679                            | 154                   | 18.49% |
| 女子                  | 14,175                            | 175          | 133         | 76.0%              | 26                             | 107                   | 80.45% |

(高柳・長屋幸他, 1984)

＜2次検診対象者全員が2次検診を受診したと仮定する＞

| (B) | 生徒数    | 誤読者数  | 色覚異常 | 色覚正常 | 色覚正常者の<br>比率 | 「色覚異常」、「色覚正常」の数は<br>(A)の「アノマロスコープ診断」の実数を<br>2次検診受診率で除して求めた |
|-----|--------|-------|------|------|--------------|------------------------------------------------------------|
| 男子  | 15,273 | 1,053 | 858  | 195  | 18.49%       |                                                            |
| 女子  | 14,175 | 175   | 34   | 141  | 80.45%       |                                                            |

| (C) | 生徒数    | 色覚<br>正常者数 | 石原表を<br>誤読した<br>色覚正常者 | 色覚正常者の<br>誤読率 | 「色覚正常者数」は(B)の<br>「生徒数」-「色覚異常」数である |
|-----|--------|------------|-----------------------|---------------|-----------------------------------|
| 男子  | 15,273 | 14,415     | 195                   | 1.35%         |                                   |
| 女子  | 14,175 | 14,141     | 141                   | 1.00%         |                                   |

統計量=2.79  
p=0.005

図 68

## 色覚異常者に対する事後措置

### 1、色覚異常であることを自覚してもらう

- 自分の感じている色と、他の人が感じている色とが違ふことを認識して、初めて、色認識が発達してくる。
- 色以外の手掛かりや、自分の経験した情報を活用し、色の判断をする能力を伸ばす。

### 2、1型色覚者には赤の感度が低いことを伝える

- SPP標準色覚表第1部分類表を使用して、1型色覚を判別。
- 赤い光や物体に対する感度が正常者の 1/10 程度である為、「危険信号」が見にくいことを十分に自覚してもらう。

### 3、カラーユニバーサルデザイン化の推進

図 69

## カラーユニバーサルデザイン

色覚異常者に分りやすく、  
色覚正常者にも自然な色の組み合わせ

**色文字**


- 背景色と図色との明度差をつける
- 書体、大きさ、囲み枠などで変化をつける
- 色名を添える

**色の選択**


- 赤は、黄に近い橙色にする
- 緑は、青か青緑にする

**色の組合せ**

- 混同色線と直交する色の組合せ、  
例えば、青と黄の組み合わせを選択する
- 明度や彩度を変えてコントラストをつける



2003年7月から



しろ

図 70

## まとめ(1)

- 色覚異常の特性を知る近道は、混同色線の理解である。
- 色覚検査の代表は、以下の3つである。
  - 仮性同色表：色覚異常検出と型判定
  - 色相配列検査 (Panel D-15テスト)：程度判定
  - アノマロスコープ検査：比視感度測定と色混同の検査
- Panel D-15テストは、色相環上にある色同士の近似度が、隣の色から混同色線上の色へと切り替わる境界を求めるもので、再現性が高い。
- 職業適性検査として考案されたPanel D-15テストは、色覚異常を強度と中等度以下に2分することを目的としたものであり、passとfailに分ける必要のない児童生徒の就学指導上の検査には適さない。
- 色覚異常の遺伝子解析により、色覚異常の様々な病態が説明できるようになった。

図 67

石原表を使用したスクリーニング検査で検出された女性には色覚正常者が高い確率で含まれているため、石原表でのスクリーニング検査は女性に対しては行うべきではないという意見がある。

表は名古屋市立中学校97校に在籍する中学1年生のうち、スクリーニング検査が可能であった29,448名を対象にして、石原色覚検査表国際版38表でスクリーニング検査を行い、4表以上誤読した生徒についてアノマロスコープ検査を含む2次検診を行った結果である。2次検診を受診した生徒の中で色覚正常であった者の比率を求めると、女性では80.45%と高くなっている。

しかし、この母数には色覚正常者と異常者が混じっているため、この値では比較し難い。2次検診受診率が低いため、やや問題はあるものの、この2次検診受診率で補正して全生徒中の色覚正常者、色覚異常者の概数を推計し、全生徒数から色覚異常者数を差し引いた色覚正常者数を母数として、石原表を誤読した色覚正常な生徒の比率を求めると、男性1.35%、女性1.00%となる。データ解釈の際、注意すべき点である。また、色覚異常保因者は石原表では検出できないことも分る。

## ＜色覚異常に対する事後措置と対応＞

図 68 図 69

社会に望まれることはカラーユニバーサルデザインの推進と色覚異常についての知識の啓発である。黄と青の組み合わせなど、混同色線と直交方向にある色の組み合わせは誰にでも判別しやすい。混同色線上の色を組み合わせる場合には明度を変えたり、色の周りに無彩色の枠をつけるなどの工夫が必要である。

図 71

## まとめ(2)

- 色覚異常保因者は色覚正常者とは異なった様々な特性をもっている。
- 学校での色覚検査は1958年(昭和33年)に全児童生徒に義務づけられたが、徐々に緩和され、2002年(平成14年)に学校での健康診断の必須項目から色覚検査が削除された。
- 自身の色覚特性を知らないことが誘因になった不利益から守るため、希望者には、より積極的に色覚検査を受ける権利を規定した学校保健法施行規則の一部改訂が、2016年(平成28年)4月から施行。
- 男性の5%を占める色覚異常者や、女性の10%を占める色覚異常保因者のために、色覚異常についての正しい知識の啓発とカラーユニバーサルデザインの推進が大切である。

## あ と が き

学校保健安全法施行規則の一部改正が平成28年4月から施行されます。色覚検査を希望して医療機関を受診する児童生徒が増えると思われるので、愛知県眼科医会では色覚の手引を作成しました。

この図表は、講演用スライドの中から抜粋して手引用に改変したものです。色覚異常を理解する為に一番大切な混同色線の解説から、今後の課題まで記載いたしました。学校保健委員会などでのご指導の際にもご利用ください。紙面の都合上、解説が不十分で分りにくい点があるかと思しますので、ご不明な点がございましたらご連絡ください。

なお、この図表はダウンロードできる形で愛知県眼科医会のホームページに掲載の予定です。

愛知県眼科医会 会長 安間哲史

