

# 先天色覚異常の概要

深見 嘉一郎

福井医科大学 眼科

〒910-11 福井県吉田郡松岡町

## 1. 先天色覚異常の分類

先天色覚異常は表1のように分類される。第1色盲と第1色弱を併せて第1(色覚)異常 protan, 第2色盲と第2色弱を併せて第2(色覚)異常 deutan, 第3色盲と第3色弱を併せて第3(色覚)異常 tritanと総称する。

表の分類は Young-Helmholtz の3原要素説から分類されたように見えるが、これは長年の経験に基づき、現象論的に作られたものである。つまり、すべての色と等色するのにただの1色で十分な者を1色型色覚とし、2色を必要とする者を2色型色覚とし、3色を必要とする者を3色型色覚としたのである。3色型色覚のうち、正常色覚者が必要とする3色の量と異なる量を必要とする者が異常3色型色覚である。

## 2. 各類型の特徴

### 2.1 杆体1色型色覚

視感度は正常者の黄昏視状態に一致する(図1)。視力は昼光照明下では一般に0.1前後が

多い。しかし低照度下(12ルクス以下)では正常者と変わらない視力を有する。明所では差がある。また、本症の3徴候の残る一つである眼振は、明所で増強される。

### 2.2 錐体1色型色覚

弁色能はないが、眼振はなく、視力も低下していないものである。

赤錐体1色型色覚、緑錐体1色型色覚、青錐体1色型色覚がある。

### 2.3 2色型色覚

三つの類型がある。

#### 2.3.1 第1色盲

比視感度曲線は短波長側(最明部は540nm付近)にずれ(図2)、長波長側の感度低下が著明である。弁色能は490~500nmで最もよく、それより短波長側も長波長側も急激に悪くなっている。弁色能の最もよい部分は第1色盲者にとってはほとんど無彩色で、この点を中性点といい、495nm付近である(図3)。

表1 先天色覚異常の分類

一色型色覚(一色覚) monochromatism
杆体一色型色覚 rod monochromatism
定型杆体一色型色覚 typical rod monochromatism
非定型杆体一色型色覚 atypical rod monochromatism
錐体一色型色覚 cone monochromatism
定型錐体一色型色覚 typical cone monochromatism
非定型錐体一色型色覚 atypical cone monochromatism
二色型色覚(二色覚) dichromatism
第一色盲 protanopia (P)
第二色盲 deuteranopia (D)
第三色盲 tritanopia (T)
異常三色型色覚(異常三色覚) anomalous trichromatism
第一色弱 protanomaly (PA)
第二色弱 deuteranomaly (DA)
第三色弱 tritanomaly (TA)

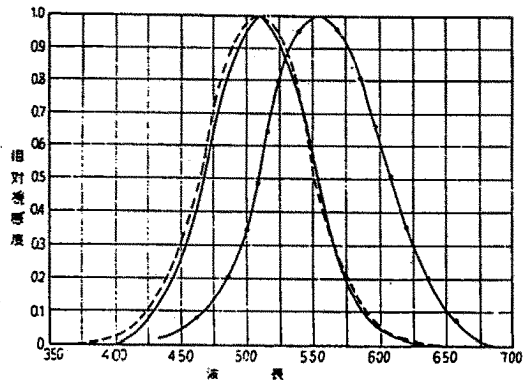


図1 比視感度曲線

- 定型杆体一色型色覚 (Wright, 1964 による)
- - - 正常眼の暗順応眼 (Stiles & Smith, 1944 による)
- 正常者の明順応眼 (Wright, 1944 による)

混同色軌跡：CIE 色度図上の各点は正常者にとっては別の色を表わしている。しかし、2色型色覚は1要素が欠けているので、異なる位置の点が同一の色を表わすことがある。つまり2点を混同することになる。その点を連ねたものが混同色軌跡である。その収束点は $x=0.747$ ,  $y=0.253$  (Judd, 1952<sup>4)</sup>)である。

2色型色覚は中性点を挟んで長短波長を識別できるに過ぎない。つまり、白色の短波長側は青、長波長側は黄に見えている。中性点と色度図上のw (白を表わす) を結んだ線上の色は無彩色である。

### 2.3.2 第2色盲

比視感度曲線は極大値は565 nm 付近にあり、正常眼とは僅かのずれがあるのみである。

弁色能は490~500 nmで最もよく、それより短波長側も長波長側も急激に悪くなっていることなど第1色盲者とよく似ているが、全般的に見て、第2色盲の方が弁色能はやや良好である(図3)。中性点は500 nm 付近である。

分光色度座標曲線は2色型色覚であるので、2種類の原刺激でよいのはもちろんである。このことも第1色盲とおなじである。

混同色軌跡：第1色盲と異なりその収束点は $x=1.08$ ,  $y=-0.08$  (Judd, 1952<sup>4)</sup>)である。

### 2.3.3 第3色盲

比視感度曲線は正常眼とほとんど変わりがない。弁色能は第1・第2色盲と異なり、長波長部ことに黄色部(580-600 nm)では良好である。逆に青緑部(460 nm)では弁色能はほとんどな

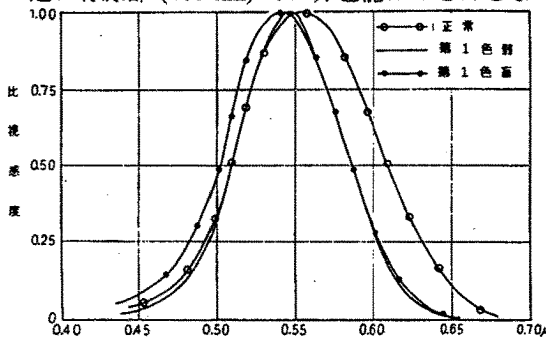


図2 第1色盲、第1色弱、正常眼の平均比視感度曲線 (McKeon & Wright, 1940<sup>2)</sup> による)

い。特徴としては上記の他に短波長端に近い所(440 nm)にもう一つの弁色能の良い部分がある。

中性点は578 nmとされ、もう1か所410 nm 付近にあるといわれている。短波長端に混同色軌跡が収束する。

## 2.4 異常3色型色覚

### 2.4.1 第1色弱

比視感度曲線は第1色盲と同じく短波長側(やはり最明部は540 nm 付近)にずれ、長波長側の感度は低下している。弁色能は正常に近いものから、第1色盲に近いものまで種々の程度に分布している。

### 2.4.2 第2色弱

比視感度曲線は第2色盲と同じように正常者とほとんど変わらない。弁色能は第1色弱と同じように正常に近いものから、第2色盲に近いものまで種々の程度に分布している(図4)。

## 3. 遺伝

杆体1色型色覚は常染色体性劣性遺伝をする。したがって男女による発生頻度に差はな

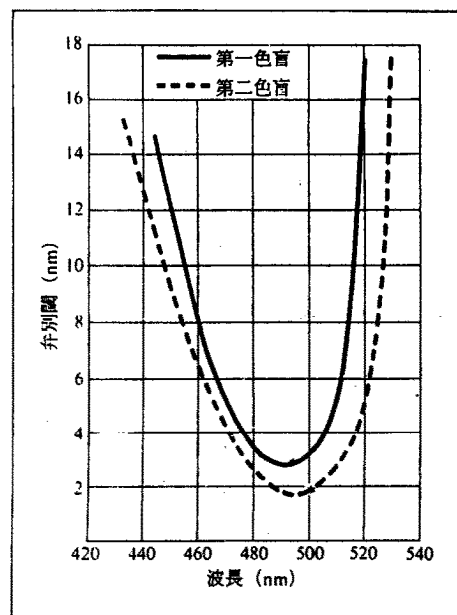


図3 第1・第2色盲それぞれ6名の平均波長弁別域値曲線 (Pitt, 1935<sup>3)</sup> による)。\*は中性点の平均位置、視角2度、明るさ70 photon。

い。発生率に関しては種々の説があるが、100,000~200,000人に一人とされている。

錐体1色型色覚については遺伝型式・発生頻度とも詳細は不明である。

第1・第2異常はX染色体性劣性遺伝をする。1986年にNathansら<sup>9)</sup>はX染色体上のDNAの塩基配列を決定したという。第1異常と第2異常の遺伝子は独立にX染色体の長腕上に頭と尾を接して存在する。両者の塩基配列は98%相同であるという。また青・緑・赤の遺伝子とロドプシンとは75%相同であるという。

発生率は日本人の場合、男子約5%、女子0.2%以下である。なお、欧米人では、男子の約8%、女子の0.4%以下に現れる。

#### 4. 先天色覚異常の検査法

現在わが国で常用されている先天色覚異常の検査法は大まかに仮性同色表、色相配列法、ランタン・テスト、アノマロスコープである。

##### 4.1 仮性同色表 pseudoisochromatic plates

仮性同色とは、正常者には異なって見える色が色覚異常者には同じに見えることを意味する。例えば赤と橙で文字を描き、緑と青緑で地を構成すると、色覚正常者には暖色系の色の文字が寒色系の地と区別出来るため容易に文字を読み取ることが出来る。しかし、第1・第2異常には赤と青緑、橙と緑が似て見えるので、文字は容易に読み取り得ない。

わが国で主として使われているのは：石原表各種、石原・大熊表、東京医科大学色覚検査表

(TMC表)、標準色覚検査表第1部先天異常用(SPP-1)である。

##### 4.1.1 石原表

石原忍によって考案・制作された表である。篩い分け検査には優れた表である。現存の色覚検査表の中で最優秀のものである。

##### 4.1.2 石原・大熊表

旧大熊表(大熊篤二：色盲色弱度検査表)は優れた表で、それなりの評価を得ていた。改訂に当たり「カタカナ」であった文字をなくして「リング」として、その切れめを判定させるようにした。それがさらに発展して、石原表も使用色をそのままにして文字をリングに変え、大熊表を程度表として併せさせたものが出版された。

##### 4.1.3 東京医科大学色覚検査表(TMC表)

Pittの混同色理論に基づいて使用色を選択して作られた表である(1957年)。篩い分けのみでなく、類型分類と程度分類も出来るようにと企画し、定量的色覚検査表といわれた。しかし、程度の区分が任意的であるので、この表で決定される程度に普遍性がない。

この表の特徴は印刷による色再現の困難さを避けるため、顔料を塗った色紙を使用したことである。このような作り方をした表はこれ以外にはない。また、1枚1枚の表をルーズリーフ・ノートのように綴じて、自由に順序を変換出来るようにしてある。

##### 4.1.4 標準色覚検査表第1部先天異常用(SPP-1)

1978年に作られた表である。Panel D-15

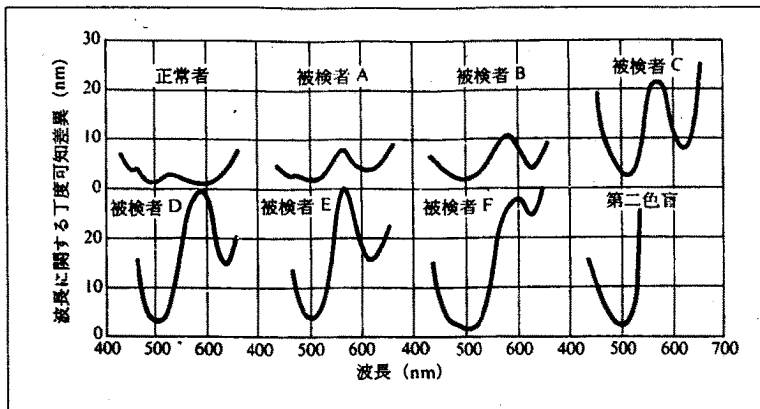


図4 第2色弱の色調識別曲線(Nelson, 1938<sup>10)</sup>による)。視標の視角2度、明るさ70 photon.

Test の色を基準にしたにもかかわらず、D-15 の pass-fail と平行した成績が得られず、程度表の試作は断念した。

表の文字は計算器などに使用されているデジタル数字を用いていることが特徴である。検出表の検出能力は従来の表と差はない。類型分類は大変優れており、とくに第1異常の分類は100%に近い。

#### 4.2 配列検査 arrangement test

上の面に色を付けたキャップを並べさせる検査である。先天異常の程度判定，職業適性判定に最適とされているのは Farnsworth Dichotomous Test Panel D-15 である。

#### Farnsworth Dichotomous Test Panel D-15

基準色の他に15の色キャップが用意されている。基準キャップは横長の箱の左端に固定されている。順不同にされた15のキャップのうちから基準色によく似た色の順にキャップを並べる検査である。

並べられた番号の順に記録図上の基準キャップから線で結ぶ(図5)。描かれた線のパターンによって診断する。つまり、記録用紙の番号順に円を描くときは pass である。二，三順序が違っても、円の形が崩れない程度ならば pass と

みなす。円でなく、円を横断する線になるときは、failとする。記録図に描かれた指示線 (protan, deutan, tritan の3種類がある) に平行な線により、類型を決定する(図5)。

本検査に pass する者は、正常者の弁色能の10%以上を有するものであるとされる。したがって、正常者の弁色能の10%以下になって初めて fail するのである。

第1・第2異常者の約半数が pass し、これは異常3色型色覚である。残りは fail し、これは2色型色覚と見做してよい。

#### 4.3 ランタン・テスト Lantern Test

信号灯を模した検査である。色光を示して、その色名を答えさせる。わが国で使われているもののみについて述べる。

#### 市川式ランタン・テスト Ichikawa's Color Perception Lantern

直径5mmの円孔が15mm間隔で上下に並べられたものを1対として赤・緑・黄の3色を組合わせて、9組作る。5mの距離で示し色名を答えさせる(視角2' 40")。提示時間と刺激の休止時間はそれぞれ2秒である。部屋は半暗室とする。

結果は9組の答のうち誤ったものをxで表し

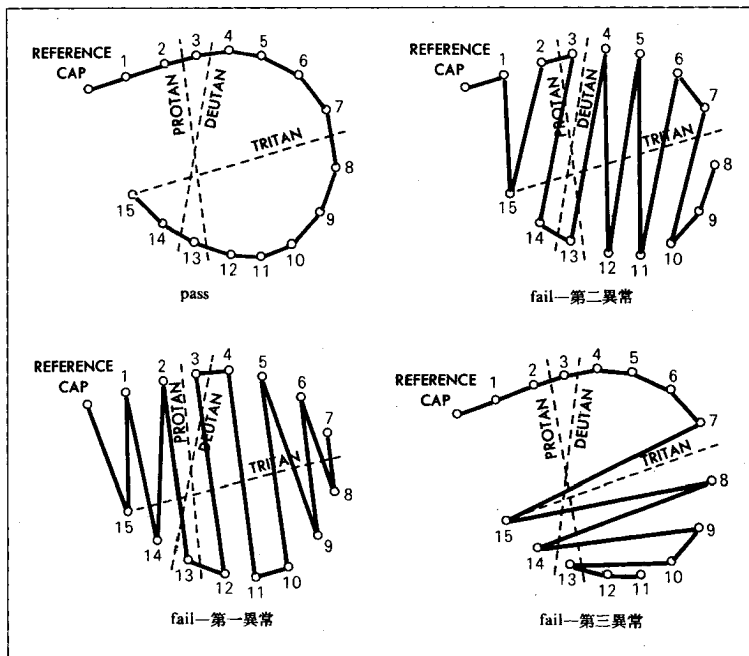


図5 Panel D-15 Test の結果の表示例。Fail と判定された者は3種類の類型に分類できる。

表2 先天性覚異常の社会適性基準 (馬嶋<sup>7)</sup>)

程度	ランタン	D-15	程度表
微度	pass	pass	H-R-R表 大熊表 TMC表 } いずれか2種 類以上を全表 正読
軽度	pass	pass	弱度以上
中等度	fail	pass	弱度以上
強度	fail	fail	弱度以上

x/9 と記録する。一般検査では0~3/9 を pass とし、4~9/9 は fail とする。しかし、第1・第2異常の10~25% しか pass しない。

#### 4.4 社会適性基準 (馬嶋<sup>7)</sup>)

特定の職業に対する適性ではなく、一般的に色覚異常の程度を示すことは、中高生の将来を方向づけるために有効と考えて、作り出された基準である。

Farnsworth に倣って上記のランタン・テストとパネル D-15 テストを組み合わせて次のような程度分類を作ることが出来る、これが馬嶋の社会適性基準である (表2)。

#### 4.5 アノマロスコープ anomaloscope

1907年 Nagel によって製作された分光光度計である。Rayleigh 均等を測定する装置である。2° 10' の円形視野の上半分に純粋の『赤』と『緑』の混色である『黄』を作り、それぞれの明るさを相補的に変化させて混合比を変える。下半分には純粋の『黄』を示して、その明るさを変化させて、両者の均等する点、Rayleigh 均等を求める装置である。

#### 5. 先天性覚異常の対策

色覚正常者にとっては検査と思えないほど簡単な検査であるランタン・テストの色名を、全部正答する色覚異常者が1~2% しかないということから考えて、彼らの見ている色は正常者の見ている色とは相当に異なるものである。したがって、日常生活で色覚異常者は相当の色の誤認をしているに違いない。しかし、色誤認をしても大して差し支えなく、致命的にならないだけである。

また、生物に備わった代償能力と学習能力とに助けられて、事なきを得ているのである。そ

れに加えて、生物の機能の予備能力に助けられている。つまり、正常の器官は通常はその持つ最大能力の1/10も使っていないのである。したがって、正常者の1/10以上の弁色能を持った色覚異常者はその持つ弁色能をフルに使えば、正常者に伍して仕事ができる。それで問題はないのである。しかし、何かの非常事態が起ったり、大きな負荷を掛けられたり、病的な状態であったり、老齢になったりすると、破綻をきたすことになる。したがって、色覚異常者は自分の能力の限界をよく知って事を行うことが大切である。それが、緊急事態を無事に乗り切るための必須条件である。

そこで、結論は成長期のある時期に的確な検査を受け、自分の異常の状態を正確に把握しておくこと、ということになる。

つけ加えるまでもないが、この色覚異常という状態は、治療によって治ることはなく、また生涯変化するものでもない。

#### 文 献

- 1) 加藤金吉：色覚異常。日本眼科全書7, 眼機能, 第3冊, 第1分冊, 金原出版, 東京, 1955.
- 2) W. M. Mckeon and W. D. Wright: The characteristics of protanomalous vision. *Proceedings of Physiological Society of London*, 52, 464-479, 1940.
- 3) F. H. C. Pitt: Characteristics of dichromatic vision. *Medical Research Council Special Report Series*, 200, 1-58, 1935.
- 4) D. B. Judd: Color in Business, Science and Industry. John Wiley & Sons, New York, 1952.
- 5) J. Nelson: Anomalous trichromatism and its relation to normal trichromatism. *Proceedings of Physiological Society of London*, 50, 611, 1938.
- 6) J. Nathans, D. Thomas and D. S. Hogness: Molecular genetics of human color vision: The genes encoding blue, green, and red pigments. *Science*, 232, 193-202, 1986.
- 7) 馬嶋昭生：先天性色覚異常の診断基準について (Ⅲ) パネル D-15 とランタン併用による社会適性診断基準 (馬嶋試案) とその検討. *日本眼科紀要*, 23, 170-175, 1972.