

色覚の本質

澤 充

日本大学名誉教授
公益財団法人 一新会 理事長

色覚および先天色覚異常についてご説明を致します。

- 利益相反：あり

（石原色覚検査表：著作権）

※本発表資料中の石原色覚検査表についての著作権は、公益財団法人一新会帰属のため、無断複製・転載を禁じます。

※本資料中の石原色覚検査表は、実際のものとは色が異なるため、検査での使用は不能です。

利益相反をスライドに示します。なお、本発表資料における石原色覚検査表の著作権については、公益財団法人一新会の帰属となっております。また本資料中に収載しております同検査表は、実際のものとは色が異なるため、検査では使用できません。あらかじめおことわり申し上げます。

内 容

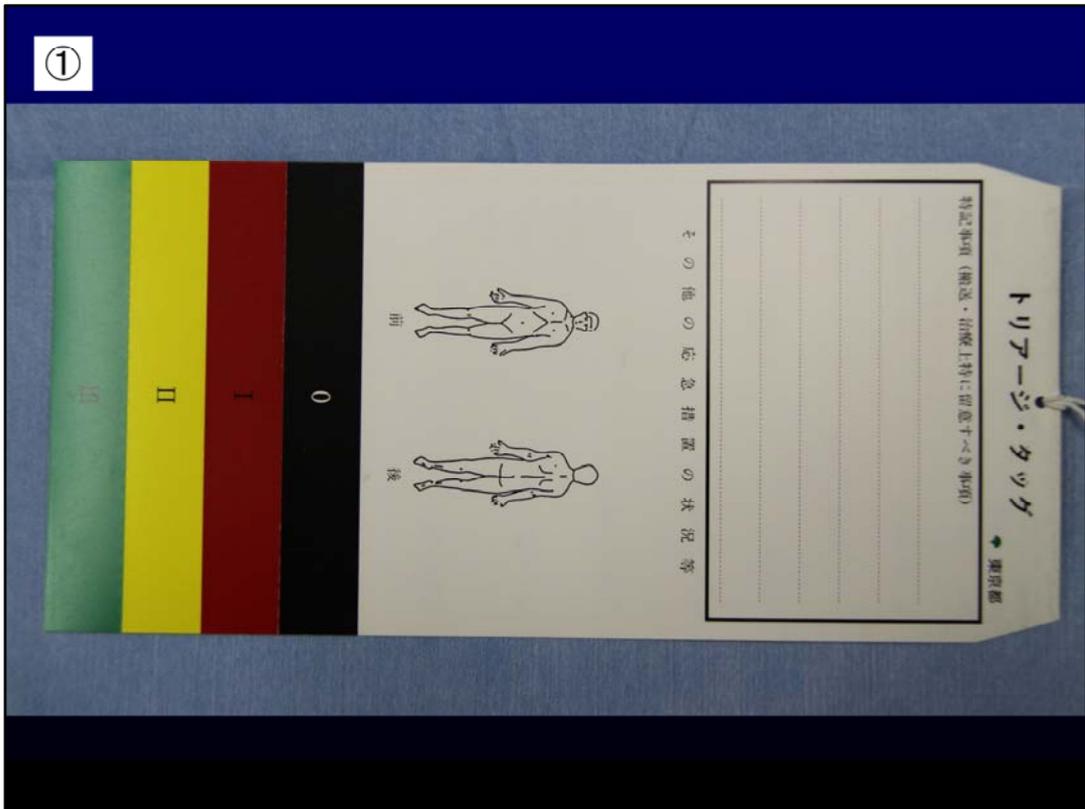
- 色情報の功罪
- 色覚の本質:色覚の認知システム
- 色の誤認への理解
- 色覚検査法
- 検査結果への対応
眼科医・社会・就学・職業
シミュレーションの問題

色覚・色覚検査についてどのように考え、いつ検査をおこなうのが良いか

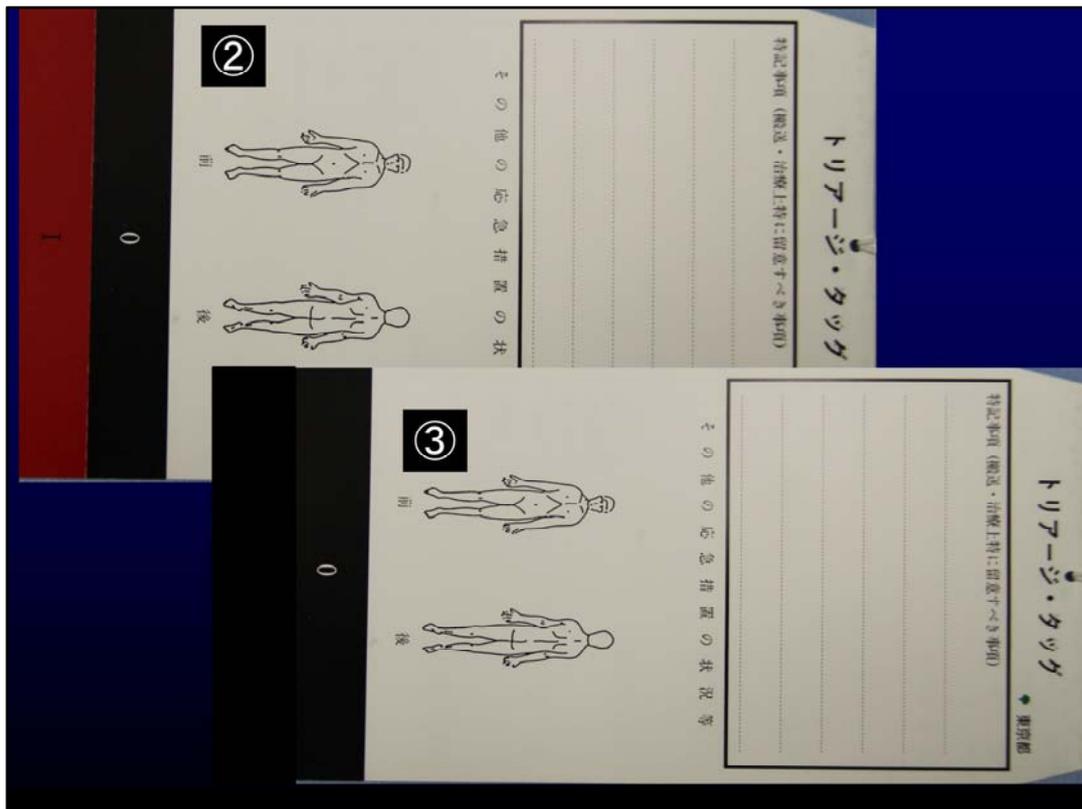
本日の具体的内容としては色覚および色覚検査についてどのように考え、いつ検査を行うのが良いかの考える材料として、スライドに示しますように色情報の重要性に係わる問題、色覚の本質として色覚の認知システムと色の誤認への理解、色覚検査法、検査結果への対応と問題について述べたいと思います。



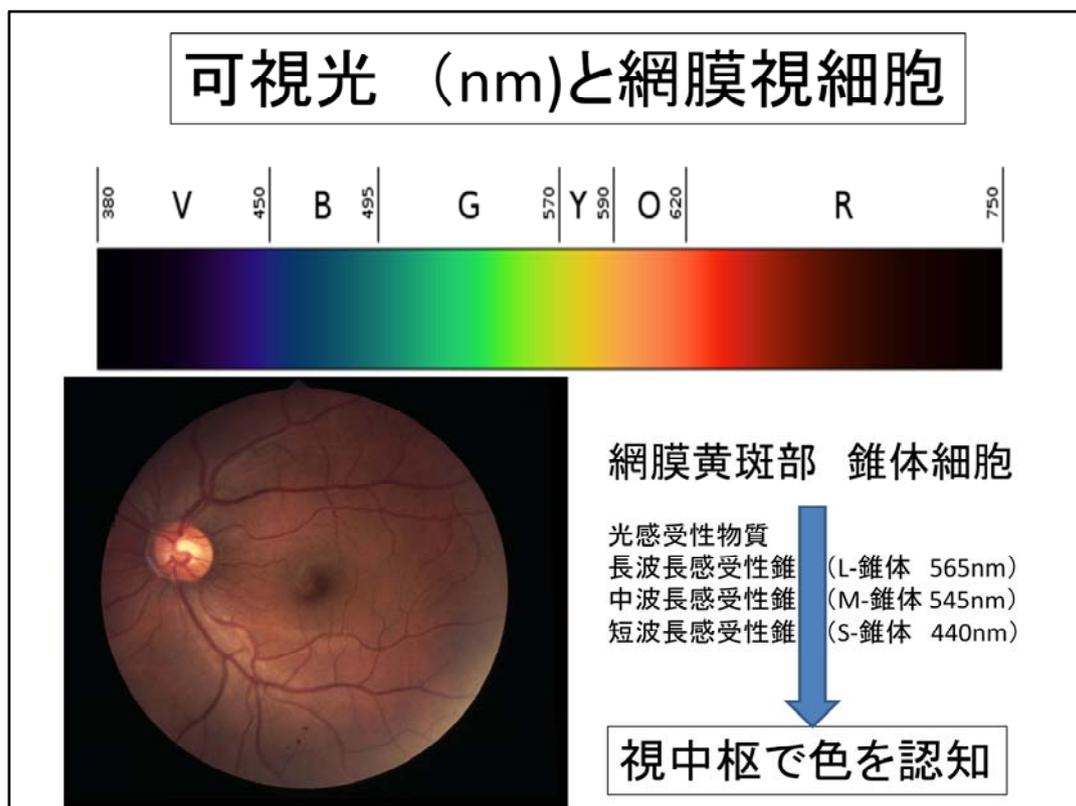
色情報の重要性とそのピットフォールの一例をあげます。東日本大震災当時私は日大板橋病院病院長でした。これは①日大はじめ多くの施設のDMATがつくばメディカルセンターに集合しました。②翌日、日大チームは福島空港に参りました。③そして福島空港から羽田にむけて一便飛んだ患者搬送用機内です。こうした大規模災害で緊急かつ厳しい条件下で一人でも多くの方に対し効果的に医療を実施するために、 [次ページに続きます→]



[→前ページからの続きです] ①トリアージタグが使用されます。[次ページに続きます→]



[→前ページからの続きです] ② 実際には重傷だが、助けられると判断されたスライドに示す赤のタグ断端の患者さんが重要です。③ 黒のタグ断端の患者さんは治療対象から外されます。しかし、スライドのようにこの赤と黒との識別が付きにくい方が男性の約1%におられます。このことを救命救急医学会の方にお話しする機会がありましたが、ほぼ全員がご存じなく、しかもこのトリアージタグは全世界共通です。



色覚のご説明に入ります。ヒトは光の波長380nmから750nmの範囲を色として認識し、これを可視光と呼びます。この範囲の波長の光がスライドに示す眼底の網膜にあたると、網膜の中心に多く分布する、異なる波長感度特異性を有する3つの錐体細胞で生体信号に変換され複雑な感覚処理をへて後頭部にある視中枢で色として認知されます。この生体の認知システムのいずれかに問題があると色の認知に異常、すなわち色覚異常が生じます。

色覚異常

先天色覚異常

1, 2型(赤・緑錐体)(X染色体連鎖劣性遺伝)

男性4.5%、女性0.2% :色覚以外正常

3型(青錐体)(7番常染色体) 理論的のみ

1色覚(錐体の欠損など:無彩色)(3番常染色体)

0.003% 眼振・羞明・低視力

後天色覚異常

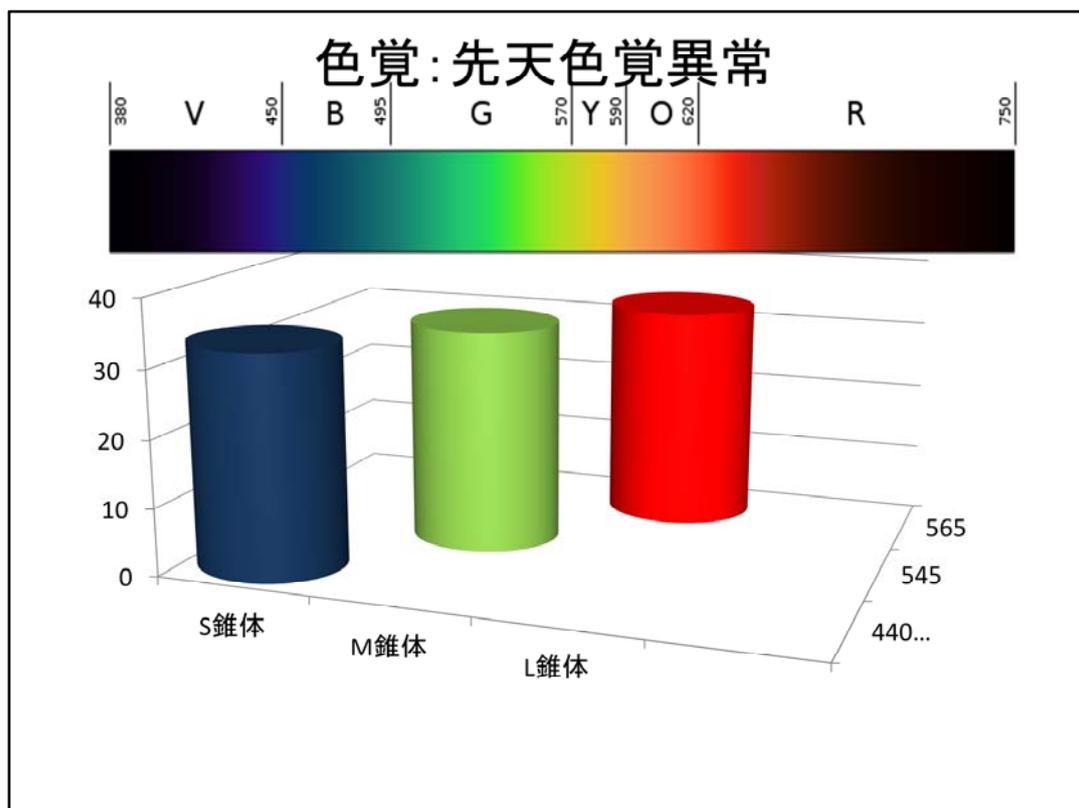
疾患・薬物による眼球(網膜)、中枢の障害

色覚異常は先天色覚異常と後天色覚異常とに大別されます。先天色覚異常は殆どが1型と2型色覚と呼ばれるもので、これは赤と緑錐体の異常で性染色体であるX染色体上での劣性遺伝をします。男性はX染色体1本とY染色体1本ずつ、女性は2本のX染色体をもっていますので先天色覚異常に性差が生じ、我国では男性の4.5%、女性の0.2%です。白人では男性8%以上との報告があります。この男子4.5%の頻度は40歳以上での緑内障有病率と同じです。

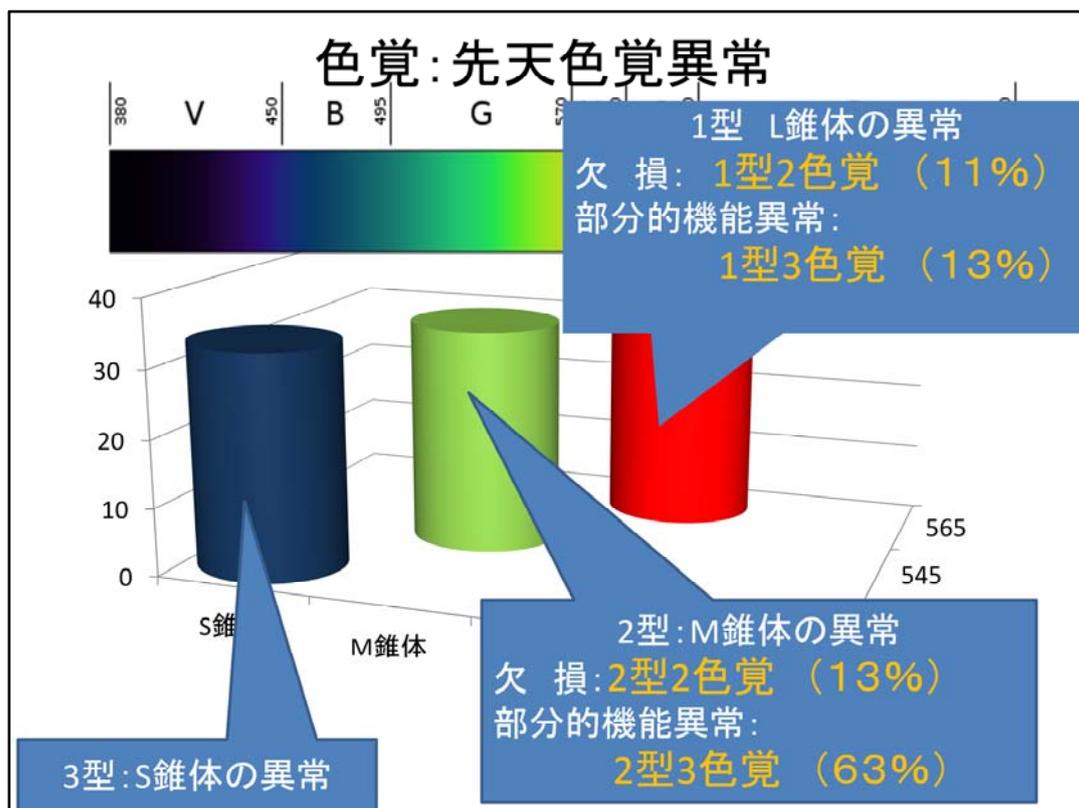
この1型および2型色覚者では色覚以外の視力その他の視機能の異常は全くありません。

先天色覚異常には他に3型および1色覚がありますが稀なものです。

後天色覚異常はいろいろな疾患、薬で生じますが色覚以外に視力、視野などの異常を伴います。



先天色覚異常について再度のまとめです。正常網膜の錐体細胞には3つの錐体細胞があります。



L錐体すなわち赤錐体に異常があるのが1型で、L錐体が欠損しているものを1型2色覚、錐体の部分的機能異常を1型3色覚と分類します。同様に、M錐体すなわち緑錐体の異常が2型で、2型2色覚と2型3色覚に分類されます。S錐体の異常が3型と分類されます。

先天色覚異常での3因子

- 比視感度:色光による明るさの感じ方の違い
- 混同色:異なる色を同じ色として感じる
- 波長弁別閾値:色相(色合い)の違い(波長のズレ)の判別能力

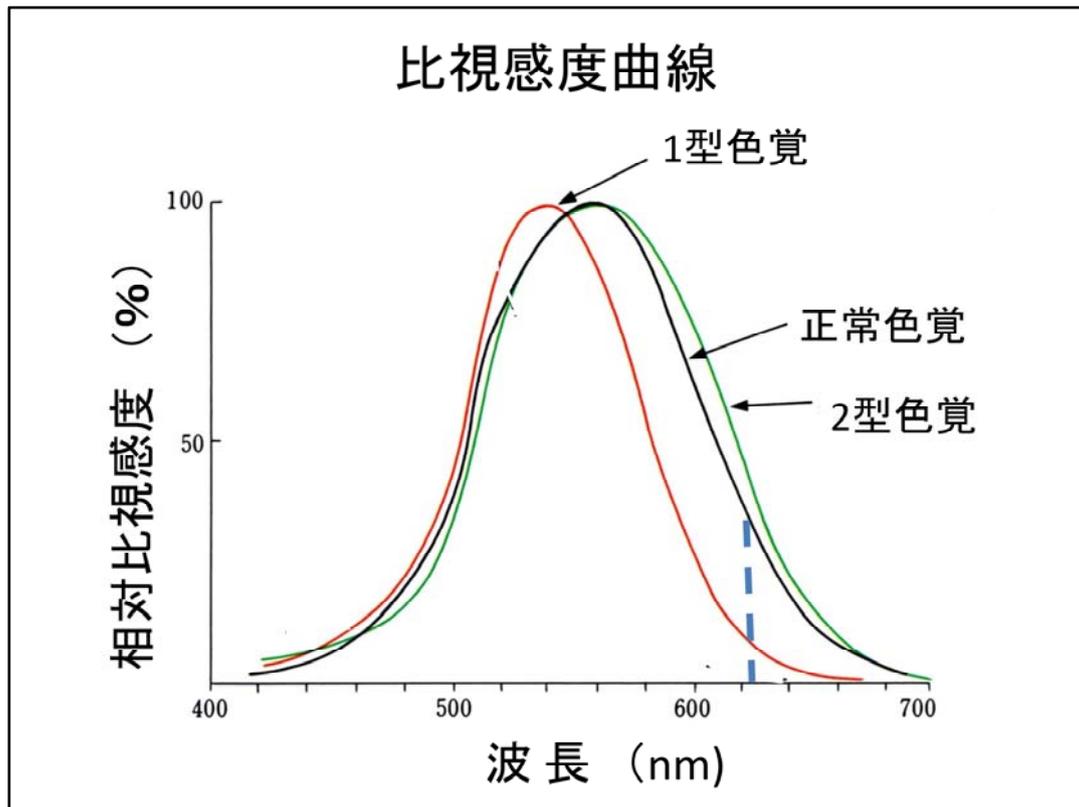
先天色覚異常に関して大きくわけて3つのKeywordがあげられます。

比視感度とは色のもつエネルギーが同じ場合に色合いによって相対的に明るさの感じ方が異なる現象です。

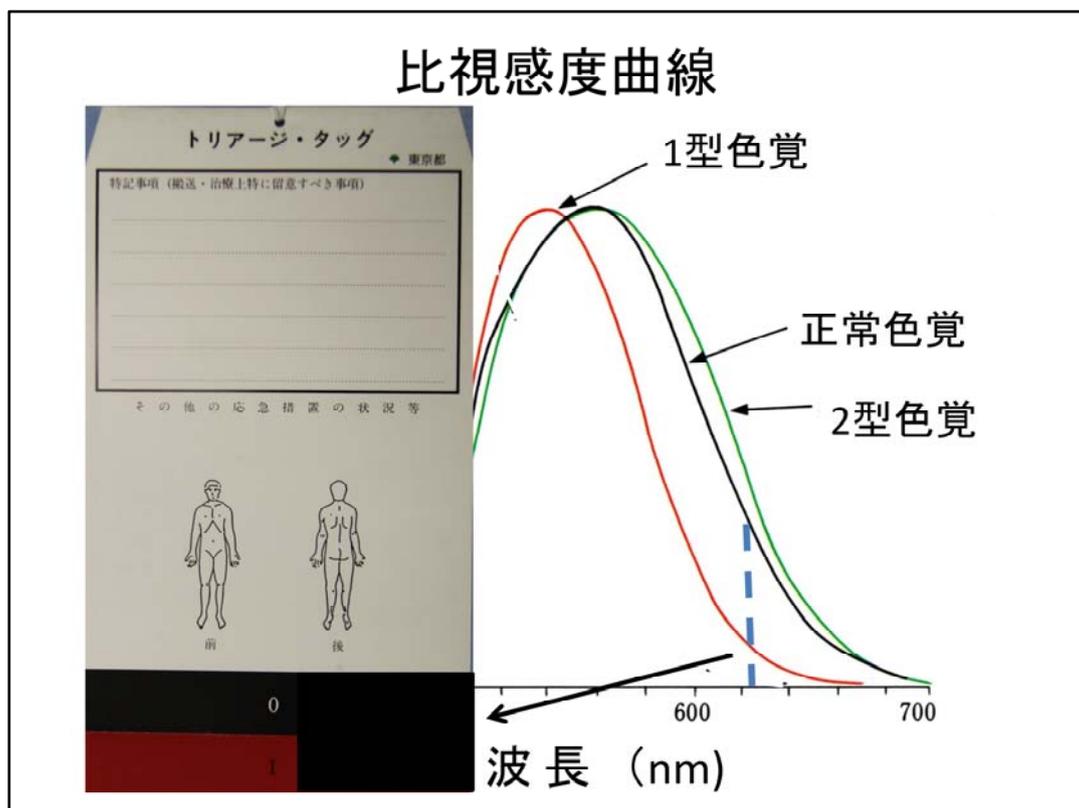
混同色とは色を見間違えるというよりも同じ色合いとして認識する色のグループです。

波長弁別閾値とは色合いすなわち波長がずれた時に色合いの違いを認識することです。

これから具体的に説明します。



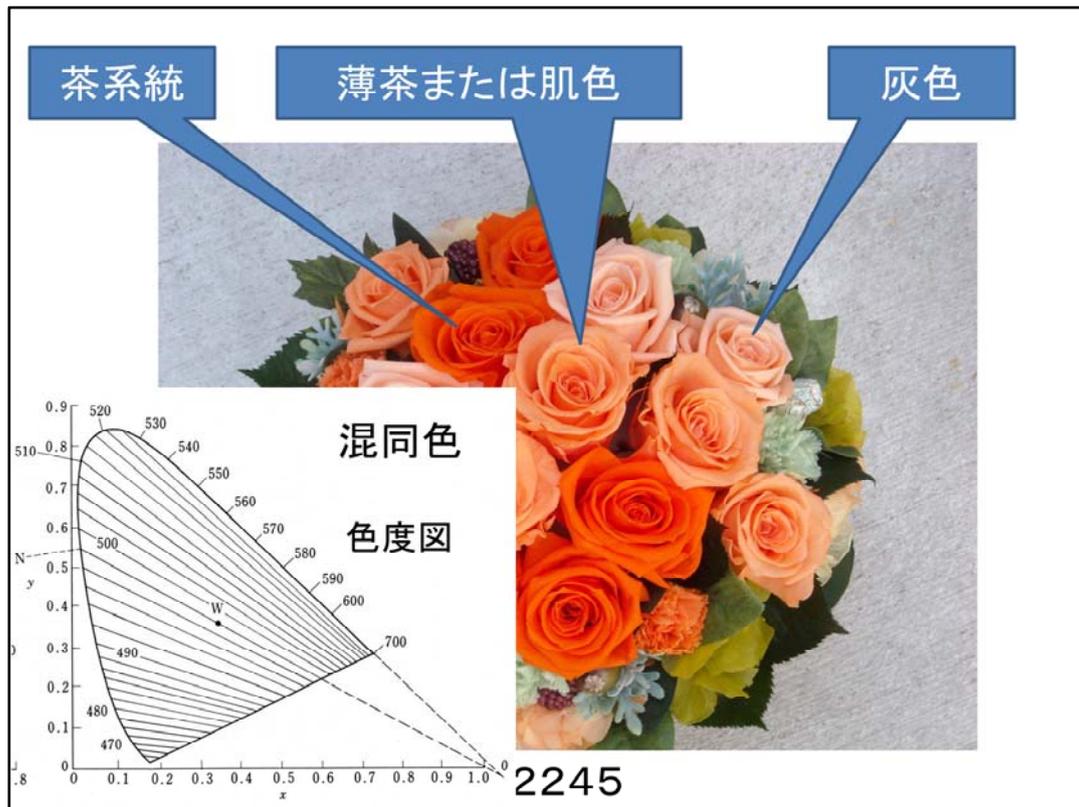
図は比視感度曲線です。横軸が色の波長、縦軸は同じ光エネルギーの場合に最も明るく感じる550nmの色、これはほぼ黄色に相当しますが、この色を100%とした場合の相対的明るさを示したものです。正常色覚に対して2型はほぼ同じですが1型色覚では左にシフトするとともに赤色の方がかなり暗く見えることを示しています。



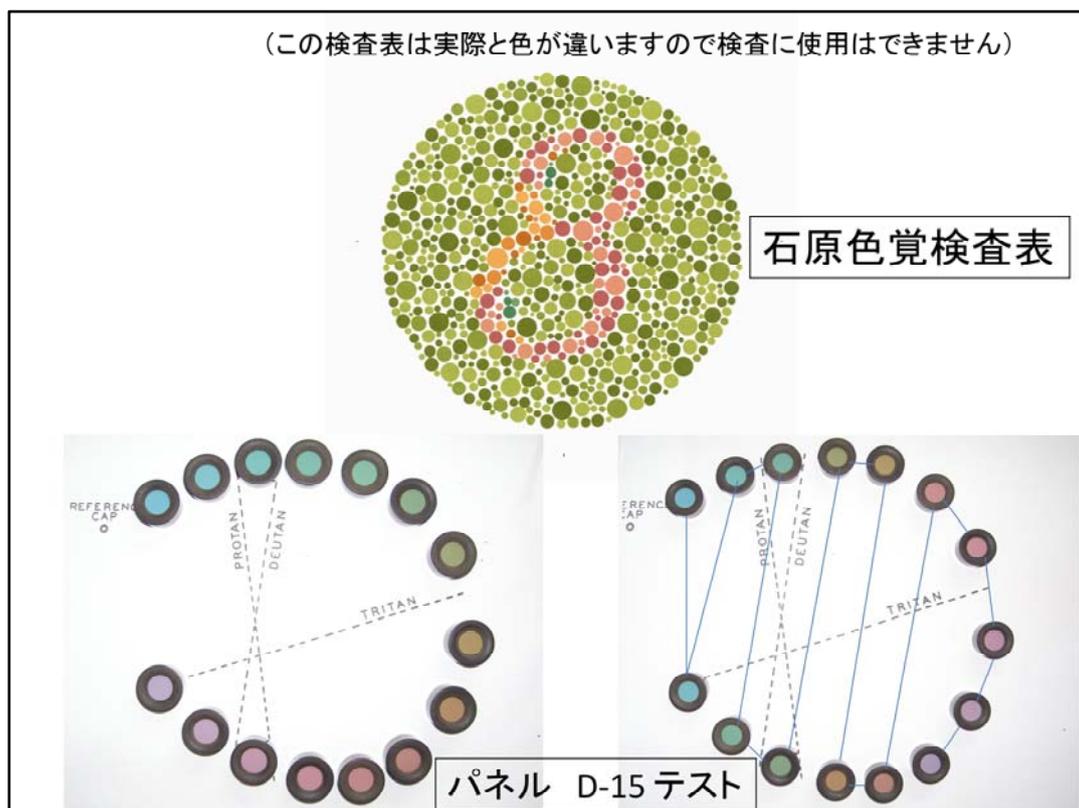
この差がトリアージタグでの赤と黒の識別に関係してきます。2型色覚の方は赤を茶色と同じにみることで黒と識別しますが、1型の方は暗く感じるために赤と黒との識別に困難を生じます。



フラワーデザインについて2型2色覚の方は赤橙の花を赤茶系の色、その隣の色を薄茶または肌色と同じように見、ピンクの花は灰色と同じに見ます。



この見え方は混同色と呼ばれるもので色度図という表示において直線上にプロットされる色として1型、2型で異なるものが示されています。この色関係をもとに仮性同色表とよばれる色覚検査表が作製されています。



これは最も代表的かつ検査精度が高いとされる石原色覚検査表(この検査表は実際の色調と異なるため検査に使用はできません)の1枚です。正常者は8と読みますが、色覚異常例では3などと誤読します。誤読者を対象に別の検査法である混同色を利用したパネルD-15という検査法で検査すると、きちんと青から赤まで順に色を並べる方、混同色の直線にそって並べる方など様々です。この違いは色覚異常の程度に関係があり、これは次の波長弁別閾値により理解できます。

1型3色覚の平均波長弁別閾曲線

(太田安雄、他「色覚と色覚異常」(金原出版、1991)から引用)

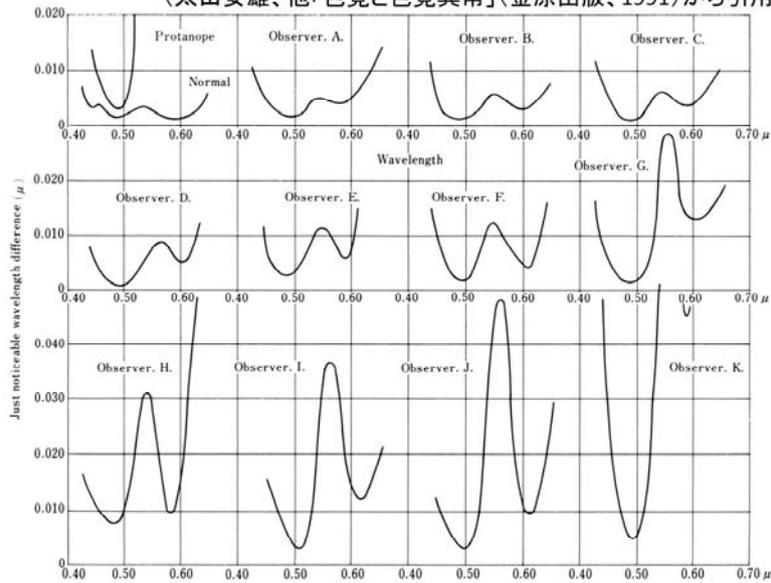


図 21-17 第1色弱の波長弁別閾曲線, 視角2°, 明るさ70 photon
 図示のごとく正常にきわめて近いものから第1色盲にきわめて近いものまで
 種々の弁別能のものが認められる。(McKeon, Wright 1940)²³⁾

これは波長弁別閾値図(太田安雄、他「色覚と色覚異常」(金原出版、1991)から引用)です。12例が示されています。左上の図で説明します。横軸は色光すなわち光の波長をプロットしています。縦軸は波長がどれだけずれたら異なる色光として認識するかを示しています。正常者は可視光で揺らぎはありませんが波長で数nmの違いがあると色の違いを認識します。一方でこの曲線は1型2色覚の場合を示していますが、490nmの色を白と同じに見る一方でその近くでは波長による色の違いを鋭敏に判別します。しかし、少し離れると急速に色の違いを判別しにくくなり波長が変化しても同じ色として認識します。

一方、1型3色覚の場合は正常3色覚に近いタイプから2色覚に近い色識別の人まであり、このことから、1型3色覚の場合に色認識の程度に差があることが理解できます。これは2型色覚の場合も同様です。

すなわち、これらは色覚の多様性ということではなく、Nathanら(1986)の色覚に関する遺伝子の同定の2編の論文からも明らかなように、錐体細胞の欠損または機能の異常によるものであるとして理解することが正しいということを示しています。

色覚の検査法

1933年 第14回国際眼科学会(マドリード)

色覚異常の標準検査法

石原色覚検査表

スチリング(Stilling)色覚検査表

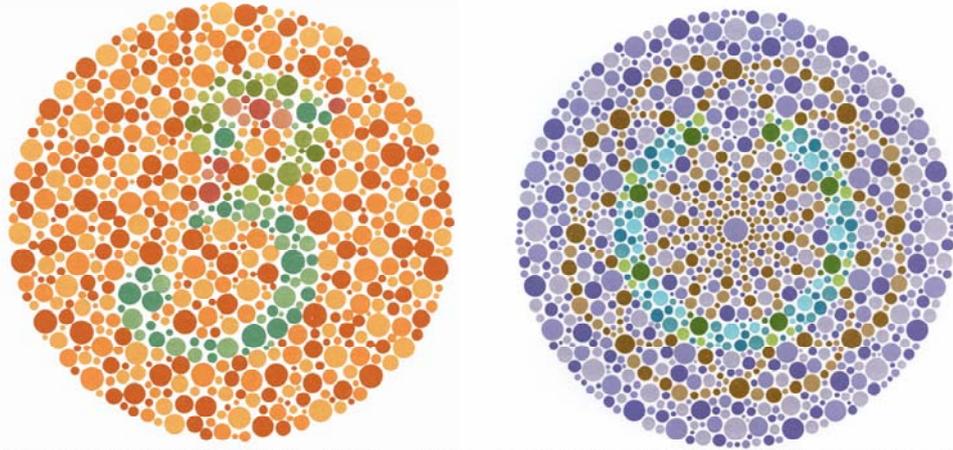
ナーゲル(Nagel)アノマロスコープ

現在

- 1) 石原色覚検査表による正常と正常以外の判定
- 2) パネルD-15による弱度・強度の評価

色覚検査法に移ります。検査法に関しては1933年の国際眼科学会において標準検査法として石原色覚検査表、Stilling色覚検査表およびアノマロスコープを推奨するとされました。現在我が国では石原色覚検査表で正常とそれ以外との判定を行い、異常とされたひとを対象にパネルD-15を行うことが推奨されています。

石原色覚検査表Ⅱ 正常色覚とそれ以外の分別



((石原色覚検査表Ⅱ(はんだや、2013) 、(公財)一新会から許可を受けて引用)(実際の色調とは異なるために検査には使用できません)

これが石原色覚検査表Ⅱの中の一例です((石原色覚検査表Ⅱ(はんだや、2013) 、(公財)一新会から許可を受けて引用)(実際の色調とは異なるために検査には使用できません)。

左側の表を正常者は3と読みますが、それ以外の方は5などと異なる読み方をします。右側の表は正常者が判読する上方の切れ目とは別の部位または円の外側の部分を認識することで正常色覚と判別をします。

Ishihara Test (石原色覚検査表)

13.3 ROYAL AIR FORCE

The Royal Air Force has three categories for colour perception.

(a) CP2 perfect colour vision. No errors on Ishihara test when carried out in daylight or equivalent artificial illumination.

Persons who must achieve this standard: RAF and WRAF officers—engineer, marine, photographic interpreter. RAF and WRAF other ranks—photographic personnel, safety and surface personnel, electrical, radio and some aircraft engineers, electronic engineers, some general engineers and some marine personnel and aerospace operators.

(b) CP3 'colour vision safe'. Errors on the Ishihara permitted but ability

この石原色覚検査表は正常と先天色覚異常とを判別する最も精度が高いものとされ世界的に使用されています。たとえば英国空軍では3つの職種にわけ、CP2という職種では石原表を一枚も誤読しないこと、CP3では検査表の誤読は可などとしております。

Table 13.1 Continued

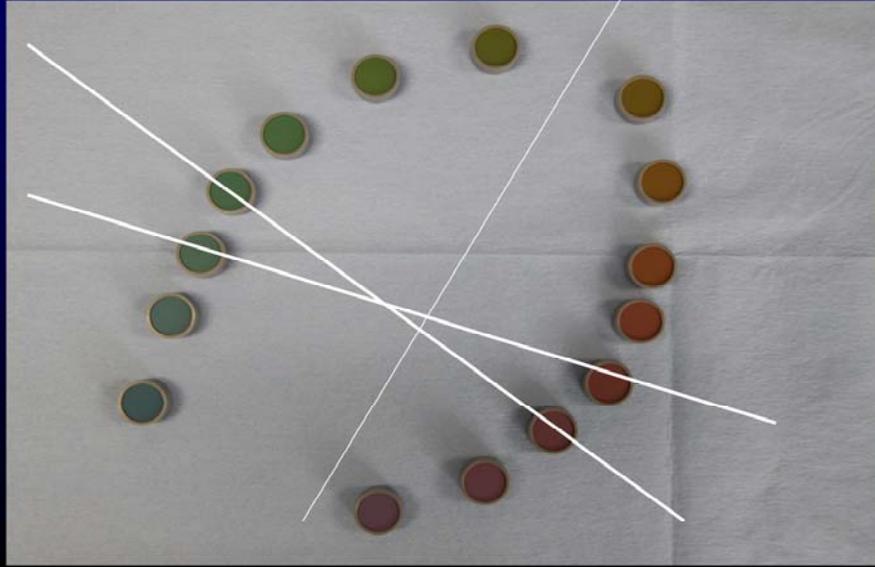
Country	Marine/Navy	Army	Tests used
Austria	—	—	1 Stilling, Velhagen or Ishihara 2 Nagel anomaloscope in cases of doubt
Hungary	—	—	1 Stilling or Rabkin or Ishihara 2 Nagel anomaloscope
Finland	Normal	Normal for aviation and transport. No limitation for militia	Velhagen for rail and marine Ishihara for army and aviation
Sweden	Normal	—	1 Bostrom and Bostrom-Kugelberg 2 Anomaloscope in cases of doubt
Denmark	Normal	No restriction	1 Ishihara, Bostrom or Bostrom-Kugelberg must pass all plates on 1 test 2 Nagel anomaloscope in cases of doubt
France	—	No restriction except machine gunners, navigators etc normal	1 Ishihara coloured lights, Beye's lantern used for aviation and army at 5 metres
Netherlands	Normal for airman, driver, marine engineer, sailor, assembler HRR mild/med accepted	—	1 Ishihara or HRR 2 Anomaloscope in cases of doubt
West Germany	Normal	Normal	1 Ishihara, Bostrom or Stilling or Velhagen 2 Anomaloscope in cases of doubt
South Africa	—	—	1 Ishihara 2 Signal red
Canada	No red/green confusion allowed as assessed by lantern	—	1 Ishihara 2 Coloured lantern
Israel	Deck normal other categories severe deficiencies excluded	—	1 Ishihara 2 Signal light recognition
Belgium	Normal on Ishihara	Militia: achromats excused. Protanopes and achromats excluded from usual categories	1 Ishihara 2 Paper D-15 used as well for taxi and bus drivers and army 3 Holmgren wools for some railway categories

(Fletcher R et al:
Defective color vision.
Adam-Hilger Ltd. Bristol
and Boston, 1985)

また、多くの国で検査法として石原表での検査をあげています (Fletcher R et al: Defective color vision. Adam-Hilger Ltd. Bristol and Boston, 1985)。

Panel D-15 1・2・3型の決定に有用

異常の有無の判別能は低い
⇒程度の軽い例は検出できない



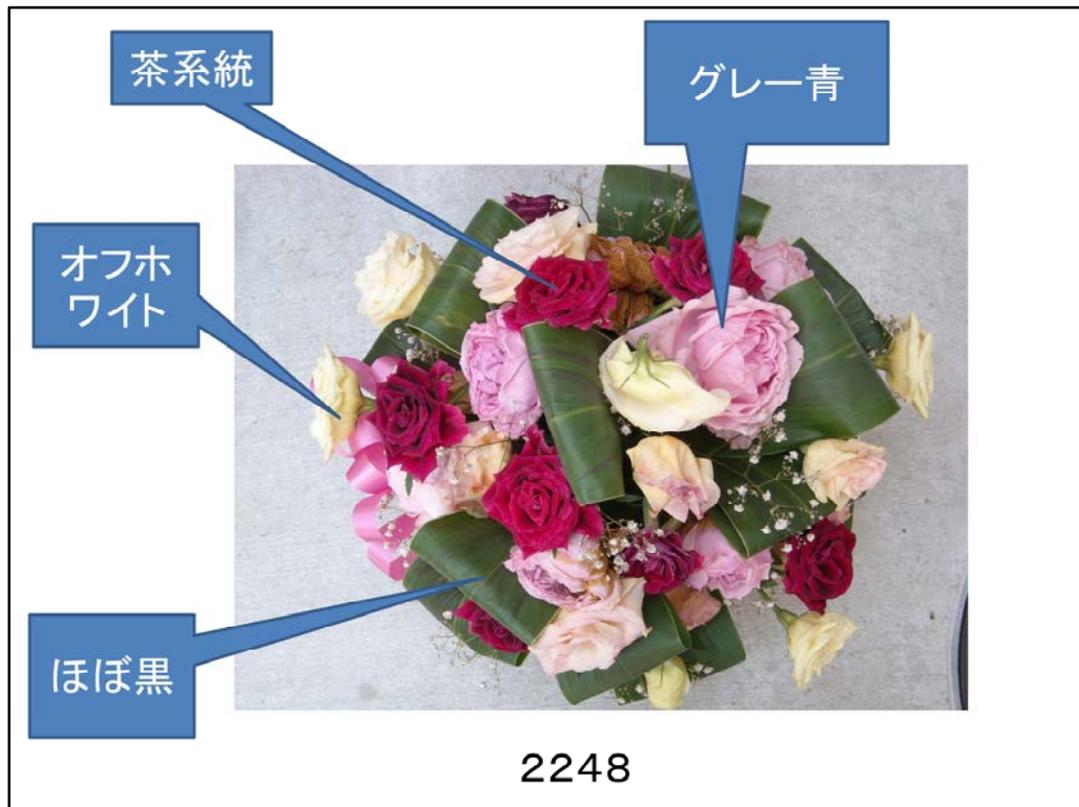
パネルD-15は正常と異常との判別能力は低いために、石原色覚検査表で異常とされた例を対象に1型、2型などの判定や、程度の評価に臨床的に使用されます。ただし、軽度の色覚異常の方は先ほど示しましたように15色を緑から赤の順に正しく配列できます。

色覚に関する当事者のコメント

- 写生での色使いが困難・写生の時間が嫌
- 色覚検査のたびに疎外感

- 学業での不自由の軽減と言われても助言者が居ない、先生の理解がない

色覚に関する当事者のコメントとしては写生での色使いが困難およびそれに対する理解がないということがあります。



図画の時間にこのようなフラワーデザインの場合、赤は茶系統の色、クリーム色はオフホワイト、葉はほぼ黒、薄い赤はグレー青とそれぞれ同じ見えるので色を塗る時に、例えば葉を緑または黒のクレヨンで塗る可能性があり、実際とは異なる可能性があります。

色覚に関する当事者のコメント

- 写生での色使いが困難・写生の時間が嫌
- 色覚検査のたびに疎外感
- 学業での不自由の軽減と言われても助言者が居ない、先生の理解がない

板書での配慮・イジメの対応がない

小4一回の検査時期の理由が不明。
いつどのような目的で検査を行うのが妥当か。

この図画の時間以外に以前は学校で複数回、色覚検査が行われ、その度に疎外感を感じていたということも上がっています。その後、宮浦理事からご説明がありましたように検査は小学4年の時一回になり、10年前からは学校保健の対象外となりました。また、学業での配慮が無く先生が板書時にたとえば緑の黒板に赤のチョークで書く、図画での色の塗り方についての理解がなく低学年でイジメにあうなどのことがあります。ただし当時も小学4年での実施の根拠が不明との声もありました。

これらを考えると「色の認識に異常が有る」ことを確定するのではなく、「疑い」程度とし、本人も周囲も自覚し、配慮することがよいのではないかと考えます。そのためにはいつ、検査をするのが妥当かということを考えてみたいと思います。

加齢と色の認識

- 生後5か月:色(青、青緑、橙、赤、赤紫、青紫)の認識
- 2歳ごろ:色名称と色合わせの発達
- 4歳ごろ:色名称と色合わせが確立
- 20歳前後~:色の認識が鮮明
- 40歳~白内障年齢:水晶体の着色(黄色)による短波長(青)の認識の低下

**就学時に 正確性ではなく疑い例とし、
周囲も配慮できるように実施。**

検査については色の認識に関する発達と加齢変化を考える必要があります。生後5か月で代表的な色の認識はできるとされ、2歳ごろに色の呼び名と色との関係が発達し、4歳ごろに色の呼び名と色の組み合わせが確立するとされています。その後、20歳前後でもっとも色識別が良く、40歳ごろから白内障年齢になると色識別特に青系統の色が鈍くなります。したがって、今の子供は就学時年齢では数字も読めますので正確な診断というのではなく疑い例レベルにとどめた色覚のスクリーニングは可能と考えます。そのうえで周囲も色覚について配慮することが重要であると考えます。

色覚に関する当事者のコメント

- 写生での色使いが困難・写生の時間が嫌
- 色覚検査のたびに疎外感
- 学業での不自由の軽減と言われても助言者が居ない、先生の理解がない
- 眼科医に相談しても異常の説明・対策などへの助言がない

母親を介しての遺伝で治らない・誤認配色の理由の説明が無い。眼科医からの具体的な説明・カウンセリングを！

- 進学・大学受験での制約⇒制約がなくなり良かった。

撤廃されたが、異常に気付いていないために具体的職種選択での問題

色覚に関する当事者のコメントの続きです。眼科医に相談しても説明が不十分であるということが上がっています。内容としては眼科医からは遺伝であり治らない、色誤認をする配色の理由の説明がなく、具体的な説明さらに生活、職業選択でのカウンセリングがないという声です。男性での先天色覚異常の頻度は40歳以上の緑内障罹病率5%と同じ頻度であり、眼科医が真摯に取り組まねばならない課題です。色覚以外に異常はなくかつ進行しないとは言っても適切に対応できることが求められています。現在、大学受験での制限がなくなり良い反面、色情報が重要な職場についてはじめて色覚の問題に直面する例が出ています。本人、社会が正しい知識を持つ機会を増やす必要があります。

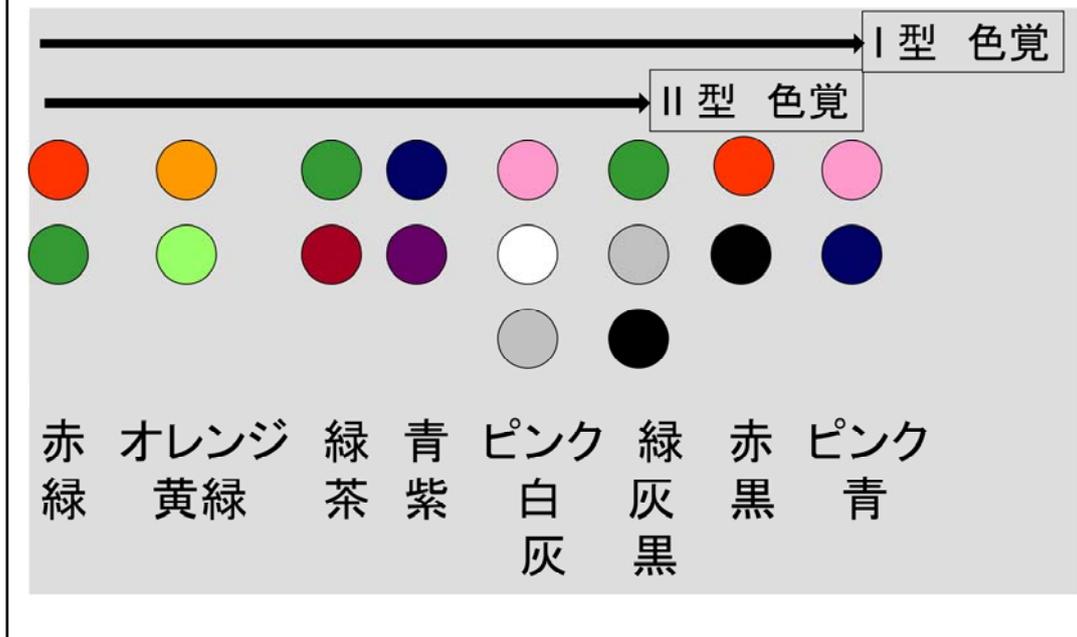
色覚に関する当事者のコメント

- 写生での色使いが困難・写生の時間が嫌
- 色覚検査のたびに疎外感
- 学業での不自由の軽減と言われても助言者が居ない、先生の理解がない
- 眼科医に相談しても異常の説明・対策などへの助言がない
- 進学・大学受験での制約⇒制約がなくなり良かった。
- 異常をひとまとめにした「シミュレーション」で判断される心配
- 誤認しやすい色の組み合わせについての知識の共有

一方で、色覚異常のシミュレーションが行われていますが、スライドで提示しましたように色覚は複雑であり、かつ個人により色の認識程度が異なります。シミュレーションは2色覚を念頭にした例が多くかつ不十分なものが多いのが現状で、異常3色覚のタイプから見ると2色覚と同じにみられることでの抵抗が強く、色覚異常と表明できないという声も多いです。

一般的には誤認しやすい色の組み合わせについての知識を共有していくことが最も重要です。

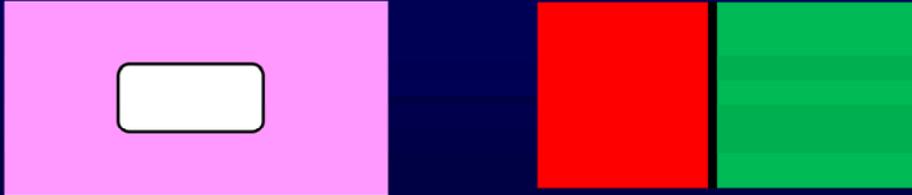
色誤認を回避するために避けるのが好ましい配色



誤認を回避するために避けるのが好ましい配色は比較的単純な関係で示すことができます。それはこのような組み合わせですので、この組み合わせを学校、教科書会社をはじめ一般社会で共有してスライドその他の作製の際に注意していただくことが第一歩です。欧米の男性の色覚異常の頻度は8%以上ですのでオリンピックに向けての掲示板などでも配慮する必要があります。

識別を容易にする工夫

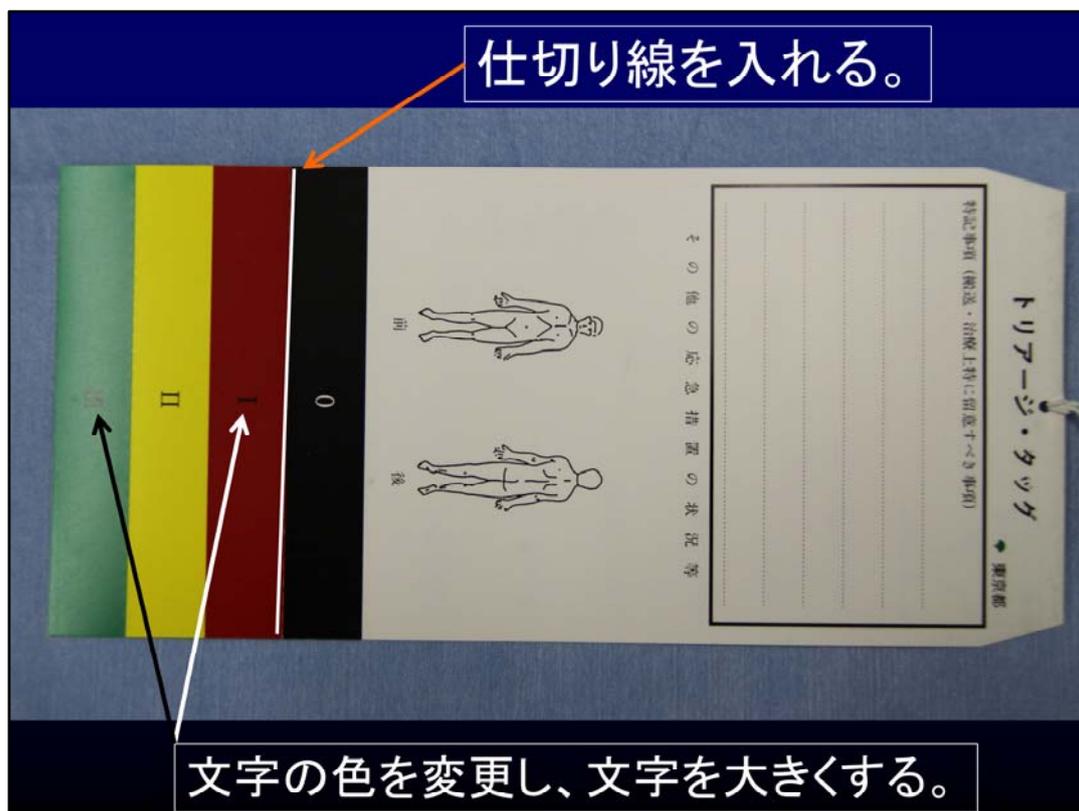
- ・ 縁取りまたはスリットを挿入



- ・ 文字情報を入れる



色情報は重要ですが、色情報を有効に活用するために識別を容易にする工夫の例を示します。縁取りまたは境目にスリットを加えることも良いです。
できれば可能な限り文字情報を識別し易い色を使って加えることが重要です。



最初に提示したトリアージタグに関する提案です。国際的取り決めになってい
ますので大きな変更はできませんが、赤と黒ゾーンとの間に白線を入れる、カテゴリー文
字を大きくして見やすい色にするということであれば我国で可能ではないかと考えま
す。

謝 辞

- (公社)日本眼科医会
- (公財)日本眼科学会
- ぱすてる