

厚生科学研究研究費補助金

厚生科学特別研究事業

色覚の個人差と適切な表示色に関する研究

平成 13 年度 総括研究報告書

主任研究者 北原 健二

平成 14 (2002) 年 4 月

目 次

I. II. 総括・分担研究報告

色覚の個人差と適切な表示色に関する研究	1
北原健二 (総括)	
西尾佳晃 (心理物理学的研究)	
林 孝彰 (分子生物学的研究)	
(資料) i 表示色の大きさによる色識別能向上	13
ii LED 電光掲示板色光の誤答率	22
iii 信号灯の色フィルターの分光透過率	25
iv 夜間点滅信号灯色光の誤答率	26
v 工事用一灯式 LED 信号灯の誤答率	27
vi 対象とした 17 名の遺伝子型	28
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	29
IV. 研究成果の刊行物・別刷	30

厚生科学研究費補助金（厚生科学特別研究事業）
分担・総括研究報告書

色覚の個人差と適切な表示色に関する研究

総括研究者 北原 健二 東京慈恵会医科大学 眼科学教室 教授

研究要旨

先天色覚異常を含む色覚の個人差に関する基礎的研究を踏まえて、全ての人に分かりやすい色表示について、心理物理学的方法および分子生物学的方法によって検討する。

北原 健二	東京慈恵会医科大学
	眼科学教室 教授
西尾 佳晃	同上 講師
林 孝彰	同上 助手

A. 研究目的

我々は正に多彩な色を情報源として活用している。信号灯や道路標識をはじめ、病院や駅などの公共施設から日用品に至るまで、状況を迅速に把握するために、また機器類を正しく使用するため色表示の違いが利用されている。医療の場でも、注射針、カテーテル、医療機器や薬剤においてサイズや内容、動作環境を表す指標として色表示が採用されている。これらの表示には、視認性、識別性、誘目性、快適性などの視覚特性が考慮され工夫がなされている。しかし、全ての色表示が分かりやすく、判別しやすいとは言えず、なかには識別が困難であったり、誤って認識される可能性がある色表示が見受けられる。特に、色覚異常者に対する配慮に欠けた表示の存在が指摘されている。先天色覚異常者の頻度は、

わが国においては男性の5%、女性の0.2%とされている。さらに、色の見え方には個人差があることが指摘されてきたが、近年、色覚の遺伝子が解明され、先天色覚異常者はもとより正常色覚者でも色覚に個人差があることが分子生物学的にも証明された。

医療機器や薬剤の色はもとより、交通標識や信号灯など、誤認された場合には事故につながる可能性が懸念される。そこで、実際に使用されている種々の色表示について、特に色覚異常者にとって識別しにくい配色などについて検討し、問題点を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、薬剤、駅や病院などの公共施設等および道路交通信号灯等の表示色の調査や表示色の大きさによる色識別能の向上についての検討、および遺伝子型と色識別能との関係についての検討をおこない、先天色覚異常を含む色覚の個人差に関する基礎的研究を踏まえて、先天色覚異常を含み色覚の個人差を考慮し、全ての人に分かりやすい色表示について検討することを目的とし、さらには、薬剤投与、医療器具や医療機器の操作などにおける安全性の確保に、また、共生・共存の社会を目指した生活しやすい心の安まる色彩環境を考

える指針としても寄与するものである。

B. 研究方法

本年度は、先天色覚異常者における、表示色の大きさによる色識別能向上効果について、4種類の大きさの色視票を用いて検討した。さらに、先天色覚異常者における、発光ダイオード（以下 LED）による電光掲示板の見え方の調査と解析、および道路交通信号灯色光の見え方の調査と解析を行った。また、分子生物学的研究では、先天色覚異常（赤緑異常）の客観的診断法として分子生物学的手法を用い、赤・緑視物質遺伝子の配列順序を明らかにし、遺伝子診断および女性保因者診断の可能性について検討を行った。

1. 表示色の大きさによる色識別能向上の効果

表示色の大きさによる色識別能向上の効果については、Farnsworth dichotomous test（以下パネル D-15）と、視角2度、8度および10度のパネル D-15 テストと同じ色度の色票を試作し（村上色彩研究所製）、東芝製色比較・検査用 D-65 蛍光ランプ照明下にて、この視標を用いて、パネル D-15 が fail の先天色覚異常者 16 名に対し色相配列検査を施行し、色覚異常のタイプおよび色票の大きさによる色識別能向上効果について検討した。作業面の照度は 1000lux、照明観察条件は 0 度照明 - 45 度観察にて行った。

2. 先天色覚異常者における発光ダイオード（以下 LED）による電光掲示板の見え方

対象は、視力が（1.0）以上で前眼部、中間透光体および眼底に異常所見を認めない色覚正常者 5 名と先天色覚異常者 51 名の計 56 名とした。色覚正常者 5 名の年齢は 25 ~ 39 歳で、すべて男性であり、先天色覚異常者 51 名の年齢は 15 ~ 58 歳で、男性が 48 名で女性が 3 名であった。先天

色覚異常者 51 名における色覚の類型およびパネル D-15 の結果は、第 1 色覚異常でパネル D-15 pass 群が 8 名、fail 群が 10 名、第 2 色覚異常でパネル D-15 pass 群が 12 名、fail 群が 21 名であった。色覚異常の類型診断は Schmidt-Haensch 社製の Nagel アノマロスコープ I 型またはナイツ社製のアノマロスコープ OT-II 型により行った。また、パネル D-15 は、D-65 蛍光ランプによる照明下の室内で、約 500 lux の照度にて施行した。シミュレーション検査は、赤、橙、緑の 3 色の文字表示が可能なシャープ社製 LED ドットマトリクスディスプレイ NV - V412 を用いて、JR 線特急列車名を、あずさ 2 号（緑）→ひかり 57 号（緑）→あずさ 2 号（赤）→あさひ 35 号（赤）→のぞみ 43 号（橙）→北斗星 5 号（緑）→しらすぎ 9 号（緑）→日本海 4 号（橙）→踊り子 73 号（赤）→北斗星 5 号（赤）→あずさ 2 号（橙）→しらすぎ 9 号（赤）→のぞみ 43 号（緑）→ひかり 57 号（橙）→あずさ 2 号（橙）→アルプス 68 号（赤）の順に、文字色を変えて連続的にスクロールして表示し、5 名の色覚正常者および 51 名の色覚異常者に対し、文字色の色名称色および、文字色の切り替え点を回答させた。検査に使用した LED ディスプレイは、文字表示の大きさが 1 文字 64 × 64 mm（16 × 16 ドット）であり、同時に 4 文字表示が可能である。検査は D-65 蛍光ランプによる照明下の室内明室にて検査距離 5 m で施行し、LED ディスプレイ付近の照度は約 500 lux に設定した。得られた結果については、各々の色や切り替え点を 1 回以上誤った場合を誤答とした。誤答率は、色覚異常の類型およびパネル D-15 の結果による各々の群における、総人数に占める 1 回以上誤答した人数の割合とし、赤、橙、緑のそれぞれの色について算出した。この際に、色名

呼称に関しては、例えば緑色について全部正答であったとしても、赤もしくは橙の提示時に緑と答えた場合には、緑という色名に関しては誤答とする補正を行った。

3. 先天色覚異常者における道路交通信号灯色光の見え方

対象は、矯正視力が(1.0)以上で前眼部、中間透光体および眼底に異常所見を認めない色覚正常者5名と先天色覚異常者18名の計23名とした。色覚正常者5名の年齢は25～39歳で、先天色覚異常者23名では10～71歳であり、性別は両群ともに、すべて男性であった。先天色覚異常者23名における色覚の類型およびパネルD-15の結果は、第1色覚異常でパネルD-15 pass群が4名、fail群が1名、第2色覚異常でパネルD-15 pass群が11名、fail群が2名であった。色覚異常の類型診断はSchmidt-Haensch社製のNagelアノマロスコープI型により行った。また、パネルD-15は、D-65蛍光ランプ下の室内で、検査面付近の照度約500 luxで施行した。

LED式および電球式道路交通信号灯の赤、黄、緑の見え方の検討としては、実際に道路交通信号灯に使用されているLED信号(小糸工業製)(以下、LED式)、および道路交通信号用の赤・黄・緑の各色フィルター(小糸工業製)+電球(TS60E:松下電器製)(以下、電球式)とND1フィルターを組み合わせた検査色光を使用したシミュレーション装置を試作し、検査色光の大きさは、直径250mmの信号灯を100mの距離で観察した場合を想定し、直径12.5mmの円形とし検査距離を5mとして、対象に対し検査を行った。背景野には、マンセル値がN1.5の黒、N5.5の灰およびN9.5の白で、大きさが365mm×515mmの日本色彩研究所製の視感複製紙を使用し、背景の違いによる検討も行った。検査は、D-65蛍光ランプ下の屋内明室で施行

し、シミュレーション装置付近の照度は約500luxとした。検査方法としては、赤、黄、緑の3色光を、それぞれの被験者に対し各色5回、計15回ランダムに呈示し、呈示色光の色名を3色のうちから選択・回答させ、総回答数に対する誤答率を求めた。この手続きを、電球式とLED式のそれぞれについて、黒、灰、白の各背景野下で施行した。さらに判別しやすいLED緑信号の検討も行った。すなわち、先天色覚異常者18名に対して、青緑～緑色領域の波長495nm、498nm、501.5nm、505.5nm、509nm、514nmの波長の異なる6種類のLEDを、シミュレーション装置を用いてマンセル値がN5.5の灰背景野に提示し、判別しやすいLED緑信号についてのアンケート調査を行った。

4. 先天色覚異常者における夜間点滅信号灯の見え方

対象は、視力が(1.0)以上で前眼部、中間透光体および眼底に、検眼鏡的に異常所見を認めない、色覚正常者5名と先天色覚異常者51名の計56名とした。色覚正常者5名の年齢は25～39歳で、全て男性であった。先天色覚異常者51名の年齢は15～58歳で、男性が48名で女性が3名であった。先天色覚異常者における色覚の類型およびパネルD-15テストの結果は、第1色覚異常でパネルD-15テストpass群が8名、fail群は10名、第2色覚異常でパネルD-15テストpass群が12名、fail群は21名であった。色覚異常の類型診断はSchmidt-Haensch社製のNagel I型アノマロスコープにより行った。また、パネルD-15テストは、D-65蛍光ランプ下で検査面付近の照度は約500 luxにて行った。

これらの対象に対し、実際の道路交通信号機(富士防災社製)に使用されている赤および黄色灯にNDフィルターを重ねた色光を使用したシミュレーション装置を試作し

検査を施行した。検査色光の大きさは、直径 250 mm の信号灯を 100 m の距離から見た場合を想定し、直径 12.5 mm の円形とし、検査距離は 5 m とした。検査は屋内暗室（シミュレーション装置付近の照度：約 40lx）にて行い、色光の点滅時間は 0.5 秒とした。検査方法としては、2 色の検査色光を被験者に各色 5 回、計 10 回ランダムに呈示し、呈示色光の色名を答えさせ、正答率を求めた。

5. 先天色覚異常者における工事用一灯式 LED 信号の見え方

道路工事の際には、車線通行規制の目的で設置される臨時の道路交通信号灯として、1 灯式 LED 信号も使用される。これらは、交通の制御および安全確保に関する情報伝達手段として重要である。しかし、先天色覚異常者では、とくに赤と緑の LED 色光の識別が困難な場合があることが報告されていることから、赤と緑の LED を用いた 1 灯式信号においては色の弁別が困難なことが推察される。そこで今回、道路工事用 1 灯式 LED 信号のシミュレーション装置を試作し、先天色覚異常者について色名呼称検査を施行し、Farnsworth dichotomous test (以下 PD-15) の結果と比較検討をした。対象は、視力が (1.0) 以上で前眼部、中間透光体および眼底に異常所見を認めない色覚正常者 5 名と先天色覚異常者 51 名の計 56 名とした。色覚正常者 5 名の年齢は 25 ~ 39 歳で、全て男性であった。先天色覚異常者 51 名の年齢は 15 ~ 58 歳で、男性が 48 名で女性が 3 名であった。先天色覚異常者における色覚の類型およびパネル D-15 テストの結果は、第 1 色覚異常でパネル D-15 テスト pass 群が 8 名、fail 群は 10 名、第 2 色覚異常でパネル D-15 テスト pass 群が 12 名、fail 群は 21 名であった。類型診断は Nagel I 型アノマロスコープで、程度判定はパネル D-15 テスト

にて行った。検査は、屋内明室 (約 500lux) において実際の道路工事用 1 灯式 LED 信号 (コンラックス松本社製 : SGS-IC-A 型) を用いて、赤および緑の色光を涙滴型視標に ND2 フィルターを重ねて検査距離 5 m で呈示して行った。検査の手続きは、5 名の色覚正常者および 51 名の色覚異常者に対し、2 色の検査色光を各色 5 回、計 10 回ランダムに提示して色名呼称検査を行い、得られた結果については、各々の色を 1 回以上誤った場合を誤答とし、さらに、例えば緑色について全部正答であったとしても、赤の提示時に緑と答えた場合には、緑という色名に関しては不正解とする補正を行った。

6. 色覚遺伝子に関する分子生物学的研究

現在、先天赤緑異常の診断や程度判定は、心理物理学的方法によって行われている。しかし、主観的診断法であることや保因者診断が不可能などの欠点をもっている。そこで今回、先天赤緑異常の客観的診断法として分子生物学的手法を用い、赤・緑視物質遺伝子の配列順序を明らかにし、遺伝子診断および女性保因者診断法の可能性を検討することを目的とし、遺伝子型として赤視物質遺伝子、緑視物質遺伝子および緑赤融合遺伝子それぞれ 1 つをもつ男性に対して、視物質遺伝子配列の下流に存在する TEX28 遺伝子エクソン 1 にプライマーを設定し、最遠位端に位置する視物質遺伝子のエクソン 5 間の領域を Long-range PCR 法を用い増幅し、最遠位端の視物質遺伝子の決定を試みた。得られた結果を心理物理学的方法による分析と比較検討した。対象は、遺伝子型として赤視物質遺伝子、緑視物質遺伝子および緑赤融合遺伝子をそれぞれ 1 つもち、検査の内容を十分に説明し協力の得られた男性 17 名とした。さらに、赤・緑視物質遺伝子の配列順序を明らかにし、遺伝子診断および女性保因者診断の可

能性についての検討も行った。

倫理面での配慮

検査の内容を十分に説明し、自発的に協力の得られたボランティア、および当科外来を受診した先天色覚異常者およびその家族のうち、本研究の目的およびその内容を十分説明し、本人が希望した場合にのみ検査を施行した。DNA 解析については、説明と同意を特に厳重に行い、結果の管理を厳重にし、得られた結果は本研究以外に用いない。

C. 研究結果

1. 表示色の大きさによる色識別能向上の効果

視角 2 度、8 度および 10 度の視標の色相配列検査機器を用いた、パネル D-15 が fail の先天色覚異常者 16 名に対する表示色の大きさによる色識別能向上の効果についての検討では、パネル D-15 が fail の先天色覚異常者 16 名のうち、視角 2 度の視標を用いた色相配列検査が pass となったのは 1 名で、視角 8 度の視標を用いた色相配列検査で pass となったのは 6 名、視角 10 度の視標を用いた色相配列検査で pass となったのは 9 名であった。視角が大きくなるほど色相配列検査の結果が向上する傾向が示された。

2. 先天色覚異常者における発光ダイオードによる電光掲示板の見え方

色覚正常者では、赤、橙、緑すべての LED 文字色で、誤答率は 0%であった。先天色覚異常者では、文字色が赤については、第 1 異常のパネル D-15pass 群、fail 群共に 0%で、第 2 異常ではパネル D-15pass 群で 33%、fail 群では 86%であった。橙については、第 1 異常のパネル D-15pass 群で 63%、fail 群では 100%であり、第 2 異常のパネル D-15pass 群で 67%、fail 群では 100%

%であった。緑については、第 1 異常のパネル D-15pass 群で 50%、fail 群で 100%であり、第 2 異常のパネル D-15pass 群で 33%、fail 群では 62%であった。文字色が赤に対して、第 1 色覚異常においてパネル D-15pass 群、fail 群共に誤答率が低い傾向が示された。

赤、橙、緑、の各色文字に対する誤答色の内容では、第 1 色覚異常においては、赤の文字表示において、パネル D-15pass 群、fail 群ともに誤答はみられなかった。橙に対する誤答色は、パネル D-15pass 群、fail 群ともに黄色と緑で、橙の文字の総呈示回数 (5 回×各群の人数) に対する誤答数の割合は、pass 群では、それぞれ 50.0%と 2.5%であり、fail 群ではそれぞれ 88.0%と 12.0%であった。橙を赤と呼称する誤りはなかった。緑に対する誤答色は、パネル D-15pass 群、fail 群ともに黄色のみであり、緑の文字の総呈示回数 (5 回×各群の人数) に対する誤答数の割合は、パネル D-15pass 群で 22.5%、fail 群で 74.0%であった。緑を橙または赤と呼称する誤りはなかった。第 2 色覚異常においては、赤の文字表示に対して、パネル D-15pass 群では誤答はみられなかったが、fail 群では黄色、橙、緑、不明の順に誤答する傾向が認められ、赤の文字の総呈示回数 (6 回×各群の人数) に対する誤答数の割合は、それぞれ、32.5%、21.4%、4.8%、1.6%であった。橙に対する誤答色は、パネル D-15pass 群では黄色と赤で、橙の文字の総呈示回数 (5 回×各群の人数) に対する誤答数の割合はそれぞれ 43.3%と 18.3%であり、fail 群では黄色、赤および不明で、回答数に対する誤答数の割合はそれぞれ 68.6%と 8.6%および 1.0%であった。緑に対する誤答色は、パネル D-15pass 群、fail 群ともに黄色、赤および橙で、緑の文字の総呈示回数 (5 回×各群の人数) に対する誤答数の割合は pass 群

では、それぞれ 6.7%、3.3%および 1.7%であり、fail 群ではそれぞれ 18.1%、7.6%および 6.7%であった。

文字色の切り替え点の認知率については、文字色の切り替え点を回答させる検査において、切り替え点をすべて認知できた先天色覚異常者の割合は、第1異常のパネル D-15pass 群では 63%、fail 群 0%、第2異常パネル D-15pass 群 67%、fail 群 10%であったが、文字色の切り替え点と色名呼称の両方が全て正答であったのは、第1異常のパネル D-15pass 群では 13%、fail 群 0%、第2異常パネル D-15pass 群 33%、fail 群 0%であった。

先天色覚異常者では3色表示 LED ディスプレイの文字色の色弁別が困難な場合があることが示されたことから、LED ディスプレイにおいて、文字の表示色に情報を付加する際には、色以外の情報を付加する等、先天色覚異常者にとって認知しやすい工夫をすることが肝要と思われた。

3. 先天色覚異常者における道路交通信号灯色光の見え方

LED 式および電球式道路交通信号灯の赤、黄、緑の見え方の検討では、色覚正常者では、電球式、LED 式ともに全ての背景野において、誤答は無かった。先天色覚異常者では、赤色光に対しては、LED 式における誤答率は、第1色覚異常のパネル D-15pass 群では、すべての背景で 0%であったが、fail 群では、背景が黒で 0%、灰で 40%、白で 80%であった。第2色覚異常では、背景が黒のとき pass 群では 0%であったが fail 群では 60%であり、灰のときは pass 群で 3.6%、fail 群で 40.0%、白では pass 群で 9.1%、fail 群で 30.0%であった。電球式における誤答率は、第1色覚異常のパネル D-15pass 群、fail 群共に、黒、灰、白のすべての背景で 0%であった。第2色覚異常では誤答率は、背景が黒のと

きパネル D-15pass 群で 7.3%、fail 群では 40.0%で、灰のときは pass 群で 1.8%、fail 群で 50.0%、白では pass 群で 3.6%、fail 群で 30.0%であった。黄色光に対しては、LED 式における誤答率は、背景が黒では、第1色覚異常のパネル D-15pass 群で 10.0%、fail 群 0%で、灰では pass 群で 20.0%、fail 群 0%であったが、白では pass 群、fail 群共に 0%であった。第2色覚異常では、背景が黒のときパネル D-15pass 群で 23.6%、fail 群では 60.0%で、灰のとき pass 群で 32.7%、fail 群では 50.0%、白では pass 群で 32.7%、fail 群で 70.0%であった。電球式における誤答率は、第1色覚異常では、パネル D-15pass 群、fail 群共に、背景が黒および灰において誤答率は 0%であったが、白では、pass 群で 5.0%、fail 群で 20.0%であった。第2色覚異常では、背景が黒のときパネル D-15pass 群で 1.8%、fail 群では 40.0%で、灰のとき pass 群で 3.6%、fail 群では 10.0%、白では pass 群で 18.2%、fail 群で 0%であった。緑色に対しては、LED 式における誤答率は、第1色覚異常、第2色覚異常とも、パネル D-15pass 群、fail 群共に誤答率は、すべての背景野で 0%であった。電球式における誤答率は、第1色覚異常、第2色覚異常とも、パネル D-15pass 群、fail 群共に誤答率は、黒および灰の背景で 0%であったが、白では、第1色覚異常の pass 群では 0%、fail 群では 100%、第2色覚異常では、pass 群で 3.6%、fail 群では 0%であった。また、18名の先天色覚異常者に対して施行した、波長の異なる緑信号灯の見え方に関するアンケート調査では、判別しやすい波長としては、495nm が 14名、498nm が 6名、501.5nm が 3名、505.5nm、509nm、514nm は 0名であった。498nm が判別しやすいと回答した 6名の内、2名では 495nm が暗く判別しにくいとの回答であった。判別しにくい波長とし

ては 495nm、498nm、501.5nm は 0 名で、505.5nm が 2 名、509nm が 7 名、514nm が 17 名であった。また、505.5nm では 2 名、509nm では 6 名、514nm では 7 名から、緑が黄色に見える場合があるとの回答を得た。

4. 先天色覚異常者における夜間点滅信号灯の見え方

色覚異常の類型およびパネル D-15 テストの結果による正答率は、色覚正常者群では赤色光、黄色光ともに 100%であった。先天色覚異常者では、パネル D-15 テスト pass 群における正答率は、赤色光で 91.0%、黄色光で 71.0%であり、fail 群では、それぞれ 61.9%と 60.0%であった。赤色光において fail 群では有意に正答率が低い傾向が見られたが、黄色光では両群間に統計学的に有意差は認めなかった ($p < 0.05$)。色覚異常の類型では、pass 群では黄色光で、fail 群では赤色光と黄色光の両方で、第 2 色覚異常で正答率が低い傾向を認めた。

色覚異常の類型およびパネル D-15 テストの結果による誤答内容では、第 1 色覚異常群においては、パネル D-15 テスト pass 群では、赤色光における誤答は橙のみで、回答数に対する誤答率は 10.0%であり、黄色光では誤答は黄緑および緑で、誤答率はそれぞれ 2.5%および 15.0%であった。パネル D-15 テスト fail 群では、赤色光における誤答は橙、黄色および緑で、回答数に対する誤答率はそれぞれ 12.0%、2.0%および 6.0%であり、黄色光では誤答は赤、橙および緑で、誤答率はそれぞれ 12.0%、2.0%および 14.0%であった。第 2 色覚異常群においては、パネル D-15 テスト pass 群では、赤色光における誤答は橙および黄色で、回答数に対する誤答率はそれぞれ 1.7%および 6.7%であり、黄色光では、誤答は橙、緑および白色で、誤答率はそれぞれ 3.3%、30.0%および 3.3%であった。パネル D-15 テスト fail 群では、赤色光にお

ける誤答は橙、黄色、黄緑および緑で、回答数に対する誤答率はそれぞれ 11.4%、6.7%、1.0%および 27.6%であり、黄色光では誤答は赤、橙、黄緑および緑で、誤答率はそれぞれ 11.4%、10.5%、1.0%および 22.9%であった。さらに、赤および黄両方の色光の正答率が 100%の員数は、色覚正常者では 5 名すべてが正答率 100%であった。色覚異常者においては、パネル D-15 テスト pass 群では 20 名中 9 名 (45.0%) が、fail 群では 31 名中 8 名 (25.8%) が正答率 100%であった。pass 群、fail 群ともに第 1 異常と比較して第 2 異常において、正答率が 100%の員数が低い傾向が認められた。

5. 先天色覚異常者における工事用一灯式 LED 信号の見え方

補正後の各色光に対する誤答率は、赤色光、緑色光共に色覚正常者では 0%であった。色覚異常者では、PD-15 pass 群の第 1 異常、第 2 異常共に、赤色光に対し 0%、緑色光に対し 25.0%であった。PD-15 fail 群では、第 1 異常で、赤色光に対し 60.0%、緑色光に対し 100.0%であり、第 2 異常では、それぞれ 81.0%と 90.5%であった。また、色覚異常の類型による誤答色では、第 1 色覚異常においては、PD-15 pass 群では、赤色光における誤答は認めなかった。緑色光では黄のみであった。PD-15 fail 群では、それぞれ黄色、緑と黄色、赤であった。第 2 色覚異常においては、PD-15 pass 群では、赤色光における誤答は認めなかった。緑色光では黄であり、PD-15 fail 群では、それぞれ黄色、橙、緑、と黄色、橙、赤であった。また、赤および緑色光の両方が正答率 100%の員数は、色覚正常者で 5/5 (100.0%) であった。色覚異常者では、PD-15 pass 群の第 1 異常で、2/8 (25.0%)、第 2 異常で 3/12 (25.0%) であり、PD-15 fail 群の第 1 異常では 0/10 (0.0%)、第 2

異常では 1/21 (4.8%) であった。

6. 色覚遺伝子に関する分子生物学的研究
心理物理学検査によって、17 例の表現型は正常色覚 5 例、第 2 異常 12 例に分類された。視物質遺伝子配列は例外なく、赤、緑、緑赤の順序をもつ 5 例全例において表現型は正常色覚であり、一方、赤、緑赤、緑の順序をもつ 12 例全例で、その表現型は第 2 異常であった。

D. 考察

1. 表示色の大きさによる色識別能向上の効果

視角 2 度、8 度および 10 度視標の色相配列検査機器を用いた、表示色の大きさによる色識別能向上の効果についての検討では、視角 2 度の視標を用いた色相配列検査において誤答した色覚異常者でも、視角 8 度では色識別能が向上する傾向が認められ、視角 10 度ではこの傾向がさらに顕著となった。このことから、表示色を適切な大きさで表示することにより色識別能が向上する可能性が示唆された。しかし、色識別能の向上の理由として、色覚への rod や SWS-cone の関与が考えられているが、現在のところ明確にはなっていない。今後は、この点についても例数を増やし、検討してゆきたい。

2. 先天色覚異常者における発光ダイオードによる電光掲示板の見え方

近年、鉄道や空港、病院、役所、デパート、銀行等の施設で、文字情報の伝達手段として、LED ディスプレイが多用されている。しかし、波長の半値幅の狭い LED を用いて、明度差の明確でない赤、橙、緑で表示される LED ディスプレイは、先天色覚異常者にとっては、色の判別が困難であることが推察される。今回の結果では、LED の赤色については、第 2 異常のパネル D-15fail 群において、誤りが多くみられた

が、第 1 異常ではパネル D-15pass 群、fail 群ともに誤答は認められなかった。第 1 異常で結果が良好であったのは、第 1 色覚異常者では長波長側の赤色に対する感度が低下していることから、暗く見える色を赤として識別しているためと考えられた。橙の文字表示では、第 1、第 2 異常共に誤答が多くみられ、LED ディスプレイの橙色は、先天色覚異常者にとって、色名を正しく識別することが困難であることが確認された。第 1 異常において、橙を赤と呼称する誤りを認めなかった要因としては、第 1 異常では赤を暗く感じるため、赤と橙を明暗差で識別しているためと考えられた。緑の文字表示では、とくに第 1 異常でパネル D-15pass 群、fail 群共に、緑を黄色と呼称する誤りが目立ったことから、第 1 異常者にとっては、LED ディスプレイの緑は黄色と識別することが困難なことが推察された。

3. 先天色覚異常者における道路交通信号灯色光の見え方

交通の制御および安全確保に関する情報伝達手段として重要な道路交通信号灯と先天色覚異常者の交通事故例については過去に報告されているが、事故原因が、先天色覚異常者の道路交通信号灯色光の色混同に基づくものであるか否かを判定することは困難である。しかし、先天色覚異常者としては、道路交通信号灯色光の識別が、時に困難な場合があることが推察される。さらに、従来の電球式の信号灯に代えて、近年、LED 式の道路交通信号灯も設置されつつあるが、先天色覚異常者における LED 式の信号灯の見え方についての検討が十分に為されているとは言えない。今回のシミュレーション検査の結果、赤色灯については、第 2 色覚異常と比較して第 1 色覚異常において良好な傾向がみられた。しかし、電球式において

は、第1色覚異常のパネル D-15pass 群と fail 群共に、すべての背景野で誤答がみられなかったのに対し、LED 式においては、第1色覚異常パネル D-15pass 群ですべての背景野で誤答はなかったが、fail 群では、灰および白背景野で誤答がみられた。第1色覚異常で結果が良好であったのは、第1色覚異常者では長波長側の赤色に対する感度が低下していることから、暗く見える色を赤として識別しているためと考えられた。一方、LED 式において灰と白背景野で赤を黄色とする誤答がみられたことは、電球式の赤と黄色の輝度差が大きく、LED 式の赤と黄色の輝度差が少ないことに起因するものとおもわれた。黄色灯については、電球式および LED 式共に、第1および第2色覚異常の両者で誤答が認められた。第1色覚異常と第2色覚異常の比較では、特に第2色覚異常に、また、電球式と LED 式の比較では LED 式において誤答が多い傾向がみられた。電球式と比較して LED 式において誤答が多くみられたのは、電球式信号灯の黄色は、電球式の赤色や緑色と比較して輝度が高く、一方、LED 式の黄色は LED 式の赤色や緑色との輝度差が少なく、色覚異常者が輝度の高い輝く色を黄色と判断しているためと考えられた。誤答色については、電球式で黄色を赤と、LED 式では黄を赤や緑と呼称する誤りを認めたのは、色度図上、電球式では赤と黄色が、LED 式では赤、黄、緑が、第1および第2色盲の混同色軌跡に近いことが要因と考えられた。緑色灯については、電球式、LED 式共に、第1色覚異常と第2色覚異常の両者で誤答は少なく、特に LED 式では誤答はなかったが、電球式の白背景野において、第1色覚異常のパネル D-15 fail 群と、第2色覚異常パネル D-15pass 群で誤答がみられたことから、電球式において周辺視環境の条件によっては緑色の識別が困難な場

合があることが推察された。また、今回、誤答の無かった LED 式においても、波長の異なる LED 緑信号灯の見え方アンケートの結果から、505.5nm 以上では、緑が黄色に見える可能性が示唆された。今回の結果より、道路交通信号灯の色光は、先天色覚異常者にとっては、特に黄色灯や赤色灯で色の判別が、時に困難な場合があることが確認された。また、LED 式と電球式の比較では、特に黄色信号灯において、LED 式で先天色覚異常者にとって正しく識別することが困難なことが推察された。道路交通信号灯色光の識別能は、周辺視環境の違いによっては、さらに低下する場合もあり得る。したがって、LED 式の道路交通信号灯に関しては、緑色灯では波長が 505nm 以下の緑の使用し、赤と黄では明度差の付加や、信号灯の大きさを替えるなどの、先天色覚異常者においても容易に見分けられるような工夫を要するものと思われた。今後さらに、道路交通信号灯に関して、様々な周辺視環境を想定して基礎的研究を行い、色覚異常者においても容易に見分けられるような、信号灯の大きさや表示方法、光源、色度、輝度についての工夫、改良を、さらに検討していきたい。

4. 先天色覚異常者における夜間点滅信号灯の見え方

道路交通の高速化や過密化に伴い、交通の制御および安全確保に関する情報伝達手段としての道路交通信号灯の重要性が増している。先天色覚異常者においては、この道路交通信号灯の色光の識別が困難な場合があることが、推察される。しかし、先天色覚異常が色混同に基づく道路交通信号の誤認により交通事故が引き起こされることは無いとされている。この要因としては、色覚異常者が道路交通信号灯の色光を識別する際には、周囲の状況や、色光の呈示時間や点灯順序なども助材料として判断して

いることが考えられる。したがって、周囲の交通の状況や比較する色光等の情報も少ない、赤色と黄色の色光による夜間点滅信号灯は、先天性覚異常者にとって識別がより困難なことが推察される。今回のシミュレーション検査の結果より、第1異常・第2異常ともに、先天性覚異常者においては、赤および黄色灯の両方で100%の正答率は得られず、対象とした先天性覚異常者51名のうち、正答率が100%であった員数は17名であった。先天性覚異常者における、回答数に対する正答率および正答率100%の員数の割合は、ともに、第1異常 pass 群 > 第1異常 fail 群 > 第2異常 pass 群 > 第2異常 fail 群の順であった。すなわち、第1異常、第2異常ともに、パネル D-15 テスト pass 群で fail 群と比較して正答率が有意に高い傾向が認められるものの、100%の正答率を得ることはできなかった。第1色覚異常で結果が良好であったのは、第1色覚異常者では長波長側の赤色に対する感度が低下していることから、赤と黄を明暗差で識別しているためと考えられた。したがって、今回の色混同に関する結果では、第2異常と比較して第1異常において良好な結果が示されたが、実際の信号灯においては、天候や信号灯の汚れ等で赤色灯の視認距離が低下する可能性も示唆された。以上の結果より、周辺に判断の助材料が少なく、点滅する1灯の信号灯のみで色弁別をする必要のある赤色と黄色の色光による夜間点滅信号は、先天性覚異常者にとって判別困難な場合があることが確認された。したがって、夜間点滅信号灯には、信号灯の他に補助信号の点灯や、信号灯の大きさ、輝度、形や点滅間隔を変えるなど、色以外の情報を付加し、先天性覚異常者も含めて、すべての人に認識しやすい工夫をする必要があると思われた。

5. 先天性覚異常者における工事用一灯式

LED 信号の見え方

シミュレーションの結果、第1・第2異常ともに、PD-15pass 群では、赤色光に対して誤答は認められなかったが、緑色光では100%の正答率は得られなかった。PD-15fail 群では、赤色光、緑色光ともに誤答率が高かった。誤答率は、赤色光では第1異常 pass 群 = 第2異常 pass 群 < 第1異常 fail 群 < 第2異常 fail 群であり、緑色光では第1異常 pass 群 = 第2異常 pass 群 < 第2異常 fail 群 < 第1異常 fail 群であった。赤色光において、第1色覚異常でやや良好な結果であったことは、第1色覚異常者では暗く見える色を赤として識別しているためと考えられた。以上の結果、第1、第2異常共に特に、PD-15fail 群において誤答が多くみられたことから、波長の半値幅の狭い LED を用いて、明度差の明確でない赤、緑で表示される LED 色光は、先天性覚異常者にとっては色名を正しく識別することが困難であること色の判別が困難であることが確認された。したがって、道路工事用1灯式 LED 信号では、背景の無い文字表示に変えるなど、色以外の情報を付加することが必要と思われた。

6. 色覚遺伝子に関する分子生物学的研究

保因者と考えられる女性の中には、心理物理学的検査において正常とは若干異なる結果を示す場合があることは、色覚と適切な表示色を検討するうえで重要と考えられる。しかし、これまでは、心理物理学的検査で異常を認めない女性保因者では、家族全員の遺伝子検索が可能の場合にはある程度予想が可能であると考えられたが、女性保因者のみの DNA 検索では、確定診断は不可能であった。すなわち、赤視物質遺伝子に加え複数の緑視物質遺伝子が存在する場合、視物質遺伝子数の合計や遺伝子の種類を決定することは可能であったが、緑視物質遺伝子の配列順序を決定することは不

可能であった。しかし、本研究において Long-range PCR から単一バンドが得られ、約 27.4 kb の増幅に成功し最遠位端の視物質遺伝子検出方法を確立した。先天赤緑異常の中で、第 2 異常は約 75% ともっとも頻度が高く遺伝子診断法を確立していく意義は大きい。今後は、さらに症例を増やし、新たに long range PCR 法も導入・応用して保因者女性の遺伝子分析を行い検討したい。

E. 結論

赤、緑、橙の 3 色表示 LED ディスプレイの文字表示や、道路交通信号灯、一灯色 LED 信号灯では、先天色覚異常者にとって色の弁別が困難な場合があることが確認された。したがって、LED ディスプレイによる情報伝達においては、文字情報のみとするのがし望ましく、背景の同時表示や文字の表示色そのものに情報を付加する際には、青色や白色などの LED 表示を用いたり、色以外に音声や記号等の情報を付加し、先天色覚異常者にとって認知しやすい工夫をすることが肝要と思われた。また、道路交通信号灯、一灯色 LED 信号灯においても、色以外に音声や記号等の情報を付加し、先天色覚異常者にとって容易に認知可能な工夫をする必要があると思われた。

さらに、色覚異常者において色表示の大きさを変えることにより色識別能が向上する可能性があることが確認されたことから、これらの結果をもとにして、色表示を先天色覚異常者にとっても判別しやすい表示に改善し、誤色に伴う事故を防ぐことが可能とも考えられる。

また、分子生物学的研究では、先天赤緑異常の保因者と考えられる例については、遺伝子型と心理物理学的検査の結果との乖離がみられる例も存在し、先天色覚異常の保因者と考えられる女性の中にも、心理物

理的検査において正常とは若干異なる結果を示す場合があることから、色覚と適切な表示色を検討するうえで、これら保因者の決定は重要と考えられる。今回の結果から、末端に位置する視物質遺伝子の同定が可能となったことより、本方法は、第 2 異常の迅速遺伝子診断のみならず女性保因者診断法としても非常に有用であると考えられる。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 先天色覚異常者における黄および赤色の夜間点滅信号灯に対する弁別能。
平成 13 年 10 月
西尾佳晃、久保朗子、北原健二
中村かおる、岡島 修
日本眼科紀要
第 52 巻 8 号 : 656-660, 2001.
- 2) 先天性色覚異常者における道路工事に用一灯式 LED 信号の見え方
平成 13 年 12 月
西尾佳晃、久保朗子、高橋現一郎、
北原健二、中村かおる、岡島修
第 43 回日本産業・労働・交通眼科学会予稿集 : 15-16, 2001.
- 3) 点眼薬キャップの色表示に関する研究
平成 14 年
坂本仁子、西尾佳晃、北原健二
眼科臨床医報
第 96 巻 2002. (印刷中)
- 4) 先天色覚異常者における LED 式道路
交通信号灯色光の見え方
平成 14 年
西尾佳晃、北原健二、池村雄二
伊澤昭一、伊藤薫平、杉本實喜男
神田橋宗行
臨床眼科
第 56 巻 6 号 2002. (印刷中)
- 5) The Importance of Gene Order in

Expression of the Red And Green
Visual Pigment Genes and In Color
vision

2001 年

Takaaki Hayashi, Tomohiko Yamaguchi

Kenji Kitahara, Lindsay T. Sharpe

Herbert Jagle, Shinichi Yamade

Hisao Ueyama, Arno G. Motulsky,

Samir S. Deeb

COLOR research and application

2001; Vol 26: s79-s83

2. 学会発表

1) 先天性色覚異常者における三色表示 LED
サインボードの見え方

平成 13 年 9 月

西尾佳晃、久保朗子、高橋現一郎、

北原健二、中村かおる、岡島修

第 67 回日本中部眼科学会

2) 先天性色覚異常者における道路交通信号
灯の見え方

平成 13 年 10 月

西尾佳晃、久保朗子、北原健二、

池村雄二、杉本實喜男、伊澤昭一、

伊藤薫平、神田川宗行

第 55 回日本臨床眼科学会

3) 先天性色覚異常者における道路工事に
一灯式 LED 信号の見え方

平成 13 年 12 月

西尾佳晃、久保朗子、高橋現一郎、

北原健二、中村かおる、岡島修

第 43 回日本産業・労働・交通眼科学会

G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

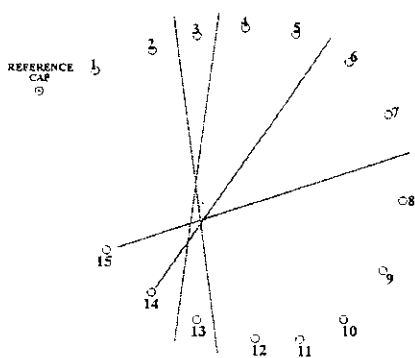
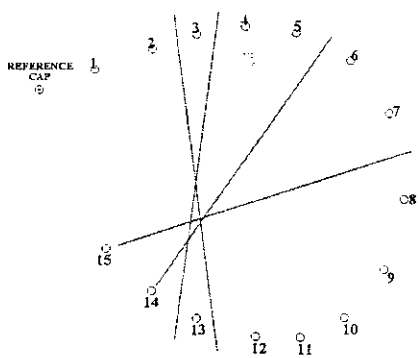
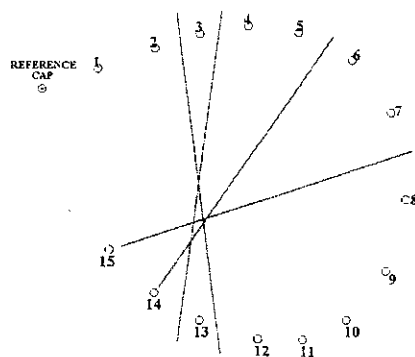
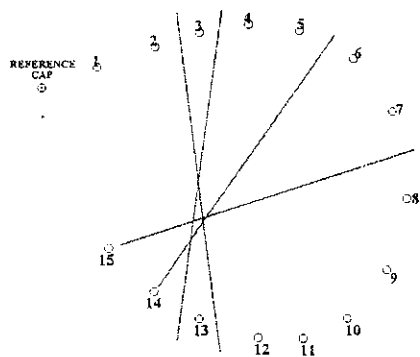
3. その他

なし

表示色の大きさによる色識別能向上の効果の個別データ

Farnsworth dichotomous test(PD-15)

2度 色票

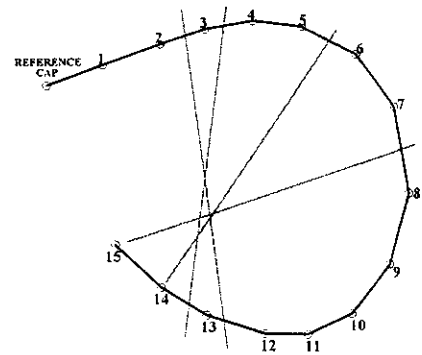
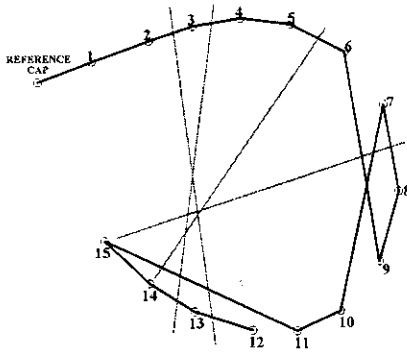
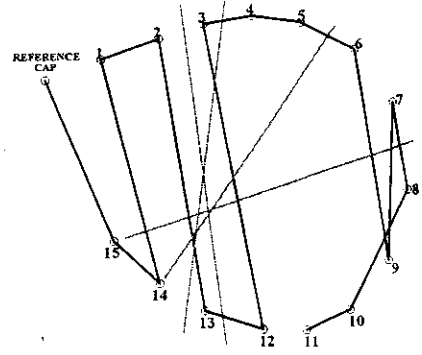
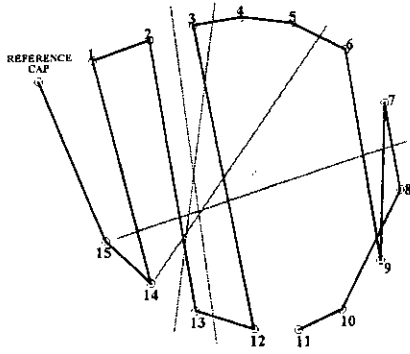


8度 色票

10度 色票

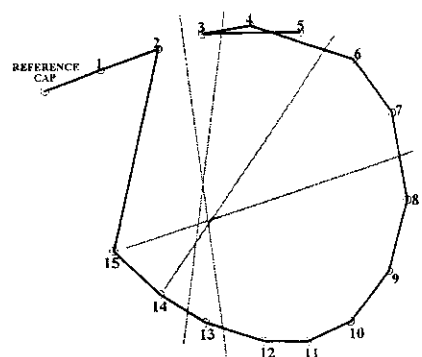
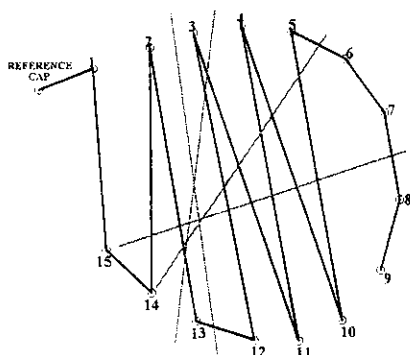
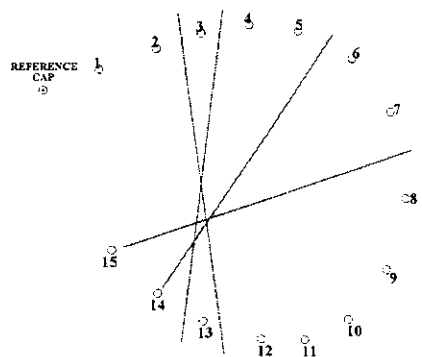
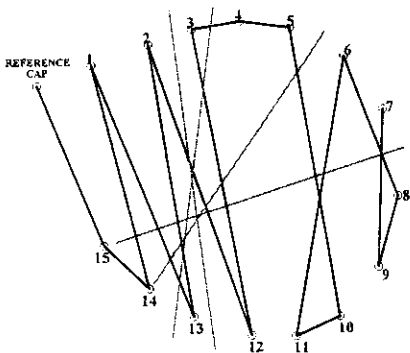
K.I.

第1色弱



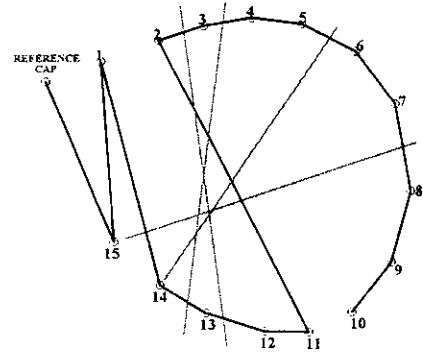
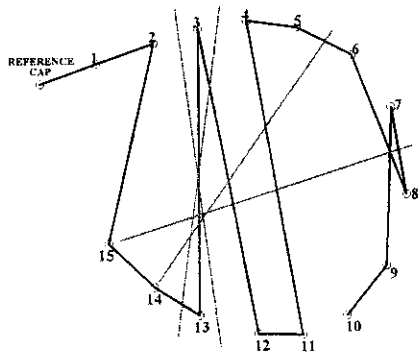
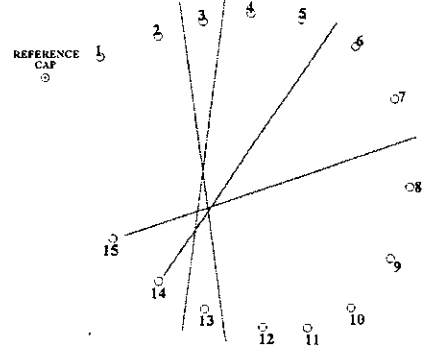
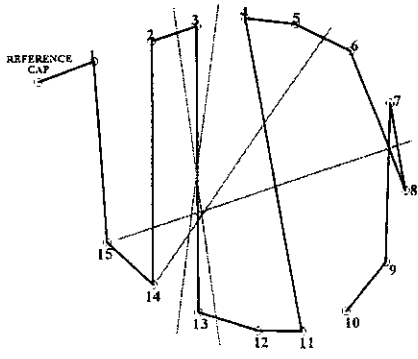
T.I.

第1色弱



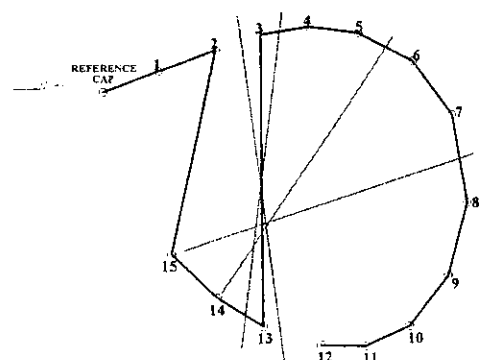
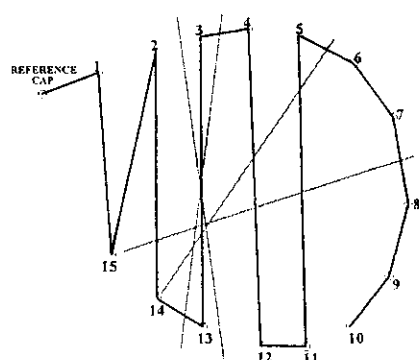
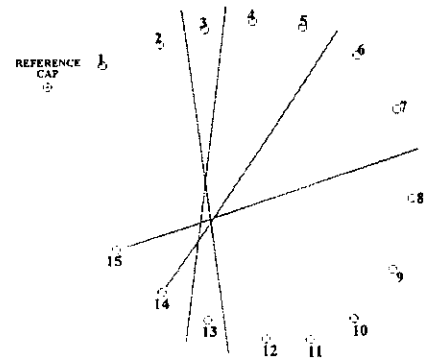
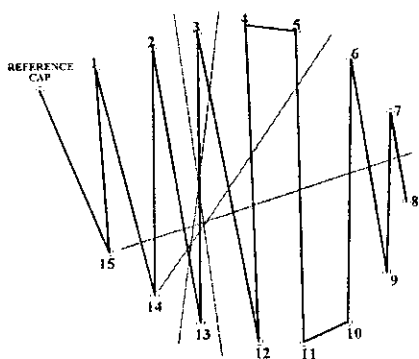
S.T.

第1色弱



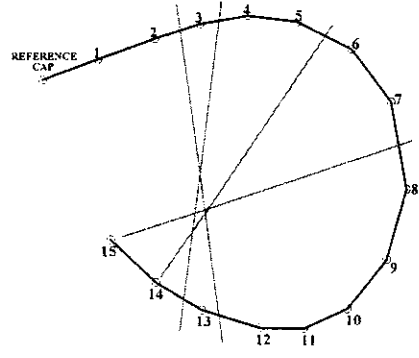
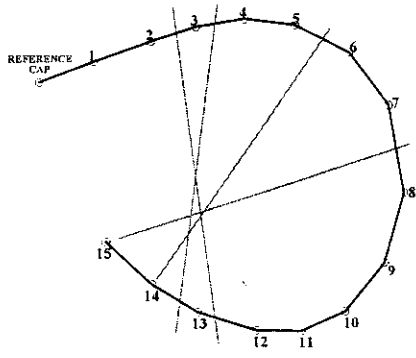
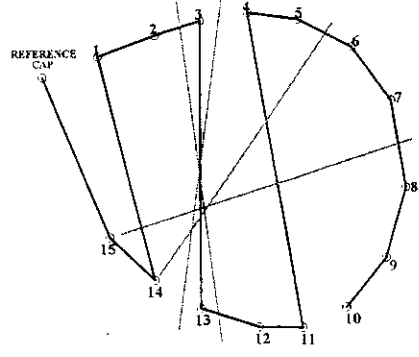
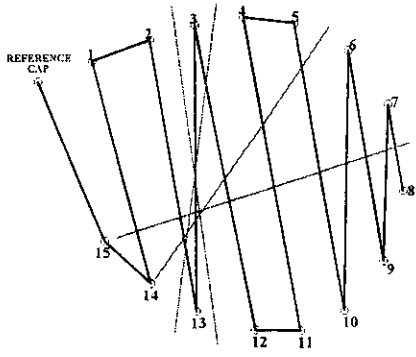
T.K.

第1色弱



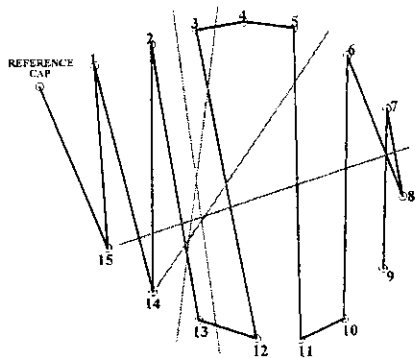
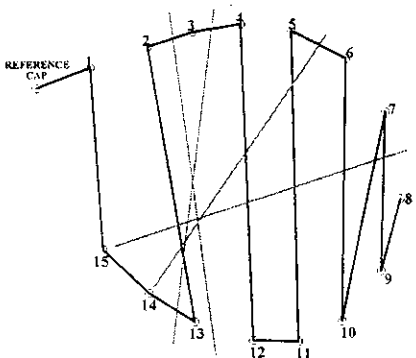
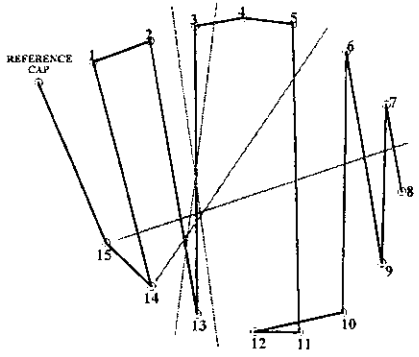
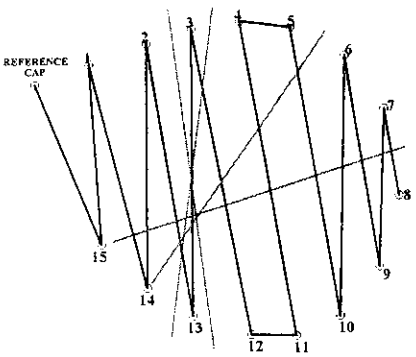
M.O.

第1色盲



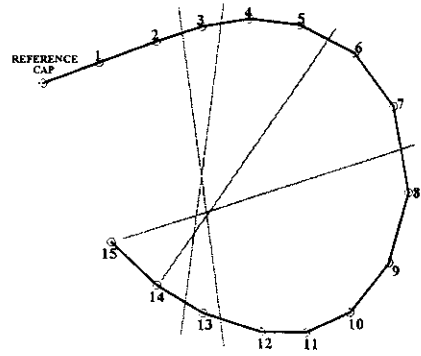
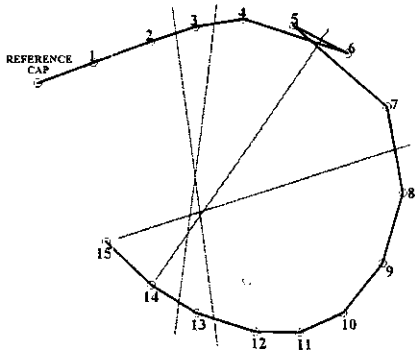
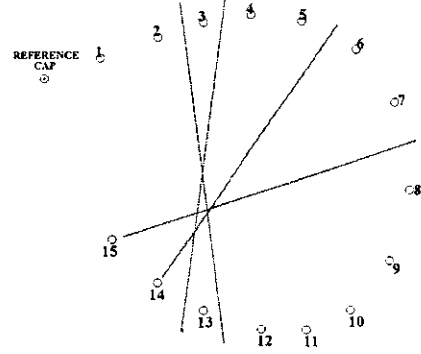
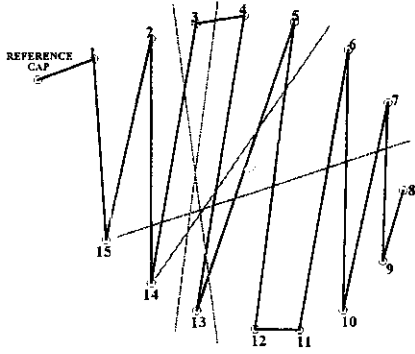
T.T.

第1色盲



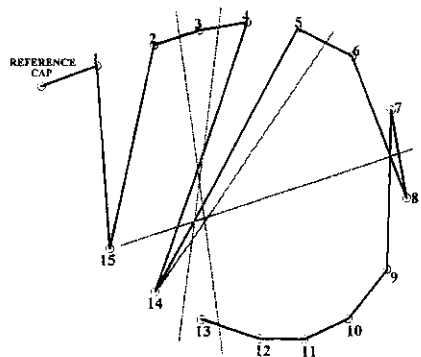
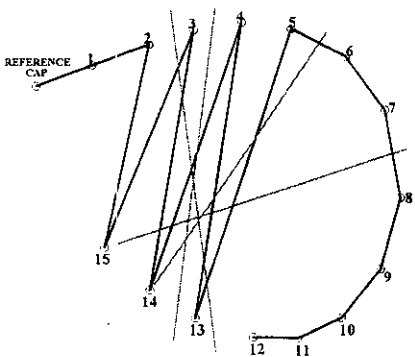
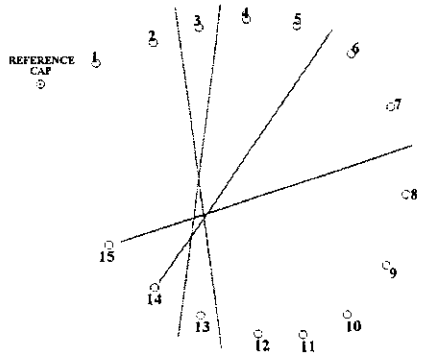
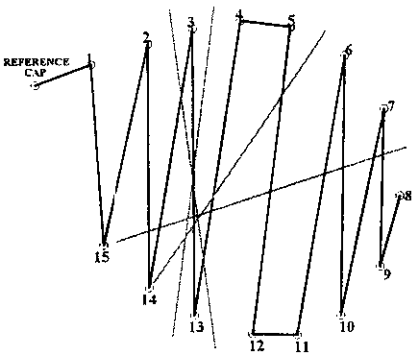
Y.O.

第2色盲



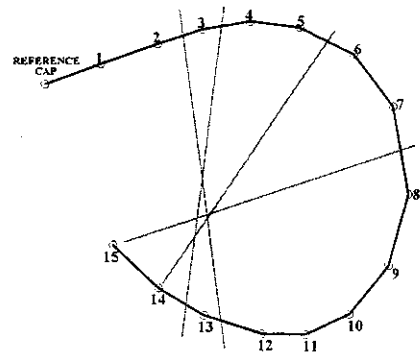
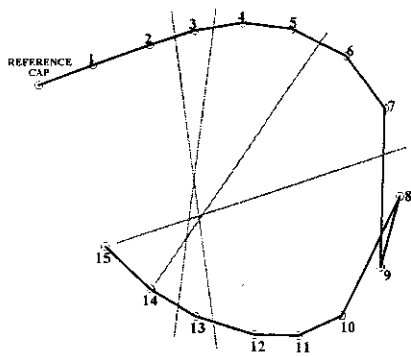
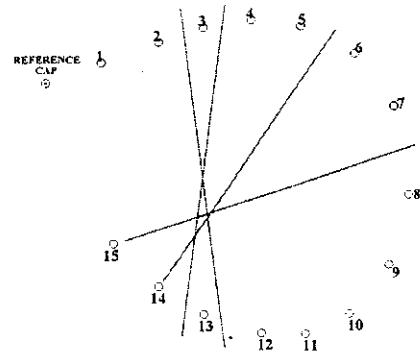
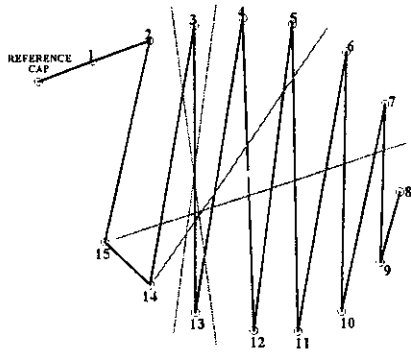
S.N.

第2色盲



K.N.

第2色盲



S.K.

第2色盲

