

Panel D-15テスト色票色を用いたランドルト環の認識速度測定

柳 田 多 聞

Recognition speed for the Landolt ring colored with the Panel D-15 colors

Tamon YANAGIDA

問題の背景

色は日常生活においては、われわれを取り巻く環境の属性として認識されているが、実際には色の知覚は眼に照射された光に対する視覚系の反応の所産である。したがって、視覚系を構成する神経群の活動特性に個人差があれば、同じ光に対しても個人個人で異なる色が知覚されても不思議ではない。それが色覚の個人差である。しかし、上述したように色が物体の属性だと思えることに加えて、色の見えは極めて個人的な体験であり、他人のそれと自分のそれとを直接比べて確かめるすべがないため、自分の見えとは異なる色の見え方を想像するのは容易なことではない。

先天的色覚異常は、眼球網膜内において色センサーの役割を果たす錐体細胞中の色素の遺伝的な変異が原因で生じる。この特殊な色覚の保有者は、医学的な色覚検査を受けた結果として、次のような指摘を受けることが多い。「あなたは特別な色見え方をしている、ほかの人と違ったように色が見えています。普段の生活で困ることはそれほどありませんが、間違っただけに見える場合がありまますから、注意が必要です。」個人が見る色に対して“間違い”とする指摘が誤りであるということについても詳しく議論すべきだが、ここではこのような指摘がその後の生活に対する指針として不十分であることに注意を喚起したい。

従来の色覚検査に対して、“異常者”のレ

ッテルが貼られるだけで適切なアドバイスが不足しているという不満は多い(西尾, 2001)。ただし、この原因は眼科医の怠慢とは言えない。色覚の個人差は種類や程度が幅広く、それに対して既存の色覚検査は大まかな判定しか与えないからである。色覚検査は、歴史的には海運事故や鉄道事故の防止のため船員や鉄道員の採用を制限する目的で開発された背景があり(太田, 2005)、“健常者”と“異常者”とを分類し判定することを目的として作られてきた。しかし、当事者にとって必要な情報は「判定」ではなく、どのような状況においてどのようなことに注意を払うべきなのかについての具体的な対処方略の「指針」である。しかしこれまで、個人の特性を詳細に理解し、個人のニーズに合わせた具体的な対処方略を模索する、いわゆる「エイドのパーソナル・フィッティング(支援の個人適合)」という観念が、色覚問題の領域では遅れていると言わざるを得ない。そこで従来の色覚検査に代わる、新たな色覚特性理解の方略を模索する必要がある。

他者との色覚のズレによって生じるコミュニケーション上の問題に対処するためには、当事者が自分自身の色覚の特性を量的に把握しておく必要がある。個人の特性を詳細に測定し、エイドのフィッティングに活用している好例として、ロービジョン(弱視)における読書チャート利用がある(小田, 2001)。これはさまざまなサイズの文字で印刷された

文章の読書速度を測定し、各個人が読みやすい最適サイズを割り出すことによって、その人にとっての最適な支援器具およびその拡大率を特定する方略である。

筆者はこの考え方に基づいた、色覚の個人特性を量的に把握するための色文字認識速度の測定の可能性について検討してきた(柳田, 2005a, 2005b)。同じ色に対する正常3色型色覚保有者と異常3色型色覚保有者との捉え方の違いを、文字認識の速度と文字サイズによって定量的に示すことが可能であること(柳田, 2004)や、同じ色度の色組み合わせであっても輝度レベルの違いによって識別難易度が変化する様子も定量的に理解可能であること(柳田, 2005)が明らかになった。

本研究では色覚異常の程度判定によく用いられる Panel D-15テストを取り上げ、その色票色に対する色文字認識速度を測定し、単なる判定ではなく、色の領域と識別感度の関係を定量的に示す指針が得られないかを検討した。

Panel D-15テスト (Farnsworth dichotomous test Panel D-15) は、仮性同色表で色覚異常が疑われた人に対して色混同の程度を、強度と中程度以下とに二分することを目的として作成された検査法である (Farnsworth, 1947)。低彩度で似通った色相の色パッチが15個あり(図1にその色度を示す)、被検者は Pilot 色票 (P) から始めて最も近い色を順に探していくことを求められる。低い数字から順に選択した場合は「エラーなし」で中等度以下の異常、選択順の入れ替わりがあった場合には強度の異常と判定され、選択された順序の型によって色覚異常の種類(第1異常, 第2異常, 第3異常)が判定される。仮性同色表では判定できない程度の違いを、比較的簡便な手続きで見出すことができ、文字の知識など文化的な要素が関与しないので、年齢や国籍を問わず実施できる。そのため世界的に定評のある色覚検査である。

本研究の被験者は、仮性同色表(石原式お

よび東京医大式)で異常の可能性が指摘されているが、Panel D-15テスト結果はエラーなしであった。すなわち中等度以下の色覚異常と判定される。しかし、これらの結果のみでは、どのような色の範囲にどの程度の識別力低位が見られるのか具体的には分からなかった。

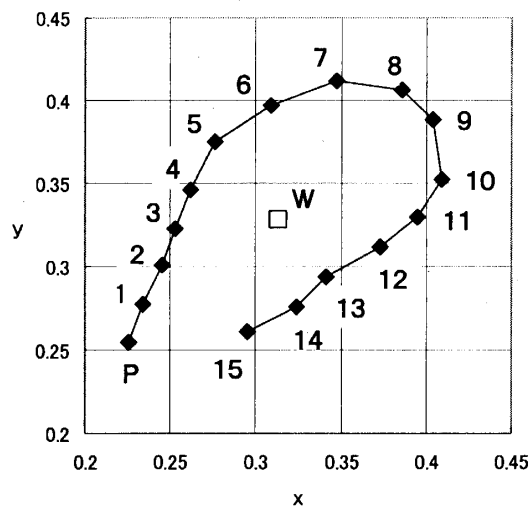


図1 Panel D-15テスト各色票の色度
 図中の数字は色票番号、PはPilot色票、Wは実験に用いたモニタディスプレイの最大出力白色である。Y値はすべて20。

Panel D-15テストに使用される色は、無彩色(図1中のW)の周辺に取り囲むように配置されているので、それぞれを識別する感度を調べることによってどの領域の色に対して感度が低いのかを定量的に知ることができると考えられる。そこで、Panel D-15テスト色票中の2色を用いた色文字認識速度の測定を行った。

目的

Panel D-15テスト色票中の2色の組み合わせを背景色および文字色とした色文字の認識速度を測定し、色組み合わせの違いによる色識別力の違いを定量的に検討する実験を実施した。

文字認識の素材として、これまでの実験(柳田, 2005a, 2005b)ではロービジョン

用読書チャート MNREAD-Jk に準じて作成したひらがな文字列を採用してきたが、今回は視力測定に一般的に用いられるランドルト環を用いた。文字列は読書という日常的な認知課題に即した測定値という意味での重要性はあったが、音声やキータイピングなど測定手続きによる値の違いや、単語に対する知識や印象などのバイアスによる変動などの方法論上の不確定要因が分離しにくいので、今回はそれらの要因を排除するためにランドルト環を用いた。

方法

被験者：異常3色型第2異常色覚の保有者1名。医学的な色覚検査結果は、(1)石原式仮性同色表および東京医大式仮性同色表はほとんど誤読で第2異常と判定、(2)パネルD-15はエラー無しで中等度以下、(3)アノマロスコープでは混色10~20間において単色15と均等によりdeuteranomaly (異常3色型第2異常)と判定された。矯正視力は1.5以上であった。

装置と刺激：パソコン(PC-AT互換機)制御によって17インチ液晶モニター(BenQ社FP757)上に刺激を呈示した。縦6.44deg×横14.25degの領域内に、24個のランドルト環を提示した。4個区切りで6群に分かれていた。ランドルト環の色と背景の色は、Panel D-15色票中の2色の組み合わせであった。Pilot色票(P)および1番から15番までのうち、隣り合った2色の組み合わせ(16組)を測定し、その中で低成績であった色域について1色あいだに挟んだ2色の組み合わせ(No.1-3, 2-4, 3-5, 4-6および9-11, 10-11, 11-13, 12-14:8組)も測定した。

ランドルト環のサイズは、全体の高さが視角で10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45(分)であった。ランドルト環の切れ目の幅は全体の高さの5分の1である。

手続き：被験者の課題は、24個ずつ呈示されるランドルト環の切れ目の向きを、パソコンのテンキーを用いて答えることであった。

切れ目の方向とキーの対応づけは、左下方向が「1」、左横方向が「4」、左上方向が「7」、真上方向が「8」、右上方向が「9」、右横方向が「6」、右下方向が「3」、真下方向が「2」であった。

被験者がリターンキーを押すことでランドルト環が提示された。一度に24個提示されるランドルト環を左上から横へ(横書き文字を読む場合と同様に)読み進み、答え終わるとリターンキーを押し、ランドルト環は消失した。さらにリターンキーを押すと次の24個が提示された。

同じ2色で背景色とランドルト環色とを入れ替えたものを続けて実施し、色組み合わせを替えた。1回のセッションでは4組の色組み合わせを用い、4組終わるとランドルト環のサイズを替えた。色順応を防ぐため、同じ色組み合わせだけでセッションを組まなかった。サイズの変更は、最大サイズの視角45分から順に、切れ目の向きが分からなくなるまでサイズダウンしていった。

ランドルト環の切れ目の向きはランダムに設定されたが、8方向の出現の割合は均一にした。

実験は明室で90cmの観察距離で実施された。

結果と考察

サイズおよび色組み合わせごとに、1分あたりの正しく認識されたランドルト環の数を算出し、認識速度(characters per minute)とした。図2に各色組み合わせおよび文字サイズごとの認識速度を示す。

隣り合った色票の組み合わせ(図2の上2段に示される16組)の中にも、かなり大きな違いがあることが顕著に見られる。最も小さなサイズにおいてはほぼすべての色組み合わせでほとんど認識できない状態であった。しかしサイズの拡大にともない、(1)認識速度が増大し、ある値で安定するもの(この値はその色組み合わせにおける最大認識速度と呼べる)、(2)認識速度がわずかしかならず増大せず、

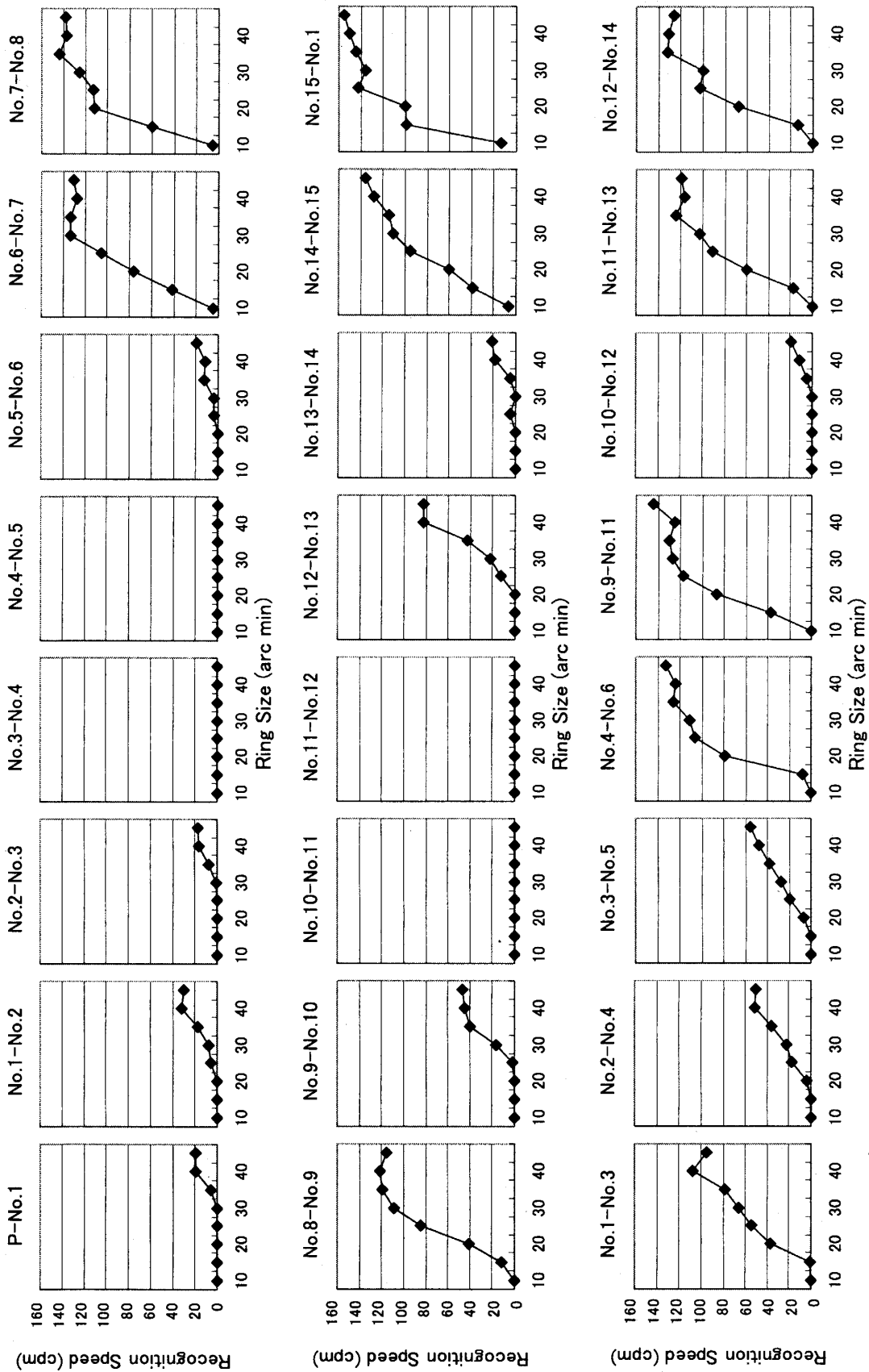


図2 パネルD-15テストの色票中の2色の組み合わせを背景色およびターゲット色に用いたランドルト環認識速度

横軸はランドルト環の大きさ、縦軸は認識速度（1分あたりの認識個数）である。各グラフ上部に用いた2色票の番号が記されている。

調べた範囲のサイズでは最大認識速度に達しなかったもの、(3) 認識速度がまったく増大しないものの3種類に分かれた。(3)はランドルト環の切れ目の向きを認識するという課題遂行に必要な色の識別が不可能であった、と言える。

この被験者はPanel D-15テストをパス(エラーなし)しているのだから、順序判断に必要な色識別は可能なはずである。そこで、最大サイズにおいても認識速度が大きく増大しなかった領域の色について、1色あいだに挟んだ組み合わせについても測定を行った(図2の最下段に示される8組)。その結果、連続する3つの色票において、隣り合った2色の組み合わせよりも1色あいだに挟んだ2色の組み合わせの方が、サイズ拡大にともなう認識速度の増大が大きくなっていった。これは追加試行を行った8組すべてに関して言えることであった。したがって、この被験者がPanel D-15テストの全色票の順序をエラーなく並べる識別力を持っていることは、この結果からも裏づけされたと言えよう。

隣り合った2つの色票よりも1色あいだに挟んだ2つの色票の方が認識速度が大きいことは、2つの色の色度の距離、色差の大きさ

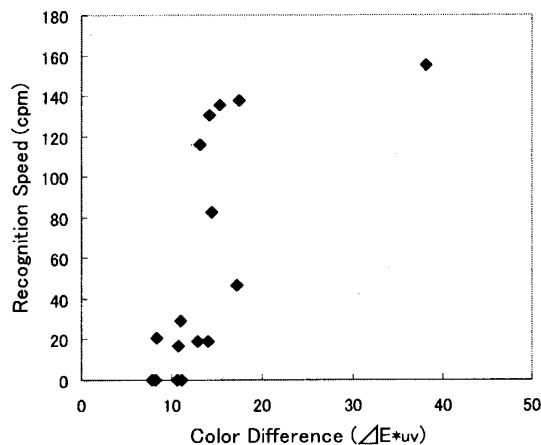


図3 背景色と文字色の色差別の認識速度
色差 ΔE^*_{uv} はモニタの最大出力白色を基準白色($L^*=100$)としたCIELUV色空間での表記。図中の右端に離れて存在する値は、No.15-No.1。

に比例して発生するごく当然の結果であるとも考えられる。そうすると、隣り合った2色票の組み合わせ(16組)の中の認識速度の差も色差の大きさを説明できるのかも知れない。そこでこの点について検討するため、16組の認識速度を2色の色差別にプロットしたのが図3である。

16組の認識速度と色差とにおけるピアソンの積率相関係数は $r=0.672$ であったが、知覚レベルの課題成績として高い値とは言えず、認識速度が色差の大きさによって規定されているとは見なせない。

次に、色域によって識別感が異なるかどうかを検討するために、認識時間を色相角(h_{uv})別にプロットしたものが図4である。ここでの認識時間は色差の違いによる影響を除外するために、認識時間を色差の値で割った値とした。色相角は2色の中間の値をその組み合わせの代表値とした。色相角の0度は、図1の色度図上では基準白色Wから水平に右方向となり、垂直に上方向が90度、水平左方向が180度、垂直下方向が270度である。

色相角の違いによる認識速度の偏りが見え取りとれる。認識速度が高い色域は60度付近と270度付近の2箇所、認識速度が低い色域は0度付近と150度付近の2箇所に分かれた。最も認識速度が低い領域はまったく識別できないレベルであるが、その次に低いレベルのグループ(No.5-6, No.2-3, P-No.1)の認識速度と最高レベルのグループ(No.8-9, No.6-7, No.14-15)の認識速度とには約6倍もの開きが生じている。どの範囲の色域に対してどの程度の識別難易度となっているかが具体的に理解できる指標が得られたと言えよう。

より具体的にイメージしやすくするため、図4の値を図1の色度図上に色の濃さで表現したものが図5である。暗い色になるほど隣り合った色の識別が困難であることを示しており、識別力の高低の配置が分かりやすい。

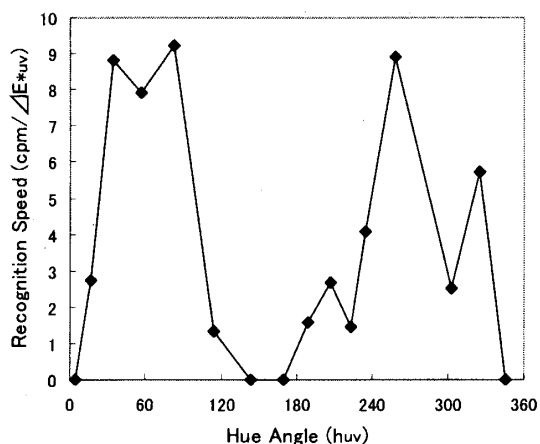


図4 色相角別の認識速度
色相角 h_{uv} は組み合わせ 2 色の中央値。図 3 と同様に、モニタの最大出力白色を基準白色 ($L^*=100$) とした CIELUV 色空間での表記。認識速度は色差の値で割ったもの。

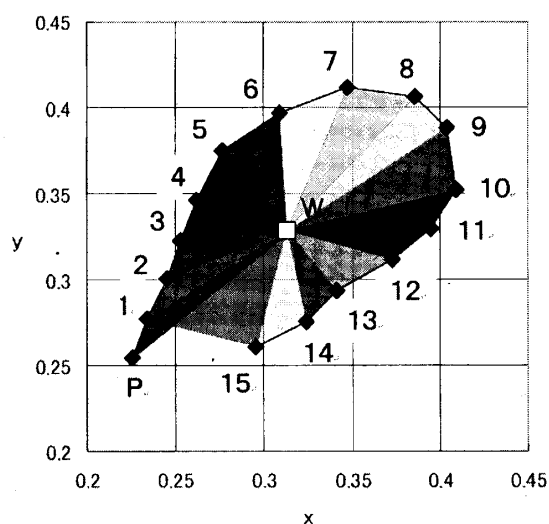


図5 認識速度別に塗り分けた刺激色度図
暗い色ほど認識速度が低く識別困難であることを、明るい色ほど認識速度が高く識別が容易であることを示す。

総合的議論

異常 3 色型色覚は、色混同等の色覚障害の程度が比較的小さいため、入学試験や採用試験などでの欠格条項撤廃がかなり進んだこともあって、日常生活での支障はほとんどなく、問題がないと誤解されがちである。しかし、むしろ軽微なズレであるがために生じるコミュニケーション中の「違和感」が、誤解や不

信を誘発すると考えることもできよう。また、異常 3 色型色覚の中にもさらに、障害の程度の個人差がある。そのため、2 色型色覚（いわゆる色盲）に関しては広く知られている混同色軌跡 (Judd & Wyszecki, 1975) や見えのコンピュータ・シミュレーション（例えば Vischeck ; <http://www.vischeck.com/>）のような理解の支援となる例示を作成することができない。そのため、自分と他者との微妙な色の捉え方の違いについて、正確に知りたいという欲求が満たされる機会は乏しかった。

本研究では、白色を囲んで配置してある色を用いてランドルト環認識の速度を測定することによって、被験者の色覚特性を定量的に示すことができた。

ここで「認識速度の違い」および「認識対象サイズの拡大縮小にともなうその変化」には重要な意味があることを強調しておきたい。対象サイズが拡大しても認識速度が 0 のままの場合は、背景色と文字色とを完全に混同している可能性がある。しかし、対象サイズが拡大するにともない、たとえわずかでも認識速度が増大する場合は、一定の時間をかければ対象の形の認識に必要な情報が取得できる、ということを示している。その時間が対象サイズの拡大にともない早くなっていくことは、形状の認識に関しても時空間的な足し合わせ（時空間加重）が存在することを示唆する (Barlow, 1958)。小さなサイズの場合と大きなサイズの場合で認識速度に差があるということは、広い領域で色分けがなされた配色ではその違いがすぐに認識できる（正常 3 色型色覚との違いがない）のに、細かな領域での配色がなされた場面で他者との認識の違いが生じてしまうケースを引き起こす。その場合でもゆっくり時間をかけて確かめたり、拡大して見ると色の識別が可能になる場合がある、ということである。このような不安定性が異常 3 色型色覚の大きな特徴と言えよう。同じ色に関しても場合によって正常 3 色型と同じように見えたり異なって見えたりする、という体験は混乱や不信を招きかねな

い。そういった事態の発生条件が具体的かつ詳細に理解できると不必要な混乱や不信を回避できると考えられる。

今回、既存の色覚検査の色票色を利用して色識別を要する対象認識速度の測定を行ったが、具体的な指針としての可能性は高いが、測定数が多く被験者に多大な負担がかかるため、簡便な検査にはまだ程遠い状態と言えよう。より簡便に、より効率的に特性を把握する方略の模索が必要である。

引用文献

- Barlow, H.B. (1958) Temporal and spatial summation in human vision at different background intensities. *Journal of Physiology*, 141, 337-350.
- Farnsworth, D. (1947) Farnsworth Dichotomous test for color blindness - Panel D-15 (Manual). The psychological corporation. New York.

Judd, D.B. and Wyszecki, G. (1975) *Color in Business, Science, and Industry*. 3rd edition. New York: John Wiley and Sons.

西尾佳晃 (2001) 問診・アドバイス上の留意点, 北原健二 (編) 月刊眼科診療プラクティス66色覚の考え方, 文光堂, 24-25.

小田浩一 (2001) 視覚障害とエイド, 心理学評論, 44(2), 177-190.

太田安雄 (2005) 色覚検査の歴史 (1), 日本色彩学会誌, 29(1), 54-63.

柳田多聞 (2005a) 実用的な色覚問題学習支援用パソコンツールの開発—その基本情報としての色文字タイピング速度測定の検討—, 県立長崎シーボルト大学「教育研究高度化推進費B」に係る研究報告書, 393-404.

柳田多聞 (2005b) 異常3色型色覚における文字認識に輝度が及ぼす影響, 日本心理学会第69回大会発表論文集, 503.

Abstract

A subject with anomalous trichromatic color vision (deuteranomaly) was asked to recognize the orientation of the Landolt rings. The Landolt rings and the background were both colored with the Panel D-15 colors. The decline of the recognition speed with the decline of the ring size differed remarkably in color pairing. The differences depended not on the color differences (ΔE) but on the hue angles (h) of the color pairs. The quantitative evaluations of the individual color discrimination characteristics obtained by this study might be helpful for proper appreciation of color vision deficiencies.