

Farnsworth Dichotomous Test Panel D-15 の解析

— 2色型色覚におけるシミュレーション —

神立 敦・岡部 高雄・北原 健二 (東京慈恵会医科大学眼科学教室)

要 約

2色型色覚における panel D-15 のパターンについて検討するため、混同色線の理論に基づきシミュレーションを試みた。シミュレーションにあたっては、2色型色覚を正常3色型色覚の欠損型と仮定し、混同色線が色度図上に直線として示され、各混同色線は一点に収束する性質を利用した。すなわち、各色相キャップの色度座標と convergence point を結ぶ直線の傾きの順に配列するものと仮定した。シミュレーションの結果、第1、第2、および第3色盲ともにそれぞれ記録図上の指示線に一致したパターンが得られ、混同色線の理論により説明可能であることが確認された。また、同一タイプの2色型色覚において、従来から報告されている convergence point の範囲内においてもパターンが異なることが示唆された。(日眼会誌 93: 1154-1159, 1989)

キーワード: パネル D-15 テスト, 2色型色覚, 混同色中心 (収束点), 混同色線

Theoretical Patterns of the Panel D-15 test in Congenital Dichromatic Color Vision Defects

Atsushi Kandatsu, Takao Okabe and Kenji Kitahara

Department of Ophthalmology, The Jikei University School of Medicine

Abstract

In order to study the theoretical patterns of the panel D-15 test for congenital dichromatic color vision defects, the spectral reflectance for the 16 color caps of the panel D-15 test was measured with a spectro-photometer. Then, the chromaticity-coordinates of each color cap were calculated using the spectral distribution of standard illuminant C. The theoretical patterns of the panel D-15 test for dichromats were obtained based on the confusion lines. For this procedure, the slope of the line between the color cap and the convergence point on the CIE chromaticity diagram was obtained first. Then, the order of the arrangement was decided starting with the slope having the smallest cap number and continuing progressively. For the chromaticity coordinates of the convergence points the following values were used; $x=0.7465$, $y=0.2535$ for protanopia, $x=1.08$, $y=-0.08$, $x=1.40$, $y=-0.40$, and $x=1.70$, $y=-0.70$ for deuteranopia, and $x=0.171$, $y=0.000$ for tritanopia. The results show a very clear similarity between the orientation axis obtained by simulation and the actual data. Therefore, it was confirmed that dichromats arrange the color caps in the order of the slope of the line between the color cap and the convergence point, when performing the panel D-15 test. Furthermore, it was suggested that the patterns of the panel D-15 test differ by the convergence points among dichromats even of the same type. (*Acta Soc Ophthalmol Jpn* 93: 1154-1159, 1989)

別刷請求先: 105 東京都港区西新橋 3-19-18 東京慈恵会医科大学眼科学教室 神立 敦
(平成元年 7 月 18 日受付, 平成元年 8 月 25 日改訂受理)

Reprint requests to: Atsushi Kandatsu, M.D. Dept. of Ophthalmol., Jikei Univ. School of Med.
3-19-18 Nishi-shinbashi, Minato-ku, Tokyo 105, Japan

(Received July 18, 1989 and accepted in revised form August 25, 1989)

Key words : Panel D-15 test, Congenital color vision defect, Dichromats, Convergence point, Confusion line

I 緒 言

Farnsworth¹⁾²⁾によって考案された Dichotomous Test Panel D-15 (以下, panel D-15) は, 基準の色相キャップ (reference color cap) と全色相から抽出された15個の検査用キャップからなり, 全色相キャップを同時に呈示し, 色の順に並べさせる色相配列検査器である. 本検査器は先天性色覚異常の程度を中等度以下と強度異常の2群に区分することが目的であり, 配列された順に記録図上の点を結んだ結果が, 色相環を示すほぼ円形のパターンとなれば pass (中等度以下), 色相環を横断する混同線が2本以上のときに fail (強度異常)と判定される. また, fail で典型的なパターンを呈した場合は, 各色覚異常のタイプによってパターンが異なり, 第1, 第2, および第3異常の診断が可能である. これら強度異常の配列順は混同色の理論により説明されるが, 実際に混同色線と色相キャップとの関係から解析した報告はみられない.

そこで, 今回は混同色線に基づき各2色型色覚における panel D-15 のシミュレーションを試み, 2色型色覚における理論的なパターンについて検討した.

II 方 法

当科で使用している panel D-15 について, 基準の色相キャップおよび検査用の15個の色相キャップの分光反射率を日立製自記分光光度計により, 波長380nm から780nm まで5nm 間隔で測定した.

つぎに, 標準 C 光源下における各々の色相キャップの色度座標(x, y)を下記の式から算出し, CIE(1931)色度図上に表示した.

$$X = k \sum p_{\lambda} \cdot \bar{x}_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot \Delta \lambda$$

$$Y = k \sum p_{\lambda} \cdot \bar{y}_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot \Delta \lambda$$

$$Z = k \sum p_{\lambda} \cdot \bar{z}_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot \Delta \lambda$$

$$x = X / (X + Y + Z)$$

$$y = Y / (X + Y + Z)$$

ただし, \bar{x}_{λ} , \bar{y}_{λ} , \bar{z}_{λ} は CIE 1931 標準観測者の等色関数, p_{λ} は標準 C 光源の分光分布, ρ_{λ} は panel D-15 における各色相キャップの分光反射率, $\Delta \lambda$ は5nm である.

ここで, 2色型色覚を正常3色型色覚の欠損型と仮

定した場合, 理論的に混同色線は CIE 色度図上に直線として示され, 各混同色線は一点に収束する (convergence point)³⁾. 今回はこの性質を利用し, 2色型色覚では convergence point と各色相キャップの色度座標を結んで得られる直線の傾きの順にキャップを配列するものと仮定し, panel D-15 のシミュレーションを施行した.

convergence point として, 今回は Wyszecki ら³⁾に基づき第1色盲では $x=0.747$, $y=0.253$, 第2色盲では $x=1.080$, $y=-0.080$, および第3色盲では $x=0.171$, $y=0.000$ の値を採用した. さらに第2色盲については, Nimeroff⁴⁾の $x=1.40$, $y=0.40$, および Nuberg-Yustova の実験結果である $x=1.70$, $y=-0.70$ を採用した.

III 結 果

表1に, 今回の解析に使用した panel D-15 の基準キャップおよび1番から15番までの各検査用色相キャップの標準 C 光源下における色度座標の値(x, y)を示した.

図1の左下は各色相キャップの色度座標の位置と, 第1色盲における convergence point を $x=0.747$, $y=0.253$ としたときの混同色線を同時に示したものである. 各色相キャップの色度座標はほぼ楕円形の色相環を形成している. 右上図は, これらの混同色線の傾きの順に配列したものとして得られたシミュレーションの結果を記録図上に表示したものである. 図の

表1 標準 C 光源下における panel D-15 の各色相キャップの色度座標.

No.	x	y	No.	x	y
P	0.232	0.258	8	0.394	0.405
1	0.241	0.286	9	0.400	0.382
2	0.250	0.304	10	0.393	0.347
3	0.262	0.329	11	0.383	0.330
4	0.273	0.349	12	0.369	0.315
5	0.285	0.365	13	0.345	0.295
6	0.314	0.392	14	0.324	0.283
7	0.352	0.410	15	0.300	0.272

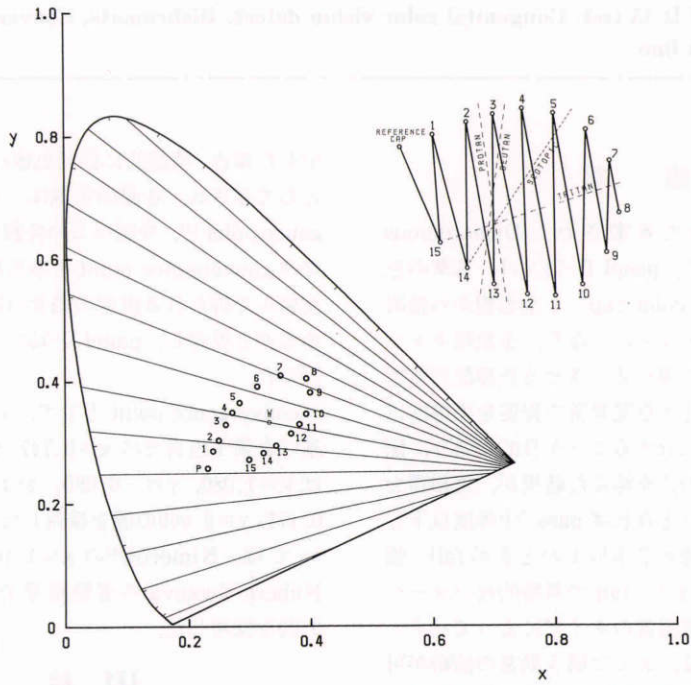


図1 左下図：各色相キャップの色度座標と第1色盲における convergence point を $x=0.747, y=0.253$ としたときの混同色線を示す。右上図：これらの混同色様の傾きの順に配列したものとして得られたシュミレーションのパターン。

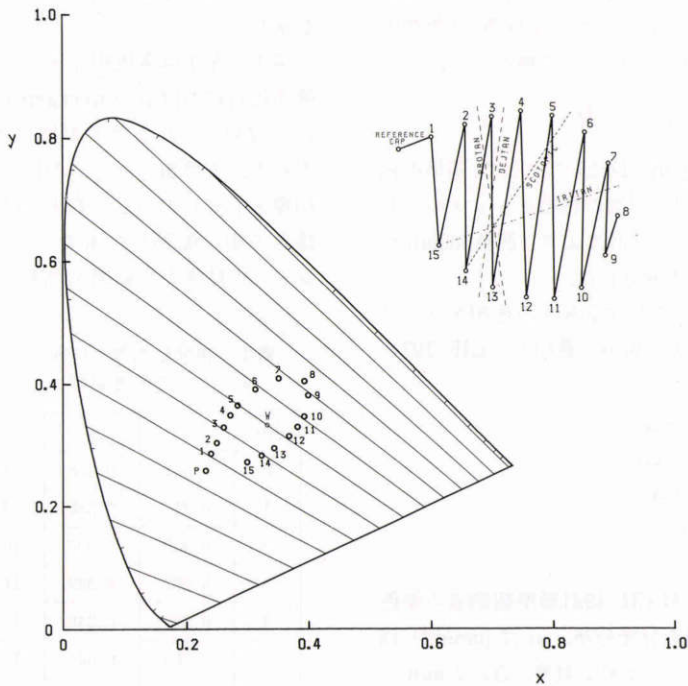


図2 左下図：図1と同様に色相キャップの色度座標と第2色盲における convergence point を $x=1.08, y=-0.08$ としたときの混同色線を示す。右上図：シュミレーションのパターン。

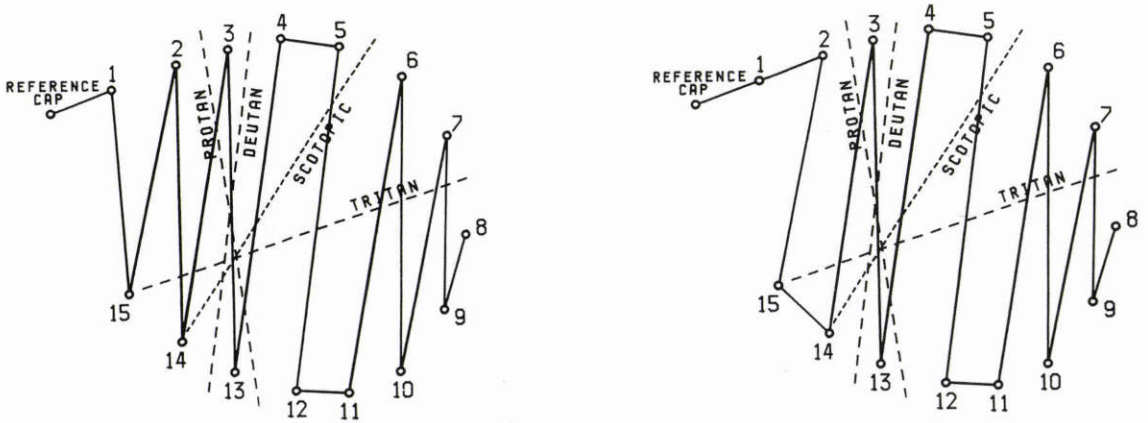


図3 それぞれ第2色盲の convergence point の値を $x=1.40, y=-0.40$ (左図) および $x=1.70, y=-0.70$ (右図) として得られたシミュレーションのパターン。

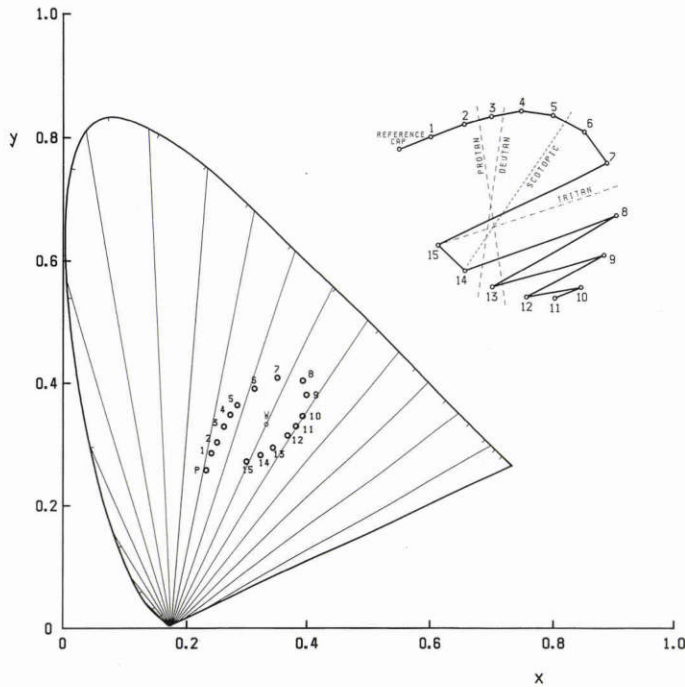


図4 左下図：各色相キャップの色度座標と第3色盲における convergence point を $x=0.171, y=0.000$ としたときの混同色線を示す。右上図：シミュレーションのパターン。

ように第1異常 (protan) の混同軸を示す指示線に一致がみられ、第1異常と判定される。

図2の左下は、図1と同様に色相キャップの色度座標と第2色盲における convergence point を $x=1.080, y=-0.080$ としたときの混同色線を示したものである。右上は同法において得られたシミュレ

ーションのパターンである。図のように第2異常 (deutan) の指示線と一致がみられた。図3右は、第2色盲における convergence point の値を $x=1.40, y=-0.40$ 、図3左は、convergence point の値を $x=1.70, y=-0.70$ に設定して得られたシミュレーションの結果である。両者ともに第2異常軸を示したが、

convergence point の値によってパターンが異なることが示された。

図4の左下は色相キャップの色度座標と、第3色盲における convergence point の色度座標の値を $x=0.171$, $y=0.000$ としたときの混同色線を示したものであり、右上にシミュレーションの結果得られたパターンを示した。図のように第3異常 (tritan) の指示線と一致がみられた。

以上の結果、panel D-15における fail のパターンは、convergence point と各色相キャップの色度座標を結んで得られる直線の傾きの順にキャップを配列することで説明可能であり、混同色線の理論に基づいて解析可能であることが確認された。

IV 考 按

色相配列検査には、100 hue test のように全色相を4分割して呈示する検査器と panel D-15に代表されるように全色相を同時に呈示する検査器とに大別される。両者ともに色識別能の検索に用いられるが、後者はとくに色相環を横切る混同がみられるか否かにより、異常の程度を2段階に区分することを目的としている。また、2色型色覚においては色相混同軸の方向により各色覚異常のタイプの判定が可能であり、おのおのタイプにおける混同軸の相違は混同色線の理論により説明される。しかし同一タイプにおける配列について、混同色線の理論から解析した報告はみられない。

そこで、今回はおのおの2色型色覚について混同色線の理論に基づき panel D-15のシミュレーションを試みたものである。シミュレーションにあたっては、2色型色覚を正常3色型色覚の欠損型と仮定した。すなわち、2色型色覚において互いに等色可能で弁別不可能な色を CIE 色度図上に表したいわゆる混同色線 (軌跡) が直線として示され、各混同色線は一点に収束 (convergence point) する性質を利用した³⁾。そして、2色型色覚においては色度図上の各色相キャップの色度座標と convergence point を結ぶ直線の傾きの順に配列するものと仮定して、panel D-15のシミュレーションを施行した。

各2色型色覚における convergence point の色度座標に関しては、報告者により異なり、個人差も指摘され真の値は不明である。今回は、convergence point として Wyszecki ら³⁾に基づき第1色盲では $x=0.747$, $y=0.253$, 第2色盲では $x=1.080$, $y=-0.080$, およ

び第3色盲では $x=0.171$, $y=0.000$ の値を採用した。なお、第2異常についてはとくに個人差が大きいことが指摘される。過去のデータをまとめた Nimeroff⁴⁾によると、Pitt⁵⁾以降の報告では x の色度座標の値は1.08から1.70に分布している。したがって、第2色盲については Pitt⁵⁾のデータを参考に Nimeroff⁴⁾により求められた $x=1.40$, $y=-0.40$, さらに Nimeroff が示したなかで x 値が最も大きな Nuberg-Yustova の値 ($x=1.70$, $y=-0.70$) についても検討したものである。

本シミュレーションの結果、各タイプともに panel D-15のパターンは記録図上に示されたそれぞれの指示線に一致がみられた。すなわち、典型的な fail のパターンは2色型色覚における混同色線の理論により説明可能であることが確認された。なお、Pitt⁵⁾は2色型色覚における波長差識別閾の値を基に混同色線間の幅を求め、中性点を通る混同色線を基準として固定し、いわゆる混同色帯を示している。しかし、panel D-15においては、いくつかの色相を同時に比較しながら配列することから、基準の混同色線を固定して解析することは不可能であり、今回は混同色帯の幅は無視できるものとした。したがって、convergence point と色度座標とを結ぶ直線の傾きが近い値を呈するキャップ同士は互いに弁別不可能となり配列順が異なることも考えられる。

しかし、第2色盲における convergence point として3種類の値を使用した結果、従来報告されている convergence point の範囲内においても panel D-15のパターンが異なることが示された。したがって、臨床でみられるパターンの違いは convergence point の違いによっても説明可能であることが確認されたといえる。

以上の結果、2色型色覚においては混同色線の理論からいずれの場合においても panel D-15に必ず fail することは明らかである。また、異常3色型色覚においては理論的に混同色線は存在しないが、強度異常は2色型色覚の混同色線方向に色識別能が低下することが考えられるため、panel D-15に fail することが推察される。しかし、色相環を示すほぼ円形のパターンとなれば、2色型色覚では説明できないことから異常3色型色覚といえる。したがって、先天異常の程度を強度と中等度以下の2段階に区分するには最も適した検査器といえる。

稿を終えるにあたり、松崎 浩教授の御校閲に対し深謝

の意を表します。

文 献

- 1) **Farnsworth D**: The Farnsworth-Munsell 100 hue and dichotomous tests for color vision. *J Opt Soc Am* 33: 568—578, 1943.
 - 2) **Farnsworth D**: The Farnsworth Dichotomous Test for Color Blindness-Panel D-15. New York, Psychological Corporation, 1947.
 - 3) **Wyszecki G, Stiles WS**: *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, New York, John Willy & Sons, 1982.
 - 4) **Nimeroff I**: Deuteranopic convergence point. *J Opt Soc Am* 60: 966—969, 1970.
 - 5) **Pitt FHG**: Characteristics of dichromatic vision. Medical Research Council, Report of the Committee on the Physiology of Vision XIV: Special Report Series 200, London, 1935.
-