

Farnsworth Dichotomous Test Panel D-15 の解析

— 2色型色覚における Convergence Point と配列パターン —

岡部 高雄・神立 敦・北原 健二 (東京慈恵会医科大学眼科学教室)

要 約

convergence point の色度座標の違いによる panel D-15 の配列パターンについて検討する目的で, convergence point の色度座標を連続的に変化させ, panel D-15 のシミュレーションを試みた. なお, panel D-15 の各色相キャップの色度座標として, 標準 C 光源下とともに蛍光灯下の値を採用した. その結果, 両光源下ともに convergence point の違いにより第 1 色盲および第 2 色盲で 7 つの異なったパターンが得られた. 両光源下において第 1 色盲のパターンを呈する x の色度座標の範囲は 0.6868 から 0.8552 までであり, 過去の報告の値を含む比較的狭い範囲であることが示された. 一方, 第 2 色盲では 1.0878 から無限大までとマイナス無限大から -1.8153 に分布し, 過去に報告された Judd²⁾ の $x=1.08$ を除くすべての値を含む結果が得られた. 以上の結果, 2色型色覚における panel D-15 のパターンは convergence point の色度座標の違いにより異なることが確認された. (日眼会誌 93:1160-1166, 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 Red-Green Dichromats as a Function of the Chromaticity Coordinate of the Convergence Points

Takao Okabe, Atsushi Kandatsu & Kenji Kitahara

Department of Ophthalmology The Jikei University School of Medicine

Abstract

In order to determine whether or not the patterns of the panel D-15 test for congenital red-green dichromats change when the convergence point is changed, a simulation experiment was attempted assuming that dichromats arrange the color caps in the order of the slope of the line between the chromaticity coordinates of the color cap and the convergence point. For this procedure, chromaticity coordinates of the color cap were calculated using both the spectral distribution of standard illuminant C and the daylight fluorescent lamp (Toshiba-EDL). For this prediction, the chromaticity coordinates of the convergence points were changed according to $y=1-x$. The results show several different patterns for both protanopia and deuteranopia under both illuminants. The range of the x chromaticity coordinates common to both illuminants was 0.6868 to 0.8552 when the protanopic patterns were obtained, while the range of the x chromaticity coordinates common to both illuminants for deuteranopic patterns was 1.0878 to infinity and minus infinity to -1.8153. As a result, it was suggested that the patterns of the panel D-15 test for red-green dichromats change according

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 岡部 高雄
(平成元年 7 月 26 日受付, 平成元年 8 月 15 日改訂受理)

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

(Received July 26, 1989 and accepted in revised form August 15, 1989)

to the convergence points. Therefore, it was considered that this test cannot be used as a dependable measurement for color discrimination ability in cases showing dichromatic patterns. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 93: 1160-1166, 1989)

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

I 緒 言

前報¹⁾にて、2色型色覚における Dichotomous Test Panel D-15 (以下 panel D-15) のパターンについて検討するため、色度図上の各色相キャップの色度座標と混同色線の収束点である convergence point を結ぶ直線の傾きの順に配列するものと仮定してシミュレーションを試みた。その結果、本シミュレーションによって得られた各2色型色覚のパターンは記録図上のそれぞれの指示線に一致し、2色型色覚における panel D-15の配列順は混同色線の理論で説明可能であることを報告した。また、convergence point として過去の報告による値を採用した結果、convergence point の色度座標の値によってシミュレーションのパターンが異なることが示唆された。

そこで、今回は convergence point の色度座標を連続的に変化させてシミュレーションを施行し、convergence point の値と panel D-15のパターンとの関係について検討した。なお、検査用光源による影響について検討するため、panel D-15の各色相キャップの色度座標として標準 C 光源下および蛍光灯下における値を使用した。

II 方 法

1. panel D-15の各光源下における色度座標の算出

まず、予備実験として検査用光源による影響について検討するため、標準光源 A、標準光源 B、および蛍光灯昼光色 EDL (東芝) の各光源下における panel D-15の色度座標を前回と同様に下記の式から算出した。なお、panel D-15における各色相キャップの分光反射率、および C 光源下における色度座標の値は前回の値を使用した。

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

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

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

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

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

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} は各光源の分光分布、 ρ_{λ} は各色相キャップの分光反射率であり、 $\Delta \lambda$ は5nm とした。

2. panel D-15のシミュレーション

前報¹⁾と同様に、2色型色覚を正常3色型色覚の欠損型と仮定し、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色相キャップを配列するものとしてシミュレーションを施行した。

まず、2色型色覚における convergence point の値を、第1色盲では $x=0.7465$ 、 $y=0.2535$ 、第2色盲では $x=1.4000$ 、 $y=-0.4000$ の値に固定し、各光源下におけるシミュレーションを施行し、光源によるパターンの変化について検討した。

つぎに、convergence point の色度座標を CIE 色度図における $y=1-x$ の直線上で連続的に変化させ、各 convergence point の値に対してシミュレーションを施行した。なお、panel D-15の色度座標として標準光源下および蛍光灯 EDL 下における値について検討した。得られたシミュレーションの結果を記録図上に表示し、診断用指示線から第1異常および第2異常と診断可能なパターンを描出し、これらのパターンが得られる convergence point の色度座標の範囲を求めた。

III 結 果

1. 各光源下におけるシミュレーション

図1に、第1色盲の convergence point の値を $x=0.7465$ 、 $y=0.2535$ としたときの各光源下におけるシミュレーションの結果を示した。シミュレーションによって得られた色相混同軸は、標準光源 B (図1右上)、標準光源 C (左下)、および蛍光灯 EDL (右下) で記録図上の第1異常 (protan) の診断用指示線に一致がみられた。しかし、標準光源 A の色度座標を用いたシミュレーション (図1左上) では、色相混同軸はやや scotopic 軸方向に回転しており、第1異常のパターンは得られなかった。また、標準光源 B と C では同一のパターンが得られたが、蛍光灯 EDL とは異なり、光源によって配列パターンが異なることが示された。

図2は、第2色盲における convergence point の値

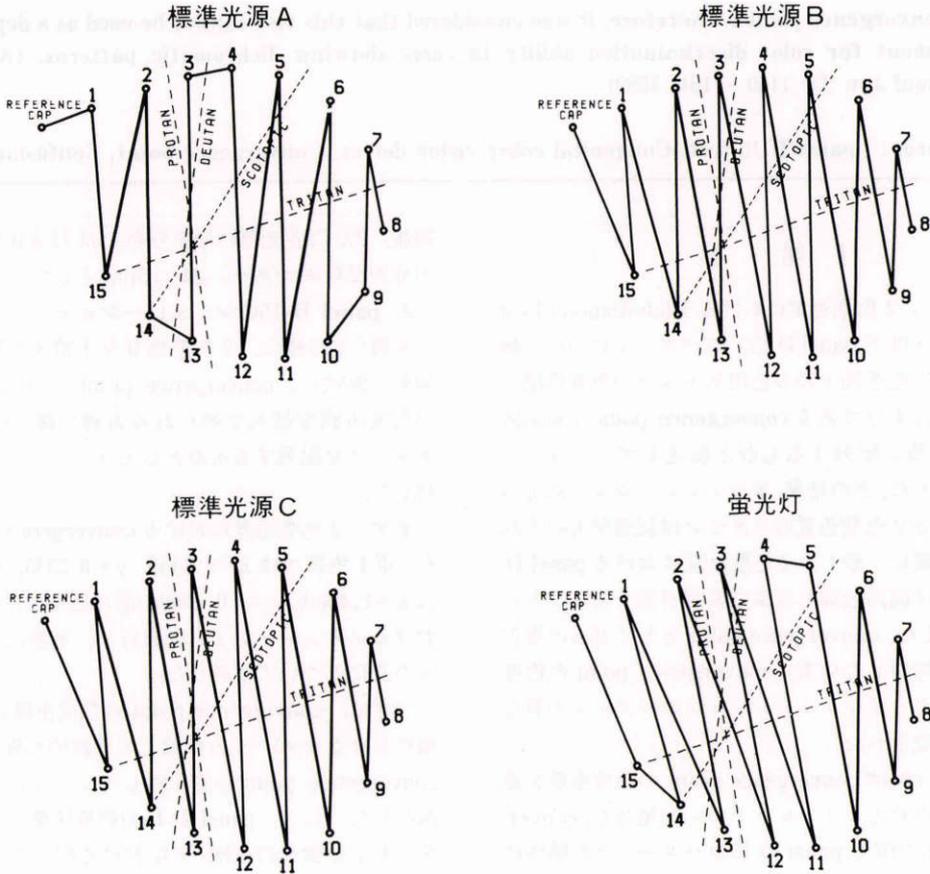


図1 第1色盲における convergence point の値を $x=0.7465, y=0.2535$ として得られた各光源下におけるシミュレーションの結果。

を $x=1.4000, y=-0.4000$ として得られたシミュレーションの結果である。第1色盲と同様に、標準光源 B (図2右上)、標準光源 C (左下)、および蛍光灯 EDL (右下) では記録図上の第2異常 (deutan) の診断用指示線に一致し、典型的な第2異常のパターンが得られた。しかし、標準光源 A の色度座標を用いたシミュレーション (図2左上) では、混同軸がやや scotopic 軸方向に回転しており、第2異常のパターンは得られなかった。また第1色盲と同様に、標準光源 B と C では同一のパターンであったが、蛍光灯 EDL とは異なる配列を呈した。

2. convergence point と配列パターン

各光源下におけるシミュレーションの結果から、今回は標準 C 光源下および蛍光灯 EDL 下について、convergence point の色度座標の値を変化させることによりシミュレーションを施行した。得られたパター

ンを記録図上に表示し、診断用指示線から第1異常および第2異常と判定可能なパターンを描出し、各パターンが得られる convergence point の色度座標の範囲を求めた。

1) 標準光源 C におけるシミュレーション

シミュレーションの結果、convergence point の $x (y=1-x)$ 座標を 0.6769 から 0.8552 までとして得られたパターンが第1異常と判定され、7種類の異なった配列パターンが存在した。図3にこれら7つのパターンを示し、各図の上におおのこのパターンが得られる convergence point の $x (y=1-x)$ の色度座標の範囲を示した。すなわち、図3の上段左から $x=0.6769$ から 0.7042 まで、 $x=0.7043$ から 0.7292 まで、 $x=0.7293$ から 0.7332 まで、下段左から $x=0.7333, x=0.7334$ から 0.7409 まで、 $x=0.7410$ から 0.8298 、および $x=0.8299$ から 0.8552 までとして得られたパターンである。

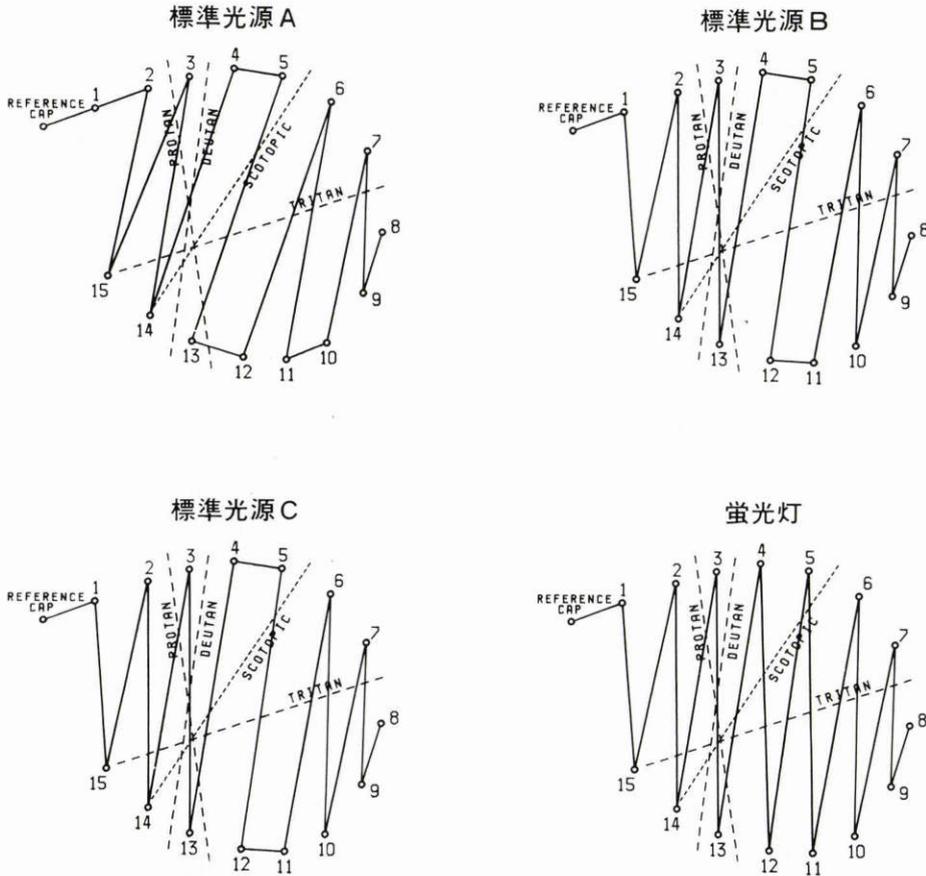


図2 第2色盲における convergence point の値を $x=1.4000$, $y=-0.4000$ として得られた各光源下におけるシミュレーションの結果。

一方, convergence point の x 値を0.9591から無限大およびマイナス無限大から-1.8153までとして得られたパターンが第2異常と判定され, 7種類の異なったパターンがみられた。図4の上段左から, convergence point の x の色度座標がそれぞれ0.9591から0.9848まで, 0.9849から1.1431まで, 1.1432から1.4466まで, 下段左から1.4467から1.7717まで, 1.7718から1.8812まで, 1.8813から3.1639まで, および3.1640から無限大までとマイナス無限大から-1.8153までのパターンである。

2) 蛍光灯 EDL におけるシミュレーション

第1異常と判定されたパターンはC光源と同様に7種類であり, convergence point の x 値は0.6868から0.9233までであった。図5にこれら7つのパターンを示した。上段左から convergence point の x の色度座標がそれぞれ0.6868から0.7278, 0.7279から0.7559,

0.7560から0.7576, 下段左から0.7577から0.7586, 0.7587から0.7642, 0.7643から0.8959, および0.8960から0.9233において得られたパターンを示している。

一方, convergence point の x 値を1.0878から無限大およびマイナス無限大から-0.6333までとして得られたパターンが第2異常と判定され, C光源と同様に7種類の異なったパターンがみられた(図6)。図6の上段左から, convergence point の x の色度座標がそれぞれ1.0878から1.1809, 1.1810から1.4319, 1.4320から2.2588, 下段左から, 2.2589から3.6255, 3.6256から4.6572, 4.6573から無限大およびマイナス無限大から-6.3775, -6.3774から-0.6333までにおいて得られたパターンである。

以上, convergence point の値によって徐々に panel D-15のパターンが変化することが確認され, 標準光源Cおよび蛍光灯EDLともに, 第1色盲では7種類, 第

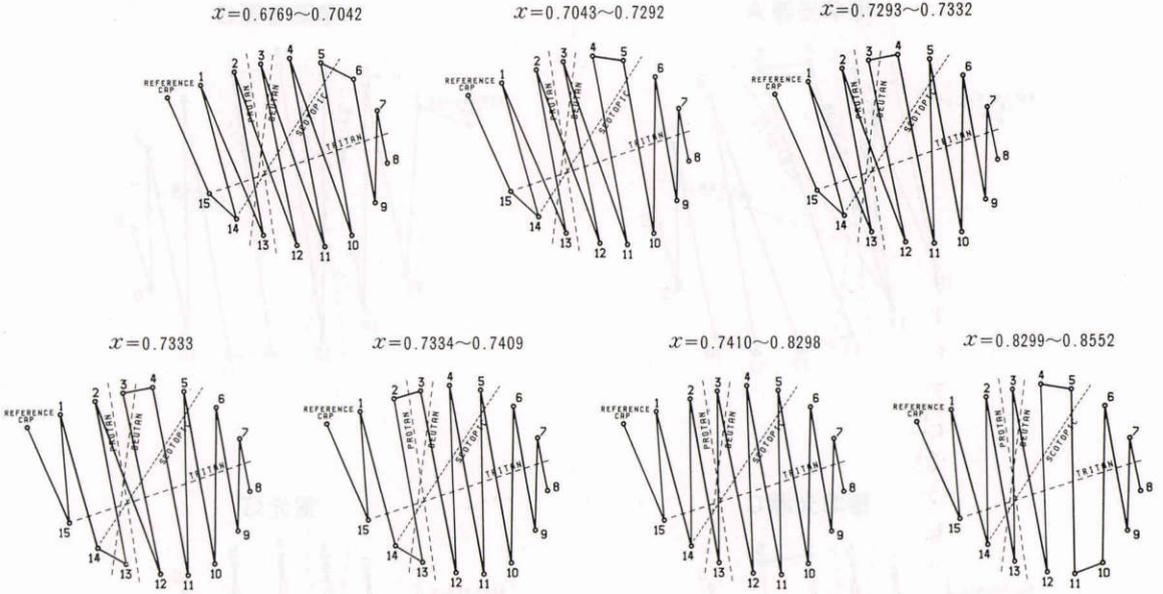


図3 標準光源Cにおいて、convergence pointの値を変化させて得られたシミュレーションの結果、第1色盲と判定されたパターンとそのx座標の範囲。

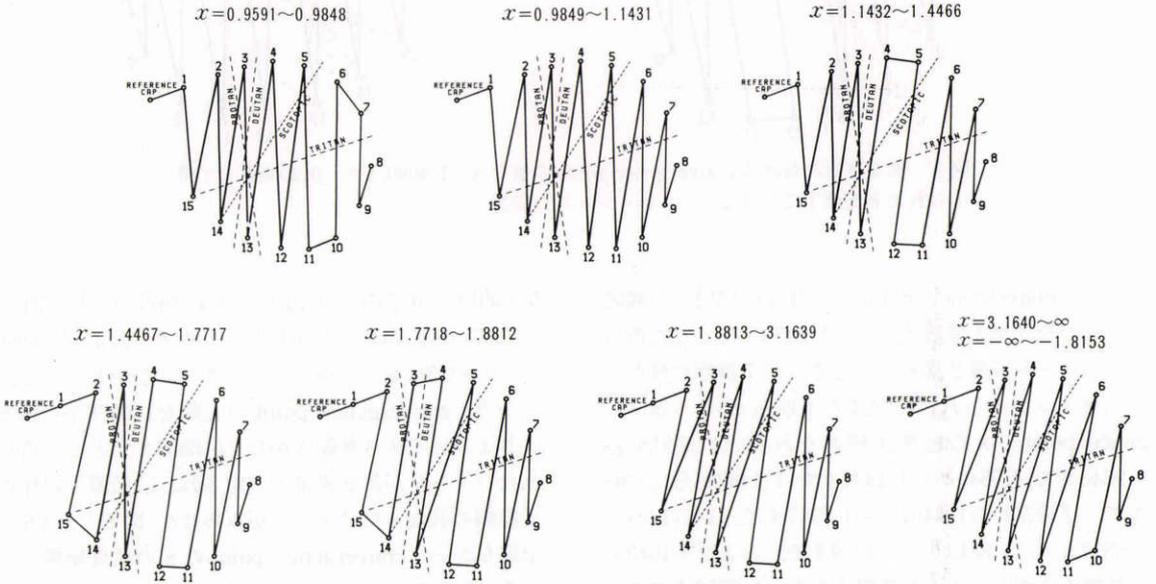


図4 標準光源Cにおいて、convergence pointの値を変化させて得られたシミュレーションの結果、第2色盲と判定されたパターンとそのx座標の範囲。

2色盲でも7種類の異なったパターンが示された。また、両光源下に共通な convergence point の x の色度座標の範囲は、第1色盲では0.6868から0.8552、第2色盲では1.0878から無限大およびマイナス無限大か

ら-1.8153に分布した。

IV 考 按

前報¹⁾において、convergence point と色相キャップ

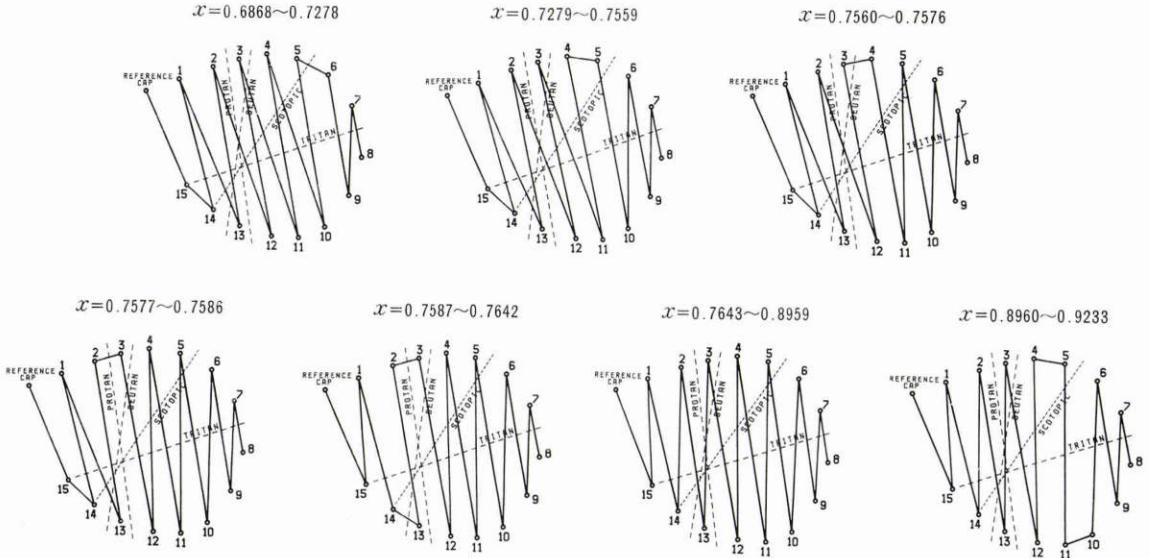


図5 蛍光灯 EDL において, convergence point の値を変化させて得られたシミュレーションの結果, 第1色盲と判定されたパターンとその x 座標の範囲.

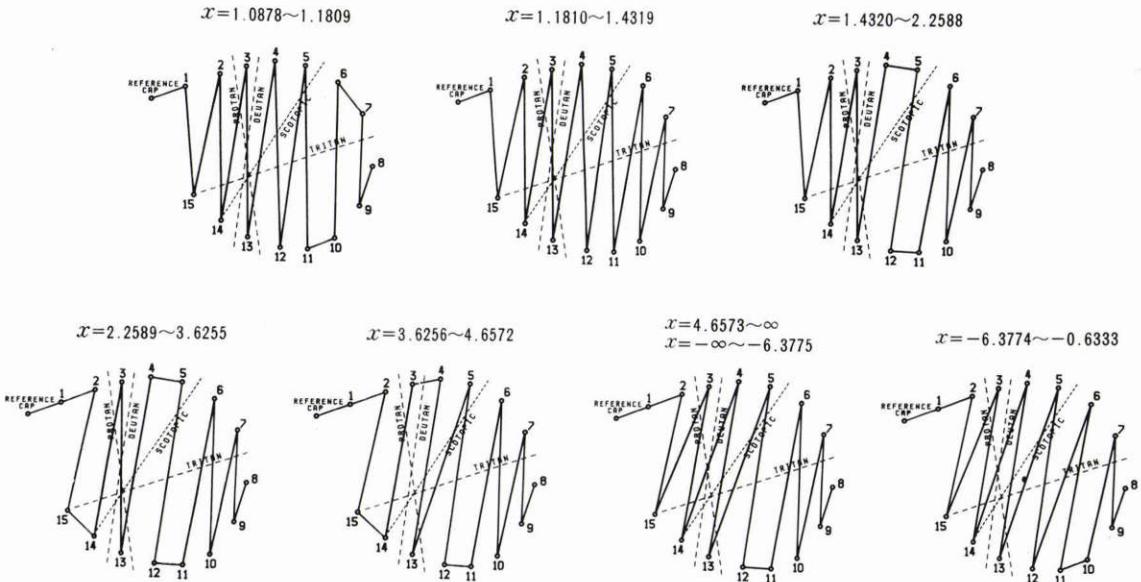


図6 蛍光灯 EDL において, convergence point の値を変化させて得られたシミュレーションの結果, 第2色盲と判定されたパターンその x 座標の範囲.

の色度座標を結んで得られる直線の傾きの順に配列すると仮定して2色型色覚における panel D-15 のシミュレーションを試みた。その結果, 2色型色覚のパターンが混同色線の理論により説明可能であることを報告した。本法においては, convergence point の x 座

標の値が大きいくほど, シミュレーションによって得られる panel D-15 の色相混同軸は理論的に右まわりに回転する。したがって, convergence point の値が大きく変化すればパターンが変化することは明らかである。しかし, 前報¹⁾においては従来報告されている con-

vergence point の色度座標の範囲内においてもシミュレーションのパターンが異なることが示唆された。臨床でも同一タイプの2色型色覚においても配列パターンが異なることを経験する。そこで、今回は convergence point の色度座標の値と panel D-15 のパターンとの関係について検討したものである。

まず、検査用光源による影響について検索するため、各種光源下における panel D-15 の色相キャップの色度座標を算出し、前回の方法によりシミュレーションを試みた。なお、光源として標準光源 A, B, C とともに現在当科で使用している蛍光灯 EDL を対象とした。また、convergence point の色度座標は第1色盲では $x=0.7465$, $y=0.2535^3)$ 、第2色盲では $x=1.4000$, $y=-0.4000^4)$ に固定した。その結果、標準光源 B, C、および蛍光灯 EDL 下における色相混同軸は第1、第2色盲ともに記録上のそれぞれの診断用指示線と一致がみられ、panel D-15 の検査用光源として問題ないことが示唆された。しかし、標準光源 A においては第1および第2色盲ともに色相混同軸が記録上の診断用指示線と異なり、検査用光源としては不適であることが確認された。また、標準光源 B と C では第1および第2色盲ともに同一のパターンを呈したが、蛍光灯 EDL とは異なったパターンを呈することが示された。

そこで、今回は標準光源 C および蛍光灯 EDL について、convergence point の色度座標の値を変化させることによりシミュレーションを試みた。その結果、convergence point の色度座標の値により、第1および第2色盲ともにそれぞれ異なったパターンを呈することが確認された。第1色盲のパターンが得られる convergence point の x 座標の範囲は、標準光源 C では 0.6769 から 0.8552 まで、蛍光灯 EDL では 0.6868 から 0.9233 であった。すなわち、両光源に共通する x の色度座標の範囲は 0.6868 から 0.8552 となり、比較的範囲が狭く、Pitt⁵⁾ のデータから Judd²⁾ および Thomson³⁾ により求められた $x=0.7465$ はほぼ中間値となる。一方、第2色盲のパターンが得られる convergence point の x 座標は、標準光源 C では 0.9591 から無限大およびマイナス無限大から -1.8153 まで、蛍光灯 EDL では 1.0878 から無限大およびマイナス無限大から -0.6333 までであり広い範囲に分布した。両光源に共通の x の色度座標の範囲は 1.0878 から無限大およびマイナス無限大から -1.8153 までとなり、過去の報告の値はほぼこの範囲内に存在したが、Judd²⁾ が

Pitt⁵⁾ のデータから導いた $x=1.08$ はやや小さい値であり問題を有していることが示唆された。

また、標準光源 C および蛍光灯 EDL とともに x の色度座標が無限大、すなわち各混同色線が平行の場合にも第2異常のパターンを呈することが示されたことから、本シミュレーションにおいては Koenig⁶⁾ の欠損説とともに Aitken⁷⁾, Leber⁸⁾, Fick⁹⁾ に由来する融合説でも説明可能であった。x の色度座標を無限大として得られたパターンに一致する症例が存在するか否かは興味ある課題である。

本論文の一部は、第91回日本眼科学会総会において報告した。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) 神立 敦, 岡部高雄, 北原健二: 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—. 日眼会誌 93: 1154—1159, 1989.
- 2) Judd DB: Standard response functions for protanopic and deuteranopic vision. J Opt Soc Am 35: 199—221, 1945.
- 3) Thomson LC, Wright WD: The convergence of the tritanopic confusion loci and the derivation of the fundamental response functions. J Opt Soc Am 43: 890—894, 1953.
- 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.
- 6) Koenig A, Dieterich C: Die Grundempfindungen und ihre Intensitäts-Vertheilung im Spectrum. Sitzungberichte der Berlin Akademie der Wissenschaften, 805—829, 1886.
- 7) Aitken J: On colour and colour sensation. Transactions of the Royal Scottish Society of Arts 8: 375—418, 1873.
- 8) Leber T: Ueber die Theorie der Farbenblindheit und ueber die Art und Weise, wie gewisse, der Untersuchung von Farbenblinden entnommene Einwaerde gegen die Young-Helmholz Theorie sich mit derselben verlinigen lassen. Klinische Monatsblaetter Augenheilkunde 11: 467—473, 1873.
- 9) Fick A: Zur Theorie der Farbenblindheit. Physikalisch-Medicinischen Gesellschaft zu Wuerzburg 5: 158—162. 1873—1874.