

## アノマロスコープの測定法に関する研究

—心理物理学的手法の一つである恒常法を用いて—

## 第1報 その原理と装置

深見 嘉 一 郎

福井医科大学眼科学教室

## 要 約

正常レーリー均等をナイツ・アノマロスコープ OT を用いて、恒常法により測定した。通常の調整法により予め定めた中心点の周囲に15乃至21の点をそれぞれ10回ずつ測定できるようにした。コンピューターにより、検査すべき点は無作為に出現するようにした。期待の通り正常レーリー均等は上述の点の1または2点の範囲内であった。検査点の選択および試行回数については更に検討を必要とする。オリジナルのナーゲル・アノマロスコープでも同様の方法を試みなければならない。(日眼会誌 94:203-210, 1990)

キーワード：アノマロスコープ，恒常法，正常レーリー均等

## Anomaloscope Measurement Using the Method of Constant Stimuli

Kaitiro Hukami

*Department of Ophthalmology, Fukui Medical School*

## Abstract

The range of the normal Rayleigh equation was evaluated using the constant stimuli method which is a psychophysical method with the Neitz anomaloscope OT. Fifteen or 21 settings around the midmatching point established beforehand by the conventional method of adjustment were presented 10 times for each setting respectively. Using a computer, the testing matches were arranged to appear at random. As was expected, the normal Rayleigh match proved to fall within 1 or 2 of the above-mentioned point. Further study is needed as to the choice of the testing points and the number of trials. The result should also be examined in reference to that of the Nagel anomaloscope. (*Acta Soc Ophthalmol Jpn* 94:203-210, 1990)

Key words: Anomaloscope, Constant stimuli method, Normal Rayleigh equation

## I 序 文

アノマロスコープの検査は難しいものとされ、長年の経験と高度の熟練度を必要とするといわれている。事実経験を積んでも、場合によってはレーリー均等の

成立の有無を判定し兼ねることもある。また、心理物理学的検査法は自覚的検査法であるので、検査または被験者の意志によって結果が左右される可能性もある。

しかし、心理物理学的方法は巧みに行えば感覚の微

別刷請求先：911-11 福井県吉田郡松岡町下合月23 福井医科大学眼科学教室 深見嘉一郎

(平成元年7月7日受付，平成元年8月31日改訂受理)

Reprint requests to: Kaitiro Hukami, M.D. Dept. of Ophthalmol., Fukui Medical School

23 Shimoaizuki, Matsuoka-cho, Yoshida-gun, Fukui 910-11, Japan

(Received July 7, 1989 and accepted in revised form August 31, 1989)

妙な点まで測定ができる。例えば、色覚正常者が波長490nm または580nm 付近では約1nm の差を識別できることまで測定できる<sup>1)</sup>。その精密さにおいては電気生理学的な他覚的方法<sup>2)-6)</sup>などとは比較にならない。

従来眼科の臨床では視機能の検査に心理物理学的手法が用いられてきた。視力測定、視野測定、CFF の測定、仮定同色表その他を用いての色覚検査などである。そして、そのほとんどが調整法によっていた。

上記検査法の多くは閾値の測定を目的としている。心理物理学では閾値測定の方法は次のように3種類あるとされている<sup>9)10)</sup>。

1) 調整法 method of adjustment, または平均誤差法 method of average error :

この方法は視力・視野の測定や、CFF の測定に一般に、従来から使われている方法である。視力を例にとれば、大きいランドルト環から始めて、読めなくなるまで、それを次第に小さくするという方法である。

この方法は、なじみが深く、誰でも理解出来る簡便な方法である。しかも、短時間で済み、能率的でもある。

しかし、検査の内容が検者にも被験者にも全てわかっていて、意図的修正を加えることが可能である。つまり、一義性を欠き、結果が検者・被験者の意図に左右される可能性があるという大きい欠点を持っている。

2) 極限法, または極小変化法 method minimal changes :

この方法は自動視野計に使われている<sup>11)</sup>。検者が予め定めた細かいステップで刺激を区切り、初めは粗く、次第に細かく目的とする点まで詰める方法である。

刺激の提示が検者の統制下にある点はいいが、検査を繰り返すと検査の内容が検者・被験者の両方にわかるようになる。それで、ある期待をもって検査を受けると、系列効果が現われる欠点がある。そのため所々で落とし穴(trap)的視標を示して、被験者の反応の正当性を確かめねばならない。(自動視野計の場合はマリオンネットの暗点への刺激を利用している。)

3) 恒常(刺激)法 method of constant stimuli :

予測される点の前後に5~7点を定め、それを無作為に一定回数、例えば10回示して、1回毎の反応を求める方法である。

刺激の提示が全く検者の統制下にあり、ランダムな順序を用いるので、操作が一義的で、反応に被験者の予測の入る余地がない。コンピューターを用いて巧みに

刺激を制御すると、検査中は検者にも刺激内容がわからず、検者の作為の入る余地もなくなる。

欠点としては、時間がかかり、疲れる。また、速く変化する現象には使えない。

しかし、これは薬物の検査に用いる『二重盲検法』と同じで、検者および被験者に対して検査内容を未知にできるので、作為的な結果が現われないように出来る。

上述のように眼科領域では自動視野計にはすでに極限法が導入されている<sup>11)</sup>。また、仮性同色表の検査に深見ら<sup>12)13)</sup>は自動提示装置を用いて、検査条件の一定性を確保し、かつ刺激の提示を順序不同にして被験者の記憶・予測を取り除く試みをした。アノマロスコープによるレーリー均等測定にもより信頼度の高い方法の開発が必要である。また高度の熟練度を必要としない方法の普及することが望ましい。そこで、今回は労力をいとわずにアノマロスコープによるレーリー均等の測定にこの恒常法を適用してみた。

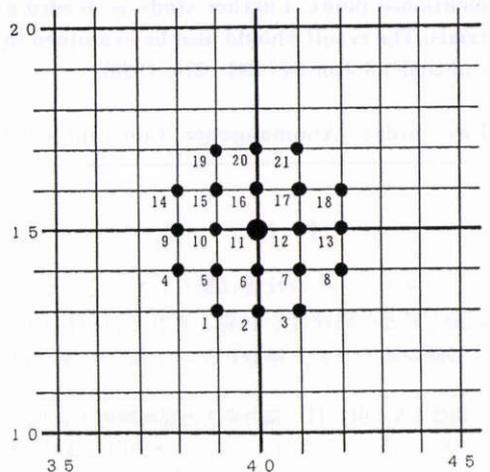
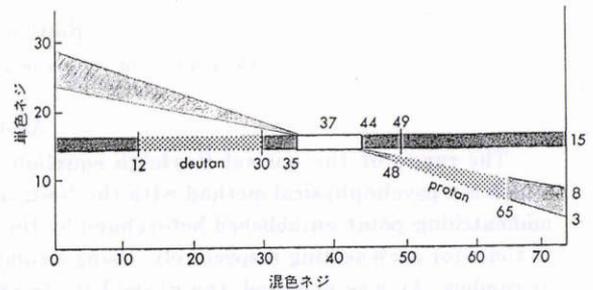


Fig. 1 アノマロスコープのレーリー均等点は二次元で示される、それゆえ刺激点を多くとる必要がある。

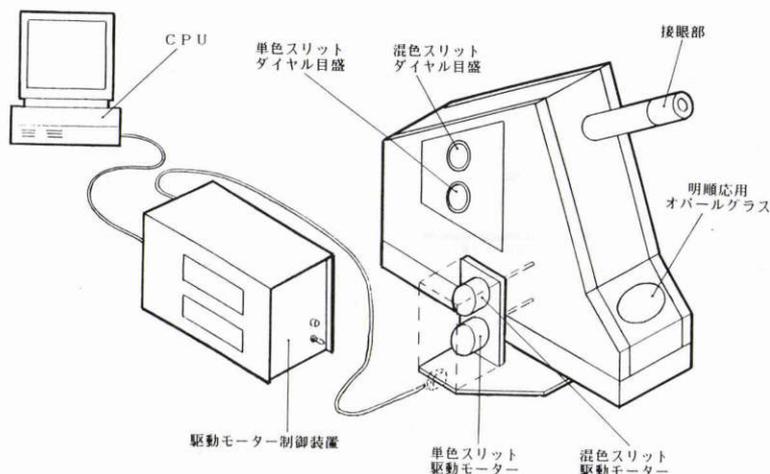


Fig. 2 ナイツ・アノマロスコープ OT の2つのネジをモーターにて駆動し、それをコンピューターで制御した。

## II 方法

Fig. 1 に示すように、アノマロスコープの均等点は面積として表わされる。したがって、1点を中心とした丸い範囲に含まれる全ての点を刺激点としなければならない。1点を中心として左右1目盛ずつ5点としてそれを上下に展開すると、下の図の様に1目盛間隔で21点が必要となる。刺激点が多すぎるので、上下を省いて、横長のものも検討した。しかし、人為的なものの混入をさげ、しかも必要な点を網羅するために21点を基本にした。

この21の点でレーリー均等成立の有無を求めるために、混色ネジ(0~73)と、単色ネジ(0~87)をそれぞれ1.0目盛刻みで等間隔で変化させることができるようにステップ・モーターを混色・単色ネジの回転軸に取り付けて、それぞれのネジを回転させた。刺激点の提示順序の選択はコンピューターに発生させた乱数により無作為とした。これらのすべての操作はコンピューターにより制御した。

全体の構成は Fig. 2 のようである。なお、回転制御装置とネジ駆動部の製作は株式会社三双製作所に依頼した。コンピューターは NEC PC-9801VM を用い、プログラムは独自で製作した。

用いたアノマロスコープはナイツ・アノマロスコープ OT (ナイツ社製)<sup>14)</sup> である。本器の検査条件はオリジナルと全く同じに製作されている。根本的な違いは、刺激色光の作り方が、オリジナルは直視プリズムによっているのに対し、本器は偏光フィルターによって

| 試行シリーズ | 1 試行内の順序 | 刺激点 | 混色ネジの値    | 単色ネジの値 | 均等の成立の有無 |
|--------|----------|-----|-----------|--------|----------|
| (1)    | 1)       | 05  | (37 . 13) |        | NO       |
| (1)    | 2)       | 11  | (43 . 13) |        | NO       |
| (1)    | 3)       | 02  | (39 . 12) |        | NO       |
| (1)    | 4)       | 05  | (37 . 13) |        | NO       |
| (1)    | 5)       | 12  | (39 . 14) |        | NO       |
| (1)    | 6)       | 04  | (41 . 12) |        | NO       |
| (1)    | 7)       | 14  | (41 . 14) |        | NO       |
| (1)    | 8)       | 02  | (39 . 12) |        | NO       |
| (1)    | 9)       | 15  | (40 . 15) |        | NO       |
| (1)    | 10)      | 07  | (39 . 13) |        | NO       |
| (1)    | 11)      | 01  | (40 . 11) |        | NO       |
| (1)    | 12)      | 06  | (38 . 13) |        | NO       |
| (1)    | 13)      | 11  | (43 . 13) |        | YES      |
| (1)    | 14)      | 07  | (39 . 13) |        | NO       |
| (1)    | 15)      | 15  | (40 . 15) |        | NO       |
| (2)    | 1)       | 02  | (39 . 12) |        | NO       |
| (2)    | 2)       | 07  | (39 . 13) |        | NO       |
| (2)    | 3)       | 15  | (40 . 15) |        | NO       |
| (2)    | 4)       | 10  | (42 . 13) |        | YES      |
| (2)    | 5)       | 03  | (40 . 12) |        | NO       |
| (2)    | 6)       | 11  | (43 . 13) |        | NO       |
| (2)    | 7)       | 03  | (40 . 12) |        | NO       |
| (2)    | 8)       | 01  | (40 . 11) |        | NO       |
| (2)    | 9)       | 09  | (41 . 13) |        | NO       |
| (2)    | 10)      | 13  | (40 . 14) |        | NO       |
| (2)    | 11)      | 13  | (40 . 14) |        | NO       |
| (2)    | 12)      | 09  | (41 . 13) |        | NO       |
| (2)    | 13)      | 10  | (42 . 13) |        | NO       |
| (2)    | 14)      | 05  | (37 . 13) |        | NO       |
| (2)    | 15)      | 08  | (40 . 13) |        | NO       |

Fig. 3 刺激試行の1例。中心点の周囲に15点を定めて、その点が乱数によって、無作為に示される。被験者は均等の成立の有無を「yes」「no」のボタンで反応する。

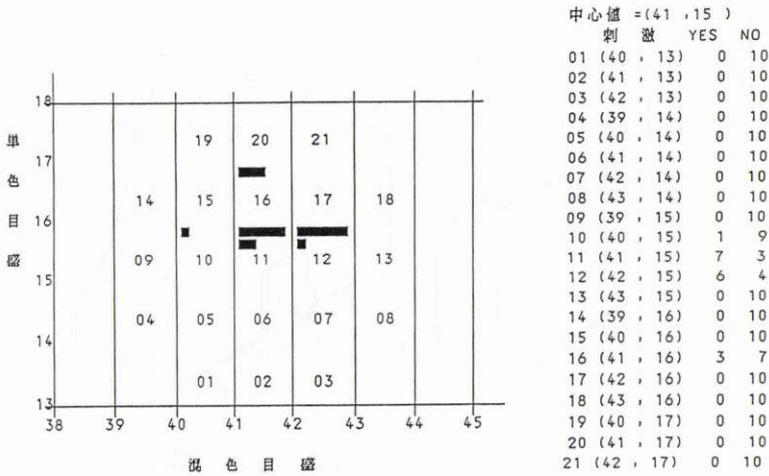


Fig. 4 41/15(混色ネジ/単色ネジで表わした、以下同じ)を中心に21の刺激点を与えた結果を示す。黒いバーが1本が『yes』5回を示す。該当する点の右上の空間に示した。41/15の点で『yes』7回、42/15が6回であった。したがって、この被験者のレリー均等点は41~42/15であると推定できる。

いることである。

検査の手順は Fig. 3 に示すように、15の刺激点をそれぞれ無作為に10回与えた。つまり合計150個の刺激点がランダムに提示された訳である。被験者は刺激面を見て、均等の成立、非成立を『yes』、『no』のボタンを押して答える。答えはコンピュータに記憶されて、検査が終了して後に表示され、同時に図示される。

まず、従来と同じ手順で、つまり調整法でその被験者の均等点を求める。そして従来と同じ判断方法で均等点を決定する。均等点の中心点を求め、その値を中心値としてプログラムに入力する。

器械が作動し始めたら、被験者に刺激面を見させて、均等の成立の有無をボタンにて答えさせる。終了の合図が出るまで、これを続けさせる。

ここで問題となるのは、局所順応と、暗順応の問題である<sup>15)~22)</sup>。そこでアノマロスコプの検査時に注意すべきことは：

- 1) 一定の明順応状態の下で行うこと。
- 2) 視標注視時間は絶対に2秒以内に制限すること。この条件で求められた均等が絶対均等である。2秒以上注視すると、均等幅が広がる。これが相対均等である。

この器械で最後に求めるのは絶対均等であるから、今述べたことから導き出される検査条件は：

10秒以上の明順応の後に2秒間のみ刺激面を見させて均等が成立しているか否かを判断させる、というこ

とになる。

この原則を今回の器械に適用すると、明順応10秒、刺激時間2秒、判断に3秒としても、1刺激15秒もかかる。これを210回休み無しに繰り返したとして、52.5分かかる。判断は3秒では不可能で、長いときは10~20秒を必要とする。そうするとこの検査に1時間以上もかかり、それでは疲れてしまって、正確な検査結果は得られない。そこで、次のような便法を考え出した。

つまり、刺激面をじっと見つめさせても、均等が成立しないときは簡単に『no』と判断できる。これに反して、均等の成立は判断しにくい。それで、均等が成立したように見えたときは、1度眼を離して、明順応野を10秒以上見つめさせて、また刺激面を見させる。そして、この操作を『yes』『no』の答えを得るまで繰り返させる。

### III 検査結果

今回は主として色覚正常者を対象とした。

図4~6に代表的結果を示す。それぞれの図では、『yes』の回数を直観的に見易くするためにグラフィック表示をした。つまり、各刺激点における10回の反応のうち『yes』の回数をバーの長さで示した(1本の全長は5回の『yes』を示す)。バーは該当する刺激点の右上の空間に示した。

閾値実験の常道として、今回は『yes』『no』の反応が50%ずつになる点を境界と考えて、『yes』6/10(10

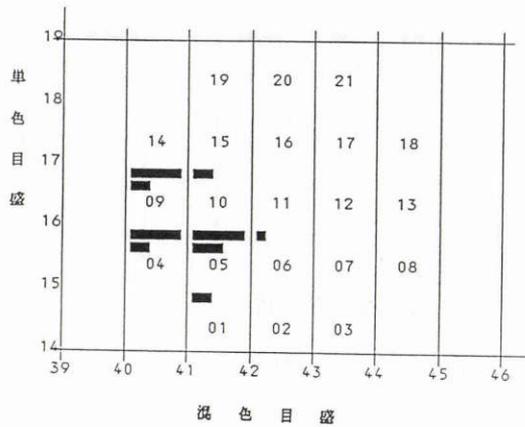
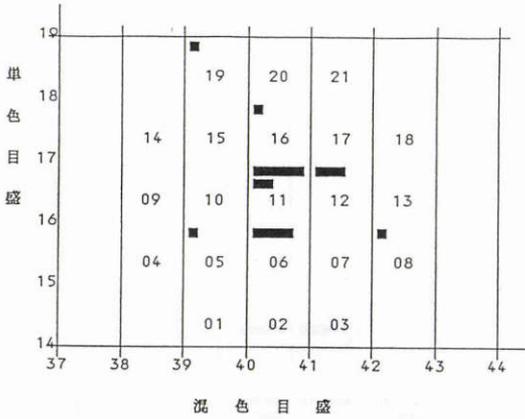


Fig. 5 210回試行例. 上は40/16の1点で均等しているが、離れた点で1度ずつ『yes』が出ている. 下は40~41/15と40/16の3点で均等を示している. しかし、39/16~17ではどうなるかわからない. このように予測した中心点から均等点が多れると1回では正確なことがわからなくなる.

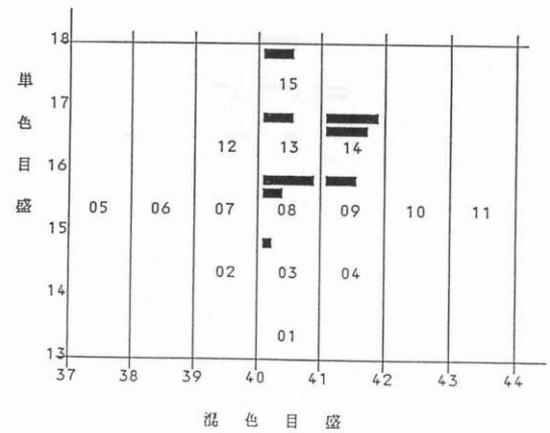
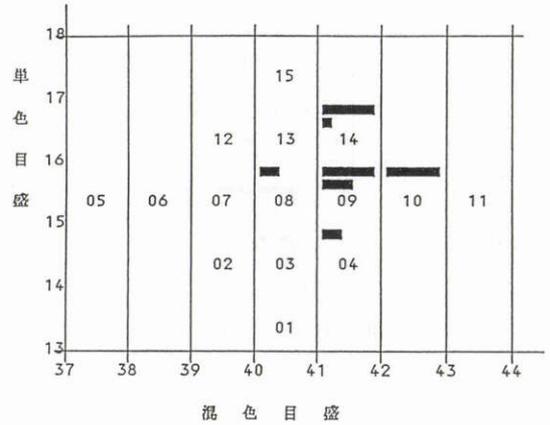


Fig. 6 150回試行例. 上は41/15~16の2点で均等している. 下は40/15~41/16の2点で均等を示す. しかし、点41/16の上、右上、右での均等の成立の有無が不明である.

回試行中『yes』6回)以上を均等成立点と見なして結果を判定した. その結果、1点または2点でレーリー均等が成立するという結果が得られた. しかし、ときに3点に達するものもある.

Fig. 4 は210回の刺激のそれぞれの反応の内容を印字したものを右側に示し、左側にそれを図示した.

Fig. 5 は210回試行の2例を示した. 上は均等点1点, 下は3点で、しかも予測均等点よりも左にずれたものである.

Fig. 6 は150回試行の2例を示した. どちらも2点で均等しているように見える.

色覚異常者に実施するためには別にプログラムを考案しなければならないが、とりあえずこのままで、第

2色弱者1名について検査した結果を Fig. 7 に示す. この被験者は均等幅の比較的狭い型であったので、2回の検査で均等点の広がりやを推定でき、左に示すのはその2回の検査結果である. 右はそれを合成したものである.

#### IV 考 按

実験をはじめの前は、こういう方法で果たして均等点を求めることが可能かどうか全く予測が付きなかった. オリジナルの装置を用いずに、比較的安価なナイツ・アノマロスコープ OT を用いたのはそのためである. つまり、装置にいろいろ手を加えても実験の成果は上がらず、その上装置まで再起不能になることを恐れたのである.

しかし、実験してみると、予測された均等点付近に

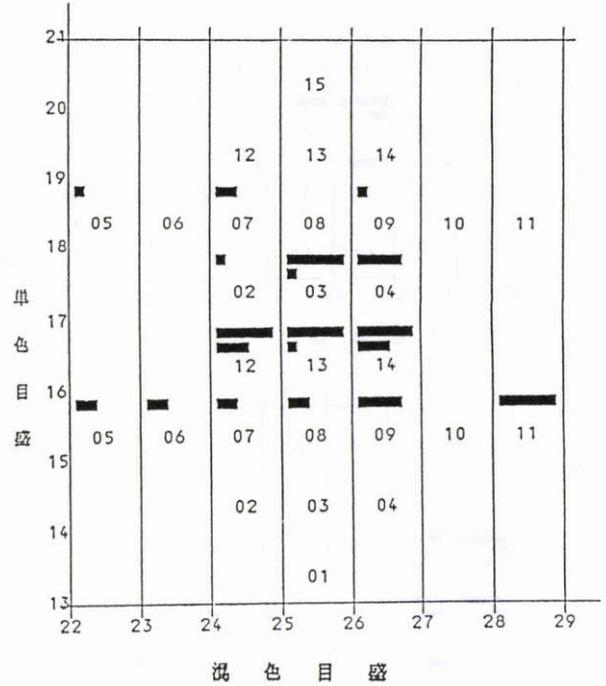
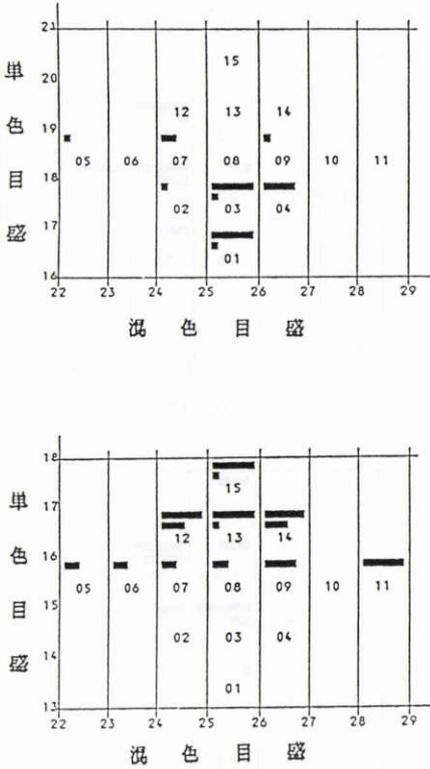


Fig. 7 第2色弱に2回行なって、それを合成したものである。23/16~17より左で、27/16~17より右でどうなるかが不明である。

均等の成立すると判定できる点が集中することが判明した。

先ず問題になるのは均等点成立の判定である。一般に閾値検査では『yes』『no』の反応が50%ずつになるところを以て閾値としている。そして、その値より一方は『yes』他方は『no』の領域となる。しかし、レーリー均等は平面の中の高まりのように表現される。これは陰陽逆になるが、視野の暗点に似ている。それで、今回は一つの試みとして『yes』/『no』が1/1となるところを閾値と見做して、それより『yes』の回数の多い6/10(10回試行中『yes』が6回)以上の点を均等成立点とした。

そうしてみると、Fig. 4では点11と12が均等点となる。つまり、41~42/15(混色ネジ目盛41~42, 単色ネジ目盛15以下同様に記載する)に均等点があると判断できる。

Fig. 5(210回試行例)の上の例では40/16の1点で、下の例で40/17, 40~41/16の3点で均等しているといえる。ただし、下の例では均等成立点か予測した均等

点よりも左にずれたために、混色ネジ39で均等が成立しているか否かは判断できない。そこで、中心点を42/16でなく、39/15にして、再検査する必要がある。

Fig. 6(150回試行例)の上の例では41/15~16に、下の例では40/15~41/16に均等点があると考えられる。しかし、両者共その均等点の上、上右、右に均等点が存在しない保証はない。したがって、やはり210回の試行が必要であると推定される。

つまり、Fig. 4とFig. 5の上の例のみが確実な結果を得た例である。

以上に示したように、従来の方で求めたレーリー均等成立点の中心値を、今回の検査の中心点として設定したにもかかわらず、その点が今回の方法で求めた均等点の中心とならない例がある。その理由は、従来の調整法により求められた均等点には相当あいまいなものが含まれているからであろう。

次に、検査を実施した上での問題点は、やはり刺激点の多いことである。150~210回の試行は被験者を相当に疲れさせ、したがって、試行回数を減らすことを

考慮しなければならない。それにはまず、試行点の位置の選択をしなければならない。それで、予測均等点を含めた横5点のみを考えたが(つまり、単色ネジを1目盛のみとする)、上記のように予測均等点を外れる者があることを考えると、これは必ずしも賢明な選択ではない。

現在のところやはり21点を選ぶのが最も確かなようである。

本検査の目的の一つである先天性色覚異常者の検査にこの方法を応用するには、なお多くの基礎実験が必要である。しかし、均等幅の狭い色覚異常者にこのまま用いてみたのがFig. 7である。均等範囲が4点に広がるので、1度の検査では全均等点を把握できないが、この程度の均等幅なら、2回の検査でほぼその全貌を把握できる。しかし、なお不十分な点もある。つまり、このプログラムでは22/17~18, 22/27~29については検査が行われていない。より広い均等幅をもつ者に対しては別のプログラムを用意しなければならない。

上述のように本実験にはナイト・アノマロスコープOTを用いた。本器の検査条件はオリジナルのナーゲル・アノマロスコープとほとんど同じに作ってある。明順応装置まで同じである。異なるのは刺激光の性質である。つまり、オリジナルは直視プリズムによって色光を得ているが、本器は偏光フィルターによって、ただし明るさの制御はオリジナルと同じようにスリットによっている。したがって、問題となるのは、直視プリズムの分光による色光と偏光フィルターによる色光の性質の差である。後者は刺激面にわずかに縞のようなものが感じられることがある。

この違いが均等点の成立に影響するか否かは岡島<sup>23)</sup>、深見<sup>24)</sup>によって検討され、オリジナルと変わらないとしている。しかし、この二者の比較という微妙なことは、本方法のような精密な操作によって初めて可能になる。したがって、今後オリジナルの器械による同様の実験が必要となる、と考えている。

なお、1988年に発光ダイオードと干渉フィルターを併用したアノマロスコープが試作された<sup>25)</sup>。もしこの装置がオリジナルと変わらないとしたら、この装置は機械的部分をまったく使用しないで混色ネジ・単色ネジの操作に相当することができるので、今回の試みもコンピューターのプログラムのみで可能となる。つまりハード・ウェアに何ら手を加える必要もなく、いろいろな試みができることになる。

## 文 献

- 1) **Le Grand Y** (translated by Hunt RWG, Hunt FRW): *Light, Colour and Vision*, London, Chapman and Hall Ltd, 284-285, 1968.
- 2) 米村大蔵, 河崎一夫, 田辺譲二, 他: 第1および第2色覚異常におけるERG所見(その1). 臨眼 33: 683-691, 1979.
- 3) 宇治幸隆: 先天性色覚異常の電気生理学的診断. あたらしい眼科 41: 1237-1243, 1987.
- 4) 玉井嗣彦: Aery Receptor Potential (ERP) の臨床応用. あたらしい眼科 4: 1219-1226, 1987.
- 5) 河崎一夫, 仲里博彦, 花崎秀俊, 他: 先天性赤緑色覚異常の他覚的診断: 網膜電位図の off 効果の所見について. 眼紀 39: 1501-1511, 1988.
- 6) 田辺久芳, 田辺譲二, 花崎秀俊, 他: 先天性赤緑色覚異常の程度と早期細胞電位. 日眼会誌 92: 1564-1568, 1988.
- 7) ギルホード JR 著, 秋重義治 訳: 精神測定法. 東京, 培風館, 108-188, 1964.
- 8) 高木貞二: 実験法. 高木貞二, 他監修: 実験心理学提要. 第1巻, 東京, 岩波書店, 3-81, 1964.
- 9) 田中良久, 上村保子: 恒常法. 他編, 講座, 心理学, 2. 計量心理学, 東京, 東京大学出版会, 88-105, 1969.
- 10) 大山 正: 測定の基本的手法. 和田陽和, 大山正, 今井省吾 編集, 感覚+知覚心理学ハンドブック, 東京, 誠信書房, 38-55, 1969.
- 11) 湯田兼次: ハンフリー自動視野計の試作経験. 眼科 30: 161-174, 1988.
- 12) 深見嘉一郎, 島本史郎: 仮性同色表の自動提示装置に関する研究1. SPP-1 による試み. 臨眼 39: 1299-1303, 1985.
- 13) 深見嘉一郎, 島本史郎, 石黒裕之: 仮性同色表の自動提示装置に関する研究2. TMC表による試み. 臨眼 40: 882-884, 1985.
- 14) 太田安雄, 井筒確一, 宮本 正, 他: 干渉フィルター式アノマロスコープの試作とその色覚検査成績. 日眼会誌 83: 1639-1940, 1979.
- 15) 加藤金吉: アノマロスコープ検査上の注意. 日本眼科学会編, 日本眼科全書, 第7巻, 眼機能, 第3冊, 色覚異常, 東京, 金原出版, 171, 1955.
- 16) **Linksz L**: *An Essay on Color Vision*, New York 6 London, Grune 6 Stratton, 186-201, 1964.
- 17) **Kalmus H**: *Diagnosis and Genetics of Defective Colour Vision*, Oxford, Pergamon Press, 41-45, 1965.
- 18) **Ricardo C-C**: *Color Blindness an Evolutionary Approach*, Charles C Thomas, Springfield, 69-74, 1970.
- 19) **von Heinsius E**: *Die Farbensinnstörungen und ihre Pruefung in der Praxis*. Stuttgart,

- Ferdinand Enke, 62—81, 1973.
- 20) **Pokorny J, Smith VC, Verriest G, et al:** Congenital and acquired Color Vision Defects. New York, Grune & Stratton, 206—211, 1979.
- 21) **田辺詔子:** アノマロスコープ. 市川 宏編集, 眼科 Mook, 16, 色覚異常, 東京, 金原出版, 134—137, 1982.
- 22) **Fletcher R, Voke J:** Defective Colour Vision. Bristol & Boston, Adam Hilger, 306—322, 1985.
- 23) **岡島 修:** 1979年度版石原表, 大熊表, Neitz 社製 Anomaloscope の評価. 第 2 回色覚研究セミナー, 予稿集, 12—17, 1980.
- 24) **深見嘉一郎:** ナイツ・アノマロスコープ OT による色覚検査成績. 眼紀 32: 842—845, 1981.
- 25) **大浜敬子, 太田安雄, 清水金郎, 他:** 発光ダイオード(LED)を応用した小型アノマロスコープの試作とその色覚検査成績. 臨眼 42: 700—701, 1988.
-