

色差が視覚探索へ及ぼす影響に関する研究

佐々和博, 稲田将二, 高松 衛, 中嶋芳雄

富山大学工学部

Influence of Color Difference on Target Detection Time

Kazuhiro Sassa, Shouji Inada, Mamoru Takamatsu and Yoshio Nakashima

Faculty of Engineering, Toyama University

高度技術革新により、今日では様々な場面でオートシステムが導入されている。代表的な例としては工場の生産ライン管理や、ビルシステムにおける空調制御などが挙げられよう。これらのシステムにおいては、通常、管理者が専用室内に設置された多数のモニターにより、建物内の全機器の状態をリアルタイムで監視している。一方、高度技術革新によりシステムが巨大化した現在では、ひとたび事故が起きればその被害・損失は計り知れないものとなる。それゆえ、監視モニターからの事故の早期発見・迅速な対処は重要であり、そのため「色」を用いた見やすい監視モニター表示のための基礎的データが強く求められている。そこで本研究では、視覚ノイズ中に存在する視覚ターゲットの検出が容易となる「色差」を明らかにし、最適なモニター表示のための基礎的データとすることを目的とした。多数の視覚ノイズ中に、形はノイズと同様で「色」のみを変更したターゲットを配置し、被験者はノイズ中のターゲットを検出して応答するのである。同様の手順を、視覚ノイズの色を変更して試行する。結果より、視覚ノイズ色の条件によって、ターゲットの探索が容易になる色差の値に差異が存在することが明らかとなった。とくに視覚ノイズ色が青の条件下においては、色差をかなり大きくしないとターゲットの検出は困難であることが明らかとなった。(視覚の科学 26: 29-32, 2005)

キーワード: 視覚探索, 色差, 視覚ノイズ, ターゲット探索時間

In recent years, various automatic systems have been used in diverse locations. Typical examples are factory production line management and building system air-conditioning control. Building system are enumerated. In such systems, operators manage all units according to information viewed on a special monitor. In the event of an accident, however, damage and loss soon become undiscernable as the accident progresses. It is therefore important to detect an accident in the early stage so as to avoid extensive damage. Thus, displaying data on a monitor by "color" seems to be very necessary. In this study, we measured target searching time by changing only the target hue located in color visual noise. The results showed that in each color of visual noise, detection times varied in different conditions, even though the color differences were identical. (Jpn J Vis Sci 26: 29-32, 2005)

Key Words: Vision search, Color difference, Visual noise, Target detection time

1. 緒 言

近年では科学技術の急速な進歩により、あらゆる場面でオートメーション化(機械化)が進め

られている。我々の生活を支える重要なエネルギー供給と輸送場面においてもオートメーション化は例外ではなく、例えば巨大な原子力プラントや化学プラント、更には航空機や大型船舶の運行などにおい

別刷請求先: 930-8555 富山市五福3190 富山大学工学部 知能情報工学科 高松 衛
(2005年7月12日受理)

Reprint requests to: Mamoru Takamatsu Faculty of Engineering, Toyama Univ
3190 Gofuku, Toyama 930-8555, Japan
(Received and accepted July 12, 2005)

でも、ほとんどあるいは一部が機械によって正確に制御・運行され、巨大なシステムを形成している。これらのシステムにおける人間の役割は最も重要な「監視役」であり、システム全体における位置付けとしては、我々人間にたとえた場合、最も重要な「頭脳」部分ともいえよう。監視役は専用のモニター画面に表示される情報を「視覚」より収集し、現在のシステムの状態、更にはシステムを構成する膨大な量の機器一つ一つの状況を正確に把握する。そして必要に応じて、なんらかの操作（命令）を行うのである。

ところで、前述のような巨大化・複雑化しているシステムにおいては、一度事故が発生すればその損失や周囲に及ぼす影響は極めて甚大なものとなる。そのため、様々な場面で事故を起こさないための細心の注意が払われているが、事故発生率はそれほど減少してはいないのが現状である。その理由として、事故発生原因の大半がヒューマンエラーによるもの¹⁻³⁾であることが挙げられる。例えばモニター画面からの視覚情報収集時に「事故につながる情報や故障などの情報を見落とす」などの正確な状況把握ミスのエラーが発生したり、対策時における対処方法判定ミスのエラーが発生したりする。それゆえ、事故につながる原因の早期発見と迅速な対策のためには、監視者がより識別しやすい表示仕様が重要なポイントとなってくる。現在、この表示仕様については「視覚情報表示インターフェース」として様々な提案がなされている⁴⁾。例として、1) 重要な情報についてはモニター表示の輝度を高く設定し、明るくすることで差別化を図る、2) 同様に情報を点滅させることで差別化を図る、などがある。更に、文字の太さや大きさに関する提案も数多くなされている。

その一方で、色彩面からの提案は数少ないのが現状である。例えばランプの色選択に関するもの、文字色と背景色の組み合わせなどに関するものなど、限られた範囲にとどまっている⁵⁾。他方、目覚ましい映像技術の発達によりディスプレイ上に多数の色を高精細に再現することが可能となった現代では、システムの巨大化・複雑化に伴い、多くの色彩を用いた多数の情報表示とその設計のための基礎的データが広く求められている。日常生活において我々が視覚イメージから真っ先に認識するのは「色」に関する情報であるため、「色」に特定の情報をもたせて画面に表示することは、今後ますます有効になってく

るものと考えられる。とくにシステムが複雑化し表示すべきデータが多数となっている現在においては、「色の識別」も表示設計において重要なポイントとなるのである。

ところで、色の識別に関する研究については、これまで Wright と Pitt による単色光の波長の識別閾 $\Delta\lambda$ を求めた研究⁶⁾をはじめとして数多く存在しているが、前述のような表示設計への応用のためには、更に多くの研究を重ねていく必要がある。

そこで本研究では、視覚工学の観点より、視覚ノイズ中に存在する視覚ターゲット探索に要する時間を測定し、色差が探索時間に及ぼす影響について定量化することを目的とした。

2. 実験方法

実験装置の概要を図1aおよびbに示す。図1aに示すように、プロジェクターにより被験者の前方2mの位置に設置されたスクリーン上に被験者観測用画面を呈示する。被験者はスクリーン上に呈示された画面（図1b）を両眼視にて観測する。観測画面は視

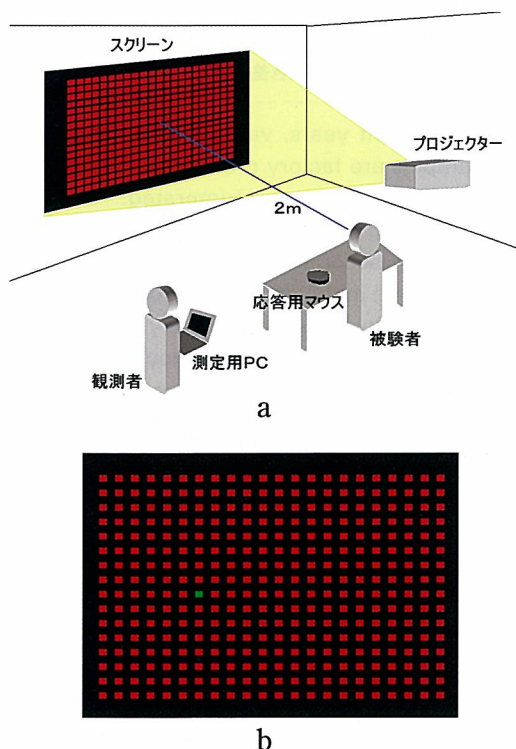


図1 実験概要
a: 実験状況, b: スクリーン画面

覚ノイズおよび視覚ターゲット（1個）が、黒色背景上に縦16行横22列で等間隔に配列されたものである。視覚ノイズと視覚ターゲットの形およびサイズは視角にして縦横ともに1°の正方形であり、視覚ターゲットの色のみを視覚ノイズとは異なる色に設定する、言い換えると、視覚ノイズの色に対して任意の「色差」に設定するのである。

被験者のタスクは、スクリーン上に呈示された視覚ノイズ中に存在する視覚ターゲットを探査し、検出した時点で手元のマウスボタンを押して応答することである。被験者の応答があった時点で、すなわちマウスボタンが押された時点でスクリーン上にはブランク画面が呈示される。その後、再び視覚ノイズと視覚ターゲットが配列された画面が呈示され、被験者はこれまでと同様に視覚ターゲットを探査し、検出した時点で手元のボタンを押して応答するのである。

設定した視覚ノイズおよび視覚ターゲットの色を図2に示す。本実験で用いたプロジェクターで再現可能な最高彩度のR（赤）、G（緑）、B（青）より、 u' v' 色度図上におけるこれらの3点を頂点とした三角形の辺上と内部より選定する。視覚ノイズの色はR、G、Bの3条件とし、それぞれの条件下ごとに視覚ターゲット色を選定した。すなわち、視覚ノイズの色がRの条件下では、図2に示すように1) R-G直線上、2) R-B直線上、および3) R-W（白色点）直線上より全35点選定した。同様に視覚ノイズ色がGの場合には、1) G-R線上、2) G-B線上、および3) R-W線上より全35点を、視覚ノイズの色がBの場合についても同様にしてターゲット色を36点選定した。

なお、実験はすべて暗室にて行った。画面が呈示

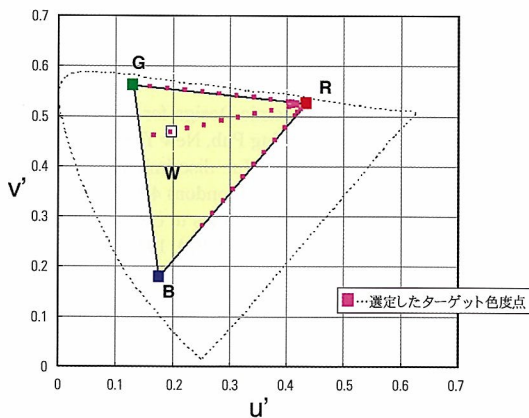


図2 視覚ノイズR（赤）に対する視覚ターゲットの色度点

されてから被験者がターゲットを検出し手元のボタンを押すまでの時間を「視覚ターゲット探査時間」として測定する。視覚ターゲットの出現位置はランダムであり、各ターゲット色に対して各被験者100回の測定を試行する。被験者は色覚正常者2名である。

3. 実験結果

結果の1例を図3に示す。被験者1の結果である。

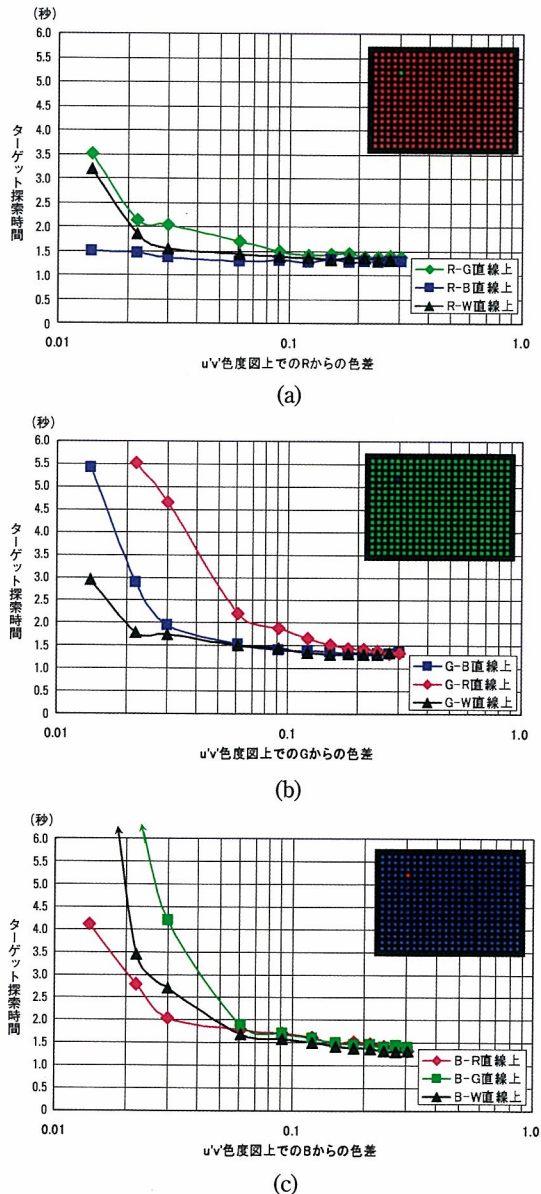


図3 色差とターゲット探索時間特性
(a) 視覚ノイズがRの場合、(b) Gの場合、および(c) Bの場合。

上から順に、基準となる視覚ノイズの色がRの場合(a)、Gの場合(b)およびBの場合(c)の結果である。横軸にはそれぞれの基準となる視覚ノイズ色からの $u'v'$ 色度図上での距離、すなわち「色差」を対数軸でとり、縦軸は視覚ターゲット探索時間(秒)をとっている。したがって、図の左に行くほど、ターゲットの色がノイズの色に近いことを示している。なお、各プロット点は100回の測定の平均値を示している。また、曲線の色は、視覚ノイズ色に対してどの色方向から接近しているかを示しており、例えば(a)図における緑色の曲線の結果は、 $u'v'$ 色度図上におけるG点よりR点に向けてターゲットの色が変化していることを示している。

結果より、いずれのグラフにおいても色差が大きい範囲、すなわち図の右半分ではターゲット探索時間は最も小さい値を示すことが明らかとなった。各図における三つのグラフの線はこの範囲では重なっており、言い換えると色差が十分大きい場合、その方向に関係なく本手法におけるターゲット探索時間は「約1.5秒」となることを示している。したがって、本手法における基準値はターゲット探索時間にして1.5秒であるといえる。

ところで、色差が大きい範囲においては視覚ターゲットと視覚ノイズとの違いは明瞭であるため、ターゲットがノイズの中から突出して見える傾向を示す。そのため、被験者は画面を注視せずとも、周辺視でも十分に発見できる、すなわちスクリーン全体を見ている状態でも即座にターゲットを検出できる。

一方、色差が小さくなると、ターゲット検出が困難となり探索時間は急激に増大している。更に視覚ノイズ色と視覚ターゲット色の組み合わせ条件によっては、ターゲット探索時間が上昇しはじめる色差のポイントが異なる傾向を示すことも明らかとなった。これは言い換えると、等色差であるにもかかわらず、ターゲット色の色度図上での方向が異なると、ターゲット探索時間は異なることを意味している。とくにこの傾向は図3(c)において最も顕著であり、青色の視覚ノイズの場合、ターゲット色が色度図上において赤方向から移動して来ても探索時間は急激に増

加しないが、緑方向では急激に増加している。すなわち、G-B間の直線上においてはある程度色差を広げないと識別が困難であることが得られた検出時間特性より明らかとなった。

なお前述の傾向は、もう1名の被験者2についても同様であった。

4. 考 按

本研究では視覚ノイズ中に存在する視覚ターゲット探索というタスクにおいて、ターゲットとノイズとの色差を段階的に設定することで、ターゲット探索時間と色差との対応関係を明らかにした。

結果より、色差が大きい場合はどの色度点においてもターゲット検出が容易であるため、探索時間に差はみられない。しかしながら、色差が小さくなりターゲット検出が困難な状況になると検出時間は増大するが、場合によってはその増大割合に差が出ることも明らかとなった。

ところで、本研究では「色差」を一つの基準としている。一方で、均等色度図における色差については、MacAdamの研究により⁷⁾以前から均等性に関するいくつかの問題点が指摘されている。今後はこれらの均等性の問題を考慮しつつ得られたデータの解析を推し進めていき、更に種々の条件下における同様の測定を繰り返すことにより、実験データの実用性を高めていく必要があると考えられる。

文 献

- 1) Reason J: Human Error. Cambridge University Press, New York, 1990.
- 2) Margetts BD: Human Error in Merchant Marine Safety. The National Research Council, Washington DC, 1976.
- 3) Helmreich RL: Cockpit management attitudes. Human Factors 26: 63-72, 1984.
- 4) Buck JA: Visual Displays. 196-230, John Wiley, New York, 1983.
- 5) Eastman Kodak: Ergonomic Design for People at Work. 169-175, Lifetime Learning Pub, New York, 1983.
- 6) Wright WD & Pitt FHG: Hue discrimination in normal color-vision. Proc Phys Soc (London) 46: 459-473, 1934.
- 7) MacAdam DL: Visual sensitivities to color differences in daylight. J Opt Soc Am 32: 247-274, 1942.

原 著

視覚的インタフェースモデルにおける色の数と彩度が視覚探索に及ぼす影響

佐々和博*, 川口敦子*, 稲田将二**, 高松 衛***, 中嶋芳雄***, 加藤象二郎†

*株式会社, **富山大学大学院理工学研究科, ***富山大学工学部, †愛知みずほ大学

Effects of Number of Colors and Chromaticity on Visual Search Using a Model Visual User Interface

Kazuhiro Sassa*, Atsuko Kawaguchi*, Shouji Inada**, Mamoru Takamatsu***, Yoshio Nakashima*** and Zojiro Katoh†

*Yamatake Corp., Ltd., **Graduate School of Science and Engineering, Toyama University,

***Faculty of Engineering, Toyama University, †Aichi Mizuho College

社会の情報化により、様々な分野でコンピュータ応用システム／装置と利用者の情報交換のためのインタフェースが普及している。なかでも、視覚的インタフェースはシステムにおいて極めて重要な役割を担っている。多くの視覚的インタフェースの画面では情報を見やすく、わかりやすくするために「色」を用いている。しかし、表示に用いる色の数と彩度の効果に関する実験的な知見は少ない。そこで本研究では、色の数と彩度がユーザの視覚情報処理に及ぼす影響の評価を目的として、視覚的インタフェース画面のモデルを作成し、表示する色の数（単色、3色、6色）と彩度（高彩度、低彩度、無彩色）を変えた視覚探索実験を行った。妨害刺激は五角形、目標刺激は正方形とした。その結果、高彩度3色で探索時間が長く、彩度によらず単色で短かった。形を識別する視覚情報処理の負荷に対して、色の数と彩度が画面の見やすさに与える影響について示唆が得られた。

(視覚の科学 26: 33-38, 2005)

キーワード：視覚的インタフェース、視覚探索、視覚情報処理、彩度、色の数

The progress of our information-oriented society has brought about various visual interfaces between users and objects, i.e. visual user interfaces, for using computer-aided systems and equipment. Visual user interface screens often use colors for ease of understanding or perception of the objects displayed on them. However, experimental findings or reports on the effects of number of colors and chromaticity are not sufficient. This study, introduced a model visual user interface and implemented a series of visual search experiments with variations in number of colors (one, three and six) and chromaticity (high, low and achromatic) so as to evaluate the effects on the load of visual information processing. The distractors were pentagonal and the target square. The results show that with three colors of high chromaticity it takes a longer time to search the target, and that with monochrome (single color) of any chromaticity it takes a shorter time to search the target. It suggests the effects of the number of colors and chromaticity on the load of visual information processing required to distinguish the forms of objects. That may have influence on easy-to-see of the screen of visual user interface. (Jpn J Vis Sci 26: 33-38, 2005)

Key Words: Visual user interface, Visual search, Visual information processing, Chromaticity, Number of colors

別刷請求先：140-0002 東京都品川区東品川4-12-1 (株)山武 BSCソリューション事業本部 佐々和博
(2005年8月3日受理)

Reprint requests to: Kazuhiro Sassa Department of Solutions, BSC, Yamatake Corp., Ltd.
4-12-1 Higashi-shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo 140-0002, Japan
(Received and accepted August 3, 2005)

1. 緒 言

今日の社会の情報化は、コンピュータという機械による通信と情報処理を機軸に成り立っており、様々な分野でコンピュータ応用システム／装置（以下 システム）と利用者が情報交換するためのインタフェースが普及している。なかでも、視覚的インタフェースは最も中心的な役割を担っており、その画面に表示される情報は質と量の点でシステムとして極めて重要である。

視覚的インタフェースは、専門の訓練を受けた技術者・職員が主業務のなかで利用する各種産業用システム、例えば工業プラントや建物施設の監視制御システムおよび航空管制、船舶や航空機、鉄道の運輸管理システムなどのほか、高齢者も含めた幅広いユーザーが特別な訓練や説明を受けずに利用するもの、例えば身の回りのコピー機などのOA機器の操作・表示部、金融機関の自動現金預払機（ATM）、航空・鉄道など交通機関の予約・発券機といったものがある。前者においては、熟練した操作者が能率的に作業できるとともに知覚、判断、操作においてエラーを起こさせないことが重要である。後者においては訓練や習熟を必要としないで、誰にとってもわかりやすく、快適に目的の用件を確実に遂行できることが重要である。

視覚的インタフェース画面ではオブジェクトを彩色し、人間の視覚刺激の処理特性を活用して表示内容を見やすくしている。この見やすさとは、ヒトがある意図のもとに注意して画面を観察する場合の視覚刺激による情報処理負荷と考えることができる。

システムの高度化と普及の進展に伴い、ヒトとシステムをつなぐ、いわゆるヒューマン・インタフェースの重要性が増大している。以前から人間の認知特性の研究が学際的に行われている¹⁻³⁾が、実際に視覚的インタフェースにおける画面設計の基礎となる表示色の数や彩度について、指針を示唆するような研究や実験的知見はあまり報告されていない。すなわち画面設計の実務家向けの図書の一つ⁴⁾では、カラーに関する記述は「カラーに関する10の戒律」を中心とした簡単な内容であり、科学的検証のもとに成立しているものでないことが明記されている。また、他の画面設計に関する図書⁵⁻⁷⁾においてもカラーに関する記述は意外なほどわずかである。

そこで本研究では、視覚的インタフェースの画面

モデルを作成し、刺激色の数と彩度を変えた視覚探索実験を行った。画面を注意しながら観察して必要な情報を獲得する場合に、画面の色の数と彩度が視覚刺激の処理負荷に及ぼす影響を実験的に確認、評価した。

カラー選択に影響する要素は多様⁸⁾とされるなかで、用いる色の数と彩度の影響が具体的に示されることは関係者が共通して信頼できるガイドラインないしルールの確立の一助となるものと考えられる。

2. 方 法

1) 視覚的インタフェース画面のモデルと視覚探索課題

視覚的インタフェース画面はその応用装置やシステムごとに多様であり、絵、図形、文字列や記号などで構成される表示要素とその彩色も様々である。本研究では画面を視角15~20°程度、画面上のオブジェクトを視角1~2°程度で見える場合をモデルとした。視距離は文献⁹⁾および実際に周囲で見受けられる事例から50±15 cmとした。この条件をもとに、186×247 mmの画面に12×12 mmの図形を10行14桁で計140個配置した画面モデルを設定した。

視覚探索は、提示されたテスト刺激において目的とする目標刺激（target）を妨害刺激（distractor）の中からみつけ出すという課題を与えたときの反応時間を測定する実験である。視覚探索の過程では、陽電子放射断層撮影（positron emission tomography）によって側頭連合野や頭頂連合野の活性化が観測されていること⁹⁾や脳波の事象関連電位（event related potential）の研究¹⁰⁾などから、反応時間は視覚刺激に対する情報処理量が反映されているものと考えられる。一般的な視覚探索実験においては一様で、比較的単純な刺激のなかから目標刺激を探索する課題が多い。

本研究では、設定した画面モデルにおいて視覚探索で検出すべき目標刺激を1個の正方形、残り139個を五角形の妨害刺激とした。実際の視覚的インタフェースでは画面は必ずしも一様で単純ではないことも踏まえて、妨害刺激の五角形は上下左右に向きの変化をもたせた。なお、予備実験により、向きを揃えたときよりも探索課題の難易度が上がり、探索時間が長くなることが示されていた。探索時間が長くなることで、観測される反応時間に占める運動系成分（応答操作のために要する時間）の比率が下がり、そ

の影響を小さくすることができた。このような探索課題で目標刺激の正方形があらわれる位置をランダムにして、36パターン of 探索画面を作成した。図1に探索課題画面の1例を示す。

各パターンの視覚探索課題に対してそれぞれ目標刺激と妨害刺激色の数と彩度の組み合わせにより、高彩度6色(H6)、低彩度6色(M6)、高彩度3色(H3)、低彩度3色(M3)、高彩度単色(H1)、低彩度単色(M1)および無彩色(N1)のテスト刺激を作成した。テスト刺激における目標刺激は各色が等確率になるようにした。

テスト刺激に用いる色相は赤(R)、緑(G)、青(B)の3色とそれらのうちの2色を組み合わせたR+G、

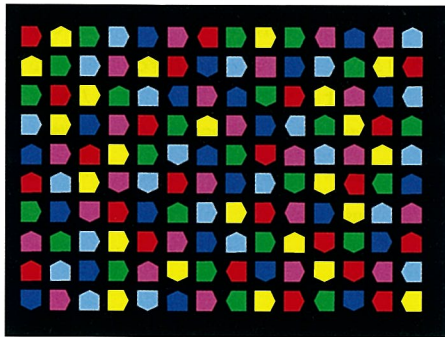


図1 視覚探索画面(高彩度6色の例)
目標刺激は2行目の左から9列目

G+B, B+Rの3色および無彩色の計7色とし、背景は黒色とした。テスト刺激の国際照明委員会(Commission Internationale de l'Éclairage) 1931表色系における色度と色相の組み合わせを表1に示す。

2) 実験

被験者は屈折異常以外の眼科的疾患を有さない視力(矯正を含む)、両眼視、色覚、および調節の正常な技術系のオフィスワーク従事者で、年齢25~41歳(平均は32.4歳)の男性3名および女性3名であった。事前に実験の内容を説明するとともに、視覚探索の練習課題を行って実験に習熟してもらった。被験者のタスクは椅子に掛けて実験室の室内照度(400lx)に15分以上順応した後、机上に設置された実験装置のパーソナルコンピュータPCG-R505 VJ/K(SONY製)の画面を両眼で観察し、呈示されるテスト刺激の目標刺激を探索できたときにボタン(マウス)を押すことである。実験は5分間の休憩をはさんだ6回のセッションで構成されている。各セッションは前半21テストのあと、3分間の小休憩をおいて後半21テストの視覚探索を行う。各テスト刺激の間には背景だけのブランク画面を設け、被験者がボタンを押すことで次のテスト刺激が表示される。テスト刺激は用いる色の数と彩度によって、例えばH6, M3などと種別を区別できるが、各セッションは3テスト刺激ごとにこの色の数と彩度の種別を変化させて、

表1 テスト刺激のCIE色度と種別
色度は暗室にて実験装置の画面を非接触で計測

テスト刺激色相のCIE色度と輝度

表示色コード	高彩度			低彩度		
	輝度Y	色度x	色度y	輝度Y	色度x	色度y
R	47.3	0.605	0.346	27.4	0.483	0.323
G	111	0.304	0.532	61.8	0.282	0.472
B	28.3	0.153	0.144	22.7	0.170	0.149
R+G	157	0.425	0.460	81.9	0.376	0.431
G+B	138	0.230	0.345	78.3	0.218	0.303
B+R	74.8	0.239	0.227	42.4	0.282	0.201
N	37.4	0.274	0.295	同左		

背景輝度【輝度の単位 cd/m²】0.91, 測定器: CS-100 (MINOLTA製)
一眼レフタイプ非接触測定式デジタル色彩色差計

刺激の種別	刺激を構成する色相			備考
H6 M6	R, G, B, R+G, G+B, B+R			1種類
H3 M3	R, G, B G, R+G, G+B	R, R+G, B+R B, G+B, B+R	R+G, G+B, B+R	5種類
H1 M1	R R+G	G G+B	B B+R	6種類
N	N			1種類

セッション遂行中の心理的・生理的な状態変化の影響が特定の種別のテスト刺激に集中しないようにした。本研究における実験は他の多くの視覚探索実験のように、視覚的特徴の統合過程の解明を目的とするものではなく、視覚的インタフェースのユーザーが、

自分が必要とする表示をみつけたと判断するまでの時間を比較することを目的としているため、探索結果が正答か否かにかかわらず反応時間を有効データとした。なお、予備実験では今回の被験者に誤答はみられなかった。また反応時間は、最短のテスト刺激の種別においても、被験者によって平均2.6~10.8秒の開きがあり、テスト刺激の種別ごとの探索時間を比較する上で1秒未満の値を考慮する必要がないことが示されていたので、反応時間の1秒未満の端数は切り捨てて集計した。図2に実験プロトコルを示す。

3. 結 果

実験結果の一部を図3に示す。反応時間は被験者により、またテスト刺激の種別によって大きな違いがあり、全体として各被験者のデータそのままではテスト刺激の種別と反応時間の関係と比較、分析することができなかった。よってこれを可能にするため、被験者ごとのすべての観測データ252件（探索課題パターン数×テスト刺激の色の組み合わせ数：36×7=252）を

$$z = \frac{x - x_{ave}}{s_x}$$

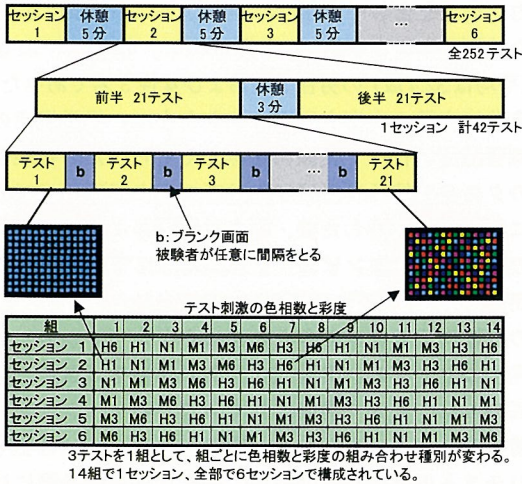


図2 実験プロトコル

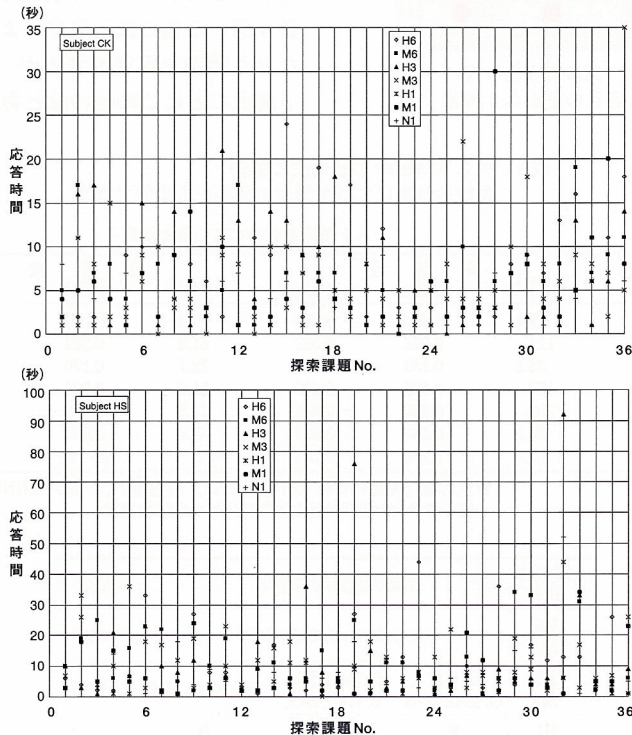


図3 実験結果（被験者CKおよびHS）
横軸はテスト刺激の視覚探索課題番号、縦軸は探索時間（単位：秒）

表2 標準化した探索時間平均値 (単位は無次元)

被験者	テスト刺激の色相数と彩度の組み合わせ							計
	H6	M6	H3	M3	H1	M1	N1	
CK	0.18	0.13	0.19	-0.08	-0.15	-0.09	-0.18	0.00
NM	0.08	-0.12	0.51	-0.06	-0.03	-0.30	-0.08	0.00
HS	0.04	0.14	0.27	0.04	-0.11	-0.24	-0.14	0.00
SK	0.07	-0.06	0.01	0.13	-0.05	-0.14	0.03	0.00
SM	0.15	0.00	0.00	0.28	-0.13	-0.09	-0.20	0.00
MK	0.19	0.04	0.56	0.40	-0.46	-0.32	-0.40	0.00
平均	0.12	0.02	0.25	0.12	-0.15	-0.20	-0.16	0.00

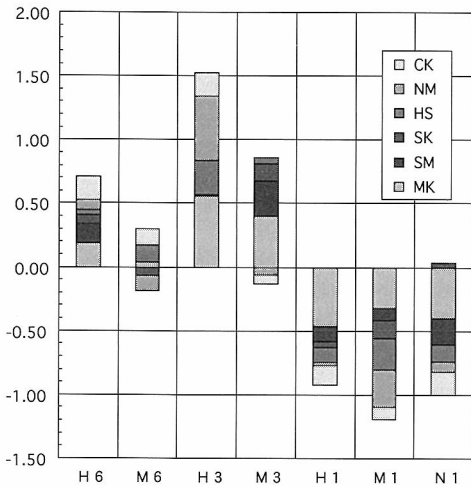


図4 標準化した探索時間の全被験者の集計
横軸はテスト刺激の種別，縦軸は平均探索時間を標準化した値

によって標準化した。ここで x は実験で得られた個々の観測データ， x_{ave} はすべての観測データの平均， s_x は標準偏差であり， z は x が標準化された値である。標準化されたデータには、

- 1) z の平均は 0，分散は 1 になる
- 2) z が正なら標準よりも大きく，負なら標準より小さい
- 3) z の絶対値が 1 より大きければ，標準より大きく離れている

という性質があり，各被験者から得られた結果を総合的に比較・分析することが可能となる。標準化した被験者のデータをテスト刺激色の数と彩度の組み合わせ別に平均した結果を表2に示す。また，これらの値を積み上げ棒グラフであらわしたものを図4に示す。

4. 考 按

図3でみられた被験者ごとに大きく異なる実験データも，簡単な統計処理により，表2ならびに図4でみられるように全体として次の性質が明らかとなった。

- 1) $H6 > M6, H3 > M3, H1 > M1$
- 2) $H3 > H6, M3 > M6$

すなわち，1) では $Hx > Mx$ (x : 色相の数) であり，色相の数にかかわらず，高彩度のテスト刺激は低彩度よりも探索時間が長くなること，また2) では $X3 > X6$ (X : 彩度) であり，彩度にかかわらず，3色相のテスト刺激は6色相のものよりも探索時間が長くなること示された。刺激全体の彩度が上がると探索がより困難になるという現象は，横井らの色差の大きな目標刺激を探索する実験結果¹¹⁾とも一致している。

こうした結果を顕在性マップ^{12, 13)}の考え方から解釈すると，彩度が高いことは，色相によって視覚属性の特徴マップが強くコードされ，各種特徴マップの線形和としての顕在性マップも強くコードされる。そのため，画面上の同じ色相の領域がまず優先して注意領域となり，結果として目標の探索を妨害する効果を生じて，反応時間が大きくなるとも考えられる。また彩度が低い場合には顕在性マップの色相によるコードは強くないため，注意領域として目標の探索を妨害する効果は小さく，視覚探索の反応時間への影響も小さいと考えられる。すなわち彩度が高い場合は，「森の形が目立つために，そのなかの木の形に注意が及ばなくなる」ような現象にたとえることができるのかもしれない。

また，色相の数が6よりも3の場合に反応時間が大きくなったことについては，画面上の同じ色相によって塗られた領域の面積が大きくなり，そのため色相の視覚属性の特徴マップが強くコードされ、

顕在性マップ上でも強くコードされて注意領域となり、形という視覚属性の特徴が顕在性マップの上で相対的に小さくなるために、反応時間が大きくなったと考えられる。顕在性マップにおいては側抑制が仮定されており¹²⁾、多数存在する視覚属性（6色相）の顕在性は低くなり、少数の視覚属性（3色相）の顕在性が高くなると考えられている。よって3色相の場合でも彩度が低い場合には色相という視覚属性の特徴がコードされる強さが小さくなり、形という視覚属性の特徴が顕在性マップの上で相対的に大きくなるために、反応時間が小さくなると考えられ、実験の結果と一致する。探索時間は目標刺激の視覚属性の特徴のコードの強さの絶対値ではなく、テスト刺激全体の特徴マップにおける目標刺激の視覚属性の特徴のコードの相対的な強さに依存していると解釈できる。今回の実験のように、「形」の違いを特徴として目標刺激を妨害刺激中から探索する場合には、形の視覚属性の強さを示す特徴量を D_t とし、テスト刺激全体の色相の視覚属性の強さを示す特徴量 D_b が、高彩度のときに D_{bh} 、低彩度のときに D_{bm} の値をとるとすると、

$$D_{bh} > D_{bm}$$

であると考えられる。一方、低彩度と高彩度の場合の目標刺激の視覚属性の強さの特徴量の比は各々

$$\frac{D_t}{D_{bm}}, \frac{D_t}{D_{bh}}$$

$$\frac{D_t}{D_{bm}} > \frac{D_t}{D_{bh}}$$

となる。すなわち高彩度（右辺）では低彩度（左辺）より目標刺激の特徴量（形）とテスト刺激全体の特徴量（彩度）の比が小さい。これは顕在性マップにおいて目標刺激を特徴づける視覚属性のコードの強度が相対的に小さいことであり、そのために探索時間が長くなったとも考えられる。しかし現在も、「形」と「彩度」をはじめ各種の異なる視覚属性がどのように特徴としてマップ化され、統合されているのかについての研究が活発であり、多くの新しい理論やモデルが提案され、また神経科学的な知見も多く報告されている。本研究は視覚情報処理、視覚的注意の解明を直接的な目的とするものではないが、人間の注意資源の配分（ある属性次元の特徴に注意を多く配分すると、他の次元に注意を向けられない）という現象面からの検討¹⁴⁾や、特徴統合理論¹⁵⁾にはじまる視

覚過程に関する研究成果および認知科学の理論、神経科学・生理学的な知見に注目しながら明快で科学的な視覚的インタフェースの設計指針を具体的に積み重ねていくことが重要と考えられる。

今回の実験結果は、実際の視覚的インタフェースが、すべてその表示の細部を注意深く観察することを要求するものではないことを前提にしつつも、ときに多様な視覚属性を含む表示に一定の視覚的注意を求めるものである限り、画面全体の彩度を高くしないこと、また使用する色の数については、同じ色によって構成される画面上の模様（あるいは空間周波数）の顕在性が強くないよう注意すべきことが実験的に示されたものと考えられる。

文 献

- 1) 海保博之, 原田悦子, 黒須正明: 認知的インタフェース. 2-29, 新曜社, 東京, 1991.
- 2) 行場次朗: 図と地の知覚: 視覚の心理. 電子情報通信学会誌 74: 315-320, 1991.
- 3) Livingstone MS & Hubel DH: Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology, and perception. *Science* 240: 740-749, 1988.
- 4) Marcus A (小川俊二訳): 見せるユーザ・インタフェース・デザイン. 75-93, 日経 BP 社, 東京, 1993.
- 5) 吉田 真編: ヒューマン・マシン・インタフェースのデザイン. 94-95, 共立出版, 東京, 1995.
- 6) 海保博之, 加藤 隆: 人に優しいコンピュータ画面の設計. 212-217, 日経 BP 社, 東京, 1992.
- 7) 村田厚生: ヒューマン・インタフェースの基礎と応用. 24-25, 日本出版サービス, 東京, 1998.
- 8) Jaschinski-Kruza W: On the preferred viewing distances to screen and document at VDU workplaces. *Ergonomics* 33: 1055-1063, 1990
- 9) Corbetta M, Shulman GL et al: Superior parietal cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science* 270: 802-805, 1995.
- 10) 宮谷真人: 視覚探索を支える脳内過程に関する研究. 19-110, 北大路書房, 京都, 2000.
- 11) 横井健司, 内川恵二: 多色不均一ディストラクタ上の視覚探索における色カテゴリーの役割. *VISION* 14: 1-12, 2002.
- 12) Itti L & Koch C: A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Res* 40: 1489-1506, 2000.
- 13) Deco G, Pallatos O & Zihl J: The time course of selective visual attention: Theory and experiments. *Vision Res* 42: 2925-2945, 2002.
- 14) 寺前繁孝, 高松 衛他: 聴覚負荷による視覚情報処理への影響の定量化に関する研究. *人間工学* 40 (特): 346-347, 2004.
- 15) Treisman A & Gormican S: Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychol Rev* 95: 15-48, 1988.

自動視野計を用いた動的視野測定プログラムの開発

(近畿大学医学部眼科学講座) 橋本 茂樹

1. はじめに

視野測定には大きく分けて動的視野測定と静的視野測定がある¹⁾。今日、各種自動視野計の普及により中心 30° 以内を主に測定する静的視野測定が視野検査の主流となってきている。動的視野測定の代表である Goldmann 視野計は、中心を含めた周辺視野を短時間で測定することができ、またその測定結果は視野全体を一目で把握できる利点から現在でも広く用いられている。しかしながら、その測定結果は検査者の技量に大きく影響を受け、施設間での比較や経過観察において多くの問題点がある。また、高い技術をもつ検査員を確保することも現実には困難なために Goldmann 視野計を有する施設は減少している。一方、自動視野計による動的視野測定は Perimetron^{2, 3)}をはじめ、自動視野計の開発当初から試みられてきた。しかし、患者応答のばらつきや測定アルゴリズムの問題によりその測定結果は、経験豊かな医師や検査員が Goldmann 視野計を用いて手動で測定した結果と比べ満足のものではなく⁴⁾、自動動的視野測定における測定精度を上げるにはこれまでにない新しい測定アルゴリズムが必要と考えられた。

そこで我々は、イソプタが形成する外部角度にて視野変化を判断するという新しいアルゴリズムを開発した。

また本アルゴリズムを搭載したプログラム (Program K) にて、実際に緑内障患者を対象に測定を行い、その臨床応用を試みたので紹介する。

2. 新しいイソプタ自動探索アルゴリズム

新しいアルゴリズムでは、まず自動で各経線の測定を行い、イソプタの変化の大きさを連続する 3 箇所の応答点が形成する角度を用いて正常か異常かを判定し、異常であれば次の視標提示の位置と方向を決定し、測定を自動で追加した。緑内障症例の Goldmann 視野計の結果に新しい測定アルゴリズムによる測定手順を重ねて図 1 に示す。

まず stage 1 であらかじめ定めた経線上に求心的に

視標を動かし定点測定を行うと、被検者が応答する位置は順次 1, 2, 3, 4 の応答点となる。各点を順に結んだ隣接する 2 直線がなす角度を求め、その角度が正常範囲から逸脱した場合は次の stage へ進み、それぞれの直線の midpoint へ垂直に視野変化のある方向に再度視標を動かし応答を得る。この操作を数回繰り返して、応答した位置を結果に追加していく。図 1 の症例では 1, 2, 3 と 2, 3, 4 による直線のなす角度が正常範囲を逸脱するため、stage 2 では直線 1-2 と 2-3 と 3-4 の midpoint からそれぞれに垂直な方向に視標を動かし、次に被検者が応答する位置は 5, 6, 7 となる。各点を結ぶイソプタを引き直し再度角度を求めると、今度は 1-5-2 と 5-2-6 のなす角度が正常範囲を逸脱するため、stage 3 では先程と同様に直線 1-5, 5-2, 2-6 に垂直に測定を行うと、被検者が応答する位置は 8, 9, 10 となる。こうして得られた測定点を順次結んでいくと、最終的に 1-8-5-9-2-10-6-3-7-4 の順に結んだイソプタとなる。この症例の場合、stage 3 でほぼ

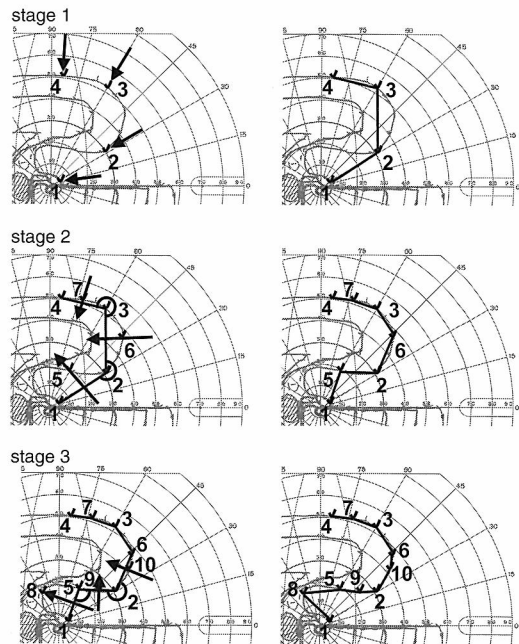


図1 イソプタ自動探索アルゴリズムによる測定手順

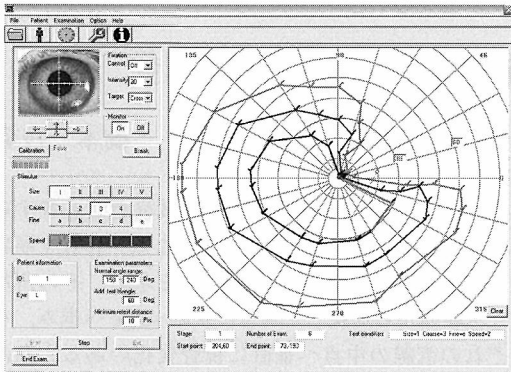


図2 自動動的視野測定プログラム (Program K) の測定画面

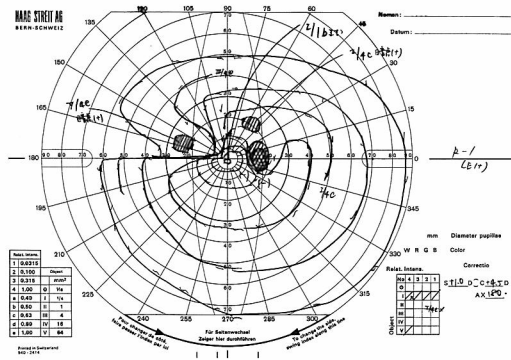


図3 症例1 79歳女性, 原発開放隅角緑内障
右眼ゴールドマン視野計による動的視野

Goldmann 視野の結果と類似する結果を得ることができた。

3. 自動動的視野測定プログラム (Program K) の臨床応用

新しい測定アルゴリズムを導入した自動動的視野測定プログラム (Program K) を開発し, 外部コンピュータより Octopus 101 自動視野計を制御することを可能とした (図2)。また実際に, 临床上において緑内障患者の視野測定を行った。

測定手順は, まず中心 30° 内の中心視野を静的測定し, 引き続いて Program K を起動し角度などの測定条件を選択した後, V 4e から順に stage ごとに動的視野測定を行った。測定はほぼ完全自動で行われ検

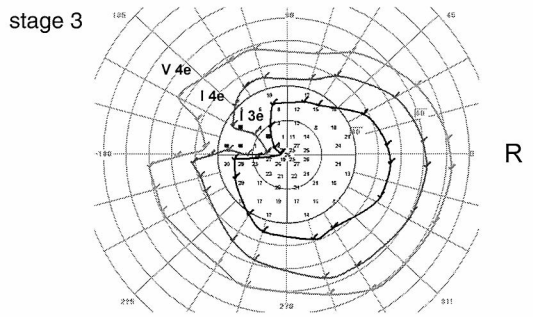
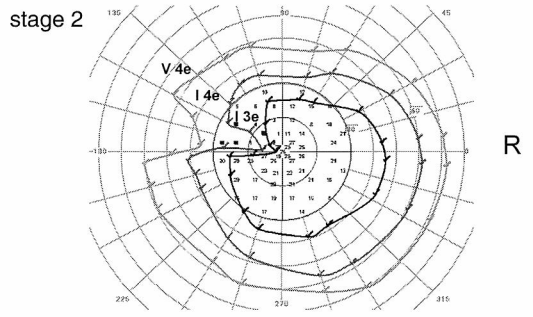
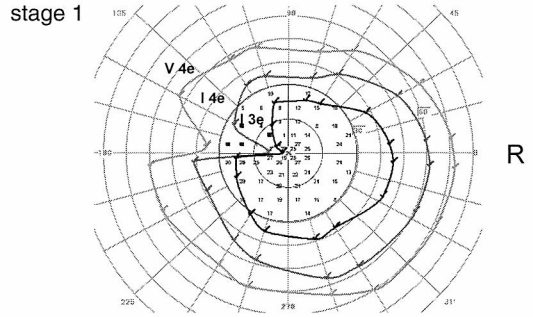


図4 症例1 79歳女性, 原発開放隅角緑内障
右眼 Program K による動的および静的視野

者がイソプタの始点および終点を選択する必要はない。測定が終了すると応答点は順次自動で結ばれイソプタごとに描写される。

測定された結果の一部を示す。症例1は, 79歳女性, 原発開放隅角緑内障 (POAG) の症例の右眼で, Goldmann 視野計による視野では, 上方の鼻側視野欠損を認める (図3)。Program K では, stage が進むにつれ Goldmann 視野計と同様の視野変化を検出でき, Goldmann 視野計の結果とほぼ一致したイソプタが検出された (図4)。

4. ま と め

新しい測定アルゴリズムを搭載した自動動的視野測定プログラムを独自に開発した。しかし、現行のプログラムではアルゴリズムの関係上、固視部と耳側周辺部が分離した視野をもつ極度の視野進行例を測定することは不可能であり、また暗点に関しての探索アルゴリズムは搭載されていない。検査時間の短縮など検討すべき課題がまだ残されており、今後さらにプログラムの改良を加えていく予定である。

参 考 文 献

- 1) Aulhorn E: Glaukoma-Gesichtsfeld. *Ophthalmologica* 158: 469-487, 1968.
- 2) Portney GL & Krohn MA: Automated perimetry, background, instruments and methods. *Surv Ophthalmol* 22: 271-278, 1978.
- 3) Heijl A & Drance SM: A clinical comparison of three computerized automatic perimeters in the detection of glaucoma defects. *Arch Ophthalmol* 99: 832-836, 1981.
- 4) 橋本茂樹, 松本長太^他: Octopus101 Kinetic Program の使用経験. *眼紀* 54: 200-204, 2003.