

中心視負荷と眼球運動を伴った観察による 周辺視コントラスト感度の変化

Change in Contrast Sensitivity in the Peripheral Visual Field by Central Visual Task and Observation under the Condition with Eye Movements

学生会員 松宮 一道[†], 正会員 内川 恵二[†], 栗木 一郎[†]

Kazumichi Matsumiya[†], Keiji Uchikawa[†] and Ichiro Kuriki[†]

Abstract It is known that the ability to use peripheral vision changes when a central visual task exists. This suggests that the focus-of-attention in the central visual field causes a reduction in performance in the peripheral visual field. We studied how the load of attention in the central visual field when the eye moves would change sensitivity to chromatic and luminance contrast in the peripheral visual field. Our results showed that the load in the central visual field impaired sensitivity to chromatic and luminance contrast in the peripheral visual field, under the conditions with and without eye movements. This suggests that, even when the eye moves, the state of attention is the primary factor attending changes in the distribution of visual sensitivities across the visual field.

キーワード：周辺視特性, 眼球運動, 中心視負荷, 色・輝度コントラスト感度, 視覚的注意

1. ま え が き

我々は見たい物体を視野の中心で捕らえるために眼球を動かし、高密度に錐体細胞が存在し視力や色覚に優れている網膜の中心窩で情報処理を行っている。中心視野で情報処理を行うという方法は眼球運動が不可欠になるが、一方では視覚系全体の限られた処理能力を有効に活用するという点では優れた方法でもある。しかし、中心窩は直径視角2度の範囲の極めて小さい領域であり、通常、我々は中心視だけを用いているわけではなく周辺視によっても視覚情報を獲得している。このような意味から周辺視での視覚特性を調べることは視覚系全体の働きを調べる上で重要であり、過去に多くの研究がある^{1)~6)}。

Virsu らは、周辺視野における輝度コントラスト感度を測定した¹⁾。この実験により、周辺部にいくに従い輝度コントラスト感度が低下することが示され、そのコントラスト感度曲線の形状は周辺視野でも保たれるが、感度のピークは低空間周波数の方へ移動することが示された。また、

Noorlander らは、周辺視野における色の空間コントラストおよび時間コントラストの検出閾値を測定した²⁾。この実験から視野の周辺部にいくに従い色の空間・時間コントラスト感度は低下することがわかった。中心視特性に加えて、このような周辺視特性を取り入れることで視覚系全体の特性が調べられてきた。

しかし、周辺視特性は中心視でどんな仕事をしているかによって変化することが知られている⁷⁾。Ikeda らは、中心窩に与える負荷によって周辺視野におけるターゲットの検出可能範囲が変化することを報告した。これは注意が中心部に集まることによって、周辺部での注意が弱くなるためと考えられている^{8)~12)}。この中心視負荷による周辺視特性の変化は視野の一点を固視したときの变化を測定したものである。中心視で仕事をするときは、通常眼球運動を伴っている。したがって、中心視負荷による周辺視特性の変化を調べる際に眼球運動を伴っていることも考慮しなければならない。眼球運動を伴っていることを考慮して作業負荷による周辺視特性の変化を調べた研究に Miura の研究がある¹³⁾。Miura は、自動車運転時の運転状況の複雑さと周辺視野における光点の検出能力の関係を調べた。この実験により眼球運動を伴った観察でも運転状況により周辺視野における光点の検出能力が変化することがわかった。しかし、おのおのの運転状況での背景光や、網膜部位を一定にして周辺視野に刺激を呈示するといった条件の統制がされてお

1997年10月2日、応用物理学会秋季大会で発表

1997年10月13日受付、1998年1月5日再受付、1998年2月9日採録

[†]東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設

(〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259, TEL 045-924-5453)

[†]Tokyo Institute of Technology, Imaging Science and Engineering Laboratory

(4259, Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 226-8503, Japan)

らず、厳密に条件を統制して眼球運動を伴っていることを考慮した実験はこれまで行われていない。眼球運動を伴いながらの観察では2つの要素を考えなければならない。ひとつは、サッケードと固視を繰り返す観察が周辺視に与える影響である。サッケード中には視野全体の感度が低下することが知られており、この現象はサッケード抑制と呼ばれている¹⁴⁾。サッケードと固視を繰り返す状況では、このサッケード抑制により、視覚系の感度が動的な変化を伴うことになる。静的な観察と比較して、このような感度の動的変化が眼球運動後の注視時の周辺視特性に影響していることが考えられる。もうひとつは、眼球運動をする目的に関係している。眼球運動は見たい部分に注意を向けるために起こる現象である。したがって、眼球運動を伴った観察では、眼球運動を行うことにより視野内の注意の配分が変化することが考えられ¹⁵⁾、この注意の配分の変化が周辺視特性に影響していることが考えられる。

そこで、本研究では、中心視での注意の負荷を変えたときに周辺視のコントラスト感度がどのように変化するかを、中心固視の条件と眼球運動を伴った条件とで調べることが目的とする。中心視負荷による周辺視野の感度低下と眼球運動を伴うことによる周辺視野の感度低下があるとすれば、各条件間の周辺視コントラスト感度に次のような関係が成り立つことが考えられる。(a) 固視条件(中心視課題なし)の感度>固視条件(中心視課題あり)の感度。(b) 眼球運動条件(中心視課題なし)の感度>眼球運動条件(中心視課題あり)の感度。(c) 固視条件(中心視課題なし)の感度>眼球運動条件(中心視課題なし)の感度。(d) 固視条件(中心視課題あり)の感度>眼球運動条件(中心視課題あり)の感度。

本実験では、中心視野には注意を集中させるための課題を与え、周辺視野にはグレーティング刺激を呈示し、中心視野で課題を行っているときのコントラスト検出閾値を測定した。さらに、自由に眼球運動ができる条件下で、中心視野の課題による周辺視コントラスト検出閾値の変化を調べた。このために、グレーティング刺激が被験者の眼球運動に追従して動き、常に一定の網膜部位を刺激するような方法を用いた。

2. 実験方法

2.1 装置

実験装置は、コンピュータ(Power Macintosh7100/66AV)と眼球運動測定器とCRTディスプレイ(SONY GDM-2000TC)で構成されている。

眼球運動の検出方法には、リンバストラッカーによる方法を採用した¹⁶⁾。眼球運動データのサンプリング周期はCRTディスプレイの垂直同期信号と等しく、60Hzである。被験者は右目を眼帯で覆い、左目のみで刺激を観察した。被験者の左目の下付近に眼球運動測定器を置き、左目の眼球位置の水平、垂直成分の信号を測定し、17msごと

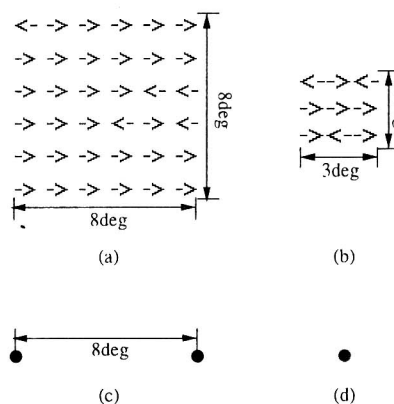


図1 中心視野の刺激。(a) 眼球運動条件, 中心視課題あり。(b) 固視条件, 中心視課題あり。(c) 眼球運動条件, 中心視課題なし。(d) 固視条件, 中心視課題なし。

Stimuli of central visual field. (a) Eye movements condition. (b) Fixation condition. The subject performs central visual task under conditions with stimulus (a) or (b). (c) Eye movements condition. (d) Fixation condition. The subject doesn't perform central visual task under conditions with (c) or (d).

にA-D変換(MacADIOS2)しコンピュータに入力した。17msごとに眼球位置信号を検出し、その信号を使って1フレーム後(17ms後)に画面を書き換えた。すなわち、眼球位置信号の検出に伴い、グレーティング刺激の位置の更新は常時行われた。また、本研究で用いた眼球運動検出器が検出できる最小の眼球移動量は約0.5degであった。このような装置の特性上、実際には眼球移動後の1フレーム後(17ms後)にグレーティング刺激が移動している。しかし、被験者の見えとしては、眼球運動に同期してグレーティング刺激が移動しているように見えており、眼球運動とグレーティング刺激の移動に時間的なずれがあっても、それがグレーティング刺激の見えに影響を与えることはなかったと考えられる。

また、被験者の頭部は歯型台により固定された。被験者からCRTディスプレイまでの視距離は60cmで、CRTディスプレイの大きさは視角27.0×36.0degである。被験者の応答はキーボードを介してコンピュータに取り入れた。

2.2 刺激

(1) 中心視野の刺激

中心視野に呈示される刺激は図1(a)~(d)に示すような4種類である。図1(a)は、眼球運動を伴いながら中心視課題を行うときの刺激であり、8deg×8degの正方形の中に矢印が6×6個に配列されているような刺激である。図1(b)は、固視したままで中心視課題を行うときの刺激であり、3deg×3degの正方形の中に3×3個の矢印が並んでいる。図1(c)は、眼球運動を伴うが中心視課題を行わないときの刺激であり、8degの間隔をもつ2つの視点からなる。図1(d)は、固視して中心視課題を行わないときの刺激である。

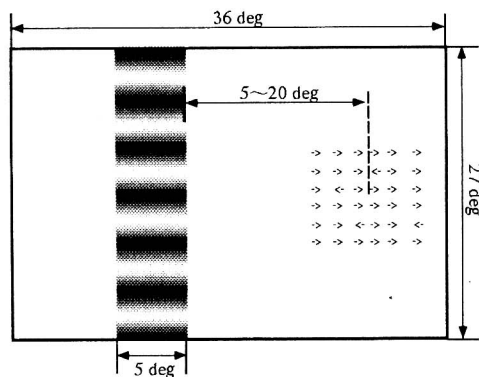


図 2 刺激の配置
Stimulus arrangement

(2) 周辺視野の刺激

周辺視野に呈示される刺激には色コントラストを与える色度グレーティングと輝度コントラストを与える輝度グレーティングを用いた。また両方のグレーティングに対して、空間周波数は 0.5cpd と 1.5cpd を用いた。グレーティング刺激の大きさは、図 2 に示すように 27.0 × 5.0deg である。

色度グレーティングの色コントラストは $u'v'$ 色度図上で定義した。等エネルギー白色点 ($u' = 0.211, v' = 0.474$) を平均色度とし、赤 ($u' = 0.276, v' = 0.466$)、緑 ($u' = 0.145, v' = 0.482$) を結ぶ直線 (cardinal axis) 上で色度を正弦波状に変調させて、色度グレーティングを作った。この直線上では、S 錐体 (短波長領域に感度を持つ錐体) の応答は一定で、L 錐体 (長波長領域に感度を持つ錐体) と M 錐体 (中波長領域に感度を持つ錐体) の応答だけが変化する。つまり、この直線は R-G 方向の軸と考えることができる¹⁷⁾。また、CRT ディスプレイ上で再現できる色は限られているため、その色再現域の境界付近にさしかかる色度点 (緑 ($u' = 0.145, v' = 0.482$)) を色コントラスト 100% の色度点として採用し、 $u'v'$ 色度図上で等エネルギー白色点とその色度点の距離と等距離になるように赤 ($u' = 0.276, v' = 0.466$) を決めた。色度グレーティングと背景の輝度は、15 cd/m² である。実際に色度グレーティングを作成するときは、被験者ごとに交照法により等輝度点を測定し作成した。

輝度グレーティングの輝度コントラストは、平均輝度を 15 cd/m²、色度点を等エネルギー白色点に固定して輝度を正弦波状に変調させた。

(3) 刺激の構成

刺激は中心視野の刺激と周辺視野の刺激で構成されている。中心視野には課題の有無と眼球運動の有無の組合せから 4 種類の刺激を用い、周辺視野には色コントラストあるいは輝度コントラストを与えるグレーティングを用いた。

また、眼球運動条件では、周辺視野に呈示されるグレーティング刺激は網膜位置一定で CRT 上を移動する。したがって、グレーティング刺激は網膜上を移動しないが、眼

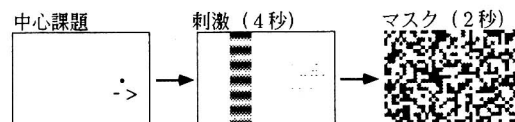


図 3 手続き。最初に被験者に中心課題が与えられ、その後、刺激が 4 秒間呈示される。その後、マスク刺激が 2 秒間呈示され、被験者は中心課題に対して応答する。これと同じ手続きをもう一度繰り返した後、最初に呈示された刺激と 2 番目に呈示された刺激のうちどちらにグレーティングが呈示されていたかを応答する。

Procedure. At first, subject was shown an arrow which he is asked to count. Then stimulus is presented for 4 seconds. After then, mask stimulus is presented for 2 seconds, and he responds to the central visual task. He repeats the same procedure as stated above. Then he reports which series of stimulus contained sinusoidal grating at the periphery.

球運動に伴って CRT 上では位置が変化する。これにより、被験者がグレーティング刺激の CRT 上での動きを知覚していた可能性が考えられる。しかし、本研究で用いた CRT の大きさは 27.0 × 36.0deg と比較的大きく、グレーティング刺激 (大きさ 27.0 × 5.0deg) の移動量が最大 8deg (中心視野刺激の大きさに相当) であることからその移動量は CRT の大きさに比べて比較的小さいと考えられる。そのため、被験者が CRT の枠を手がかりにグレーティング刺激の CRT 上での動きを知覚するのは困難であったと考えられる。また、眼球の移動中はサッケード抑制の影響があるため、被験者がグレーティング刺激を知覚するのは眼球運動中ではなく注視時であったと考えられる。実際、被験者も眼球運動中にはグレーティング刺激はほとんど見えず、注視時に刺激が見えたと報告している。

2.3 手続き

中心視課題を行う場合、被験者に「中心視野に呈示される矢印のうちで、右 (あるいは左) 方向の矢印は何個あるか数えなさい」という課題を与えた。被験者は、この課題を行いながら周辺視野におけるコントラストの検出を行うことになる。

まず、眼球運動検出器のキャリブレーションを行い、その後、以下のような順序で実験を進める。また、中心視課題を行うときは、課題に馴れるために最初の 6 回分の試行はデータとして採用しなかった。

第 1 呈示では、図 3 に示すように、

- (1) 被験者に課題 (数える矢印の方向) が与えられる。
- (2) スペースキーを押すと刺激が 4 秒間呈示される (第 1 呈示)。
- (3) 周辺視野のグレーティング刺激は、第 1 呈示で呈示されれば第 2 呈示では呈示されず、第 1 呈示で呈示されなければ第 2 呈示で呈示される。
- (4) その後、マスク刺激が 2 秒間呈示され、被験者は中心視野の課題に対して応答する。

第 2 呈示では、第 1 呈示と同じ手続きを繰り返す。被験者は第 1 と第 2 呈示のどちらで周辺視野にグレーティング

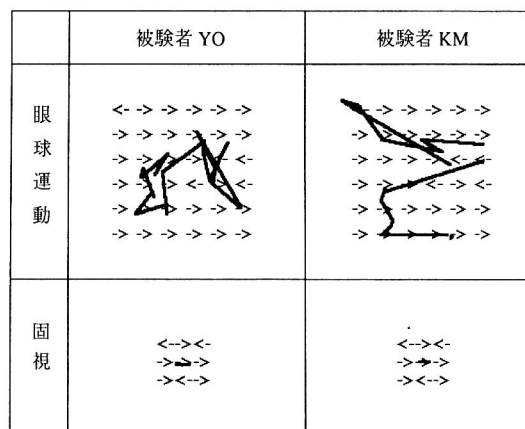


図4 眼球運動の軌跡。上段：中心視野に呈示される課題刺激（左図：眼球運動条件，右図：固視条件），中段：被験者 KM の軌跡，下段：被験者 YO の軌跡。

Sample of traces of eye movements. Top row: eye movements condition. Bottom row: fixation condition. Two observers' traces are shown in different columns.

が呈示されていたかを答える。以上の試行を 26 試行繰り返す。

26 試行を 1 セットとし，1 つの偏位角，1 つの空間周波数に対して 3 セット行った。

また，中心視課題を行わない場合，上記の手続きで課題に関する手続きがないこと以外は同じ手続きで行った。

2.4 被験者

被験者は，KM（男，25 歳），YO（男，22 歳）の 2 名である。ともに色覚正常者である。

3. 実験結果と考察

図4に眼球運動の軌跡の一例を示す。図4の上図より，自由に眼球運動を行える条件で中心視課題が与えられると，被験者は目を動かさなくては課題が遂行できないことがわかる。また，図4の下図より，固視条件で中心視課題が与えられても，被験者は目を動かすことなく課題を遂行していたことがわかる。

図5に中心視課題あり，眼球運動条件，偏位角 10 deg，空間周波数 0.5cpd のときの輝度グレーティングを検出した割合を示す。横軸は輝度コントラストを，縦軸は周辺視野でコントラストを検出した割合を表している。また，グラフ中の実線はプロビット解析法によりフィットされた累積正規分布関数である¹⁸⁾。ここで，このフィッティングカーブを用いて，コントラストを検出した割合が 75% となるコントラストを閾値として採用した。

図6に空間周波数 0.5cpd，1.5cpd の周辺視野における色コントラスト検出閾値の結果を示す。グラフの横軸は偏位角を，縦軸は色コントラスト検出閾値を表しており，実線は中心視課題ありのとき，破線は中心視課題なしのときの結果である。丸のシンボルは 0.5cpd のとき，四角のシンボルは 1.5cpd のときの結果である。左のグラフが眼球運動を伴ったときで，右のグラフが固視のときの結果である。これらの結果において，中心視課題があるときと中心視課題がないときを比較すると，例えば，空間周波数 1.5cpd，

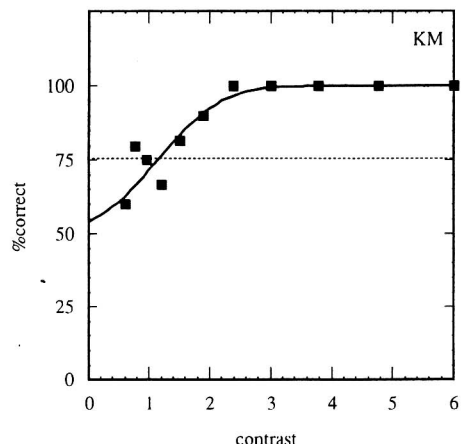


図5 周辺視野でコントラストを検出した割合。実験条件：中心視課題なし，眼球運動条件，偏位角 10 度，0.5cpd。

Percent correct response for sinusoidal grating detection in the peripheral visual field. Experimental condition: no central visual task, eye movements condition, eccentricity 10deg, 0.5cpd grating.

偏位角 10deg において，眼球運動条件も固視条件も中心視課題を行う（シンボル：■）と中心視課題がないとき（シンボル：□）よりも色コントラスト検出閾値が被験者 KM，YO とともに増大している。被験者 KM に関しては，空間周波数 0.5，1.5cpd，かつすべての偏位角で，眼球運動条件も固視条件も中心視課題を行うと中心視課題がないときよりも色コントラスト検出閾値が増大している。被験者 YO に関しても，ほとんどの条件で中心視課題を行うことにより色コントラスト検出閾値が増大しているが，一部の条件では中心視課題を行うことにより色コントラスト検出閾値が低下している（例えば，眼球運動条件，空間周波数 1.5cpd，偏位角 15deg）。その理由として，中心視野への注意の負荷と周辺視野への注意の負荷の配分が被験者によって異なっていたことが原因であると考えられる。眼球運動条件，空間周波数 1.5cpd，偏位角 15deg では，被験者 YO は中心視課題がなくても中心視野へ多くの注意を向けていたため，中心視課題がないときの方が色コントラスト検出閾値が増大したことが考えられる。また，被験者 YO は中心視課題を行っていたときも中心視野へ多くの注意を向けていたことが考えられる。例えば，眼球運動条件，空間周波数 1.5cpd，偏位角 5deg で，被験者 YO は中心視課題を行うことにより中心視課題がないときと比べて色コントラスト検出閾値が被験者 KM よりも大きく増大している。しかし，このように中心視野と周辺視野における負荷の配分が被験者間で異なっていたとしても，被験者 YO もほとんどの条件で中心視課題を行うことにより色コントラスト検出閾値が増大していることから，中心視課題の効果は充分あったことが考えられる。

また，図7に空間周波数 0.5cpd，1.5cpd の周辺視野における輝度コントラスト検出閾値の結果を示す。グラフの軸，実線と破線の違い，シンボルの違いは，図6と同じである。これらの結果から，中心視課題があるときと中心視課題がないときを比較すると，例えば，空間周波数

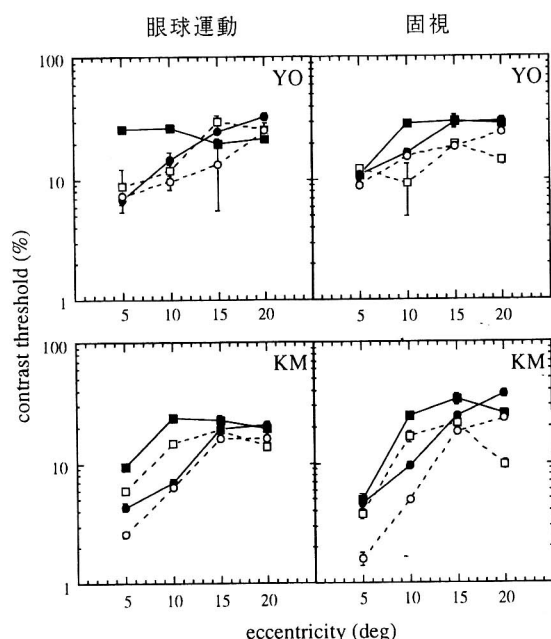


図6 色コントラスト検出閾値。実線：中心視課題あり，破線：中心視課題なし。丸：0.5cpd，四角：1.5cpd。左図：眼球運動条件，右図：固視条件。

Chromatic contrast detection-threshold as a function of stimulus eccentricity. Solid lines: the condition with central visual task. Dashed lines: the condition with no-central visual task. Circle and square symbols represent results for 0.5cpd and 1.5cpd gratings, respectively. Left column: eye movements. Right column: fixation.

0.5cpd，偏位角5degにおいて，眼球運動条件も固視条件も中心視課題を行う（シンボル：●）と中心視課題がないとき（シンボル：○）よりも輝度コントラスト検出閾値が被験者KM，YOともに増大している。被験者KMもYOもすべての空間周波数，すべての偏位角で，眼球運動条件も固視条件も中心視課題を行うと中心視課題がないときよりも輝度コントラスト検出閾値が増大している。

以上のことから，眼球運動を伴っても中心視課題により注意を集中させると，周辺視野における色・輝度コントラスト検出閾値は増大することがわかった。

眼球運動を伴った観察でも中心視野に注意を集中させることで周辺視コントラスト感度が低下するということは，眼球運動を伴った動的な有効視野も視線を一点に固定した静的な有効視野と同様に注意の配分によって有効視野の範囲が変化していると考えることができる。この考えを支持する研究として，Miuraの研究がある¹³⁾。Miuraは，眼球運動を伴っていても自動車の運転状況が複雑になると有効視野の範囲が狭くなることを報告しており，この結果から中心視野での課題要件が増大すると中心視野で多くの注意を配分し，その結果，有効視野の範囲が狭くなったと考えている。また，中心視野に注意を集中すると中心視野で注意の配分はピークとなり，周辺視野では中心視野から離れるにしたがって徐々に注意の配分が減少していくと考えられている⁸⁾⁹⁾。本研究では中心視野に注意を集中させることにより周辺視コントラスト感度が低下することから，この考えを支持している。

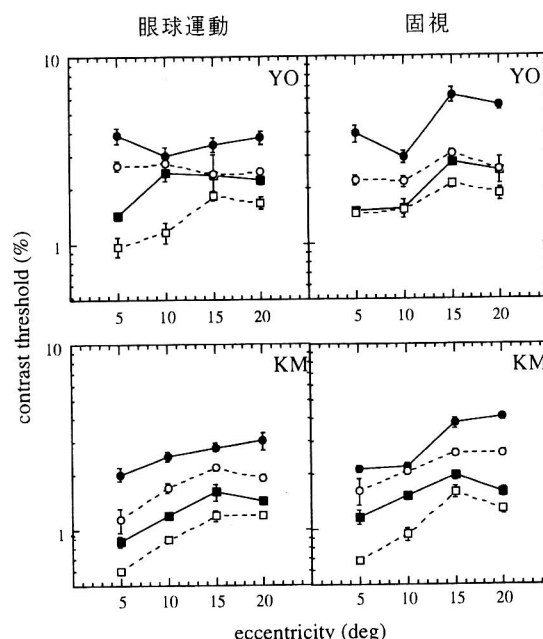


図7 輝度コントラスト検出閾値。実線：中心視課題あり，破線：中心視課題なし。丸：0.5cpd，四角：1.5cpd。左図：眼球運動条件，右図：固視条件。

Luminance contrast detection-threshold as a function of stimulus eccentricity. Solid lines: the condition with central visual task. Dashed lines: the condition with no-central visual task. Circle and square symbols represent results for 0.5cpd and 1.5cpd gratings, respectively. Left column: eye movements. Right column: fixation.

中心視野に注意を集中させることにより周辺視野におけるコントラスト感度が低下するという実験結果は，視覚の基本特性にも注意が影響を与えていることを示している。これまでの研究では，周辺視特性は網膜の特性だけを考慮したものが多い。例えば，網膜の周辺部にいくに従って色・輝度コントラスト感度が低下するといった網膜部位の機能差に関する報告が多い¹⁾²⁾。しかし，本研究の結果から，視野の周辺部における色・輝度コントラスト感度も単純に網膜部位の機能差だけで評価することはできないことが示された。

さらに，図6の結果において眼球運動条件と固視条件を比較すると，例えば，中心視課題あり，空間周波数1.5cpd，偏位角10degでは，眼球運動条件（シンボル：■）と固視条件（シンボル：■）の色コントラスト検出閾値はほとんど差がなく，両被験者で一致した結果になっている。しかし，被験者間で一致しない傾向もいくつか見られる。例えば，中心視課題なし，空間周波数0.5cpd，偏位角20degにおいて，被験者YOは眼球運動条件と固視条件でほとんど差がないが，被験者KMは眼球運動条件よりも固視条件の方が色コントラスト検出閾値が増大している。

また，図7の結果においても眼球運動条件と固視条件を比較すると，例えば，中心視課題あり，空間周波数0.5cpd，偏位角5degでは，眼球運動条件（シンボル：●）と固視条件（シンボル：●）の輝度コントラスト検出閾値はほとんど差がなく，両被験者で一致した結果になっている。しかし，図6の結果と同様に被験者間で一致しない傾向も

いくつか見られる。例えば、中心視課題なし、空間周波数 1.5cpd、偏位角 5deg において、被験者 KM は眼球運動条件と固視条件でほとんど差がないが、被験者 YO は眼球運動条件よりも固視条件の方が輝度コントラスト検出閾値が増大している。

このように眼球運動条件と固視条件の比較において、被験者間で一致しない傾向が見られた理由として、固視条件では無理に視線を固定し続けることが負荷になっていた可能性が考えられる。例えば、図 6 の中心視課題あり、空間周波数 1.5cpd、偏位角 15, 20deg、図 6 (被験者 KM) の中心視課題なし、空間周波数 0.5cpd、偏位角 20deg や、図 7 の中心視課題あり、空間周波数 0.5cpd、偏位角 15, 20deg、図 7 の中心視課題なし、空間周波数 0.5cpd、偏位角 15deg では、眼球運動条件よりも固視条件の方が検出閾値が増大しており、固視すること自体が負荷になっていたことが考えられる。このような固視自体の負荷と中心視・周辺視課題への負荷の配分は被験者に任されており、この負荷の配分が被験者間で異なっていたため一致しない傾向が見られたことが考えられる。今後は、このような負荷の配分を被験者間で統制して実験を行うことが必要であり、これは今後の課題である。

結論として、眼球運動条件と固視条件の比較は困難であるが、サッケード抑制による感度の動的变化や、眼球運動を行うことによる視野内の注意の配分の変化といった、眼球運動を伴うことで生じると考えられる周辺視への影響よりも、固視という拘束条件の方が周辺視コントラスト感度に影響を与える傾向があるといえるだろう。

4. む す び

本実験では、中心視負荷による周辺視コントラスト検出閾値への影響を調べた。その結果、中心視課題を用いて中心視野に負荷をかけると、眼球運動条件と固視条件の両方の場合で周辺視野における色・輝度コントラスト検出閾値が増大した。つまり、これは眼球運動を伴っていても注意を中心視野に集中させると、周辺視コントラスト感度が低下したことを示している。

また、眼球運動を伴った観察が、固視による観察と比べて周辺視コントラスト感度を変化させるかどうかを調べるために、眼球運動条件と固視条件で周辺視野における色・輝度コントラスト検出閾値を比較した。その結果、色コントラストも輝度コントラストも眼球運動条件と固視条件の比較は困難であったが、眼球運動条件よりも固視条件の方が周辺視コントラスト感度を増大させることがあるということがわかった。つまり、これは眼球運動を伴った観察に比べて、固視し続けること自体が被験者にとって負荷になりうることを示している。

近年、注意そのものの特性についても多くの知見が得られている^{8)~12)}。注意には受動的注意と能動的注意の 2 つの側面があり、それらは時間特性が異なるということが示唆

されている¹⁰⁾。今後は、このような注意の特性も考慮して周辺視特性を調べる必要があるであろう。

〔文 献〕

- 1) V. Virsu and J. Rovamo: "Visual Resolution, Contrast Sensitivity, and the cortical magnification factor.", *Experimental Brain Research*, **37**, pp.475-494 (1979)
- 2) C. Noorlander, J.J. Koenderink, R.J. den Ouden and B.W. Edens: "Sensitivity to Spatiotemporal Colour Contrast in the Peripheral Visual Field", *Vision Res.*, **23**, pp.1-11 (1983)
- 3) 渡部, 坂田, 長谷川, 吉田, 畑田: "視覚の科学", 写真工業出版社, pp.31-42 (1975)
- 4) S. Saida, M. Ikeda: "Useful Visual Field Size for Pattern Perception", *Perception & Psychophysics*, **25**, pp.119-125 (1979)
- 5) M. Ikeda, K. Uchikawa, and S. Saida: "Static and Dynamic Functional Visual Fields", *Opt. Acta*, **26**, 8, pp.1103-1113 (1979)
- 6) S. Shioiri, M. Ikeda: "Useful Resolution for Picture Perception as a Function of Eccentricity", *Perception*, **18**, pp.347-361 (1989)
- 7) M. Ikeda and T. Takeuchi: "Influence of Foveal Load on the Functional Visual Field", *Perception & Psychophysics*, **18**, pp.255-260 (1975)
- 8) D. Sagi and B. Julesz: "Enhanced Detection in the Aperture of Focal Attention during Simple Discrimination Tasks", *Nature*, **321**, 12 June, pp.693-695 (1986)
- 9) 熊田, 菊地: "位置の再認における空間的注意の分布", *心研*, **59**, pp.99-105 (1988)
- 10) K. Nakayama and M. Mackeben: "Sustained and Transient Components of Focal Visual Attention", *Vision Res.*, **29**, pp.1631-1647 (1989)
- 11) Y. Tsai: "Movements of Attention across the Visual Field.", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **9**, pp.523-530 (1983)
- 12) O. Hikosaka, S. Miyauchi and S. Shimojo: "Voluntary and Stimulus-induced Attention Detected as Motion Sensation.", *Perception*, **22**, pp.517-526 (1993)
- 13) T. Miura: "Coping with Situational Demands: a Study of Eye Movements and Peripheral Vision Performance.", *Vision in Vehicles*, pp.205-217 (1986)
- 14) 佐藤, 内川: "サッケード抑制に伴う増分閾光感度の変化", *光学*, **21**, pp.477-480 (1992)
- 15) M. Shepherd, J.M. Findlay, and R.J. Hockey: "The Relationship between Eye Movements and Spatial Attention", *Q. J. Exp. Psychol.*, **38A**, pp.475-491 (1986)
- 16) 井上: "リンバストラッカーによる眼球運動測定法: 原理と実際", *VISION*, **3**, 2, pp.77-80 (1991)
- 17) J. Krauskopf, D.R. Williams and D.W. Heeley: "Cardinal Directions of Color Space", *Vision Res.*, **22**, pp.1123-1131 (1982)
- 18) D.J. Finney: "Probit Analysis", 3rd ed. Cambridge Univ. Press, London (1971)



まつみや かずみ
松宮 一造 1974年、東京工業大学大学院総合理工学研究科知能科学専攻修士課程修了。現在、東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程に在学中。眼球運動時の周辺視特性に興味を持つ。学生会員。



うちかわ けいじ
内川 恵二 1980年、東京工業大学工学部電子物理工学科卒業。1975~1976年、英国・キール大学コミュニケーション神経科学科留学。1980年、東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻修了。1980~1982年、カナダ・ヨーク大学心理学科博士研究員。1982年、東京工業大学大学院総合理工学研究科助手。1989年、同助教授。1994年、同大学工学部像情報工学研究施設教授。視覚情報処理、色覚、色彩工学などの研究に従事。工学博士。正会員。



くろき いちろう
栗木 一郎 1991年、東京大学工学部計数工学科卒業。1996年、東京工業大学大学院総合理工学研究科知能科学専攻博士課程修了。現在、東京工業大学工学部像情報工学研究施設助手。視覚科学、特に色覚について研究。博士(工学)。