

# 網膜部位固定呈示法を用いたサッケード時と追従眼球運動時の 周辺視コントラスト感度の測定

松宮 一道\*・内川 恵二\*\*

\*ATR 人間情報科学研究所 〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

\*\*東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム創造専攻 〒226-8503 横浜市緑区長津田  
町 4259

## Measurement of Contrast Sensitivity in the Peripheral Visual Field during Saccadic and Pursuit Eye Movements Using Method of Fixed Retinal-Area Stimulation

Kazumichi MATSUMIYA\* and Keiji UCHIKAWA\*\*

\*ATR Human Information Science Laboratories, 2-2-2 Hikoridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto  
619-0288

\*\*Department of Information Processing, Interdisciplinary Graduate School of Science and  
Engineering, Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8503

It is well known that contrast sensitivities in the central visual field are reduced within the range of low spatial frequencies during saccadic eye movements, not during pursuit eye movements. To investigate how each of saccade and pursuit affects contrast sensitivities in the peripheral visual field, we measured contrast sensitivities in the peripheral visual field during saccades and pursuits using Gabor patches for various spatial frequencies. To prevent the retinal image of the test stimulus from being deformed by saccades, the test stimulus was horizontally sheared on the CRT display so that the image had the proper shape on the retina. The results showed that contrast sensitivities in the peripheral visual field during saccades are reduced more than those during fixation within the range of low spatial frequencies. Contrast sensitivities in the peripheral visual field during pursuits were the same as those during fixation for all spatial frequencies. These results suggest that the effects of saccadic and pursuit eye movements on contrast sensitivities in the peripheral visual field are the same as those in the central visual field.

**Key words:** psychophysics, eye movements, peripheral vision, contrast sensitivity, spatial frequency

### 1. はじめに

われわれは、見たい物体を視野の中心でとらえるために眼球を動かす。これは、高密度に錐体細胞が存在し、視力や色覚にすぐれている網膜の中心窩で情報処理を行うためである。しかし、中心窩は直径視角 2 deg のきわめて小さい領域であるため、通常、われわれは中心視だけで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、周辺視における視覚特性を調べることは視覚系全体の働きを調べるうえで重要であり、過去に多くの研究がある<sup>1-6)</sup>。しかしながら、周辺視特性に関しては不明な点が多く残されている。特に、近年の大画面ディスプレイの普

及に伴い、大画面映像が観察者にどのような効果をもたらすのかが調査されている<sup>7)</sup>。大画面映像によって、観察者の重心変動や視覚的に誘導された自己運動感覚が生じ、この重心変動や自己運動感覚は臨場感と大きく関係していることが報告されている。しかし、重心変動や自己運動感覚以外に、大画面表示による周辺視野の映像によって酔いを感じることも報告されており、観察者に負荷をかけない大画面ディスプレイシステムをつくるためにも、映像観察時の周辺視特性を早急に明らかにする必要がある。

映画やテレビのような映像を観察するとき、われわれは、視対象の像を中心窩でとらえるために眼球の動かしか

\*E-mail: mkazu@atr.jp

を巧みに変える。周辺視野にある視対象を中心窩でとらえるときにはサッケードとよばれる眼球運動を行い、見たい視対象が動いているときには、その視対象の像を中心窩に固定するために追従眼球運動とよばれる眼球運動を行う。これら2つの眼球運動は、速度と動き方において著しく異なった特性をもつことが知られている<sup>8-10</sup>。サッケードは、高速に動き (~700 deg/s)、一度運動が開始されると途中で止めることができない弾道的な特性をもつ。一方、追従眼球運動は、比較的低速で動き (5~60 deg/s)、滑動的な特性をもつ。したがって、映像観察時には、このようにまったく特性が異なった2つの眼球運動がその目的に応じて使い分けられている。

映像観察時に、このような2つの眼球運動がその目的に応じて生じる場合、周辺視特性はどのような影響を受けるのであろうか。サッケード中には、サッケード抑制とよばれる感度低下が起こることが報告されている<sup>11-15</sup>。サッケード抑制が網膜部位ごとで異なるかどうかという報告はまだないが、サッケードにより全視野の網膜像が動いてしまうため、周辺視においてもサッケード抑制が起こっていることが予想される。一方、追従眼球運動中には、中心窩に固定された追視対象を除き、周辺視野の背景の動きを知覚することができることが報告されている<sup>16,17</sup>。また、サルの前頭連合野で追従眼球運動時に活動する細胞が発見されており、この細胞は背景の動きにも応答していることが報告されている<sup>18</sup>。そのため、追従眼球運動中の周辺視においては、サッケード抑制のような眼球運動に伴う特性の変化はないと思われる。したがって、サッケードと追従眼球運動では、眼球運動中の周辺視特性が異なっていることが予想される。映像観察時には、この2つの眼球運動が目的に応じて使い分けられるため、眼球の動かし方を変えるごとに周辺視特性は動的に変化することが考えられる。

サッケード中と追従眼球運動中の感度に関する過去の研究では、刺激を中心視野に呈示していた。サッケード時には、固視時と比べて低空間周波数をもつ正弦波状に輝度を変調した刺激に対して感度低下が大きくなることが報告されている<sup>12,14</sup>。また、サッケード時には運動知覚に対しても感度低下が起こる<sup>13</sup>ことや、サッケード中の感度低下には波長依存性がある<sup>15</sup>ことも報告されている。一方、追従眼球運動時には、中心視野で固視時と同じコントラスト感度が得られることが報告されている<sup>19</sup>。比較的速い追従眼球運動を伴うと固視時よりもコントラスト感度は低下するが、これは、追従眼球運動の速度が追視対象の移動速度よりも遅くなることで追視対象の網膜像が動いてしまうことによる。比較的速い追従眼球運動時に生じる追視対象

の網膜像の動きを付加して測定された固視時のコントラスト感度は、比較的速い追従眼球運動時のコントラスト感度と一致する。したがって、追従眼球運動時には、サッケード時と違い、感度低下はないことが示唆されている。

このように、中心視野では、サッケード時には抑制が働き感度低下が起こり、追従眼球運動時には抑制が働かないため感度低下が起こらないことが報告されているが、周辺視野でも同様のことが成り立つであろうか。サッケード中と追従眼球運動中の感度に関する研究において、網膜周辺部に単独で刺激を呈示した実験は行われていない。特に、サッケードはきわめて高速な眼球運動であるため、サッケード中に網膜部位を固定したまま刺激を呈示することは困難であり、これがサッケード中の網膜周辺部の視覚特性の測定を妨げていたと思われる。そこで本研究では、このような問題を解決するために、網膜部位固定呈示法を開発し、サッケード時、追従眼球運動時、および固視時の周辺視野における輝度コントラスト感度関数を測定した。

## 2. 実験方法

### 2.1 装置

実験装置は、コンピューター (Apple Power Macintosh 7100/66AV)、眼球運動測定器、A-D変換ボード (MacADIOS II)、CRTディスプレイ (SONY GDM-2000 TC) で構成された。眼球運動の検出方法はリンバストラッキングによる方法を採用した<sup>20</sup>。被験者の左目の下付近に眼球運動測定デバイスを置き、左目の水平眼球位置を測定した。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0.1 degであった。眼球位置信号はCRTディスプレイの垂直同期信号に合わせて16.75 msごとにサンプリングされ、その信号はA-D変換ボードを介してコンピューターに入力された。したがって、眼球位置信号のサンプリング周期は垂直同期信号と等しく59.7 Hzであった。このようにして、コンピューターに入力された眼球位置の差分をとることで眼球速度が計算された。また、被験者からCRTディスプレイまでの視距離は25 cmであり、被験者の頭部は歯型台とヘッドレストにより固定された。被験者の応答は、トラックボールつきテンキーボードを介してコンピューターに取り入れられた。被験者は右目に眼帯をあて、左目単眼で視覚刺激を観察した。

### 2.2 刺激

周辺視コントラスト感度を測定するためにガボールパッチが用いられた (Fig. 1(a))。ガボールパッチを横縞にすることで、眼球運動による網膜像のぶれの影響をなくした。ガボールパッチの輝度  $L(x, y)$  は以下の式に従った。

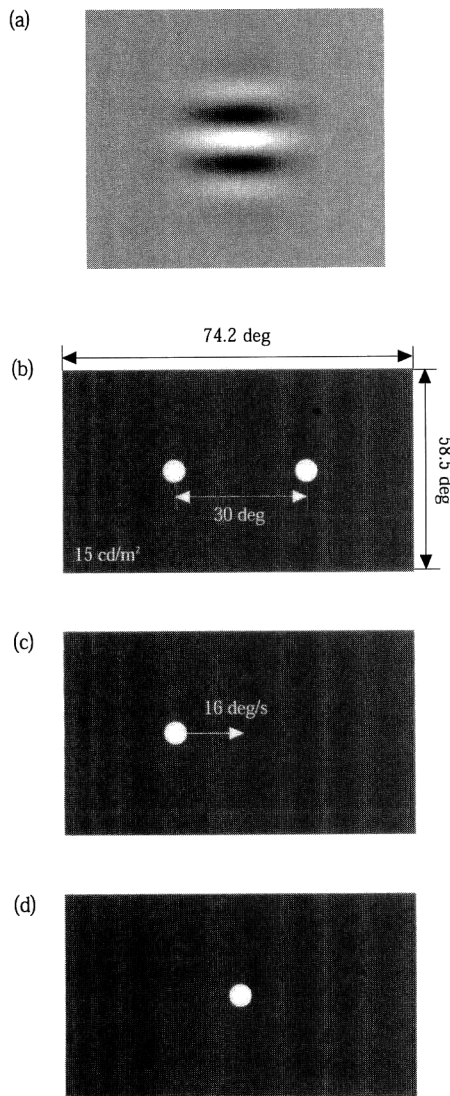


Fig. 1 Visual stimuli. (a) Gabor patch used in a detection task. (b) The fixation point and the saccade goal presented on the background in the saccade condition. (c) The moving target presented on the background in the pursuit condition. (d) The fixation point presented on the background in the fixation condition.

$$L(x, y) = L_0 + \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) \cos(2\pi\omega y)$$

ここで、 $L_0$  は  $15.0 \text{ cd/m}^2$  の平均輝度、 $\sigma$  は  $3.38 \text{ deg}$  の空間定数、 $\omega$  は空間周波数を示す。ガボールパッチの空間周波数  $\omega$  は  $0.09, 0.23, 0.62, 1.25, 3.74 \text{ cpd}$  のいずれかであった。サッケード条件、追従眼球運動条件、固視条件のすべての条件において、ガボールパッチは画面の一部分（視角  $13.5 \times 13.5 \text{ deg}$  の範囲）に描画されたため、1フレームで走査線の垂直復帰の時間（ $1.5 \text{ ms}$ ）も考慮すると、ガボールパッチの描きははじめから描きおわりまでに  $3.2 \text{ ms}$  を要した。ガボールパッチはCRTのgreen phosphor (P22) だけを使って構成された。ここでgreen phosphor

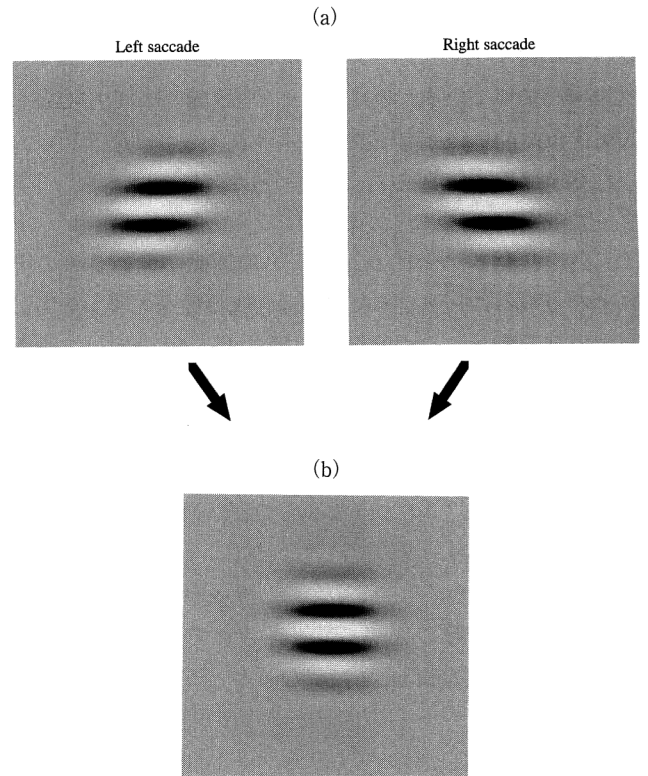


Fig. 2 (a) Gabor patches distorted on the CRT display in the conditions with left and right saccades and (b) the retinal image of distorted Gabor patches during saccades. To prevent the retinal images of the Gabor patches from being deformed by saccades, the Gabor patches were horizontally sheared on the CRT display. As a result, the images had the proper shape on the retina.

phor だけを用いた理由は、red と blue に比べて10% 残光時間が短く、かつ輝度が高いためである。

背景刺激は大きさが視角  $58.5 \times 74.2 \text{ deg}$ 、輝度が  $15.0 \text{ cd/m}^2$  であった。サッケード条件では、サッケードの始点と終点を示すために2つの視標（直径  $0.5 \text{ deg}$ 、 $30.0 \text{ cd/m}^2$ ）が呈示され、視標間の距離は  $30.0 \text{ deg}$  であった (Fig. 1(b))。これらの視標は試行の開始ごとに呈示され、サッケード直前に消された。追従眼球運動条件では、追視ターゲットとして1つの視標（直径  $0.5 \text{ deg}$ 、 $30.0 \text{ cd/m}^2$ ）が呈示され、その追視ターゲットが画面上を水平方向に  $16.0 \text{ deg/s}$  で  $30 \text{ deg}$  の距離を移動した (Fig. 1(c))。被験者は、この追視ターゲットを追従眼球運動により追跡した。固視条件では、画面の中央に固視点（直径  $0.5 \text{ deg}$ 、 $30.0 \text{ cd/m}^2$ ）が呈示された (Fig. 1(d))。

### 2.3 網膜部位固定呈示法

ある網膜部位において、サッケード中に1フレーム（ $16.75 \text{ ms}$ ）でCRT上にガボールパッチを呈示すると、サッケードはきわめて速い眼球運動であるため、走査線ごとに投影されるガボールパッチの網膜位置が変化し、その

ガボールパッチの網膜像は歪んだ形状になってしまう。そこで、サッケード中に呈示されるガボールパッチの網膜上での呈示位置を固定したままガボールパッチの形状が網膜上で歪まないようにするために、眼球位置を考慮して走査線ごとにガボールパッチの形状を画面上で歪めた (Fig. 2)。

眼球速度が 30 deg/s を超えた時刻 (この時刻をサッケードの開始時刻と定義した) から 1 フレーム後に、ガボールパッチの描画を開始した。ただし、本実験では眼球位置信号のサンプリング周期が 59.7 Hz であったため、サッケードの開始時刻は 16.75 ms の範囲内で確率的なゆらぎがあった。ガボールパッチを指定した網膜偏位角に呈示するために、描画開始時にリアルタイムで計測された眼球位置に基づいて画面上でのガボールパッチの呈示位置を決定し、ガボールパッチ描画直前のフレームにおける走査線が 480 本目を走査し終わった直後から垂直復帰の間に (約 1.5 ms)、予測された視線移動距離に基づいて前もってイメージバッファに描画された歪んだガボールパッチが呈示される領域 (100×100 pixel の範囲) だけビデオメモリを書き換えるようにした。

歪んだガボールパッチを描画する際には、走査線 1 本ごとに視線がどこにあるのかをあらかじめ知っておく必要がある。サッケードにより 1 フレームあたりに視線がどれくらい移動するかが予測できれば、等速に視線が移動していると仮定することで、走査線 1 本ごとに視線がどこにあるのかを計算することができる。それゆえ、ある試行から直前の過去 4 回分の試行における実際の視線の移動距離を平均することで、1 試行ごとにサッケードによる 1 フレームあたりの視線移動距離を予測した。このように予測された視線移動距離を用いて走査線 1 本ごとに視線の位置を計算し、その計算された視線の位置から網膜偏位角が一定になるように歪んだガボールパッチを描画した。これが、サッケード中でも、指定した網膜部位に網膜上では歪んでいないガボールパッチを呈示することを可能にした。

CRT ディスプレイの画面の高さが画素数 480 pixel でガボールパッチの高さが画素数 100 pixel であるから、1 フレームにおけるガボールパッチの描きははじめから描きおわりまでの時間は、垂直復帰の時間 (1.5 ms) も考慮すると 3.2 ms となる。そして、被験者は 30 deg の水平サッケードを 70 ms くらいの時間で行っていたので、ガボールパッチの描きははじめから描きおわりまでの間に眼球は 1.37 deg くらい動いており、1 フレーム (16.75 ms) の間に眼球は 7.2 deg くらい動いた。

また、本実験で用いた CRT ディスプレイの green

phosphor (P22) の 10% 残光時間は 40  $\mu$ s である。CRT ディスプレイの解像度が 640×480 であるため、1 フレーム (16.75 ms) の間に 480 本の走査線が描かれ垂直復帰 (vertical retrace) が生じる。この走査線 1 本が呈示される時間が約 32  $\mu$ s であるから、走査線 1 本あたりの呈示時間と 10% 残光時間はほぼ等しい。それゆえ、画面中には常に 1 本の走査線だけが存在するとみなすことができ、サッケードにより像が流れる効果を小さくすることができる。したがって、本実験では、green phosphor による 1 本の走査線が上から下まで順次移動していくことで 1 フレームの描写が終わり、1 フレームの間に網膜上で走査線が 1 本ずつ順番に投影されることになる。ある 1 本の走査線が網膜上に投影されたとき、その 1 つ前の走査線は画面上では消えているが、網膜上では見えの持続 (visual persistence) として残る。

実際、サッケード条件の実験中に、被験者が歪んだガボールパッチを知覚することはなかった。また、1 試行において、1 フレームあたりの予測された視線移動量と実際の 1 フレームあたりの視線移動量の差が  $\pm 3.0$  deg を超えたものを異常値とみなし、その試行を失敗とした。このように異常値とみなさない範囲を比較的広めにとった理由は、この範囲よりも狭くすると試行の失敗が頻繁に起こるような印象を被験者に与えてしまい、実験に対するモチベーションの低下が起こったためである。

視線移動量の予測値と実測値の差の許容範囲を  $\pm 3.0$  deg にしたことによって、網膜上でのガボールパッチの呈示位置と形状に対して次のような比較的小さな確率的なゆらぎが起こった。ガボールパッチの中心位置は画面の高さに対して中央であったので、ガボールパッチの中心位置は、描画が画面の左上から始まって 0.5 フレームの時点で呈示された。したがって、1 フレームあたりの視線移動量の予測値と実測値の差が  $\pm 3.0$  deg の範囲内でゆらぐとき、ガボールパッチの中心が呈示されたときの網膜上の位置は呈示しようとした網膜位置よりも  $\pm 1.5$  deg の範囲で確率的にゆらぎ、それと同時に、100×100 pixel のガボールパッチの上の中心位置と下の中心位置の網膜上での水平方向のずれも  $\pm 1.3$  deg の範囲で確率的にゆらいでいた。

## 2.4 手続き

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、条件ごとに以下のような順序で実験を行った。すべての条件において、継時的二者強制選択法が用いられた。

### 2.4.1 サッケード条件

第 1 呈示では、画面上に 2 つの視標 (サッケード用の始点と終点) が呈示された。被験者は、左方向のサッケード

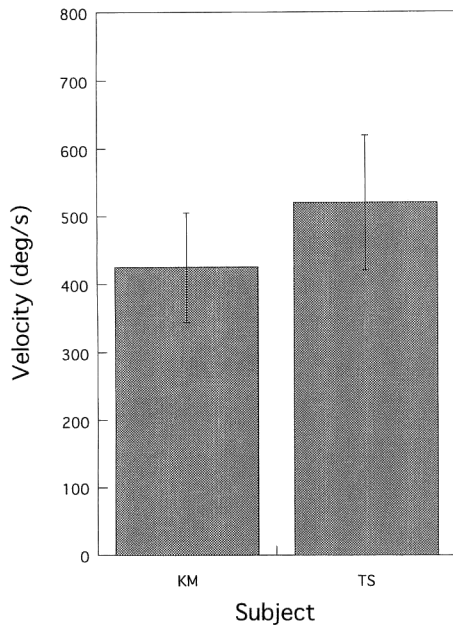


Fig. 3 Mean saccadic velocity.

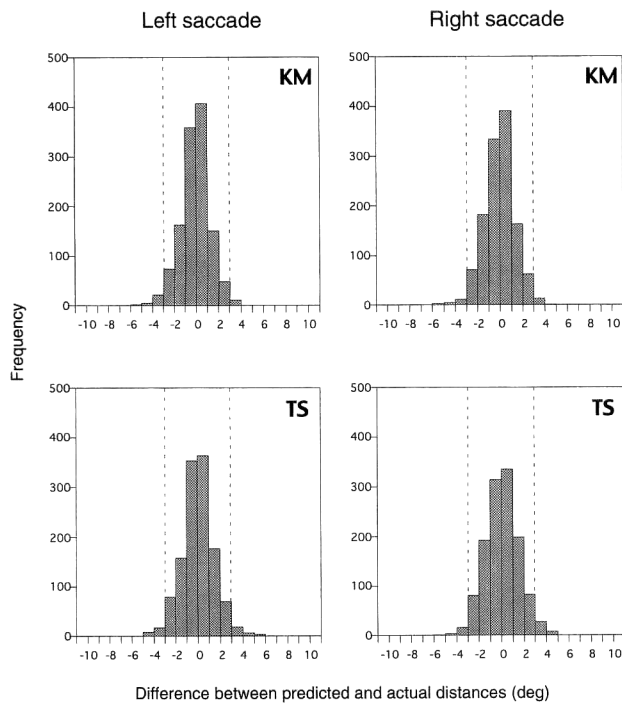


Fig. 4 Frequency of difference between predicted and actual moving-distances of the eye per frame during saccades.

の場合は右側の視標を固視し、右方向のサッケードの場合は左側の視標を固視した。被験者が手もとのボタンをクリックすると 700 ms 後に 2 つの視標が消え、被験者はサッケード用の終点が呈示されていた場所に向けてサッケードを行った。眼球速度が 30 deg/s を超えた時点で、ある網

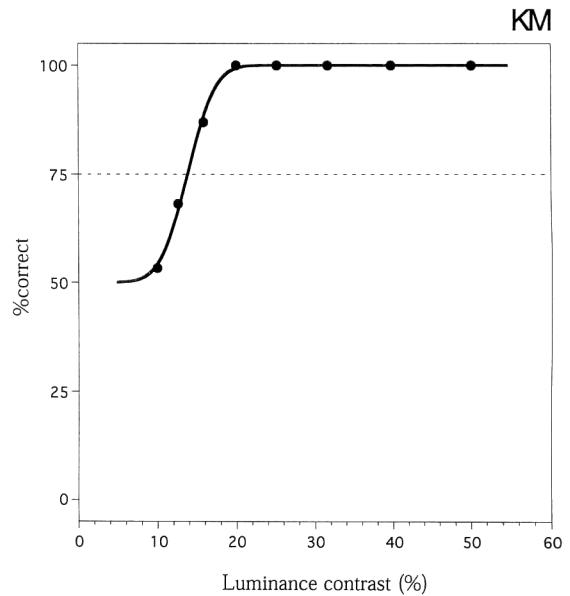


Fig. 5 Percent correct detection of Gabor patch as a function of luminance contrast. Left saccade, 20 deg of retinal eccentricity in the right side of the visual field, subject KM. The fitting curve was produced by probit analysis<sup>21)</sup>. Contrast threshold was defined as the contrast at which the fitting curve indicated 75% of percent correct.

膜偏位角の位置にガボールパッチ刺激が 3.2 ms 間、網膜部位固定呈示法により呈示された。500 ms 後、再び 2 つの視標が呈示された。第 2 呈示では、第 1 呈示と同じ手続きを繰り返した。ただし、ガボールパッチ刺激は第 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 呈示で呈示された。被験者は、第 1 と第 2 呈示のどちらでガボールパッチが呈示されていたかを答えた。

以上の試行を左方向と右方向のサッケードで交互に行っていき、計 200 試行繰り返した。200 試行を 1 セットとし、1 つの網膜偏位角に対して 4 セット行った。網膜偏位角は鼻側網膜に 10 deg, 20 deg と、耳側網膜に 10 deg, 20 deg の計 4 つであった。1 セット中、網膜偏位角は固定であるが、ガボールパッチの空間周波数は試行ごとにランダムに変えた。また、ガボールパッチのコントラストは以下のように変化させた。直前の 1 試行で被験者がガボールパッチを検出すれば、その試行で用いられたコントラストから 0.1 log ユニット減少したコントラストが次の試行で用いられ、直前の 1 試行で被験者がガボールパッチを検出できなければ、その試行で用いられたコントラストから 0.1 log ユニット増加したコントラストが次の試行で用いられた。

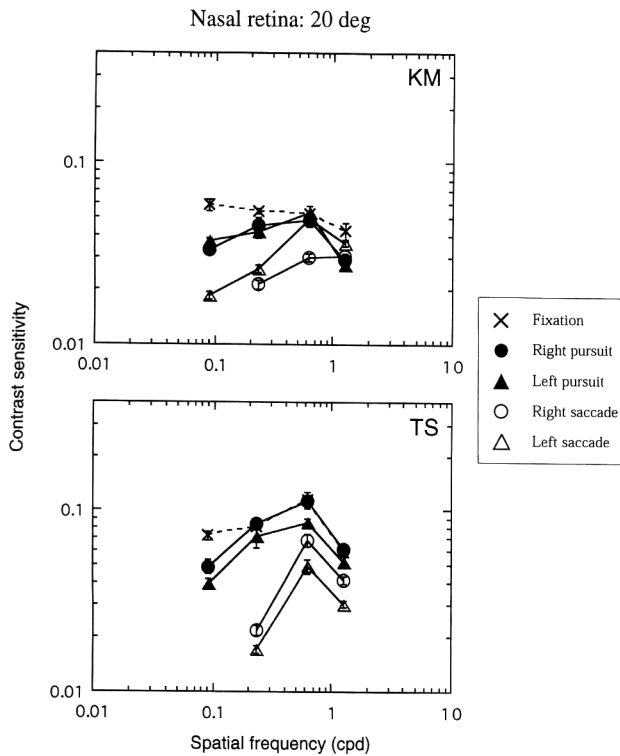


Fig. 6 Contrast sensitivity as a function of spatial frequency on 20 deg of nasal retinal eccentricity. The open, solid, and cross symbols represent the saccade, pursuit, and fixation conditions, respectively. The circle and triangle symbols represent the right and left in the direction of eye movements, respectively.

#### 2.4.2 追従眼球運動条件

第1呈示では、画面上の右側あるいは左側に1つの視標が呈示された。被験者が手もとのボタンをクリックすると、700 ms後に視標が水平方向に16.0 deg/sの速度で動き出し、被験者はその視標を追従眼球運動で追跡した。視標が画面中央に来たとき、ある網膜偏位角の位置にガボールパッチ刺激が描画され、その描画にはサッケード条件と同じく3.2 msを要した。その後、視標は始点から水平方向に30 deg離れた終着点に向かって移動した。追従眼球運動の速度は追視対象の速度16.0 deg/sと同じであるため、ガボールパッチ刺激の描画中に、眼球は3.2 ms間で約0.06 deg移動する。しかし、これは比較的小きな移動量なので、追従眼球運動条件では網膜部位固定呈示法を用いなかった。第2呈示では、第1呈示と同じ手続きを繰り返した。ただし、ガボールパッチ刺激は第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呈示で呈示された。他の手続きはサッケード条件と同様であった。

#### 2.4.3 固視条件

画面中央に固視点が呈示され、試行中、被験者は固視点

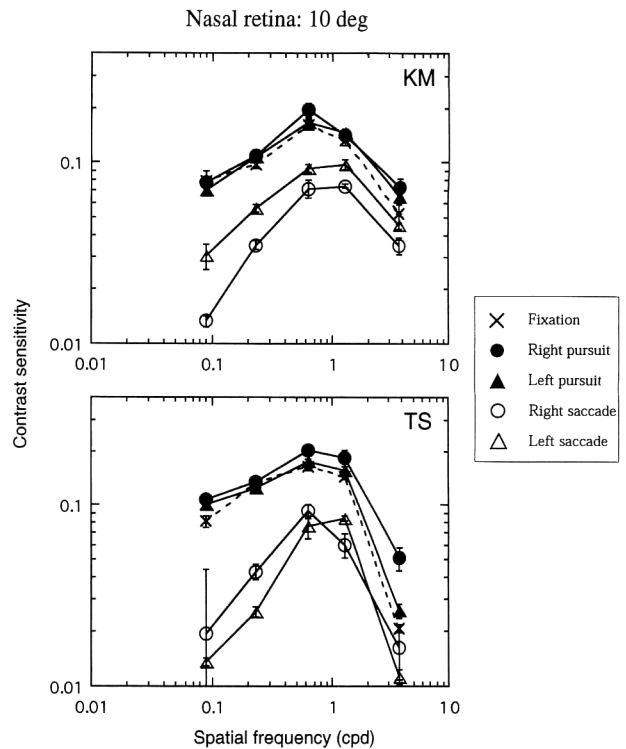


Fig. 7 Contrast sensitivity as a function of spatial frequency on 10 deg of nasal retinal eccentricity. The symbols are the same as Fig. 6.

を固視し続けた。他の手続きはサッケード条件と同様であった。

#### 2.5 被験者

被験者は、KM (男27歳)、TS (男24歳)の2名であった。ともに視力は矯正されていた。

### 3. 実験結果と考察

サッケード条件における全試行中の刺激呈示時のサッケードの平均速度は、被験者KMが425 deg/s、被験者TSが521 deg/sであった (Fig. 3)。Fig. 4は、サッケード条件における全試行中の1フレームあたりの視線移動量の予測値と実測値の差に対する度数分布を示している。Fig. 4より、視線移動量の予測値と実測値の差はほとんど±3.0 degの範囲内にあり、特に±1.0 degの範囲に多く集中していた。

Fig. 5に、左方向へサッケードしているときの、耳側網膜20 degの網膜偏位角に呈示されたガボールパッチ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<sup>21)</sup>。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

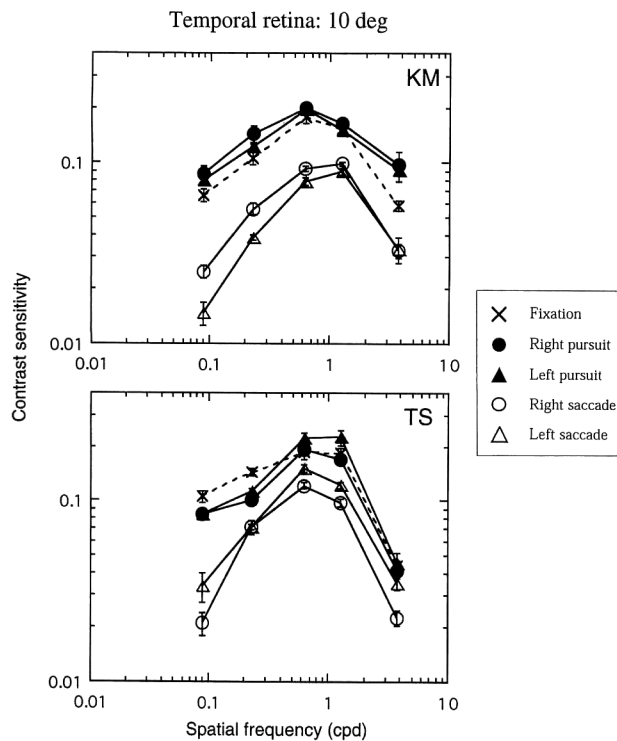


Fig. 8 Contrast sensitivity as a function of spatial frequency on 10 deg of temporal retinal eccentricity. The symbols are the same as Fig. 6.

ストを閾値とし、この閾値の逆数を計算することでコントラスト感度を求めた。

Fig. 6 に鼻側網膜 20 deg の網膜偏位角, Fig. 7 に鼻側網膜 10 deg の網膜偏位角, Fig. 8 に耳側網膜 10 deg の網膜偏位角, Fig. 9 に耳側網膜 20 deg の網膜偏位角のときの輝度コントラスト感度関数の結果を示す。グラフの横軸は空間周波数を、縦軸は輝度コントラスト感度を表しており、白シンボルはサッケード条件、黒シンボルは追従眼球運動条件、×シンボルは固視条件の結果である。さらに、シンボルの形状の違いは眼球運動の方向の違いを示しており、丸が右方向、三角が左方向の結果を示している。また、グラフ中のエラーバーは、プロビット解析により推定された累積分布関数の中心位置の標準誤差を示している。

サッケード条件 (○, △) と固視条件 (×) を比較すると、すべての網膜偏位角において、固視条件よりも左右両方向のサッケード条件でコントラスト感度がすべての空間周波数を通して低下する傾向にあり、特に低空間周波数領域で大きな感度低下がみられる。これより、周辺視野においても、動きに感度をもつメカニズムが選択的に抑制されることが示唆される。したがって、サッケードによる周辺視野での網膜像の動きが視野の安定性を損なうため、サッケード中の動き知覚に関与する周辺視情報は選択的に抑制されると考えられる。また、サッケード方向の違いによる

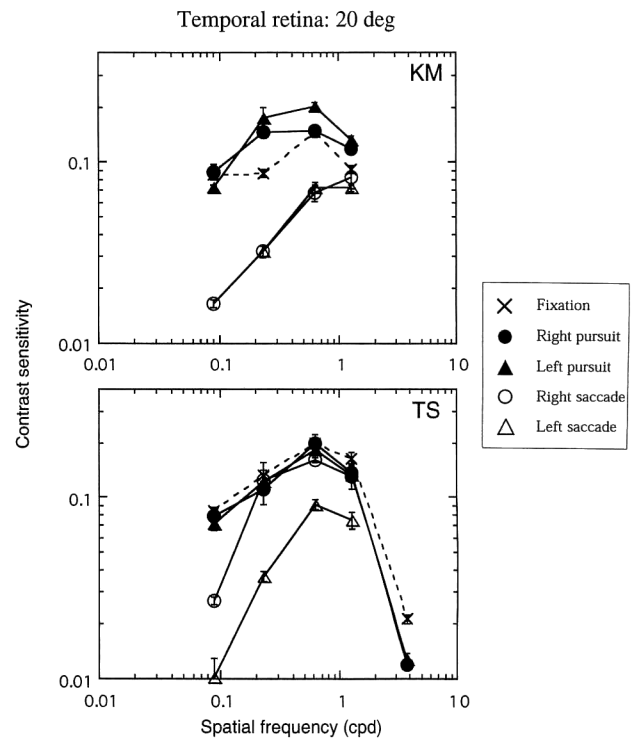


Fig. 9 Contrast sensitivity as a function of spatial frequency on 20 deg of temporal retinal eccentricity. The symbols are the same as Fig. 6.

コントラスト感度の違いが見受けられるが、被験者間でも1人の被験者の中でも系統的な違いはみられないので、この違いは網膜部位固定呈示法を用いたときの走査線の移動方向によるアーティファクトではないと考えられる。

追従眼球運動条件 (●, ▲) と固視条件 (×) を比較すると、すべての網膜偏位角において、左右両方向の追従眼球運動条件と固視条件でコントラスト感度が一致する傾向にあることがわかる。この傾向は、中心視野で得られている過去の結果と一致する<sup>19)</sup>。さらに、追従眼球運動時に背景が眼球運動と反対方向に動いて見える (Filehne 錯視) ことが報告されており、これは視覚系が追従眼球運動に伴う見かけ上の外界の動きを抑制するメカニズムをもち合わせていないことを示唆している。したがって、中心視野だけでなく周辺視野においても、追従眼球運動時にはサッケード抑制のような動きに感度をもつメカニズムを選択的に抑制する効果は生じないことを示している。

すべての条件において、鼻側網膜にガポールパッチが呈示されたとき、刺激の一部が盲点にかかっていた可能性があるが、サッケード条件と固視条件、もしくは追従眼球運動条件と固視条件を比較すると盲点の影響は相殺されるため、眼球運動が周辺視コントラスト感度に与える影響という点では盲点の影響は除去される。

#### 4. ま と め

本実験では、サッケードと追従眼球運動に関して、眼球運動中の周辺視野における輝度コントラスト感度を測定した。サッケードは急速な眼球運動のため、たとえ刺激が16.75 msの短時間呈示であっても形状が歪んでしまうが、本実験では、新しい実験手法である網膜部位固定呈示法を開発することでこの問題を回避した。

サッケード中には輝度応答や低空間周波数成分に対する選択的な抑制が働くことが報告されており、この抑制は運動知覚を抑制することにより視野の安定に寄与しているという仮説が提案されている<sup>14,15)</sup>。しかし、追従眼球運動時にはこのような抑制は働かない<sup>19)</sup>。追従眼球運動時に背景が動いて見える (Filehne 錯視) という現象は、視覚系が追従眼球運動に伴う見かけ上の外界の動きを抑制するメカニズムをもち合わせていないために運動知覚が生じることを示唆しており、サッケード抑制がサッケード時の視野安定に寄与しているという仮説を支持する別の証拠とみなすことができる。サッケード時の視野安定や、Filehne 錯視にみられる背景の動きの知覚においては、周辺視の働きが重要となるが、サッケード時や追従眼球運動時の視感度を周辺視野に局限して調べた研究は今まで行われてこなかった。今回、この研究で周辺視野におけるサッケード時と追従眼球運動時の視感度を調べたところ、中心視と同様に周辺視においても、サッケード時には低空間周波数成分に選択的な抑制が働くが、追従眼球運動時にはこのような抑制は働かないことが確認された。これより、サッケード抑制は運動知覚を抑制することで視野の安定に寄与しているという仮説が、周辺視野においても当てはまることが示された。

#### 文 献

- 1) V. Virsu and J. Rovamo: "Visual resolution, contrast sensitivity, and the cortical magnification factor," *Exp. Brain Res.*, **37** (1979) 475-494.
- 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** (1983) 1-11.
- 3) 渡部 勲, 坂田晴夫, 長谷川敬, 吉田辰夫, 畑田豊彦: 視覚の科学 (写真工業出版社, 1975) pp. 31-42.

- 4) S. Saida and M. Ikeda: "Useful visual field size for pattern perception," *Percept. Psychophys.*, **25** (1979) 119-125.
- 5) M. Ikeda, K. Uchikawa and S. Saida: "Static and dynamic functional visual fields," *Opt. Acta*, **26** (1979) 1103-1113.
- 6) S. Shioiri and M. Ikeda: "Useful resolution for picture perception as a function of eccentricity," *Perception*, **18** (1989) 347-361.
- 7) 畑田豊彦: "小特集 大画面ディスプレイ: 1 総説—高臨場感を生み出す大画面ディスプレイ効果—", *映像情報メディア学会誌*, **56** (2002) 1213-1215.
- 8) 川人光男, 佐々木正人, 三嶋博之, 丹治 順, 酒田英夫, 村田 哲, 藤田昌彦: 岩波講座 認知科学 4 運動 (岩波書店, 1994) pp. 125-159.
- 9) 本田仁視: 眼球運動と空間定位 (風間書房, 1994) pp. 1-35.
- 10) 古賀一男: 眼球運動実験ミニハンドブック ((財)労働科学研究所出版部, 1998) pp. 9-24.
- 11) F. C. Volkman, A. M. Schick and L. A. Riggs: "Time course of visual inhibition during voluntary saccades," *J. Opt. Soc. Am.*, **58** (1968) 562-569.
- 12) F. C. Volkman, L. A. Riggs, K. D. White and R. K. Moore: "Contrast sensitivity during saccadic eye movements," *Vision Res.*, **18** (1978) 1193-1199.
- 13) S. Shioiri and P. Cavanagh: "Saccadic suppression of low-level motion," *Vision Res.*, **29** (1989) 915-928.
- 14) D. C. Burr, M. C. Morrone and J. Ross: "Selective suppression of the magnocellular visual pathway during saccadic eye movements," *Nature*, **371** (1994) 511-513.
- 15) K. Uchikawa and M. Sato: "Saccadic suppression to achromatic and chromatic responses measured by increment-threshold spectral sensitivity," *J. Opt. Soc. Am. A*, **12** (1995) 661-666.
- 16) A. Mack and E. Hermann: "Position constancy during eye movements: An investigation of the Filehne illusion," *Q. J. Exp. Psychol.*, **25** (1973) 71-85.
- 17) A. Mack and E. Hermann: "The loss of position constancy during pursuit eye movements," *Vision Res.*, **18** (1978) 55-62.
- 18) H. Komatsu and H. Wurtz: "Relation of cortical areas MT and MST to pursuit eye movements. III. Interaction with full-field visual stimulation," *J. Neurophysiol.*, **60** (1988) 621-644.
- 19) B. J. Murphy: "Pattern thresholds for moving and stationary gratings during smooth eye movement," *Vision Res.*, **18** (1978) 521-530.
- 20) 井上哲理: "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** (1991) 77-80.
- 21) D. J. Finney: *Probit Analysis*, 3rd ed. (Cambridge Univ. Press, London, 1971).