

サッカー下時の刺激変位知覚における刺激サイズの影響

水科晴樹・内川恵二・横井健司

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

〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259

(受付：2002年11月25日；改訂稿受付：2003年1月18日；受理：2003年2月4日)

Effects of Stimulus Size on Detection of Stimulus Displacement Across Saccade

Haruki MIZUSHINA, Keiji UCHIKAWA and Kenji YOKOI

Department of Information Processing, Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8502

(Received 25 November 2002; Received in revised form 18 January 2003; Accepted 4 February 2003)

It is known that the detection threshold of stimulus displacement is higher across saccade than when the eye fixates. In the previous studies only a small-sized stimulus was used. The stimulus size may influence the detection threshold since the peripheral visual field may play an important role for visual field stability. Using Mondrian pattern stimuli of various sizes, we measured the detection thresholds of stimulus displacement across saccade. The stimuli subtended 18 deg, 36 deg, 72 deg and 180 deg (a whole visual field). The subject made horizontal right-direction saccades. The stimulus was displaced horizontally during saccade. It was shown that when the stimulus size was large the detection threshold increased, but only for the left-direction. These results imply that the visual system interprets retinal displacement of a large stimulus as saccadic displacement.

1. はじめに

サッカー(跳躍眼球運動)は日常生活において頻繁に行われる眼球運動である。我々はサッカーすることにより、解像度の高い中心窩で対象物体の詳細をとらえ、視野のあらゆる場所から能動的に情報を収集している。サッカーをすると、網膜像が高速に大きく変化する。固視した状態でサッカーを模した網膜像の変化を与えたら、おそらく周囲の風景が高速に跳び回るように知覚されるであろう。ところが我々は跳び回る世界を知覚することはない。それはサッカーに同期して脳内で視覚像を安定して知覚する何らかの情報処理が行われているからである。

サッカーを行うと、対象物が静止している

か動いているかにかかわらず、その網膜像はサッカーした分だけ変化する。この網膜像の変位が刺激の物理的変位として知覚されないのは、視覚系がその網膜像の変位を眼球運動によって生じた変位と物理的な変位とに分離できるからと考えられる。しかし、サッカーに同期して刺激を物理的に変位させてしまうと、刺激の物理的変位量が小さいうちは刺激の変位は知覚されない¹⁻⁵⁾。Bridgeman et al. (1975)¹⁾は、サッカー中の変位はサッカーの大きさの1/3以上でないと知覚されないとしている。また石田・池田(1990, 1993)^{2,3)}は、刺激が水平方向に変位する場合には1 deg以上、サッカーに追従して刺激が変位する条件ではサッカーの大きさの20%以上の変位でなければ知覚されないと報告している。これは網膜像変位を「眼球運

動による成分」と「刺激の変位による成分」に分離するメカニズムがサッカド時の網膜像変位を「眼球運動による成分」として見なしてしまう傾向があるからである。

サッカド時の網膜像変位を眼球運動成分と刺激の変位成分とに分離する視覚系の機能は、視野を安定して知覚するメカニズムと関係が深いと考えられる。しかし、この分離機能についてはまだ研究が十分に行われていない。特にこれまでの研究では刺激サイズが限定されていた。刺激サイズを全視野まで広げてこの分離機能を調べることは、より日常的な環境に近い条件での特性を知るうえで大きな意義がある。

眼球運動時に限らず、刺激の網膜上の変位が「自己の動き」と「刺激の動き」に分離されて解釈される現象に視覚誘導自己運動感覚（ベクション）がある。Howard and Heckmann (1989)⁶⁾は視野周辺部に運動刺激を呈示すると、ベクションの生起が促進されると報告している。これは、視野周辺部の運動刺激は自己の運動として解釈されやすいことを示している。また清水・三橋 (1997)⁷⁾は画像を往復回転運動させた場合の被験者の重心動揺における呈示画角の影響を調べ、画角が大きくなるほど刺激の運動に誘導された重心動揺が生じやすくなると報告している。これは、画角が大きくなると自分が動いているとの解釈が強まり、元の姿勢を維持しようとした結果として重心動揺が引き起こされたと考えられる。これらの研究は、「自己の運動」と「刺激の運動」の分離過程における、周辺視野や刺激サイズの重要性を示している。

本研究では、刺激サイズを小視野から全視野にまで広げ、サッカド時の変位知覚特性を調べることにより、網膜像変位の分離メカニズムの特性を明らかにすることを目的とした。サッカド時の変位知覚の判断基準として、実験1では二者強制選択法による変位検出を用い、実験2では変位方向の弁別を用いた。

2. 実験1：サッカド時の変位検出閾値の測定

2.1 装置

図1に実験装置の概略図を示す。被験者は暗幕に覆われたブース内で、半円筒形のスクリーンに呈示された刺激を観察する。視距離は60 cmである。実験の制御は全てコンピュータ (Power Macintosh 8500/150) によって行う。

視野全体を覆う刺激を呈示するために、液晶プロジェクタ (SONY VPL-X1000J) に魚眼レンズ (SIGMA 8 mm F4 FISHEYE) を組み合わせ、これを半径約60 cm、高さ2 mの半円筒形スクリーンに投影する。これにより左右方向にはほぼ180 deg、上下方向には約120 degの大視野刺激を呈示することが可能である。スクリーンに投影された画像の解像度は、魚眼レンズと半円筒形スクリーンによって画像が歪むために一様ではない。スクリーン中央部において0.2 deg/pixelで最も解像度が高く、周辺部では0.5~1 deg/pixelである。

リンバストラッカー法を用いた眼球運動測定装置により、被験者の右眼の眼球運動の水平方向成分を測定する。この水平成分の信号は眼

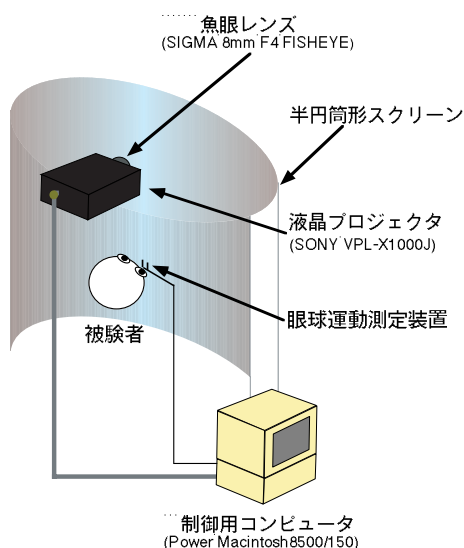


図1 実験装置の概略図。半円筒形のスクリーンと魚眼レンズを用いてほぼ全視野の刺激呈示を可能にしている。

球運動と同期させて刺激を変位させるために用いられる。眼球運動検出器の空間的精度は約0.2 degである。被験者は歯型を嚙んで頭部を固定する。眼球位置に対応した電気信号は、A/Dコンバータ (NATIONAL INSTRUMENTS PCI-1200) を介してコンピュータに取り込まれる。量子化の精度は12 bit, 標準化周波数は75 Hz (13.3 ms毎)である。13.3 ms前のデータとの差分により眼球運動の速度が計算される。ここでは眼球運動の速度が50 deg/sを超えるとサッカード開始と判断した。液晶プロジェクタのフレームレートは75 Hzであり、応答遅延を含めると、サッカード開始から刺激の切り替えの終了までの遅れ時間は最大40 msである。この遅れ時間で、被験者が刺激変位によって生じる仮現運動を知覚することはほとんどなかった。また、眼球運動測定装置の出力の線形性を保証するため、実験中は試行ごとに較正を行う。

2.2 刺激

刺激として、図2に示すような一辺が18 deg, 36 deg, 72 degの正方形および全視野の多色モンドリアン刺激を用いた。全視野以外の刺激サイズでは、モンドリアン刺激の外側は灰色視野である。モンドリアン刺激の各パッチの位置、色度、輝度は試行ごとに全てランダムであり、各パッチの大きさは縦横ともに9 deg ~ 15 degの範囲でランダムに設定される。灰色をスクリーン全体に呈示したときの輝度は位置によってばらつきがあり、スクリーン中央部では約11 cd/m², 周辺部では3~9 cd/m², 視野全体の平均で約5.7 cd/m²であった。しかし、この輝度分布は滑らかであるため、刺激の観察の際にはほとんど気になることはなく、輝度分布が位置手がかりになるようなことはなかった。モンドリアン刺激の輝度は平均で2.3 cd/m²である。

サッカード時の刺激の変位は、コンピュータのバッファ内に用意された画像を、サッカードの検出と同時に最初の画像と切り替えることで実現する。2枚目の画像は最初の画像に対してモンドリアン刺激が左右方向に変位したものとなっている。モンドリアンの各パッチどうしの

相対位置は変化しない。全視野以外では、モンドリアン刺激と周辺灰色視野との間に境界が存在するが、境界もモンドリアン刺激と同じ方向に同じ量だけ変位する。これは、境界と内部のモンドリアン刺激との間に相対的な位置の変化があると、それが刺激変位の大きな手がかりとなってしまう⁵⁾、純粋な刺激サイズの影響が測定できないと考えたためである。刺激の変位量は、閾値近辺を求める予備実験によって被験者ごとに設定される。

2.3 手続き

刺激呈示の流れを図3に示す。固視点は2 deg × 2 degの白い正方形の中央に直径1.2 degの黒い円を配置したもので、スクリーン中央から左8 degの位置に呈示される。被験者は固視点を固視したら、キーボードのボタンを押して準備完了であることを知らせる。その後500~1000 msのランダムな間隔の後に、スクリーン中央から右8 degの位置にサッカードのターゲットが呈示される。ターゲットの形状は固視点と同じである。

被験者はターゲットが呈示されたら直ちにターゲットに向かってサッカードを行う。このため、被験者はスクリーン中央を挟んで右方向に16 degのサッカードを行うことになる。サッカードが検出されると刺激の画像が切り替わり、固視点とターゲットが消える。このため、視野内にはモンドリアン刺激の絶対的な位置を示す手がかりは存在しなくなる。1秒以内にサッ

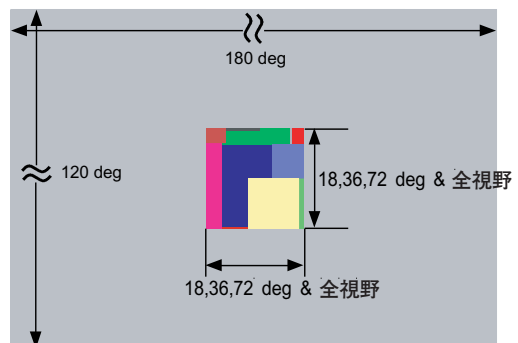


図2 実験に用いた刺激の一例。スクリーン中央部に呈示されている正方形の多色モンドリアンパッチのサイズが4段階に変化する。

カードを行わなかった場合とサッカードの振幅が12 deg ~ 20 degの範囲に入らなかった場合は失敗とみなし、その試行はやり直しとなる。ターゲットの呈示から1秒経過すると、モンドリアン刺激が消えて灰色の一樣背景になる。被験者は両眼で刺激を観察する。

以上の一連の刺激呈示を二回繰り返して行う。一回目の呈示（第1呈示）または二回目の呈示（第2呈示）のどちらかで、サッカード時に刺激の切り替えが生じ、左右いずれかに変位する。第1呈示と第2呈示が終わったら、被験者はどちらの呈示で刺激が変位したのかを二者強制選択で応答する。被験者の応答が終わったら次の試行に移る。以上が一回の試行の流れである。刺激の変位量は階段法で決定される。

被験者は、刺激の動きを知覚したりサッカードの前後の刺激を比較して変位が起きたと判断した場合にその呈示で変位が起きたとして応答する。実際は、動きが見えることはほとんどなく、サッカード前後の刺激の位置を比較して変位が起きたと判断した場合に応答したものがほとんどであった。

以上のような二回の刺激呈示からなる試行を、4種類の刺激サイズ、刺激の2変位方向(左, 右)の組み合わせで全8条件について行う。各条件は100試行ずつ行われる。刺激サイズ条件は1名の被験者(HM)では同一のセッション内で行い、他の被験者では全視野と18 deg, 72 degと36 degの条件をそれぞれ同一セッション内で

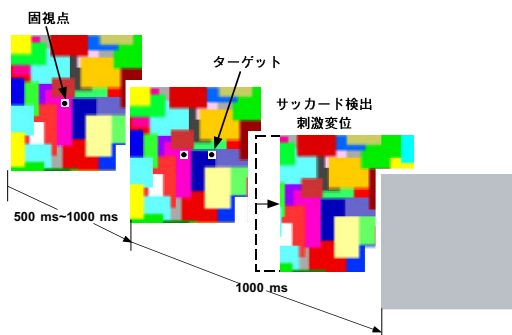


図3 刺激呈示の流れ。被験者が固視点からターゲットに向かってサッカードする間に刺激が左右に変位する。図は右に変位した例。

行った。1セッションは160試行(HM)または80試行で構成される。1セッション内では、各条件の試行はランダムな順番で行われる。

2.4 被験者

被験者は男性2名(HM, TT), 女性1名(MM)である。3名とも視力は正常であり裸眼で実験を行った。また、いずれの被験者も視覚心理物理実験の経験を有していた。

2.5 結果および考察

結果の正答率の一例を図4に示す。全ての刺激サイズにおいて、刺激の変位量が増大すると正答率も50%のチャンスレベルより増加している。これは過去の研究とも一致し、刺激変位量が大きくなるほど変位が検出しやすくなることを示している。

次に各条件間の結果を比較するために変位検出閾値を求める。図4から分かるように正答率が50%を下回る点が存在する。これは変位がゼロの刺激の方を逆に変位したと応答していることを示している。したがって刺激変位量が小さくなると単純に正答率が50%に収束するとは限

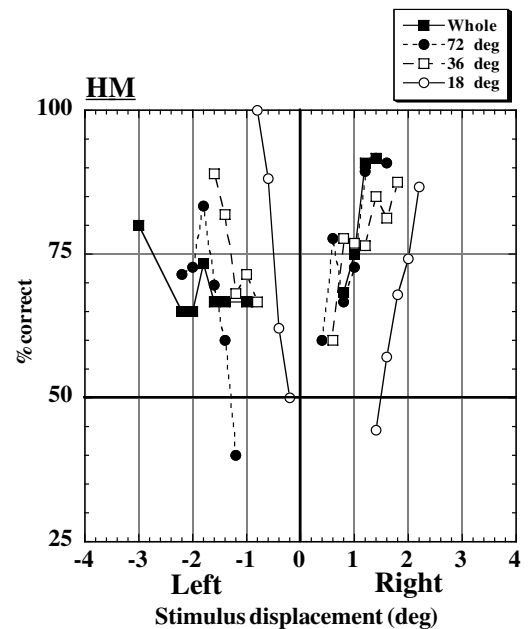


図4 刺激変位量と正答率の関係の一例。シンボルの違いは刺激サイズの違いを示す。どの刺激サイズにおいても刺激変位量が大きくなると正答率が高くなるのがわかる。

らないことがわかる。しかし、刺激変位量が増加すると正答率は増加するので、ここでは75%閾値を求めるために簡単に最小二乗法を用いて線形近似を行った。Whipple and Wallach(1978)⁸⁾はこのような場合に対数近似を行って閾値を推定しているが、本研究のデータにおいては対数近似と線形近似とでほとんど差がなかった。

各被験者の変位検出閾値を図5に示す。左方向の刺激変位に対する閾値(左閾値)は、刺激サイズの増加とともに連続的に増加する傾向が見られた。刺激サイズ18 degの条件では左閾値は1 deg程度であるが、全視野の条件では3 deg程度まで上昇した。しかし、右方向の刺激変位に対する閾値(右閾値)は、刺激サイズの変化に伴う一貫した傾向は見られなかった。

左閾値が刺激サイズの増加とともに増大した原因として、刺激サイズが大きくなるにつれて左刺激変位の検出感度が低下したという可能性と、被験者が変位がゼロとして知覚する点(無変位知覚点)が左方向にシフトしたという可能性がある。そこで実験2では無変位知覚点の測定を行った。

3. 実験2：無変位知覚点の測定

3.1 方法

装置および刺激は実験1と同じである。実験2では一試行における刺激呈示は一回のみである。被験者はサッカード時に起きた変位の方向が左右どちらに知覚されたかを二者強制選択で応答する。応答が終わるとその試行は終了し、次の試行の準備に移る。サッカード中に起きる刺激変位の大きさは階段法で決定される。なお、同一セッション内では、左方向4 degと右方向4 degの変位から始まる別々の系列を用意しそれらを独立に変化させた。

刺激サイズが全視野と18 deg, 72 degと36 degの条件をそれぞれ同一のセッションで行う。各刺激サイズ条件に対して全200試行行われる。1セッションは80試行で構成されている。被験者は実験1と同じ3名(HM, TT, MM)である。

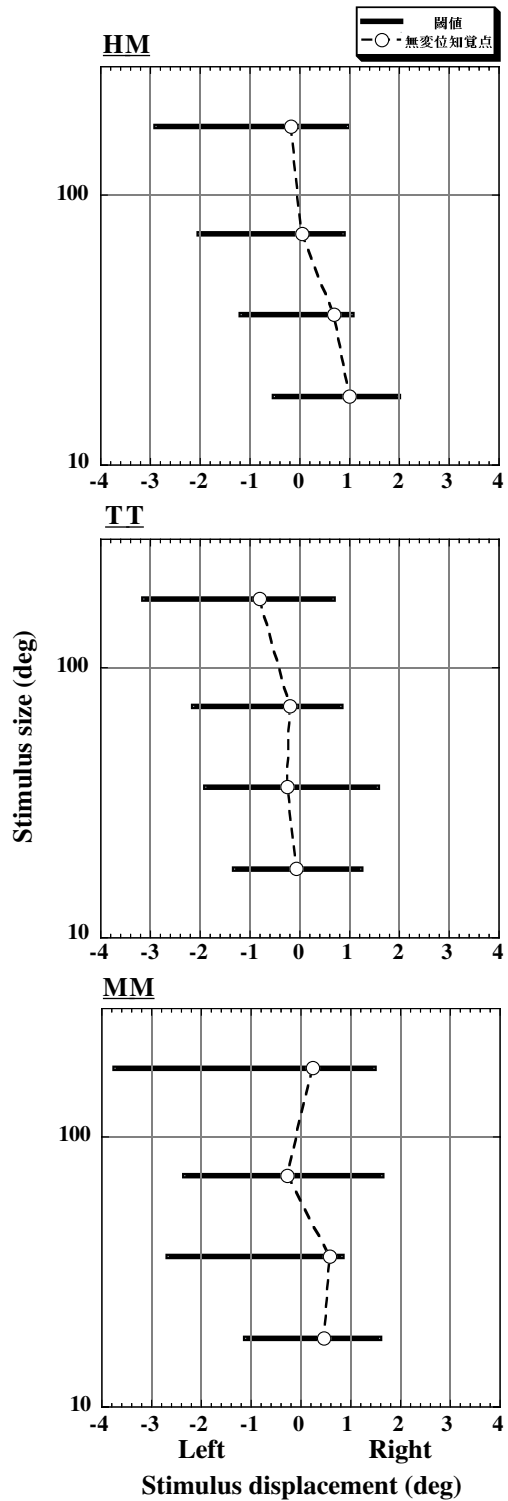


図5 各刺激サイズにおけるサッカード時の変位検出閾値(横太線の両端部)と実験2で求められた無変位知覚点(○)。刺激サイズは上から全視野、72 deg, 36 deg, 18 deg。

3.2 結果

結果の一例を図6に示す。刺激変位量に対して、被験者が刺激変位方向を「右」として応答した割合が示されている。全体的に右上がりのグラフになっており、被験者は刺激変位量が増加すると正確に変位方向を応答することができたことがわかる。変位がないと知覚された点(無変位知覚点)を求めるために、50%付近のデータ4点を用いて直線をあてはめ、応答が50%となる点の変位量を求めた。

各被験者の無変位知覚点を図5に示す。横太線は実験1で求められた閾下の範囲を示す。被験者HMとTTにおいては、刺激サイズの増加とともに無変位知覚点が左方向にシフトしている。これは「刺激サイズが小さい場合より大きい場合のほうが、刺激変位方向が右方向に感じる人が多いように感じた」という被験者の内観報告とも一致していた。この左方向シフトは、被験者HMとTTの閾下の範囲の左方向シフトと一致している。なお、被験者MMにおいては無変位知覚点の系統的なシフトは見られなかった。

網膜像はサッカードと逆方向に変位するの

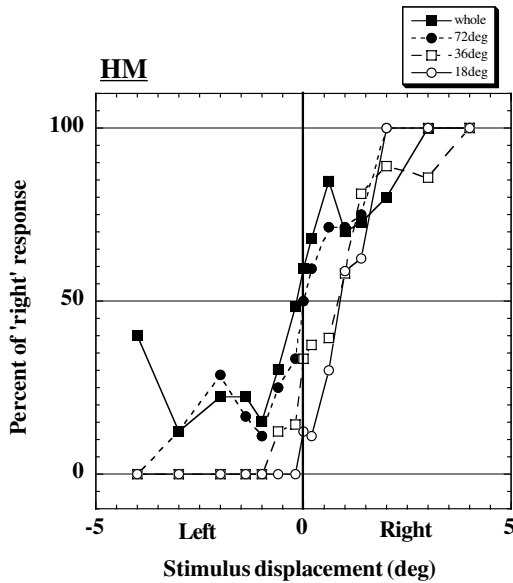


図6 各刺激サイズにおいて「右に変位した」という応答の割合を刺激変位量との関係でプロットしたもの。シンボルの違いは刺激サイズの違いを示す。「右」応答率が50%となる変位量を無変位知覚点として求める。

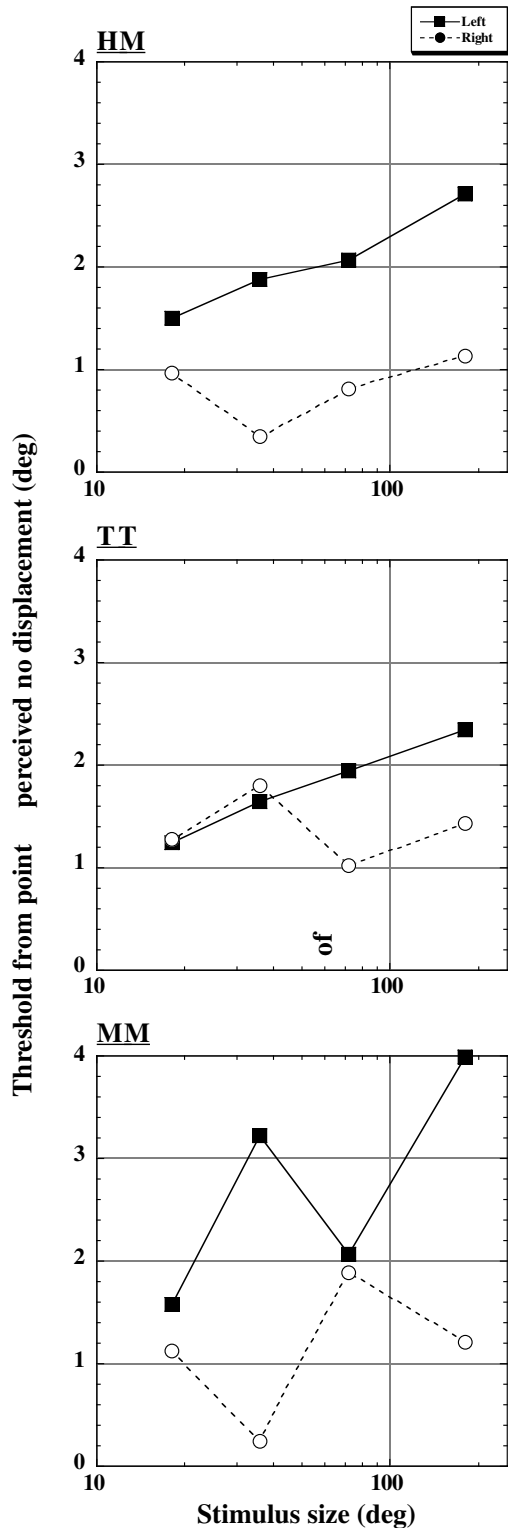


図7 無変位知覚点を基準(ゼロ)とした場合の閾値。それぞれの値は図5に示した変位検出閾値と無変位知覚点との差から求められる。

で、網膜像に基づいて変位方向を判断すると刺激はサッカードと逆の左方向に変位したことになる。刺激サイズが小さいときほど、サッカードの前後の刺激の網膜上での重なりは小さくなる。このため刺激サイズが小さいときは網膜像に基づいた判断が行いやすくなったと考えると、刺激サイズが小さくなるほど左方向の変位を知覚するようなバイアスがかかり、結果として無変位知覚点が右にシフトしているとすれば、被験者HMの結果については説明できる。しかし、被験者TTにおいては刺激サイズが最小の18 degのときに物理的な無変位と一致しているため、この仮説を用いて説明することはできない。被験者MMの無変位知覚点の結果もこの仮説では説明できない。よって、現段階で無変位知覚点のシフトについての明確な説明をすることは難しい。この原因は今後明らかにする必要があるだろう。

図7に各被験者の無変位知覚点を基準とした左右閾値を示す。無変位知覚点を基準にしても、ほとんどの条件で左閾値の方が高くなり、また刺激サイズの増加とともに左閾値も増大した。このことから、図5で示した刺激サイズの増加に伴う左閾値の増大は、無変位知覚点がシフトしたためだけでなく、左方向への変位に対する検出感度の低下も伴っていることがわかった。右閾値には刺激サイズの変化に対して一貫した傾向は見られなかった。

4. 考察

4.1 サッカード時の変位知覚における刺激サイズの影響

本研究では、サッカード時の刺激変位知覚に対して刺激サイズが影響するかどうかを調べた。その結果、刺激サイズによって変位検出閾値が変化した。また、被験者が変位がないと知覚する点(無変位知覚点)が刺激サイズによって変化し、無変位知覚点を基準として刺激変位検出閾値を求めると左閾値のみが刺激サイズの増加とともに増大することがわかった。

本実験で得られた結果は、サッカードに伴う

網膜像の変位を眼球運動による成分と刺激の変位による成分とに分離するメカニズムを次のように考えることで説明できる。サッカードによる眼球変位量に関する情報を用いてサッカード前の網膜像とサッカード後の網膜像の比較を行うことで、網膜像変位全体から刺激の変位による成分を抽出していると考えられる。このとき、空間的な位置の基準となるものは、刺激サイズなどの要因によって変化する。刺激サイズが小さいと眼球変位量の情報を空間的な位置の基準とするため、比較の結果サッカード前後の視野に誤差が生じた場合は、その誤差を刺激の変位として解釈する。刺激サイズの増加とともに、空間的な位置の基準がサッカード後の網膜像に変わっていくと、サッカード後はサッカード前と変化がないとみなされるので、サッカード前後の視野の比較によって生じた誤差は刺激変位以外の原因(例えば眼球運動のエラーなど)によって生じたと解釈されるようになる。その結果、刺激サイズの増加とともに、サッカードに伴う網膜像変位から刺激変位による成分が分離されなくなるので、刺激サイズの増加とともに左閾値が増大することが説明できる。

Deubel et al. (1998)⁹⁾は、連続的に刺激を呈示し続けた条件とサッカード開始から100 msのブランクを入れた条件におけるサッカード時の刺激変位知覚について調べている。ブランクを入れた条件では、サッカードの直後には刺激が呈示されていないことになるので、サッカード直後の視覚情報を使うことができない。実験の結果、ブランクを入れた条件で刺激の変位がより検出されやすくなったことから、連続的に刺激を呈示し続けた条件ではサッカード直後の情報が空間的な位置の基準になり、そのために変位が検出しにくいと考察している。これはサッカード後の情報を空間的な位置の基準にしたとき、刺激の変位が検出しにくくなるという考え方において、上で述べた本研究での考察と共通の考え方であるといえよう。

ではなぜ刺激サイズが大きくなると、サッカード後の網膜像が空間的な位置の基準となる

のだろうか。刺激サイズが大きくなると、刺激が周辺視野まで広がることになる。周辺視野を広く含む刺激は背景として知覚されやすくなり、背景刺激はサッカード前後で変位しないという視覚経験から背景刺激が空間的な位置の基準となると考えられる。後藤・池田(1981)¹⁰⁾は、周辺視野に呈示された誘導刺激がテスト刺激と同じ方向に変位することによって、テスト刺激の変位が検出されにくくなることを示している。また篠宮ら(1994)⁴⁾は、自然画像を小刺激(対象)と大刺激(背景)に分けた場合、背景の変位は対象の変位に比べて検出されにくいと報告している。これらの結果も、周辺視野を広く含む刺激は背景として知覚され、背景刺激が空間的な位置の基準となることを示している。

4.2 刺激変位方向による変位知覚の違い

刺激の変位検出閾値については、無変位知覚点を基準として考えると、左方向変位(サッカードと逆方向)の場合には刺激サイズの増加とともに閾値も増大するが、右方向変位(サッカードと同方向)の場合には閾値は刺激サイズに依存しないという非対称性が現れた。これは全被験者で共通した傾向であった。篠宮ら(1994)⁴⁾は縦80 deg×横100 degの自然画像を対象と背景に分けた場合のサッカード時の刺激変位検出確率を測定し、サッカードと逆方向の背景刺激の変位は同方向の変位と比べて検出されにくいことを示している。背景は刺激の大部分を占めているため、本実験の刺激サイズが大きい条件と同じような状況になっていたと考えられる。一方、刺激変位の検出能力は、刺激の変位方向によって変わらないとする報告もある^{11,12)}。これらの研究では点や線が刺激として用いられている。これらは本実験の刺激サイズが小さい条件と同じ状況であったと考えられる。

本実験では、サッカードと同方向の刺激変位に対しては刺激サイズの影響は一貫した傾向にはなく、全体的に小さい閾値を示した。また、サッカードと同方向の刺激変位が起きた場合、「固視点とターゲットの間にあったものがサッカードした方向に付いてきたように感じた」と

の内観報告が得られた。このことから、サッカードと同方向に刺激が変位したときには、刺激のサイズに関わらず、被験者はサッカード前後で中心窩付近の局所的な領域(例えばモンドリアン刺激中の特定のパッチ)の変位を検出しており、その結果、刺激サイズを大きくした効果が現れず、全ての刺激サイズで閾値が小さな値を示したと考えられる。つまり、サッカードに伴う網膜像変位を眼球運動成分と刺激変位による成分に分離するメカニズムは、サッカードと同方向に刺激が変位したときは局所的な領域の比較を行っていたので、刺激サイズが小さいときと同様に刺激変位成分を分離しやすかったと考えられる。

水科・内川(2000)⁵⁾は、本実験の全視野の条件と同じような状況での右方向のサッカードにおいて、刺激変位方向による検出閾値の差はないと結論しているが、ここで示した仮説を適用すると、全視野の刺激において何らかの原因のために常に局所的な領域の比較をサッカードの前後で行っていたと考えることができる。

ただし、低い閾値を示した条件では、常に局所的な領域の比較という状況になっていたのかどうか、またなぜ刺激がサッカードと同方向に変位したときに、自動的に局所的な領域の比較が行われるのかを直接確認することは難しいと思われる。本実験では検証はおこなっていない。

5. おわりに

本研究では、サッカード時の網膜像変位を眼球運動による成分と刺激の変位による成分とに分離するメカニズムにおいて、刺激サイズの影響を調べるために変位検出閾値を測定した。その結果、本研究で用いた右方向のサッカードにおいて左方向の刺激変位に対しては刺激サイズの影響があり、刺激サイズが大きいほど眼球運動による成分とみなす傾向が強いことがわかった。

日常的な環境において刺激は視野全体に広がっている。この状況は本研究における全視野の条件と等価であり、日常的な環境においてこの分離メカニズムはサッカード時の網膜像変位

を眼球運動によるものと解釈しやすい傾向にあると考えられる。

文 献

- 1) B. Bridgeman, D. Hendry and L. Stark: Failure to detect displacement of the visual world during saccadic eye movements. *Vision Research*, **15**, 719-722, 1975.
- 2) 石田泰一郎, 池田光男: サッケード前後の視野統合可能変位量. *光学*, **19**, 673-681, 1990.
- 3) 石田泰一郎, 池田光男: 跳躍眼球運動時の視野統合過程における位置情報の許容度. *光学*, **22**, 610-617, 1993.
- 4) 篠宮弘達, 佐藤雅之, 内川恵二: 視覚像における対象と背景の変位検出におよぼすサッケード抑制の効果. *VISION*, **6**, 147-152, 1994.
- 5) 水科晴樹, 内川恵二: 全視野刺激によるサッケード時の変位検出. *VISION*, **12**, 173-182, 2000.
- 6) I. P. Howard and T. Heckmann: Circular vection as a function of the relative sizes, distances, and positions of two competing visual displays. *Perception*, **18**, 657-665, 1989.
- 7) 清水俊宏, 三橋哲雄: 広視野立体画像の提示画角と姿勢制御系における空間認知機構の関係. *電子情報通信学会論文誌A*, **J80-A**, 1014-1021, 1997.
- 8) W. R. Whipple and H. Wallach: Direction-specific motion thresholds for abnormal image shifts during saccadic eye movement. *Perception and Psychophysics*, **24**, 349-355, 1978.
- 9) H. Deubel, B. Bridgeman and W. X. Schneider: Immediate post-saccadic information mediates space constancy. *Vision Research*, **38**, 3147-3159, 1998.
- 10) 後藤敏行, 池田光男: 跳躍眼球運動時の視野安定機構. *光学*, **10**, 35-40, 1981.
- 11) S. Heywood and J. Churcher: Direction-specific and position-specific effects upon detection of displacements during saccadic eye movements. *Vision Research*, **21**, 255-261, 1981.
- 12) W. Li and L. Matin: Saccadic suppression of displacement: Separate influences of saccade size and of target retinal eccentricity. *Vision Research*, **37**, 1779-1797, 1997.