

全視野刺激によるサッカード時の変位検出

水科晴樹・内川恵二

東京工業大学 大学院理工学研究科 像情報工学研究施設

〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259

(受付 2000 年 4 月 19 日；改訂受付 2000 年 6 月 2 日；受理 2000 年 6 月 23 日)

Displacement Detection across Saccade in a Whole Visual Field

Haruki MIZUSHINA and Keiji UCHIKAWA

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8503

(Received 19 April 2000; Received in revised form 2 June 2000; Accepted 23 June 2000)

To obtain characteristics of displacement perception across saccade in a whole visual field, we compared thresholds for detection of stimulus displacement across saccades in a whole visual field with those in a small visual field. A LCD projector, equipped with a fish-eye lens, projected a large visual stimulus on a 180 deg-hemicylindrical screen. Stimuli were multi-colored mondrian patterns. In the large field condition, the stimulus was presented on a whole visual field. In the small field condition, the stimulus was presented only inside a rectangle window at the central vision. The subject made a 12 deg horizontal saccade to the leftward or the rightward directions. During saccade, the stimulus pattern was displaced horizontally. The results indicate that there is little difference in displacement thresholds between large and small field conditions for rightward saccades, but there is a noticeable difference between the conditions for leftward saccades.

1. はじめに

我々は外界の対象物を観察する際に、頻繁に眼球運動を行っている。広い視野領域から多くの視覚情報を得ようとして随意的に行うような急速な眼球運動は跳躍眼球運動（サッカード）と呼ばれ、最も頻繁に起こる種類の眼球運動である。このように眼球を動かして情報を収集するのは、網膜の構造が不均一であることに起因する。つまり、中心視野は視力に優れているため、対象の形などの特徴を細かく見ようとする中心視野でその対象を

捉える必要がある。その結果としてサッカードを行うのである。このサッカードと固視の繰り返しによって、視野のあらゆる場所の対象物を中心視野で捉えることができる。このことから、サッカードは我々の視覚情報処理過程において不可欠のものであるといえる。

サッカードの前後では物体の網膜像の位置は大きく異なっている。また、サッカード中には網膜像が高速に動くために生じる流れ像ができる。例えば、カメラのファインダーを通して外界を観察することを考える。ファイ

ンダー内の対象物を変えるときにはカメラを移動させるが、このときには対象物の流れ像がファインダー内に観察される。また、カメラの移動前と移動後では全く異なる像がファインダー内に映っている。カメラを移動することは、視覚系に置き換えると眼球を動かすことに対応し、ファインダー内の像は網膜上の像に対応する。しかし、カメラと視覚系の大きく違うところは、ファインダー内の変化とは異なり、通常我々は網膜上での変化を知覚することはなく、サッカードと固視の繰り返しから一つの安定した視空間を形成している。

サッカード中の流れ像がなぜ見えないのかは、サッカード中には視覚刺激の様々な属性（光点検出¹⁾、輝度コントラスト²⁾、運動^{3,4)}、変位検出⁵⁾など）に対する感度が低下するというサッカード抑制（saccadic suppression）から説明されている。サッカード抑制のメカニズムについては、サッカード中には神経系で抑制がかかっているとする説と、サッカード前後の鮮明な網膜像によってマスキングされるためであるとする説がある。

サッカードの開始とともに暗黒の室内を照明し、サッカード終了後にある時間だけ照明を続け、再び室内を暗黒にするという実験を行うと、サッカード終了後の照明時間が短いときは被験者は不明瞭な流れ像を知覚するが、照明時間が長くなると鮮明な像のみが知覚されるという報告がある⁶⁾。これはつまり、サッカード後の鮮明な網膜像がその前の流れ像をマスクしてしまうということである。このマスキング説によれば、サッカード特有の神経機構などを仮定しなくても、網膜像の変化のみでサッカード抑制を説明することができるとする説がある。

しかし、サッカード前後の網膜像の位置変化から生じるであろう仮現運動の知覚が抑制される現象は、マスキング説だけでは説明できない。神経系で抑制がかかっているとする仮説では、サッカード抑制は大細胞経路

（magnocellular pathway）に選択的に働くとし^{2,7,8)}、主に大細胞経路によって伝達されている運動情報が選択的に抑制されると考えられている。

サッカード前後の網膜像の位置の違いを外界の変化として知覚しない点については、2つの仮説が立てられている。1つは引き算説（substitution theory）もしくは相殺説（cancellation theory）と呼ばれるものである。これは眼球を動かすための大脳からの信号のコピー（efference copy）を用いて、眼球運動の方向と大きさの情報を得ることでサッカード後の眼球の位置（眼球位置情報）を求め、その変位量を網膜像の変位量から引き算して、網膜像の変位を知覚レベルに到達させないようにしているというものである⁹⁾。ところが実際は、眼球はその信号通りに動くわけではないので、眼球位置情報と実際の眼球位置との間に多少の誤差を生じる。もし引き算説が正しいとすると、その誤差の分の変位は引き算では補正しきれないので、それが外界の動きとして知覚されてしまうことになる。しかし実際は、サッカード中の変位に対する感度低下（saccadic suppression of image displacement, 以下 SSID）があるので、これによって眼球位置情報と実際の眼球運動との誤差からくる変位知覚を抑制すると考えられている。

もう1つの仮説は評価説（evaluation theory）と呼ばれるもので、これは脳内に外界の内的表象としての視覚世界の地図が存在し、サッカードが行われた際に眼球位置情報から予想される地図の変化と、実際のサッカード後の網膜像を比較して、それが外界の変化なのか、それとも眼球運動によるものなのかを判断するというものである¹⁰⁾。眼球位置情報からの地図と網膜像との比較の際にも、それがあまりにも厳密だとサッカードのたびに外界の変化として知覚してしまう。そこで、この説でもある程度の許容差をもって両者を比較しているとし、その許容差を決定

しているのが SSID であると考えている。

以上の2つの説のいずれが正しいのかは今の段階では明らかになっていないが、いずれにしても視野の安定には SSID が重要な要因になっている可能性がある。そこで、本研究ではこの SSID に着目することにした。

我々はサッカードをする際にでたらめに眼を動かしているのではなく、周辺視野から得られる情報を用いて効率的に注視点を変化させている。また、サッカードの前後では、周辺視野にあったものが中心視野に移動し、また逆に中心視野にあったものが周辺視野に移動する。このため、サッカード中の視野統合に関する研究を行う際には、周辺視野も含めた全視野での特性を考える必要がある。

従来の研究においては、サッカード中の変位知覚特性を測定する際に、刺激呈示用のスクリーンやモニタの枠が相対位置変化の手がかりになり本来の特性が測定できていなかった可能性がある¹⁾。また、我々の日常生活ではサッカード前後で視野全体の位置が大きく変化することを考えると、小さい刺激パターンは極めて実験室的な条件であろう。枠による絶対位置手がかりや刺激パターンの大きさの影響を排除して SSID を測定するには、全視野の刺激を用いる実験が不可欠であると言える。

そこで本研究では、全視野におけるサッカード時の変位知覚特性を明らかにすることを目的とした。そのためにサッカード中の変位検出閾値を全視野刺激を用いる条件（大視野条件）と制限視野を用いる条件（小視野条件）でそれぞれ求め、両者の結果を比較した。

2. 実験方法

2.1 原理

本研究では、サッカード中の物体変位に対する感度低下を調べることで、眼球位置情報と網膜像位置情報の誤差、あるいは眼球位置情報から予想される視覚世界の地図とサッ

カード後に得られた網膜像との不整合を許容する度合を明らかにすることができると考える。つまり、どの程度の変位（誤差）に対してまでなら視野が安定して統合されるのかを調べる。

視野全体に視覚刺激パターンが呈示される条件を大視野条件、モニタやスクリーンを模した枠内にのみパターンが呈示されている条件を小視野条件とし、この両条件に対してサッカード中の変位検出閾値を測定する。ここで全視野を用いる理由は、枠付きの小視野条件の実験で影響する可能性のある枠の効果（絶対位置手がかり）と周辺視野に刺激パターンが存在しないという非日常性を排除し、我々が本来の日常生活で置かれているような状況に近い条件を作り出すことである。

2.2 装置

実験装置の概略図を図1に示す。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した。実験の制御にはコンピュータ（Power Macintosh 8500/150）を使用した。

全視野の刺激を呈示するために、液晶プロジェクタ（ソニー VPL-X1000J）に魚眼レンズ（シグマ 8mm F4 Fisheye）を組み合わせて、上下左右ほぼ 180 deg の全視野刺激を作成し、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全視野プロジェクションシステムを製作した。プロジェクタの液晶面が筐体の奥に位置し、魚眼レンズまでの距離が長過ぎるため、カメラ用レンズ（ミノルタ MC Rokkor-PG f=50 1:1.4）を2個組み合わせてリレーレンズを構成し、筐体入り口付近に実像を結像させた（図1下図）。

眼球運動と同期させて刺激を変位させるために、リンバストラッカー法を用いて左眼の水平方向の眼球運動を測定した。本研究では、赤外線発光ダイオードと光電変換素子（フォトトランジスタ）がペアになっている反射型フォトセンサ（松下電子工業 ON2270）2個を虹彩の左右の両脇に対して配置し

た。センサと眼球の位置関係を一定に保つため、被験者は歯型を噛んで頭部を固定した。センサ位置の微調整が可能のように、センサを3次元ステージに取り付け、上下・左右・前後方向にセンサを移動することができるようにした。この2つのセンサから得られる電圧値の差分を増幅し、これを水平方向の眼球位置信号とした。

眼球位置の電気信号は、A/D変換ボード(National Instruments PCI-1200)で標準化・量子化されてコンピュータに取り込まれた。量子化の精度は12 bitであった。データはプロジェクタのフレームレート(74.9 Hz, 13.35 msごと)でサンプリングされた。ある時刻 t における眼球位置 $P(t)$ と2フレーム前における眼球位置 $P(t-2)$ との差分から、1フレーム前の時刻 $t-1$ における速度 $V(t-1)$ を算出し、

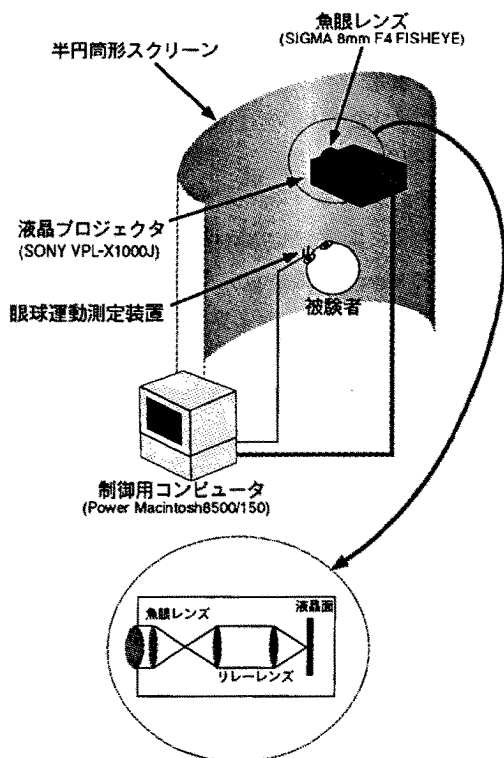


図1 本実験で用いた全視野プロジェクションシステム。半円筒形のスクリーンと魚眼レンズを用いて視覚180 degの全視野刺激を呈示することができる。

その速度がある閾値を超えたらサッカードを検出したものとした。本研究では、固視微動などのサッカード以外の眼球運動とサッカードとを明確に分離するために、閾値を高め100 deg/sに設定した。この方法では、常に1フレーム前、つまり13.35 ms前の速度からサッカードが起きたかどうかを判断していることになるが、サッカードに要する時間が30~50 msであるとする、眼球運動中にサッカードを検出することができたと考えられる。また、眼球運動測定装置の出力の線形性を保証するため、実験中は各セッションの最初と、その後5トライアル毎に校正を行った。

プロジェクタの液晶の解像度は1024×768ピクセルだが、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、スクリーンに投影された画像の解像度は一様ではなく、スクリーン中央部(だいたい被験者の視線の高さ)において最も解像度が高くなり、0.2 deg/ピクセル、周辺部では0.5~1 deg/ピクセルであった。

2.3 刺激

刺激には多色のモンドリアンパターンを用いた(図2)。モンドリアンパターンは、複数の長方形のバッチを重ね合わせていくことで作られ、各バッチの位置、大きさ、色度、輝度は試行ごとに全てランダムに設定した。モンドリアンパターンの各バッチの大きさは縦横ともに約12 deg~22 degである。刺激として規則性のある周期的な図形を使うと、変位したかどうかという判断がつきにくい、周期性のないランダムパターンとしてモンドリアンパターンを使用した。

刺激条件は、大視野条件と小視野条件の2種類とした。大視野条件では視野全体にモンドリアンパターンが呈示され、刺激の大きさは、ほぼ180 deg×180 degであった。小視野条件では中心視野付近の25 deg(横)×18 deg(縦)の枠の内側だけにモンドリアンパターンが呈示された。枠の外は灰色の一様視野で

あった。また、刺激までの視距離は 60 cm であった。

サッカー中に刺激を変位させるために、コンピュータのバッファ内にあらかじめ 2 枚の画像を用意しておき、サッカーの検出と同時に最初の画像ともう 1 枚の画像を切り替えた。2 枚目の画像は最初の画像に対してモンドリアンパターンが左右方向に位置変化したものとなっている。モンドリアンパッチ同士の相対位置は変化しない。また、小視野条件では枠の位置は変化せずに、枠内のモンドリアンの位置だけが変化した。つまり、窓の向こう側の景色だけが左右方向に動くような状況である。刺激の変位の大きさは、変位方

向（左右）ごとに 3, 2, 1.4, 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 deg の 8 種類用意した。

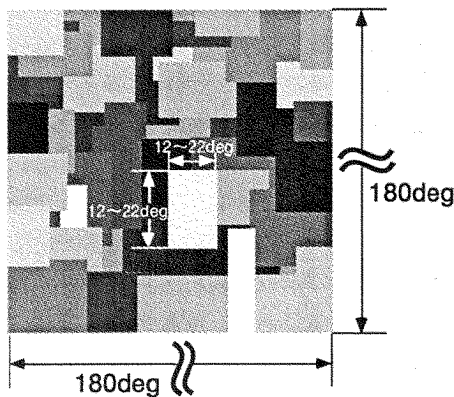
小視野条件の枠の外の灰色の領域と同じものを視野全体に呈示した場合の輝度は、視野全体の平均で約 2.3 cd/m² であった。スクリーンの位置によって輝度値はかなりのばらつきがあり、スクリーン中央部付近では約 5 cd/m² で、上下左右の端になると 1~2 cd/m² であった。この輝度分布は滑らかに変化するため刺激の観察の際にはそれほど気にならず、輝度分布が位置手がかりになるようなことはなかった。

2.4 手続き

図 3 に示すように、まず、刺激と固視点が呈示される。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、スクリーン中央に呈示される。被験者は固視ができたなら手元のキーボードを用いて、準備完了であることを知らせる。その後 688~2003 ms のランダムな間隔において、固視点から 12 deg 離れた左右どちらかの位置にサッカーのターゲットが呈示される。これによって小視野条件ではターゲットが枠付近に位置することになり、枠との相対関係から刺激変位をより検出しやすい状況になっている。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を行う。コンピュータがサッカーを検出すると、次のフレームで刺激の画像が切り替わり、固視点とサッカーターゲットが消える。このため、小視野条件の枠以外には、絶対的な位置を示すような手がかりはない。1 秒以内にサッカーを行わなかった場合と逆方向にサッカーし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、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。

以上の固視点呈示から一樣視野呈示までの 2 回繰り返し行う。1 回目の呈示（第 1 呈示）か 2 回目の呈示（第 2 呈示）のどちらかで、フレームの切り替え時に刺激が左右いず

(a)



(b)

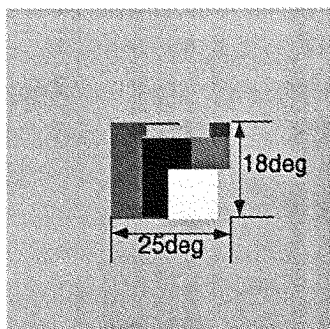


図 2 刺激に用いたモンドリアンパターンの一例。

(a) 大視野条件。全視野にモンドリアンパターンが呈示されている。

(b) 小視野条件。枠によって中心のみに視野が制限されている。

れかに変位する。第1, 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キーボードにより2者強制選択で応答する。以上が1回の試行の流れで, 被験者の応答が終わったら次の試行に移る。刺激の変位量は階段法で決定する。初期値は変位量最大(3 deg)で, 被験者が正解したら変位量を1段階(0.2 deg~1 deg)下げ, 不正解なら1段階上げる。

被験者は, 動きを知覚したり, サッカードの前後の刺激を比較して位置が変わっていると判断した場合に, その呈示で変位が起きたものとして応答した。実際は, 動きが見えることはそれほど多くなく, サッカード前後の刺激の位置を見て違和感を感じたときに応答したものがほとんどであった。

以上のような2呈示からなる試行を, 刺激サイズ(大視野, 小視野), サッカードの方向(左, 右), 刺激の変位方向(左, 右)の各条件の組み合わせで全8条件について行う。各条件20試行ずつ, 計160試行で1セッションとする。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。1セッションに要する時間は約1時間であった。

2.5 被験者

被験者はHM(男性, 24歳)とKY(男性,

28歳)の2名で, いずれも大学院の学生である。2名とも眼鏡をかけていないため, 実験中に眼鏡のフレームが絶対位置手がかりになるというような懸念はなかった。また, 2名とも視覚心理物理実験の経験を有する。

3. 結果

各条件で得られたデータから変位量ごとの正答率を求め, プロビット解析を行って知覚確率曲線を求めた。プロビット解析とは, 変化させたパラメータ(ここでは刺激変位量)に対する正答率のデータを累積正規分布関数にフィットさせて閾値を推定する解析法である。実験では第1呈示と第2呈示の2者強制選択を行っているので, チャンスレベルは50%となる。よって, 知覚確率曲線は50%~100%の間で求められた。図4に実験により得られた知覚確率曲線の一例を示す。ここでは知覚確率曲線の75%正答率を与える変位量を変位検出の閾値と定義した。

右方向サッカード(左から右)のときの变位検出閾値を図5と6に示す。図5は被験者HMの結果, 図6が被験者KYの結果である。グラフの横軸は刺激の変位方向の違い, 縦軸は変位検出閾値である。縦軸の正の値は, 刺激の変位方向がサッカードと同方向の場合,

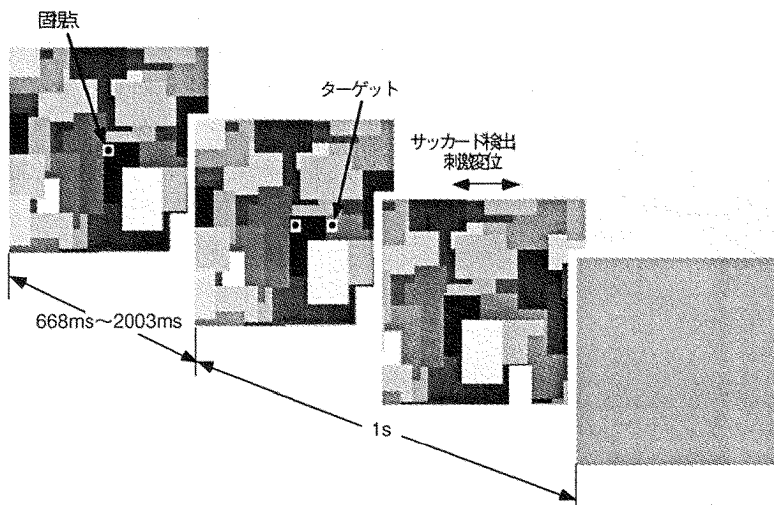


図3 刺激呈示の流れ。同じ呈示をもう1回繰り返して1試行とする。刺激の変位は第1呈示と第2呈示のどちらかで起こる。

負の値はサッカードと逆方向の場合の閾値である。棒のシンボルの違いは視野の大きさの違い（大視野と小視野）を示している。誤差棒はデータの標準誤差である。

このグラフから、サッカードと同方向と逆方向の変位ともに大視野と小視野で閾値に大きな差はないことが分かる。この傾向は、両被験者に共通してみられた。

次に、左方向サッカード（右から左）のときの変位検出閾値を図7と8に示す。図7は被験者 HM の結果、図8は被験者 KY の結果である。これらのグラフから、左方向への

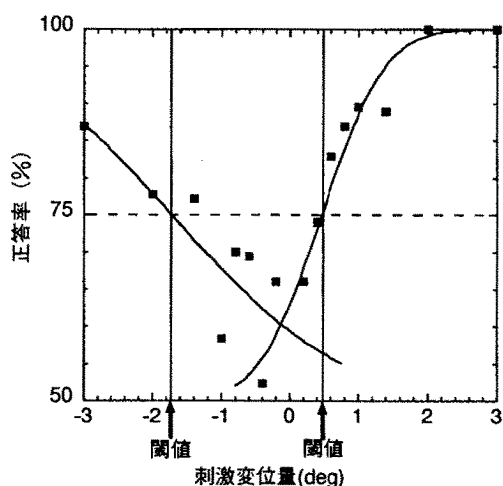


図4 閾値の求め方。実験により得られた知覚確率曲線の一例を示す。正答率75%を与える変位量を閾値とした。

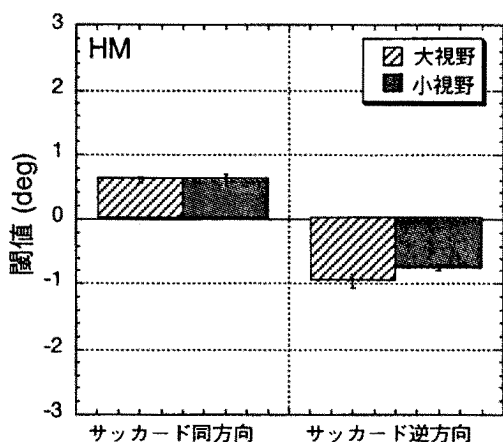


図5 右方向サッカード時の変位検出閾値 (HM)。

サッカードのときに、大視野条件のサッカードと逆方向の変位の閾値が大きく上昇することが示された。この傾向も、両被験者に共通してみられた。大視野条件で左方向サッカードと逆の方向（右方向）に刺激が変位すると、特に刺激の変位が知覚されにくいことが分かった。

4. 考察

本研究で、大視野条件においてサッカード方向が左方向で刺激変位が右方向の場合のみ刺激変位に対する閾値が顕著に上昇し、その他の条件では視野の大きさの影響が現れないことが明らかになった。これは、今回の実験の小視野条件で用いた程度の枠の大きさでは、全視野刺激と効果に差がないとみることができる反面、サッカード方向が左で刺激変位が右のときには、枠の影響または周辺刺激パターンの存在が無視できないということも意味している。そこで、まず視野の大きさによる差が現れた左サッカード条件について、その原因について考察を行う。

4.1 左サッカードにおける視野の大きさの影響

本研究では、大視野条件において左サッカード時の逆方向変位に対する閾値が上昇した。サッカード方向と刺激変位方向が同じ方向に比べて逆の方向の方が変位閾値が上昇することは、石田ら（1993）の研究¹¹⁾で

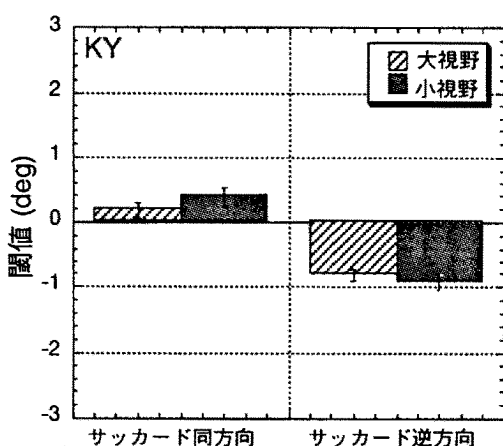


図6 右方向サッカード時の変位検出閾値 (KY)。

もみられた傾向であり、その研究では同方向変位に対する逆方向の閾値は最大でも 1.5 倍程度であった。本研究では左方向サッカードの大視野条件において被験者 HM で 3 倍、被験者 KY では 4 倍にも達したことから、全視野の刺激を用いることで、左方向サッカードと逆方向への刺激変位に対する閾値上昇がより顕著に現れたとみることができるといえる。一方、両被験者ともに小視野条件ではサッカードと逆方向の閾値が同方向に比べて若干低くなっている。これは大視野条件と逆の傾向であるが、両被験者ともに 0.1 deg 程度の差であることから考えて、顕著な違いではないと思われる。

サッカード前後の視野の統合メカニズムについては、前述したように相殺説と評価説がある。この両者はどちらも「眼球位置信号」と「網膜像位置信号」を用いている。大視野条件でも小視野条件でもサッカードの大きさは同じ (12 deg) なので、眼球位置信号に差はないと考えてよい。そうすると、視野サイズ条件間の閾値の違いは網膜像位置信号の違いにのみ依存すると考えられる。大視野条件と小視野条件では、明らかに得られる網膜像が異なるので、この考え方は妥当である。刺激のモンドリアンパターンの変位に関しては、両条件で違いはない。両条件の相違点は、周辺視野の刺激パターンの有無と枠の有無だけ

である。したがって、この 2 つの相違点のいずれかもしくは両方が影響して、今回のような傾向の違いが生じたと考えられる。

枠の有無に関しては、先に述べたとおり枠の存在が絶対位置手がかりになるために、変位検出に影響している可能性がある。では、周辺視野の刺激パターンの有無についてはどうだろうか。被験者は、大視野条件では、モンドリアンパターンからなる背景が存在するような見えを得る。小視野条件では窓枠を通して、外の景色を見ているような見えを得る。このような見えの違いが、被験者自身の置かれている仮想状況の違いを生むとも考えられる。つまり、背景イコール動かないものという仮定が被験者の中にあれば、大視野において変位を知覚しづらくなるということが起こってもよいと思われる¹²⁾。

では、左サッカード時の大視野条件における刺激変位方向による閾値の差は何に起因するのだろうか。ここで考えられるのは、まず同方向と逆方向における網膜座標系の位置の違いである。サッカードと同方向に刺激が移動した場合の網膜上での刺激の変位量は、逆方向に移動した場合のそれより小さいはずである。したがって、刺激の網膜上での移動が大きくなるほど、その変位を知覚しづらいという仮説を立てると、この現象を説明するこ

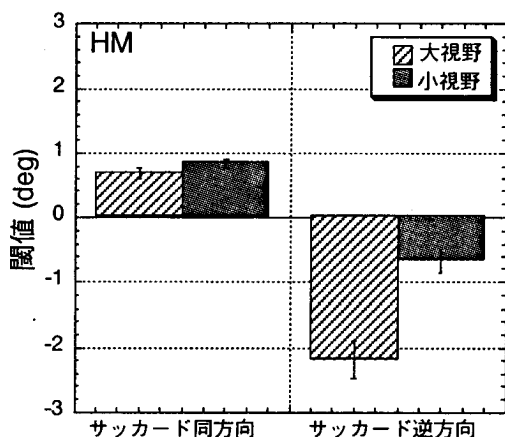


図7 左方向サッカード時の変位検出閾値 (HM)。

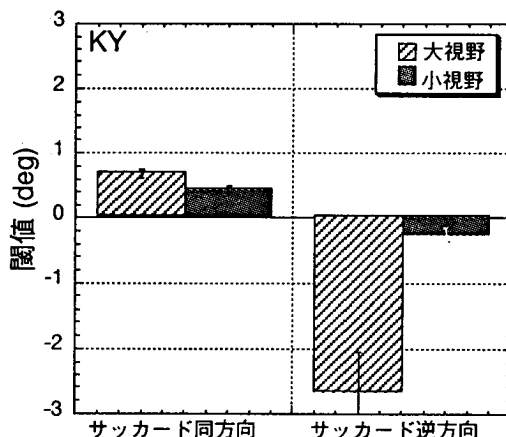


図8 左方向サッカード時の変位検出閾値 (KY)。

とができる。

本研究の場合、2枚の画像の切り替えによって刺激の位置を変化させているため、連続的な刺激の移動（運動）はない。そのため、刺激画像の切り替えの際に運動知覚があるとすると、それは仮現運動になる。仮現運動は、一般に刺激間隔が小さい方が生じやすいと言われている¹³⁾。すると、サッカーと同方向の変位のときの方が網膜上での移動距離が小さいため仮現運動が生じやすい。その結果、変位が知覚しやすくなり、仮説の妥当性が生まれる。

しかし、サッカー抑制では運動情報の信号も抑制されているので、仮現運動は生じない⁴⁾。本実験の刺激の見えには、運動知覚はほとんどなかった。さらに、今回の結果のような、サッカーの方向による傾向の違いも説明できない。したがって、この仮説の正当性は小さい。

4.2 小視野条件における枠の影響

本研究により、小視野条件においては各条件での閾値がそれほど変わらないという結果が得られた。これは、小視野条件では枠が絶対位置の手がかりになり得るために、変位検出が容易になるのではないかという予想を支持するものである。枠との相対位置関係を比較することで変位の検出がある程度可能であると考え、それは眼球運動の方向に依存するものではなく、あくまでも網膜像からの情報によるものである。そのため、小視野条件では同方向変位と逆方向変位の差、また右サッカーと左サッカーの差が小さくなると考えられる。

4.3 左サッカーの特異性の要因

今回の実験における左サッカーの結果が、純粋な視覚特性によるものなのか、それとも実験のアーティファクトによるものなのか、ここではその2つの可能性について考察する。

まず、本研究で得られた左サッカーの結果が、純粋な視覚特性を反映しているものと

すると、左と右のサッカーの特性の違いに起因するものであると考えられる。サッカーの左右差については、サッカーのターゲットを出すタイミングによって左右の潜時が異なる¹⁴⁾ことや、読み（reading）に関しては左右のサッカーの役割が異なることなどいくつかの要因が挙げられる。例えば、readingについて考えると、右サッカーは小刻みに動いて情報を収集する役割、左サッカーは行末から行頭に戻る役割であると考え、今回のような大きなサッカーは左サッカーで行末から行頭に視線を移動させる動作に対応する。そのような状況では、他の行も含めた文章全体が安定した位置に知覚されることが望ましく、今回の結果はそれを反映していると考えられることもできる。これについては実験による裏付けは全くないため、今後の検討が必要である。

次に、これが実験によるアーティファクトによるものかどうかについてである。考えられる要因として、本研究では左眼だけで眼球運動を測定しているため、それが非対称性の何らかの原因になっていることが挙げられる。つまり、左眼の前にセンサが置かれ、それによって被験者の意識には上らないレベルで視野が制限されているために、視野の制限のない右眼の情報が優位に処理されるというようなことが起こっており、これがサッカー方向による違いを生み出している可能性も否定できない。これについても、今後さらに検証していく必要がある。

この傾向が単眼性のものか両眼性のものか、サッカーの大きさを変えたらどうなるか、刺激パターンに依存するものなのかなど、様々な要因について調べて原因を究明することが今後の課題であろう。

本研究の遂行にあたり、東京工芸大学の畑田豊彦教授、石川和夫講師、ソニー株式会社の中枝武弘氏には、実験装置作成の際にアドバイスをいただきました。深く感謝致します。

文 献

- 1) F. C. Volkman, A. M. L. Schick and L. A. Riggs: Time course of visual inhibition during voluntary saccades. *Journal of the Optical Society of America*, 58, 562-569, 1968.
- 2) D. C. Burr, M. C. Morrone and J. Ross: Selective suppression of the magnocellular visual pathway during saccadic eye movements. *Nature*, 371, 511-513, 1994.
- 3) D. C. Burr, J. Holt, J. R. Johnstone and J. Ross: Selective depression of motion sensitivity during saccades. *Journal of Physiology*, 333, 1-15, 1982.
- 4) S. Shioiri and P. Cavanagh: Saccadic suppression of low-level motion. *Vision Research*, 29, 915-928, 1989
- 5) 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.
- 6) F. W. Campbell and R. H. Wurts: Saccadic omission: Why we do not see a gray-out during a saccadic eye movement. *Vision Research*, 18, 1297-1303, 1978.
- 7) K. Uchikawa and M. Sato: Saccadic suppression of achromatic and chromatic responses measured by increment-threshold spectral sensitivity. *Journal of the Optical Society of America A*, 12, 661-666, 1995.
- 8) M. Sato and K. Uchikawa: Increment-threshold spectral sensitivity during saccadic eye movements in uniform visual field. *Vision Research*, 39, 3951-3959, 1999.
- 9) R. W. Sperry: Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 43, 482-489, 1950.
- 10) D. M. MacKay: Visual stability. *Investigative Ophthalmology*, 11, 518-524, 1972.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) O. Braddick: A short-range process in apparent motion. *Vision Research*, 14, 519-527, 1974.
- 14) H. Weber and B. Fischer: Gap duration and location of attention focus modulate the occurrence of left/right asymmetries in the saccadic reaction times of human subjects. *Vision Research*, 35, 987-998, 1995.