

## 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

篠宮弘達・佐藤雅之・内川恵二

東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設

〒227 横浜市緑区長津田町4259

(受付 1994年7月13日, 改訂稿受付・受理 1994年9月26日)

## Saccadic Suppression of Displacement of Visual Target and Background Field

Hirotatsu SHINOMIYA, Masayuki SATO and Keiji UCHIKAWA

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology  
4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 227

(Received 13 July 1994, Revised form received and accepted 26 September 1994)

In spite of frequent rapid eye movements, our perceptual world is rather stable. Our visual system should integrate retinal information across saccades to make a wide and stable visual field. In order to clarify how retinal information is processed, we investigated the effect of saccadic suppression of displacement. We measured detection probability of displacement of the target of a saccade and that of a background field. The background was a picture of a natural scene which subtended  $80 \text{ deg} \times 100 \text{ deg}$ . The target was a picture of a bird. The target and the background moved independently during saccades. The results show that it was more difficult to detect displacement of the background than to detect that of the target, and that the direction of the background displacement affects the detection probability of the target displacement. Retinal information of a background field seems to be used as a stable frame to build an inner representation of the outer world. Location of the target may be described by a relative position to the background field.

### 1. はじめに

人間は固視とサッケードをくりかえしながら外界から視覚情報を取り込んでいる。サッケードにより物体の網膜像の網膜での位置は変化するが、その物体の知覚される外界での位置は変化しない。視覚系はサッケード前後の網膜像の情報を眼球位置情報を用いて統合していると考えることができる。

しかし、視野統合の過程において、眼球位置情報が厳密に適用されるわけではないことが明らかにされている。石田と池田<sup>1)</sup>は、サッケード時の刺激の変位がサッケードの大きさの20%以下であれば、刺激の変化が知覚されず、安

定した視野が形成されることを報告している。一方、後藤と池田の実験<sup>2)</sup>は、サッケード時に網膜情報を用いた視野統合機構が働くことを示唆している。発光ダイオードによりテスト刺激と誘導刺激を呈示し、これらの刺激をサッケード中に独立に変位させ、テスト刺激の変位検出確率を測定した結果、誘導刺激に対するテスト刺激の相対的な変位がテスト刺激の変位として知覚されることが明らかになった。誘導刺激の網膜情報が視野内の不動の視覚情報として統合の基準に用いられていると考えられる。しかし、テスト刺激の変位が大きい場合には、誘導刺激との相対的な変位がない場合でもテスト刺

激の変位が検出されやすくなることから、眼球位置情報も視野統合に寄与するとしている。

サックード時の視野統合過程で、網膜情報を用いるのはどのような利点があるのだろうか。周辺視野にあるサックードの対象物は、サックードを行った後には視野の中心にあるはずであるが、実際には必ずしもそうではない。1回のサックードで対象をとらえることができないで、補正的な眼球運動が引き続き起こるケースは少なくない。WeberとDaroff<sup>9)</sup>は、10 degのサックードを行った場合、約30%の試行で補正的な眼球運動が見られたことを報告している。このようなサックードの不正確さを補うために、視野統合過程において網膜情報を利用するのは有効な方法であると考えられる。サックード終了後に対象物が視野の中心になかったとき、それを刺激の変位としてではなく、眼球運動のエラーと解釈して、網膜情報を基準にした統合を行うのではないか。

網膜情報による統合過程では、どのような情報が基準として用いられるのであろうか。一つは、サックードによってとらえられる対象が候補として挙げられる。サックード時の視覚系にとって最も強い興味の対象がサックードの対象物であるから、これが基準となって網膜情報が統合されている可能性は高い。一方、背景視野が基準であると予想することもできる。視空間を構成する背景は動かないものとして認識されていることが多い。たとえば、遠景に広がる山々などは網膜情報統合の基準となる不変の視覚情報として適しているように思える。また、視野全体では情報そのものが多いので、基準となり得るものが含まれる可能性も高い。

本実験では、実際の視環境に近い条件を得るために、大画面の風景画像を背景刺激として用い、その中にサックードの対象としてカモメの絵を呈示した。これらの刺激をサックードの前後で独立に変位させ、対象と背景の変位がどのように検出されるかを測定した。網膜情報の統合の基準に対象刺激が用いられているのであれば、対象の変位は知覚されにくいと考えられ

る。また、対象に対する背景の相対的な変位が背景の変位として知覚されるであろう。逆に、背景が基準であるならば、背景の変位が知覚されず、背景に対する対象の相対的な変位が対象の変位として知覚されると考えることができる。

## 2. 実験方法

### 2.1 装置と刺激

刺激として風景画像を液晶プロジェクターによりリアスクリーン上に投影した。液晶プロジェクターはRGB-NTSC変換器を介して、計算機により制御される。刺激はカラーの絵画をスキャナーにより256色の精度で取り込んだものを用いた。図1に刺激の概略を示す。刺激画像を印刷物で示すと鮮明さが失われ、実際の刺激の様子を伝えることができないので、ここではイラストにより大まかなパターンのみを示す。対象刺激としてカモメの絵を用いた。大きさは縦6.5 deg×横7.5 degである。カモメの色は白色で、輝度は6.7 cd/m<sup>2</sup>である。背景刺激は、縦80 deg×横100 degの大視野に呈示される。空は水色で、輝度は4.3 cd/m<sup>2</sup>である。木の部分の輝度は0.36 cd/m<sup>2</sup>である。対象と背景はサックード中に独立に変位する。計算機に変位をほどこした2枚の絵をあらかじめ用意しておき、サックード中に切り替える。暗黒のブー



図1 実験で用いた刺激の概略。カラーの風景画像をリアスクリーン上に液晶プロジェクターにより投影した。縦80 deg、横100 degの大きさを持つ。被験者は白い十字からカモメに向けて12 degのサックードを行う。サックード中にカモメと背景が独立に変位する。

スの中で、被験者は、歯型を噛むことにより頭部を固定し、両眼による自然視で刺激を観察した。左眼の位置をリンバストラッカーにより測定した。微分器、コンパレータ、エッジ検出器などのハードウェアによりサッケードの開始を検出し、刺激切り替えのトリガーとして用いた。この信号を入出力ボードにより計算機に入力した。また、眼球位置信号をアナログデジタル変換ボードにより1 kHzのサンプリング周波数で計算機に入力した。これらの信号によりサッケード中に絵が切り替わっていることを試行ごとに確認した。サッケード終了後に刺激が切り替わった場合、切り替わった後に再び眼を動かした場合には、その試行を棄却した。

## 2.2 手続き

はじめに背景刺激(図1の絵からカモメの絵を取り除いたもの)が呈示される。被験者は固視点として与えられた小さな十字を見て、スタートボタンを押す。このとき、対象刺激が固視点から右もしくは左12 degの位置に背景上に重ねて呈示される。対象が呈示されるとすぐに被験者は対象に向かってサッケードを行う。これをトリガーにして、絵全体が、対象と背景が独立に水平もしくは垂直方向に変位したものに切り替わる。このとき固視点は取り除いた。切り替わった後の絵の呈示時間は1 sである。1 sにした理由を簡単に述べる。呈示時間が短いと、自然な絵の認識が困難になる。被験者は「眼を動かしたらすぐに絵が消えてしまった」という印象を持つ。また、呈示時間を長くすると別の不都合が生じる。ここでは背景が変位することにより、その縁が変化する。サッケード前に隠れていた部分が新しくあらわれたり、あらわれていた部分が隠れることになる。したがって、背景の縁に注目すれば、その変位の手がかりを得ることができる。背景刺激が十分大きいので、背景の中心を見ながら縁の変化を検出することはできない。呈示時間が長い場合には、第二のサッケードが起り、被験者が余計な手がかりを得ることになる。これらを考慮し、呈示時間を1 sとした。被験者は、刺激呈

示後に「対象の変位を検出した」、「背景の変位を検出した」、「対象および背景の変位を検出した」、「どちらの変位も検出なかった」の中から一つを選び、応答する。対象と背景の変位量、変位方向は試行ごとにランダムに選んだ。各条件(サッケード方向および対象と背景の変位の組み合わせ)ごとに10回以上の試行を行い、それぞれの条件における変位検出確率を求めた。対象および背景の変位量は左右または上下方向に2 deg刻みで0 degから6 degまでである。

最初の画面における背景の位置を、2 deg刻みで縦7ヶ所×横7ヶ所の49ヶ所のうちから一つ選び、試行ごとに変えた。したがって、被験者に対する背景の位置および背景上での対象の位置が試行ごとに変わる。これは、サッケード後の背景の位置や対象の背景に対する相対的な位置だけに基づいて背景や対象の変位を知ることができないようにするためである。

## 2.3 被験者

被験者はKK(22才)、MS(26才)、HS(23才)の男性3名である。MSはコンタクトレンズによって視力を矯正している。

## 3. 結果と考察

図2は対象と背景を水平方向に変位させたときの実験結果を表す。図2(a)は、対象の変位検出確率である。横軸は、対象の変位量を表す。サッケードと同方向の変位を正とした。縦軸は、「対象の変位を検出した」と「対象および背景の変位を検出した」の応答が起こる確率の和、すなわち対象の変位が検出される確率を表す。シンボルの違いは、背景の変位量の違いを表している。□は6 deg、△は4 deg、○は2 deg、+は0 deg、●は-2 deg、▲は-4 deg、■は-6 degである。+を実線で結んだ。図2(b)は、背景の変位検出確率を表す。縦軸は、「背景の変位を検出した」と「対象および背景の変位を検出した」の応答が起こる確率の和である。シンボルの違いは、対象の変位量の違いを表す。上と同様にサッケードと同方向の変位を

正とした。図3は対象と背景を垂直方向へ変位させたときの実験結果を表す。図3(a)は、対象の変位検出確率である。シンボルは背景の変位量の違いを表す。上方向を正とした。図3(b)は、背景の変位検出確率を表す。以上の4種類のグラフはすべてU字型もしくはV字型の形状を持つ。刺激の変位量が小さいときにはその変位が検出されにくく、変位量が大きくなると検出されやすくなるのがわかる。

図2(a)と(b)、あるいは図3(a)と(b)を比較すると、背景の変位検出確率曲線は、対象のそ

れに比べ、太いU字型を持つことがわかる。これは、同じ変位量でも対象に比べて背景の変位は検出されにくいことを示している。また、図2(a)、図3(a)の対象の変位検出確率曲線では、対象の変位量が正の領域では、白シンボルが黒シンボルに比べて下にある傾向が見られる。逆に負の領域では黒シンボルが下にある。これは、背景の変位が対象の変位と同方向であるときには、対象の変位が検出されにくいことを示している。ただし、この特徴はHSに関してはほとんど見られない。一方、図2(b)、図3

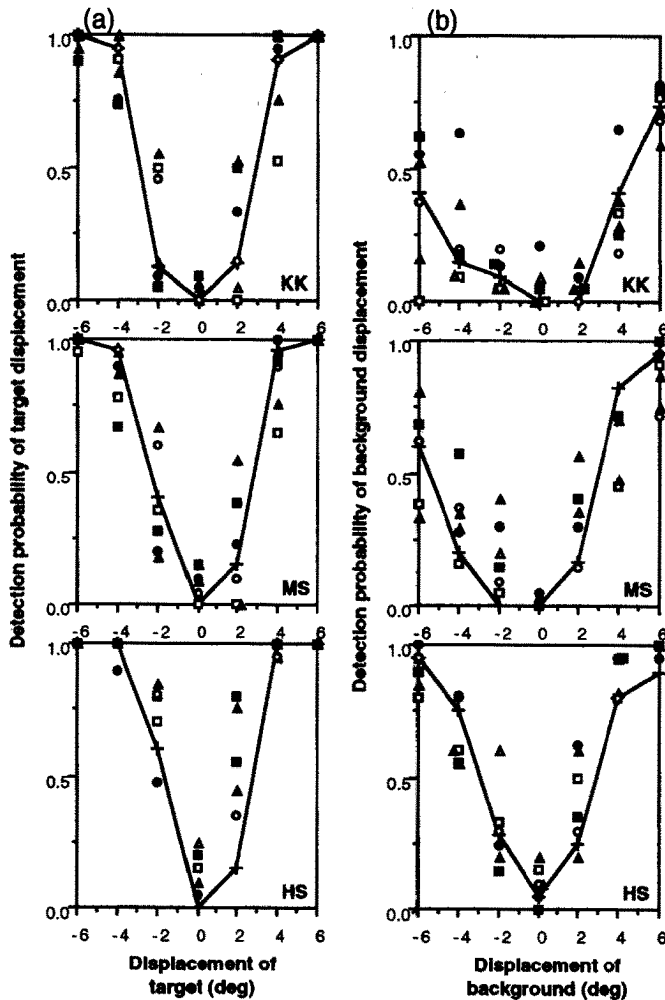


図2 刺激を水平に動かしたときの変位検出確率関数。(a)は対象の、(b)は背景の変位検出の確率を表す。シンボルの違いは、(a)においては背景の、(b)においては対象の変位の違いを表している。□は6 deg, △は4 deg, ○は2 deg, +は0 deg, ●は-2 deg, ▲は-4 deg, ■は-6 degである。ただし、サッケードと同方向を正とする。+のシンボルを実線で結んだ。

(b)から、背景の変位検出確率は、対象の変位の方向に影響を受けないことがわかる。(1)背景の変位が対象の変位に比べて検出されにくい。(2)対象の変位が背景の変位と同方向であるときには検出されにくい。(3)背景の変位検出は対象の変位方向に依存しない。これらの実験結果は、サッケード前後の視野統合の基準として、背景刺激の網膜情報が用いられていることを示唆している。対象の定位は背景との相対位置により行われると考えられる。

脳内では、視空間を構成する大きなもの、遠くにあるものなどが土台となり、その上に小さいもの、近くにあるものが表現され、さらに、物体表面などの細かい情報が階層的に表現されているのではないだろうか。本実験の結果はそのような脳内表現の反映であると考えることができる。今後さらにいろいろな刺激パターンを用いて実験を行い、この仮説を確かめる必要がある。たとえば、視空間を構成するようなもの、大きなもの、遠くにあるものに向けて眼を動かすなど、対象刺激の視野内における意味を変えてみることなど

が考えられる。

図2のグラフが、図3に比べて太いU字型を持つことから、水平方向の変位は垂直方向の変位に比べて検出されにくいことがわかる。水平方向にサッケードを行ったときには、眼球位置情報の水平成分は視野統合にあまり寄与しないと考えることができる。サッケードにより、眼球の位置が水平方向に大きく変化するために、眼球位置情報の水平成分は不安定である。このために、眼球位置情報の水平成分の視野統合への寄与は低く抑えられているのではないだろう

か、このほかに水平方向の変位の検出確率が低い理由として、今回採用した刺激の特性によると考えることもできる。たとえば、極端な例として、背景刺激が空と海を分ける水平線のみであれば、水平方向の変位はまったく検出されないであろう。しかし、今回採用した刺激についてそれが当てはまるとは言にくい。前者の理由が妥当であると考えられる。

水平に刺激を動かしたときの背景の変位検出確率を表す図2(b)のグラフは、左側が下がった非対称な形状を持つ。これは、サッケードと

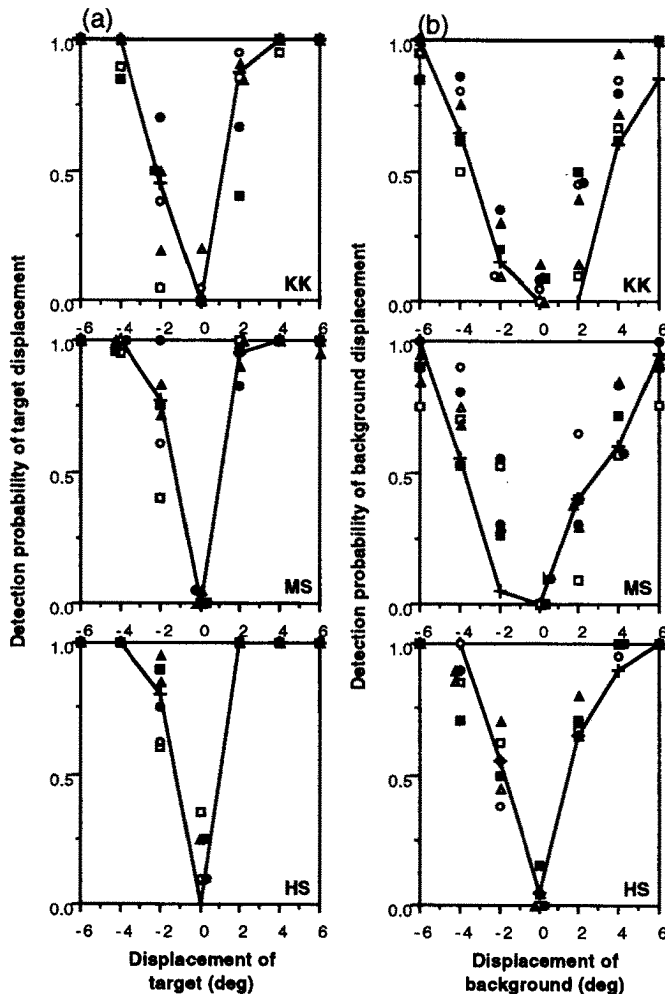


図3 刺激を垂直に動かしたときの変位検出確率関数。(a)は対象の、(b)は背景の変位検出の確率を表す。シンボルの違いは、(a)においては背景の、(b)においては対象の変位の違いを表している。□は6 deg, △は4 deg, ○は2 deg, +は0 deg, ●は-2 deg, ▲は-4 deg, ■は-6 degである。ただし、上向きを正とする。+のシンボルを実線で結んだ。

逆方向の変位は検出されにくいことを示している。石田と池田<sup>1)</sup>はこれと同様の非対称性を報告している。一方、変位検出確率は変位の大きさで決まり、変位の方向に依存しないことを示す報告<sup>2,4,5)</sup>もある。本実験における背景や石田と池田が用いた風景画像はある程度の大きさを持っているが、方向依存性を示さない実験では、点や線が刺激として用いられている。本実験の結果においても、比較的面積が小さい対象の変位検出確率には変位の方向に対する非対称性は見られない。したがって、大きな刺激を用いたときには変位の方向による検出確率の非対称性があらわれるのではないか。一般にサッケード後には、サッケード前に周辺視野にあったものが新しく中心視野にあらわれる。サッケードと逆方向に背景刺激が変位したときには、サッケード前にさらに遠くの周辺視野にあったものが中心視野にくる。それに対し、刺激がサッケードと同方向へ変位したときには、もともと視野の中心近傍にあったものが再び中心視野にくるこ

とになる。このためにサッケードと同方向への変位は検出されやすいのではないか。一様な背景上の点や線を刺激として用いた場合には非対称性があらわれないということも、この解釈の妥当性を強めると考えられる。

背景の変位量が大きいときには、被験者は、背景の変位も検出できた。背景刺激の網膜情報が視野統合の基準として用いられているとすれば、背景自体の絶対的的定位はどのように行われているのだろうか。背景刺激は視野のかなり広い部分を占めているので、さらに別のより絶対的な基準に対する相対的な位置の情報は持たない。背景の変位検出には、網膜外の情報すなわち眼球位置情報が寄与していると考えられる。本研究では、サッケードの間に絵の切り替えを完了するために、比較的大きな 12 deg のサッケードを用いて実験を行っている。また、被験者は意識的にサッケードを行っている。小さいサッケードや不随意的サッケードでは視野統合における眼球位置情報の寄与が小さくなる可能性がある。今後さらに調べていく必要があると考えられる。

KK および MS と HS は実験結果において異なる傾向を示した。被験者間の差を、視野統合過程における網膜情報と眼球位置情報の用いられ方の違いで説明してみよう。HS の変位検出確率曲線は他の被験者の結果に比べ、細い U 字型を持つ。HS は変位に対する感度が高いといえることができる。これは、眼球位置情報の寄与が高いためであると考えられる。HS の実験結果においては、対象の変位検出確率の背景の変位方向への依存性がほとんど見られないが、これも、眼球位置情報の寄与が高いと考えれば理解できる。

運動 (motion) の検出と変位 (displacement) の検出は異なる。本実験における被験者の判断基準は「変位を検出したかどうか」である。本研究では、サッケード中に刺激を変位させたときに、視野が安定して違和感なく知覚されるかどうかの問題である。もし、変位が検出されないと、運動のみが知覚されることがあれば、その

場合は視野が安定して知覚されなかったと考えるべきであるが、そのようなケースはなかった。運動と変位を完全に区別して判断することは容易ではないが、以下に被験者の内観について述べる。対象の変位量が小さいときには変位のみが知覚された。変位量が大きいときには運動が伴って知覚された。背景の運動はほとんど知覚されなかった。

#### 4. まとめ

風景画像を用いて、サッケード時の変位検出確率を測定した。刺激をサッケードの対象と背景に分けて、独立に変位を与えた。背景の変位が対象に比べて検出されにくいこと、対象と背景の変位が同方向の場合対象の変位が検出されにくいこと、背景の変位検出が対象の変位方向に依存しないこと、が明らかになった。これらは、サッケード前後の視野統合の基準として背景刺激の網膜情報が用いられていることを示唆している。

#### 文 献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) R. B. Weber and R. B. Daroff: The metrics of horizontal saccadic eye movements in normal humans. *Vision Research*, 11, 921-928, 1971.
- 4) B. Bridgeman, D. Hendry and L. Stark: Failure to detect displacement of the visual world during saccadic eye movement. *Vision Research*, 15, 719-722, 1975.
- 5) 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.