

平成22年 6月16日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20700195  
 研究課題名（和文） 跳躍眼球運動時における位置情報処理の空間周波数特性に関する研究  
 研究課題名（英文） A study of spatial frequency characteristics on position information processing of human visual system during saccadic eye movement  
 研究代表者  
 水科 晴樹（MIZUSHINA HARUKI）  
 株式会社国際電気通信基礎技術研究所・メディア情報科学研究所・研究員  
 研究者番号：20389224

研究成果の概要（和文）：人間が、対象に視線を向ける際に行う高速な眼球運動を跳躍眼球運動（以下、サッカード）と呼ぶ。サッカードの直前から直後の時間帯に光点や線分などの視覚刺激を瞬間呈示すると、実際の位置からずれて知覚されることが知られている。この知覚現象に関して、視覚刺激の空間周波数の影響を調べた研究はまだない。本研究では、刺激の空間周波数成分と知覚的位置ずれとの関係を心理物理実験により調べ、エッジに含まれる高空間周波数成分の有無はサッカード時の知覚的位置ずれに影響しないことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Saccadic eye movement or saccade is rapid eye movement to turn one's eyes on a target object. It is known that perceived location of a visual stimulus presented briefly before, during or after saccade is displaced from actual location. No study investigated effects of spatial frequency of the stimulus on this perceptual phenomenon. In this study we examined the effect of spatial frequency on the perceived shift of stimulus location by means of psychophysical experiment, and showed that component of high spatial frequency contained in edges of visual contents does not have an influence on perceived shift of stimulus location accompanied with saccade.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2008年度 | 2,900,000 | 870,000   | 3,770,000 |
| 2009年度 | 500,000   | 150,000   | 650,000   |
| 年度     |           |           |           |
| 年度     |           |           |           |
| 年度     |           |           |           |
| 総計     | 3,400,000 | 1,020,000 | 4,420,000 |

研究分野：

科研費の分科・細目：情報学 感性情報学・ソフトウェアエンジニアリング

キーワード：跳躍眼球運動、空間知覚、空間周波数

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 跳躍眼球運動（以下、サッカード）の直前から直後の時間帯に刺激を瞬間呈示すると、刺激の知覚的位置が実際の位置からずれ

ることが多くの先行研究により報告されている（例えば、Honda, 1990、Ross et al., 1997、Lappe et al., 2000 など）。このずれは、刺激の呈示位置や呈示タイミングによっ

て異なる。

(2) 知覚的位置ずれの典型的なパターンとして、サッカードの直前からサッカードのターゲット（目的地）方向に知覚的位置がずれ始める。サッカード中に一度ずれ量が減るが、その後は反対方向に知覚的位置がずれる。サッカード終了後、知覚的位置ずれは解消する。これは、サッカードに伴う脳内での位置情報処理の時間特性を反映しているといえる。

(3) 視覚系では、情報は複数の空間周波数チャンネルで処理されるという仮説があり、その妥当性を示した心理物理学研究も多い（例えば、Blakemore & Campbell, 1969、Wilson & Bergen, 1979 など）。また生理学的・解剖学的には、低空間周波数成分は大細胞経路（magnocellular pathway）、高空間周波数成分は小細胞経路（parvocellular pathway）を経て伝達されると言われており、空間周波数チャンネルの概念を支持するような神経基盤が存在する。また、それぞれの経路の時間応答は異なる。

(4) サッカードの際に視覚感度が低下する現象（サッカード抑制）は、低空間周波数の刺激に選択的である（Burr et al., 1994、Uchikawa & Sato, 1995 など）。このように、サッカード時には異なる空間周波数成分が異なる処理過程を経ることから、位置情報処理においても、刺激の空間周波数が影響することが考えられる。しかし現時点で、刺激の空間周波数に着目してサッカード時の知覚的位置を詳細に調べた研究はない。

## 2. 研究の目的

視覚刺激の空間周波数成分がサッカード時の位置情報処理に与える影響を調べ、サッカード時に特有な視覚情報処理過程について明らかにする。具体的には、空間周波数成分の異なる刺激を瞬間呈示した場合に、その知覚的位置のずれが空間周波数の影響を受けるかどうかを調べる。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験装置

心理物理学的手法を用いて、刺激の空間周波数成分と呈示タイミングを厳密に制御した条件下で実験を行う。刺激呈示には応答速度が速く正確に校正された CRT モニタ

(MITSUBISHI RD17GZ、画素数 1280x960、リフレッシュレート 75 Hz、17 インチ) を使用した。また、刺激呈示タイミングと眼球運動のタイミングとの同期をとるためには、高い時間精度で眼球運動を測定することが必要

である。近年、画像処理を用いた眼球運動測定装置が広く使われているが、本研究のような高い時間精度を必要とする場合には、時間分解能の点で問題になることが多い。そこで、白目と黒目の反射率の違いを利用した「強膜反射法」により眼球運動を計測できる装置

(竹井機器工業 TKK-2901z、1 KHz) を採用した。この方式は単純なアナログ回路で実現可能であるため、非常に時間分解能が高い。なお、眼球運動と刺激呈示の同期は、刺激呈示と同時にスクリーンの隅を光らせ、それをフォトダイオード（エドモンド 57625-K）で検出し、その電圧信号を眼球運動を記録しているコンピュータ（Apple MacBook）に入力することで実現した。眼球運動測定装置からの電圧信号とフォトダイオードからの電圧信号は A/D コンバータ（Measurement Computing USB-1208FS）により 1 KHz でサンプリングした。（図 1）。

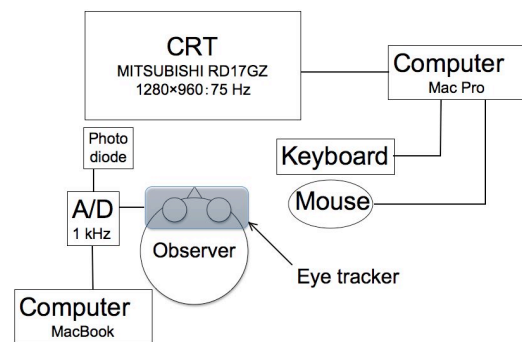


図 1 実験装置の構成

### (2) 視覚刺激

刺激の光量を変えずに、空間周波数成分のみ変化させた刺激をサッカード時に瞬間呈示し、これらの知覚的位置を測定する（図 2）。具体的には、輝度のエッジを含む刺激（高周波数成分を含む、Circle 刺激）と、エッジをぼかした刺激（高空間周波数を含まない、Gaussian 刺激）を用いた。また比較のために、先行研究でもよく用いられた光点の刺激でも同様の実験を行った（Dot 刺激）。

Circle 刺激は輝度  $15 \text{ cd/m}^2$ 、半径  $2.0 \text{ deg}$  の白色円形である。Gaussian 刺激は最大輝度  $15 \text{ cd/m}^2$ 、 $\sigma = 2.26 \text{ deg}$  の 2 次元 Gauss 関数で輝度に変調された刺激であり、画面上の平均輝度、すなわち眼に入射する光量は Circle 刺激と等しい。Dot 刺激は輝度  $15 \text{ cd/m}^2$ 、半径  $0.25 \text{ deg}$  の白色円形であり、光量の点においては Circle 及び Gaussian 刺激とは異なる。これら 3 種類の刺激のいずれかが、暗黒背景 ( $0.5 \text{ cd/m}^2$  以下) 上の画面中央に 1 フレーム ( $13.3 \text{ ms}$ ) 呈示された。なお、これらの刺激の生成及び呈示の制御はコンピュータ (Mac Pro) により行った。



図2 視覚刺激

### (3) 実験手続き

実験は暗室内で行った。まず、実験開始時及び各実験セッション開始時に、眼球運動測定装置の較正を行った。なお、使用した装置では両眼の眼球運動が計測可能だが、サッカードは共役眼球運動（左右眼が同じように動く）であるため、本研究では右眼の眼球運動のみ測定した。

一回の試行の手順について説明する（図3）。まず、画面中央から左 4 deg の位置に赤色の点（固視点）が呈示され、被験者はそこに視線を向け、準備ができたならキーボードのボタンを押す。800~1200 ms の後、固視点から右 8 deg の位置に同じく赤色の点（標的）が出現し、被験者はそこに視線を向ける。固視点と標的はその 50 ms 後に消失するため、サッカードの潜時（標的が出現してから実際に眼が動き始めるまでの時間、通常 200 ms 程度）を考慮すると、被験者が眼を動かす時点ではどちらも画面上には存在しないことになる。固視点と標的が消失してから、100~350 ms 後に 13.3 ms（1 フレーム）だけ刺激（Circle, Gaussian, Dot のいずれか）が呈示される。サッカードの終了後、画面上にマウスポインタが現れるので、被験者はマウスを使って刺激が知覚された位置を応答する（Circle 刺激、Gaussian 刺激の場合は刺激の中央の位置を応答する）。このような時間経過で刺激を呈示すると、おおよそサッカードの開始時点の前後 200 ms の範囲内で刺激を呈示することができる。眼球位置と刺激呈示タイミングの一例を図4に示す。

以上に述べたような試行の 30 回の繰り返しからなる実験セッションを 20 セッション（全 600 試行）行った。そのうち、眼球運動の失敗や同期信号の検出ミスなどで失敗した試行は除いたため、最終的には全体の 78.5% のデータを解析に用いた。Circle, Gaussian, Dot の各刺激は、同一セッション内で同じ回数ずつ、ランダムな順序で呈示されたため、被験者はその試行でどの刺激が呈示されるかは前もって推測することができなかった。また比較のために、固視点及び標的の位置を固視した場合（眼球運動を行わない場合）の刺激の知覚的位置の測定も 1 セッションずつ行った。被験者は 30 代の男性 1 名であった。

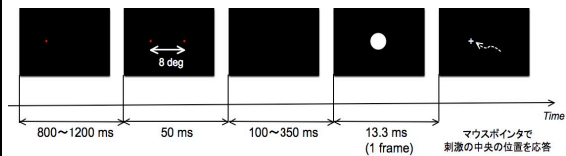


図3 実験手続き

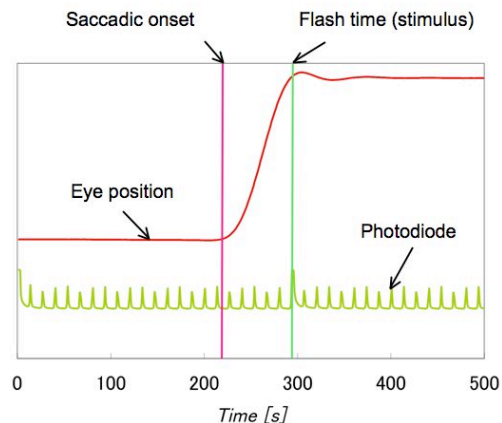


図4 眼球位置と刺激タイミングの一例

### 4. 研究成果

実際に測定されたサッカードの潜時は平均 231 ms（標準偏差 24 ms）であり、刺激呈示のタイミングは当初の予想通り、サッカードの開始の前後約 200 ms の範囲内に収まっていた。図5~7に Circle, Gaussian, Dot の各刺激に対する被験者の応答を示す。各グラフの横軸はサッカード開始時点に対する刺激呈示時点を示す。負の値は刺激がサッカード開始以前に呈示されたことを示し、正の値はサッカード開始後に呈示されたことを示す。縦軸は刺激が知覚された位置を示し、負の値は画面の左半分、正の値は右半分、0 は画面中央に対応する。なお、実際の刺激呈示位置（物理的に正しい位置）は、画面中央なので 0 となる。図中の各点は各試行における被験者の応答である。また、左右の○シンボルは固視時、すなわち眼を動かさない場合の応答であり、左が固視点を見ているとき、右が標的を見ているときである。図中の実線は、25 ms の矩形波時間窓による移動平均を示す。

まず、図5~7の固視時の応答（○シンボル）に着目すると、試行ごとに多少のばらつきは見られるものの、応答はだいたい 0 deg 近傍に集中している。このことから、眼球運動が伴わない場合は系統的な知覚的位置のずれは生じないといえる。

次に、サッカードを伴う場合の応答に着目する。図5, 6からわかるように、Circle 刺激と Gaussian 刺激に対する応答は非常に似通っている。-50 ms（サッカード開始前 50 ms）

くらいから刺激の知覚的位置が標的の方向（右方向）にずれ始め、サッカード開始直後にずれ量が最大となった。その後、+50 ms（サッカード開始後 50 ms）くらいに一度ずれ量が減少するが、その後+100 ms くらいにかけて逆方向（左方向）にずれが生じる。これらの傾向は先行研究の結果とも一致する。なお、試行ごとのばらつきは眼球運動が伴わない場合と比べてかなり大きくなった。

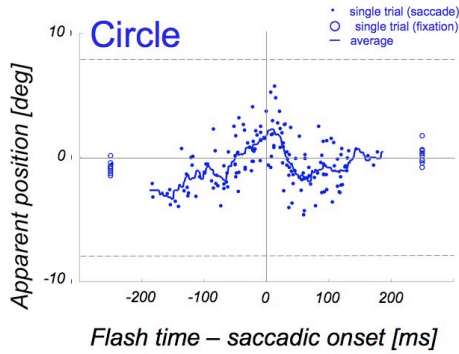


図 5 Circle 刺激に対する知覚的位置

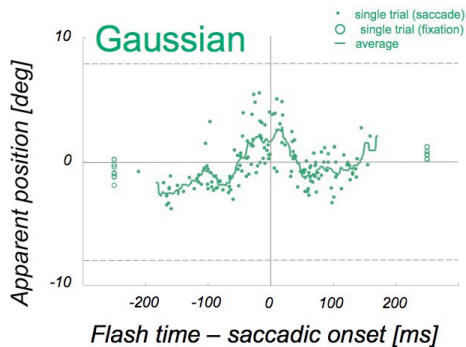


図 6 Gaussian 刺激に対する知覚的位置

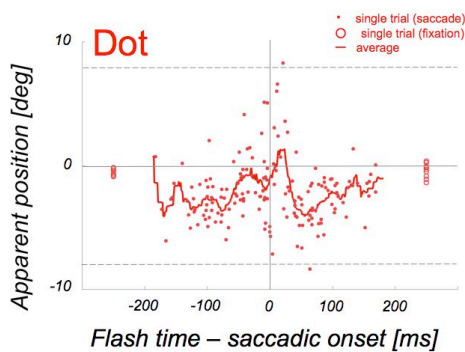


図 7 Dot 刺激に対する知覚的位置

一方、Dot 刺激については、全体的に試行ごとのばらつきが大きく、移動平均をとるとサッカードの前、中、後を通して全体的に左方向にずれるバイアスがかかっているような結果となった。

以上の3つの刺激条件（Circle, Gaussian, Dot）の結果を比較するために、移動平均のカーブを3条件重ねて表示したものを図8に示す。Circle と Gaussian のカーブはほぼ一致する。Dot のカーブは他の2条件と若干異なるが、おそらくデータのばらつきに起因するものであり、系統的なずれ方は他の2条件とほぼ同じであると考えられる。

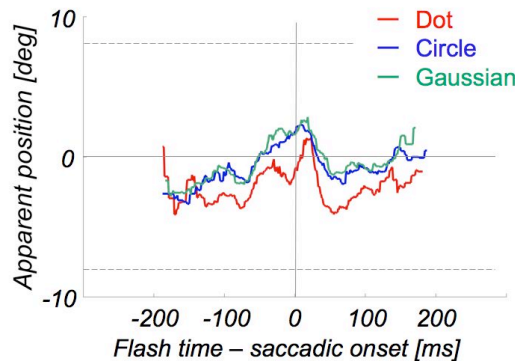


図 8 条件間の比較

ここまでの結果から言えることは、眼に入る光量、あるいは刺激のサイズがほぼ同じであれば、刺激の高空間周波数成分の有無はサッカード時に短時間呈示される刺激の知覚的位置のずれ方に影響を及ぼさない、ということである。Dot 刺激で結果が若干異なったのは、光量、サイズともに他の2条件より小さく、信号としての強度が弱いために、内部の神経系ノイズ、あるいは外部からのノイズ（外乱）の影響を受けやすいために試行ごとのばらつきが大きくなったためと推測される。これについては、サンプル数を増やすなど、今後の検討が必要である。

本研究では、サッカード時に呈示された刺激の知覚的位置ずれに対する空間周波数の影響を系統的に調べた。視覚系が刺激の空間周波数をどのように処理しているのかについて、またサッカード時に刺激の位置の情報はどのように処理されているのか、各々について詳しく調べられた研究は数多く存在するが、この両方の処理過程を結びつけて考えている研究は他になく、その意味では国内外に大きなインパクトがあると考えられる。

今後の展望として、空間周波数の統制をさらに詳細に行い、空間周波数フィルタの仮説とからめた、サッカード時の位置情報処理モデルの提案を行ってゆく予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

- ① 水科晴樹、サッカード時に瞬間呈示される刺激の定位における刺激形状の影響、第43回知覚コロキウム、2010年3月25日、弥彦グランドホテル(新潟県)
- ② 水科晴樹、眼球運動時の視知覚研究：方向と奥行き<sup>の</sup>知覚、第9回関西若手実験心理学研究会、2009年9月26日、大阪大学(大阪府)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

水科 晴樹 (MIZUSHINA HARUKI)  
株式会社国際電気通信基礎技術研究所・メディア情報科学研究所・研究員  
研究者番号：20389224

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし