

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21730596

研究課題名(和文) 眼球運動軌道を指標とした視覚探索中の注意制御の実験的研究

研究課題名(英文) Study of the relationship between attentional control and eye movement trajectories in serial visual search task.

研究代表者

十河 宏行 (SOGO HIROYUKI)

愛媛大学・法文学部・准教授

研究者番号：90359795

研究成果の概要(和文)：

視覚探索における注意制御とサッカード軌道湾曲、マイクロサッカードの関係を明らかにするため、ランダムに配置された16個のアイテムにターゲットが含まれるか否かを判断する課題を遂行中の眼球運動を分析した。その結果、マイクロサッカード頻度はターゲットありと判断する直前に低下する事が示された。また、マイクロサッカード方向に関しては、注視位置から5度以内でアイテム数が多い方向へ向かう事、注視の直前、直後のサッカード方向および直前のサッカードの軌道湾曲方向と関連がない事が示された。これらの結果はマイクロサッカードが注視位置近傍における探索プロセスを反映していることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：

To investigate the relationship between attentional control in serial visual search, saccade trajectory curvature and microsaccades, we analyzed eye movement while judging whether a target was contained in randomly arranged 16 items. The results showed that microsaccade frequency fell just before judging that the target was present. Microsaccades occurred in the direction where items were contained more than chance level. No systematic relationship was observed between microsaccade direction, trajectory curvature of the preceding saccade and directions of the preceding and following saccade. These results suggest that microsaccades reflect the process of searching for the target near the current fixation point.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2010年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 総計 | 1,700,000 | 510,000 | 2,210,000 |

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：注意

1. 研究開始当初の背景

視覚を用いて特定の対象を探し出す事は視覚探索と呼ばれており、私達の日常生活において頻繁に行われる作業のひとつである。視覚探索の遂行においては注意の制御機構が重要な役割を果たしていると考えられる。視覚探索遂行中の注意制御機構の働きを調べるための指標のひとつとして、視覚探索遂

行中の眼球運動パターンが挙げられる。

従来、視覚探索中の眼球運動パターンの分析は、注視する位置の分布や順番、注視時間の長さといった、注視に関する分析が中心であった。しかし、最近の研究では、注視位置を変更する時に行われる「サッカード」と呼ばれる眼球運動の軌道の湾曲から、眼球運動を制御している注意の働きを推定できる事

が示されるなど、注視以外の眼球運動パターンにも様々な情報が含まれていることが明らかになってきた。

2. 研究の目的

本研究では、視覚探索を遂行中の眼球運動を記録し、サッカー軌道の湾曲、注視中に起こる微細な眼球運動といった注視以外の眼球運動パターンを分析する。特に「マイクロサッカー」と呼ばれる注視中の微小眼球運動と視覚探索中の情報処理過程と関係性を分析するとともに、サッカーの軌道湾曲とマイクロサッカーがどのような関係にあるかを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

分析用のデータとして、Eyelink(SMI 製)を用いて視覚探索課題を遂行中の左眼の眼球運動を250Hzのサンプリングレートで測定した。視覚探索課題はコンピュータディスプレイ上に表示された16個のアイテムの中に、指定されたアイテム(ターゲット)が含まれているか否かを出来るだけ速く正確に二者択一で回答するものであった。ターゲットは切れ目のない円、それ以外のアイテムは円の上下左右いずれかの方向に切れ目が入った図形とした。アイテムは8×8のグリッドに配置した。アイテムの直径は視角1.1度、アイテム間の最小距離は視角2.7度であった(図1)。ターゲットを含む画面を120種類、含まない画面を120種類、合計240種類の課題画面を作成した。実験参加者は各画面を1回ずつ、240試行をおこなった。探索中の眼球運動方略に関しては、探索開始時に画面中央を注視すること以外は参加者に教示を与えず、自由に眼球運動をおこなわせた。

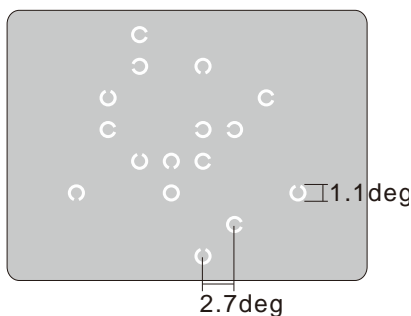


図1: 実験に用いた刺激

測定した眼球運動軌跡から、マイクロサッカーを検出した。多くのマイクロサッカーの研究では、実験参加者に一点を注視するように教示し、それにもかかわらず生じる微小な眼球運動の中からマイクロサッカーを検出するという手法をとっている。しかし、本研究では実験参加者は自由に眼球運動しており、微小な眼球運動のうちどこまでが注

視中のものと判断するかは確立された手法が存在しない。そこで、本研究では、Engbert & Kliegl (2003)のアルゴリズムを元に3種類の方法でマイクロサッカーの検出を試みた。

Engbert & Kliegl (2003)の方法では、まず注視中の眼球運動速度のX成分(V_x)、Y成分(V_y)に対して以下の式を適用して閾値 η_x 、 η_y を決定する。ただし、 \sqrt{z} は z の平方根、 $M(z)$ は z の中央値である。

$$\eta_x = \sqrt{M(V_x^2) + M(V_y^2)}$$

$$\eta_y = \sqrt{M(V_y^2)M(V_x^2)}$$

これらの閾値の定数倍以上の速度で一定時間以上持続する運動をマイクロサッカーとして検出する。この方法の長所は測定ノイズに対して頑健であることだが、参加者が注視を保つことを前提としているため、サッカーが多数含まれる眼球運動軌道のデータにそのまま適用すると問題が生じると予想される。なぜなら、サッカーは高速な運動であるため、サッカーを含まないデータと比較すると相対的に速度の中央値が高くなり、結果として閾値が高くなりマイクロサッカーが検出されにくくなるからである。しかし、この方法を使用してマイクロサッカーを検出した先行研究も発表されているため(Otero-Millan, 2008)、Engbertらの方法をそのまま測定データに適用して振幅に基づいてマイクロサッカーを判定する方法を試みた。具体的には、まずEngbertらの方法に基づいてマイクロサッカーの候補を決定し、そのうち振幅が1度以下の眼球運動をマイクロサッカーと判定した。以下、この方法を方法(1)とする。

方法(2)では、サッカーの影響を除外するために、まずEyelinkによって抽出された注視中の眼球運動の軌跡を用いた。そして、個々の注視に対してEngbertらの方法を適用して閾値を決定し、マイクロサッカーを検出した。この方法はサッカーの影響を受けないという点で方法(1)より優れていると考えられるが、本来測定ノイズ除去のために決めている閾値が一回の測定中に含まれる注視の間ですら異なる値になってしまうという問題点がある。また、時間が短い注視では有効に閾値を決定することが出来ないことが予想される。

方法(3)では、方法(2)のこれらの問題点を考慮し、試行毎にEyelinkによって抽出された注視中の眼球運動軌道を順番に連結した。そして、連結した軌道に対してEngbertらの方法を適用して閾値を決定した。最後にこの閾値を用いて個々の注視中の眼球運動軌道に対してEngbertらの方法を適用し、マイクロサッカーを検出した。煩雑な方法だが、試行内で閾値が一貫しており、サッカーの影響も効果的に除外されることが期待でき

る。

4. 研究成果

まず分析方法(1)の有効性を確認するため、で検出されたマイクロサッカードを Eyelink によってサッカードと判定された眼球運動を比較した。その結果、方法(1)によってマイクロサッカードと判定された眼球運動の約 65%が、Eyelink によってサッカードと判定される眼球運動と一致した。これは、方法(1)で検出された「マイクロサッカード」を通常のサッカードと区別して分析する意義を疑わせる結果であると言わざるを得ないため、方法(1)は以後の分析からは除外した。方法(2)および(3)で検出されたマイクロサッカードは、検出の手順上、Eyelink によってサッカードと判定される眼球運動と重複することはありえない。

方法(2)と(3)で検出されたマイクロサッカードが、探索を開始してから何回目の注視中に生じたかで分類し、注視回数毎にマイクロサッカード発生頻度を計算した。ただし、本実験では自由に眼球運動を行わせており、参加者毎、試行毎に注視回数が異なるため、注視回数毎に集計しただけでは注視回数が増えるにしたがってデータ数が少ないという問題が生じる。そこで、試行開始から数えた注視回数を用いた集計の他に、試行終了から遡って数えた注視回数を用いた集計も行った。試行開始から数えた集計結果を図 2、終了から遡って数えた集計結果を図 3 に示す。

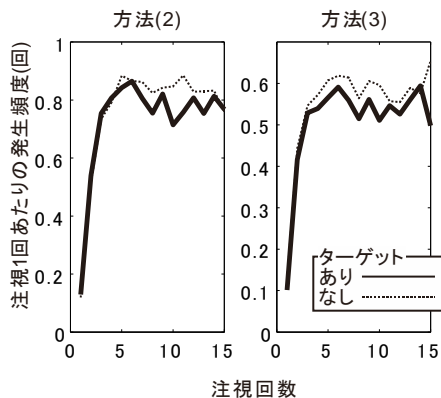


図 2：方法(2)および(3)によるマイクロサッカード発生頻度の注視回数による変化。注視回数は試行開始から数えている。

注視回数別のマイクロサッカード発生頻度の変化は方法(2)でも(3)でも同様の傾向を示しており、方法(2)では開始後 5 回目以降の注視で約 0.8 回程度のマイクロサッカードが検出されていることが明らかになった(図 2)。この値は 1 秒毎に換算すると 2 回を超える値であり、マイクロサッカードの頻度

としては高すぎる。方法(3)は方法(2)よりは低い頻度を示しているが、やはり先行研究と比較すると高い値を示している。これらの傾向は検出方法に問題があるのか、実験参加者に一点を注視するように教示していないという本実験の実施方法によるものなのかは今後詳しく検討する必要がある。

全参加者のデータが得られる 1 回目から 7 回目までの注視に注目して、試行開始から数えた注視回数を用いた計算結果(図 2)に対して注視回数とターゲットの有無を要因とする分散分析を行った結果、方法(2)では注視回数の主効果が有意であった($p < .05$)。方法(3)では注視回数の主効果とターゲットの有無の効果が有意であった($p < .05$)。ターゲットありの試行の方がなしの試行より発生頻度が低かった。

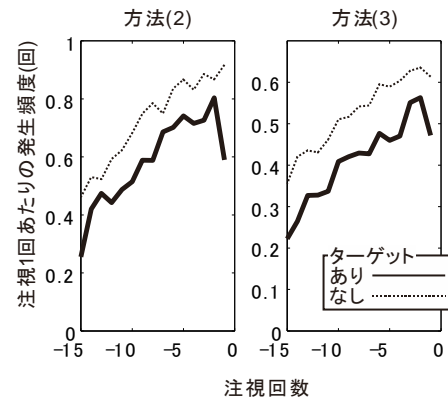


図 3：方法(2)および(3)によるマイクロサッカード発生頻度の注視回数による変化。注視回数は試行終了から遡って数えている。

同様に、試行終了から遡って数えた注視回数を用いた計算結果(図 3)に対しても 1 回目から 7 回目までの注視に注目して注視回数とターゲットの有無を要因とする分散分析を行った結果、方法(2)では注視回数の主効果、ターゲット有無の主効果、両者の交互作用が有意であった($p < .05$)。ターゲットありの方が発生頻度は低く、特に試行終了直前の最後の注視において発生頻度が低かった。方法(3)では注視回数の主効果とターゲット有無の主効果が有意であった($p < .05$)。やはり、ターゲットありの方が発生頻度は低かった。

注視回数とマイクロサッカード発生頻度に関する以上の結果は、マイクロサッカードが視覚探索における情報処理と関連していることを示唆している。マイクロサッカードが次の注視位置を決定する処理に関連していると考えれば、ターゲットあり試行の試行終了直前に発生頻度が低下することをうまく説明できると考えられる。ただし、ターゲットあり試行における発生頻度の低下が試

行から注視を数回以上さかのぼっても見られる点については注意を要する。この傾向はターゲットあり試行において相対的に注視回数が少ない事と、試行開始直後のマイクロサッカード頻度が非常に低い(図 2)ことから説明可能だと思われるが、今後詳しい分析が必要である。

サッカード軌道の湾曲は、サッカードを実行するときにサッカード終点以外の位置に向けられた注意の働きを反映しており、注意を向けている方向に向かって湾曲したり、逆に注意を向けないようにしている方向を避けるように湾曲したりすることが知られている(Stigchel et al., 2006)。したがって、次に行うサッカードを決定する際に、結果として次のサッカードの目標としては選ばれなかったが注意を向けた位置をマイクロサッカードが反映していると仮定すると、マイクロサッカードの方向とサッカード軌道の湾曲方向の間に関連がみられると予想される。図 4 は、方法(3)により検出したマイクロサッカードの方向に対して、直後に生じたサッカードの軌道の湾曲を Sogo & Takeda (2006)の方法で計測した値をプロットものである。マイクロサッカード方向を要因とする分散分析を行った結果、有意な効果は認められなかった($p > .05$)。マイクロサッカードの方向は、次に行うサッカード方向の決定とは異なる処理に対応していると考えられる。

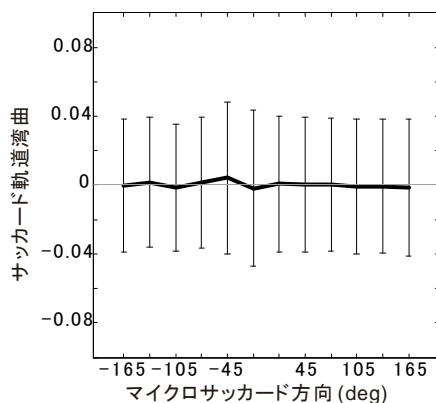


図 4: 方法(3)で検出されたマイクロサッカード方向と直後に生じたサッカードの軌道の湾曲の関係

それでは、より直接的にマイクロサッカードとそれに続くサッカードの方向に関する関係はないだろうか。マイクロサッカードの方向と、それに続くサッカードの方向の角度差を計算し、角度差毎にその発生頻度を集計したものが図 5 である。角度差を要因とする分散分析をおこなった結果、方法(2)、方法(3)とも有意な効果はみられなかった($p > .05$)。

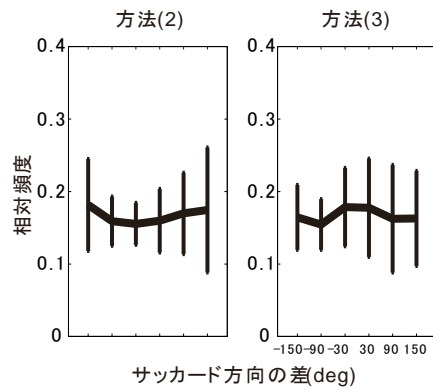


図 5: 方法(2)および(3)で検出されたマイクロサッカードの方向と、その直後に続くサッカードの方向の差の関係。方向差に対する発生頻度をプロットしている。

マイクロサッカードが次に行うサッカードの方向と関連がないとすると、他にどのような可能性が考えられるだろうか。もしマイクロサッカードが注視位置を変更しようとする前の注視位置周辺の刺激の確認に関係しているならば、注視位置から一定の範囲に存在する刺激の位置とマイクロサッカードの方向に関連があるはずである。図 6 は、方法(3)で検出されたマイクロサッカードの始点を基準として半径視角 5 度以内のアイテムの方向を 60 度間隔の 6 つの bin で集計し、アイテムが含まれる bin 数毎にアイテムが存在する方向にマイクロサッカードが向いている確率を計算したものである。bin 数が 0 および 6 の時の確率は必ず 0、1 なので除外している。5 本の水平な点線は、bin 数が 1 から 5 の時に偶然マイクロサッカード方向にアイテムが存在する確率を示しており、これらの点線を上回っていれば偶然より高い確率でマイクロサッカードがアイテム方向に向いていることを意味している。分析の結果、bin 数が 1 から 3 個の時は有意にチャンスレベルより高い確率でマイクロサッカードがアイテム方向に向いていることが示された($p < .05$)。マイクロサッカードが注視位置周辺に含まれる刺激の確認に関与している可能性を示唆する結果だと言えよう。

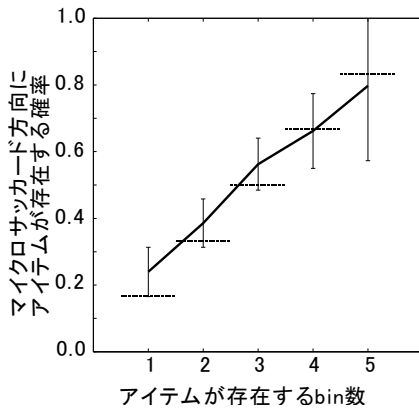


図 6：方法(3)で検出されたマイクロサッカードの方向にアイテムが存在する確率。点線は偶然アイテムが存在する確率を示している。

以上の結果から、本研究で用いたマイクロサッカード検出方法(2)および(3)で得られた眼球運動は、現在の注視位置周辺5度以内のアイテムに注意を向け、アイテムがターゲットであるか否かを判断する処理過程に関与していることが考えられる。5度という範囲は視野中心から離れるほど視力が低下するという人間の視野の特性に由来する可能性が考えられるが、他にも今回使用した探索画面のアイテム間の距離、ターゲットの判別の難易度に依存している可能性もある。今後、こういった可能性を実験によって検証する必要があるだろう。

参考文献

- Engbert, R. & Kliegl, R. (2003) Micro-saccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Research*, 43, 1035 - 1045.
- Otero-Millan, J., Troncoso, X. G., Macknik, S. L., Serrano-Pedraza, I., & Martinez-Conde, S. (2008). Saccades and micro-saccades during visual fixation, exploration, and search: foundations for a common saccadic generator. *Journal of Vision*, 8, 21 21-18.
- Sogo, H., & Takeda, Y. (2006). Effect of previously fixated locations on saccade trajectory during free visual search. *Vision Research*, 46, 3831-3844.
- Van der Stigchel, S., Meeter, M., & Theeuwes, J. (2006). Eye movement trajectories and what they tell us. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30, 666-679.

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)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. 十河宏行, 視覚探索課題遂行中におけるマイクロサッカードの発生頻度の時間的変化, *Vision*, 査読無, 22 巻, 131-134, 2010

[学会発表] (計 8 件)

1. 十河宏行, サッカード軌道湾曲と直前の注視時間の関係, 日本心理学会第 73 回大会, 2009 年 8 月 26 日
2. 十河宏行, 視覚探索課題における項目の配置と最初の注視時間の関係, 日本基礎心理学会第 28 回大会, 2009 年 12 月 6 日
3. 十河宏行, 視覚探索課題遂行中におけるマイクロサッカードの発生頻度の時間的変化, 日本視覚学会 2010 年冬季大会, 2010 年 1 月 22 日
4. 十河宏行, 見落としはなぜ起こるのか: 眼球運動の認知心理学, 愛媛大学法文学部・新潟大学人文学部学術交流講演会, 2010 年 2 月 13 日
5. 十河宏行, 視覚探索中に生じるマイクロサッカードとサッカード軌道湾曲の関連, 「注意と認知」研究会第 8 回合宿研究会, 2010 年 3 月 29 日
6. 刺激配置が等しく刺激画面サイズが異なる視覚探索課題の難易度の比較, 日本心理学会第 74 回大会, 2010 年 9 月 21 日
7. 十河宏行, 視覚探索における最初のサッカードの方向とアイテム密度、ターゲット偏心度の関係, 日本基礎心理学会第 29 回大会, 2010 年 11 月 27 日
8. 十河宏行, 視覚探索課題遂行中におけるマイクロサッカードの方向とアイテム位置の関係, 日本視覚学会 2011 年冬季大会, 2011 年 1 月 20 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

十河 宏行 (SOGO HIROYUKI)
愛媛大学・法文学部・准教授
研究者番号: 90359795

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者