

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变化

十河 宏行

愛媛大学 法文学部

〒790-8577 松山市文京町3番

1. 目 的

人間の眼球は、1点を固視している間にも固視微動と呼ばれる微小な運動をしている。固視微動のうち、振幅と最大速度などの関係が通常のサッカードと類似している運動をマイクロサッカードと呼ぶ¹⁾。マイクロサッカードは不随意運動であるが、その発生頻度や方向は注意の影響を受けることが報告されている²⁻⁶⁾。たとえばEngbertとKliegl²⁾はPosnerの手がかり課題⁷⁾において、マイクロサッカードの発生頻度は手がかり刺激提示直後に減少し、続いて刺激提示後300msから400ms後には増加するという時間特性を持つことを示した。さらに彼らは、マイクロサッカード発生頻度が増加する期間には手がかり刺激の方向に向かうマイクロサッカードが増加することも示した。これらのマイクロサッカードの性質は、潜在的注意の働きを可視化するための指標としてマイクロサッカードを利用できる可能性を示唆している²⁾。彼らの結果は実験参加者が1点を注視するように教示されている条件下で得られたものだが、実験参加者が注視位置を自由に変更できる課題においても同様にマイクロサッカードが生じるならば、マイクロサッカードの潜在的注意の指標としての有効性はさらに高まるだろう。本研究では、視覚探索課題を遂行中に行われた注視からマイクロサッカードを検出し、その発生頻度と方向を分析した。

2. 方 法

2.1 実験参加者

男性7名、女性7名の計14名が実験に参加した。すべての参加者は裸眼または矯正によって正常な視覚を有しており、眼球運動の異常はなかった。

2.2 実験装置および手続き

参加者を椅子に着席させて頭部運動をあげ台で制限し、参加者の正面57cmの距離にCRT(画面の広さ31.6×23.4°)を画面の中心が参加者の眼の高さとほぼ等しくなるように設置した。EyeLink(SR Research Ltd.)を用いて参加者の左眼の運動をサンプリング周波数250Hzで測定した。

参加者の課題は、課題画面上にターゲット刺激が存在するか否かを二者択一で回答することであった。課題画面は8×8の仮想的なグリッドの格子点に16個のアイテムをランダムに配置して作成した。ターゲットは切れ目のない円で、ディストラクタは上下左右いずれかに切れ目を入れた円であった。画面の背景は灰色、アイテムはすべて白色で描画された。グリッド幅は2.7°、ターゲットとディストラクタの直径は1.1°であった。ターゲットの出現確率は50%であった。

各試行の開始時に、画面中央に1辺0.5°の正方形が提示された。参加者がこの点を注視してキーボードのスペースキーを押すとEyeLinkのドリフト補正が行われ、補正が成功すれば直ちに課題画面が提示された。参加者は課題画面に

ターゲットが含まれていればスペースキー、なければテンキーの0をできるだけ速く正確に押すよう求められた。課題画面は参加者がいずれかのキーを押すまで表示され続けた。40 試行を1ブロックとして、6ブロック240 試行が行われた。

2.3 マイクロサッカードの検出

Engbert と Kliegl は、以下の式に基づいて閾値を決定し、閾値以上の速度の眼球運動をマイクロサッカードとする検出方法を提案した²⁾。

$$\eta_x = \lambda(\text{median}(v_x^2) - \text{median}(v_x)^2)$$

ここで η_x は閾値の x 成分、 λ は定数、 v_x は移動平均処理した眼球運動速度の x 成分である。 y 成分についても同様に閾値を決定する。この方法は注視中の眼球運動軌跡を分析することを前提としており、通常のサッカードまでマイクロサッカードと判定してしまう問題がある。本研究では、まず EyeLink を用いて注視中の眼球運動軌跡を取り出した。EyeLink のサッカード検出閾は速度 30 deg/s、加速度 8000 deg/s とした。その上で、個々の注視に対して独立に Engbert と Kliegl の方法を適応してマイクロサッカードを検出した。以下、この方法を「注視別」の検出法と呼ぶ。本研究ではさらに、1つの試

行で検出された注視の軌跡を n 番目の注視の終了点と $n+1$ の注視の始点を結合する形で全て結合し、結合された軌跡に対して Engbert と Kliegl の方法を適用してマイクロサッカードを検出する方法も試みた。以下、この方法を「試行別」の検出法と呼ぶ。

3. 結 果

参加者が誤反応した試行を含めてすべての試行における眼球運動を分析の対象とした。

反応時間はターゲット有り試行で 1782.2 ± 267.3 ms、無し試行で 3134.7 ± 812.6 ms であった。検出されたマイクロサッカードは注視別の方法で 1924.8 ± 519.0 個、試行別の方法で 1374.4 ± 613.5 個であった。図1は全参加者のマイクロサッカードの振幅に対して最大速度をプロットしたものである。試行別の方法と比較して、注視別の方法では振幅に対して最大速度がやや低い眼球運動や、非常に振幅が小さい眼球運動をマイクロサッカードとして検出している。

マイクロサッカードの発生頻度の時間特性を分析するため、課題画面が提示された瞬間の注視を1番目、反応した瞬間の注視を最後の注視として、1番目から15番目までの注視におけるマイクロサッカードの発生頻度を計算した。2

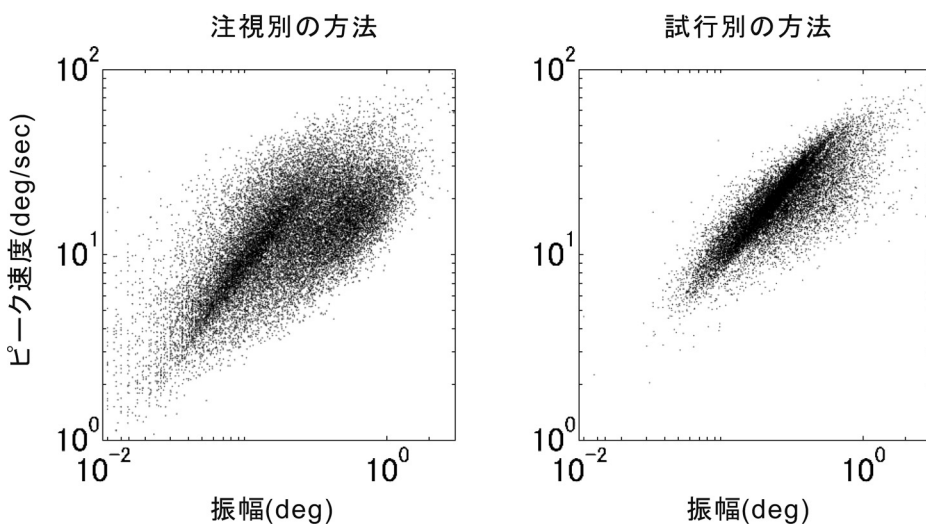


図1 検出されたマイクロサッカードの振幅と最大速度。左は注視別の方法で検出したもの、右は試行別の方法で検出した結果を示している。

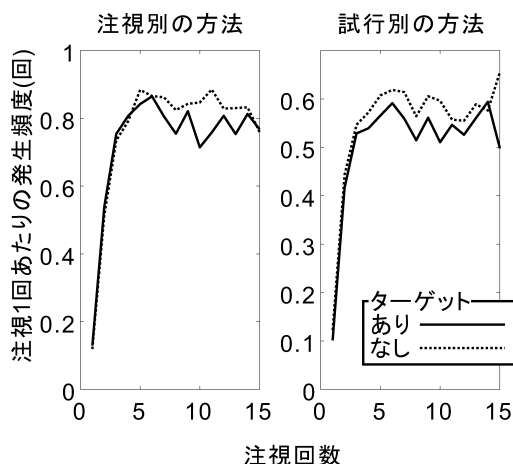


図2 注視回数とマイクロサッカド発生頻度。横軸の注視回数は、実験参加者および試行によって注視回数異なるため、最初の注視を1回目としてそろえている。したがって、グラフの右側ほどデータ数は少ない。

種類の検出方法別、ターゲット有無別に発生頻度をプロットしたものが図2である。全参加者のデータが得られる7回目の注視までにおける発生頻度に対して、注視回数と目標刺激の有無を要因とする分散分析を行った結果、注視別の方法では注視回数の主効果のみ ($F(6, 78) = 129.4, p < .05$)、試行別の方法では注視回数の主効果 ($F(6, 78) = 41.8, p < .05$) と目標刺激の有無の主効果 ($F(1, 13) = 4.9, p < .05$) が有意であった。図2のプロットでは試行終盤の注視における発生頻度の分析が難しいため、最後の注視を-1回目、その前の注視を-2回目、と注視回数を数えて図2と同様にマイクロサッカドの発生頻度を再計算したものが図3である。-1回目から-7回目の注視までにおける発生頻度に対して分散分析を行った結果、注視別の方法では注視回数の主効果 ($F(1, 13) = 52.1, p < .05$)、目標刺激の有無の主効果 ($F(6, 78) = 4.3, p < .05$) および交互作用が有意であった ($F(6, 78) = 7.1, p < .05$)。試行別の方法では、注視回数の主効果 ($F(1, 1) = 31.4, p < .05$) と目標刺激の有無の主効果が有意であった ($F(6, 78) = 6.8, p < .05$)。

続いてマイクロサッカドの方向と、マイク

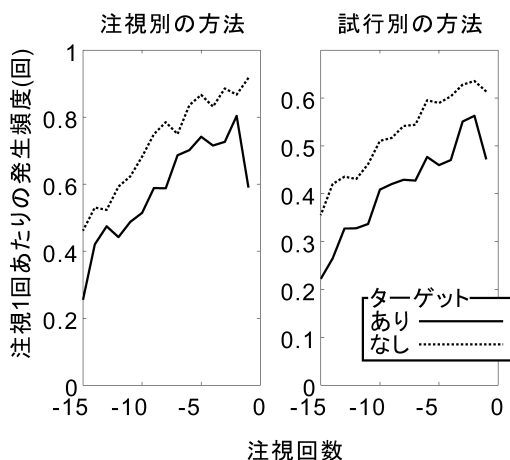


図3 注視回数とマイクロサッカド発生頻度。横軸の注視回数は最後の注視を-1回目としてそろえているため、グラフの左側ほどデータ数は少ない。

ロサッカドが検出された注視の前後に行われたサッカドの方向の関係を分析した。図4は、マイクロサッカドの方向を基準とした前後のサッカドとの方向差の頻度をプロットしたものである。方向差を要因とする1要因分散分析を行った結果、直前のサッカドとの方向差の効果のみ注視別の方法 ($F(5, 65) = 11.0, p < .05$) でも試行別の方法 ($F(5, 65) = 8.2, p < .05$) でも有意であった。

4. 考 察

本研究では2種類の方法で視覚探索課題遂行中のマイクロサッカドの検出を試みた。注視別の方法で検出されたマイクロサッカドは直前のサッカドの方向と同方向である頻度が低い点が興味深い。振幅が極端に小さい眼球運動や最高速度が相対的に低い眼球運動をマイクロサッカドとして判定しており、マイクロサッカドではない眼球運動を誤検出している疑いがある。マイクロサッカド方向の分析を進める前に、閾値を系統的に変化させたときに検出される眼球運動がどのように変化するかを丁寧に分析して、検出方法を改善する必要がある。一方、発生頻度の分析ではいずれの検出方法を用いても探索終盤の注視においてマイクロサッ

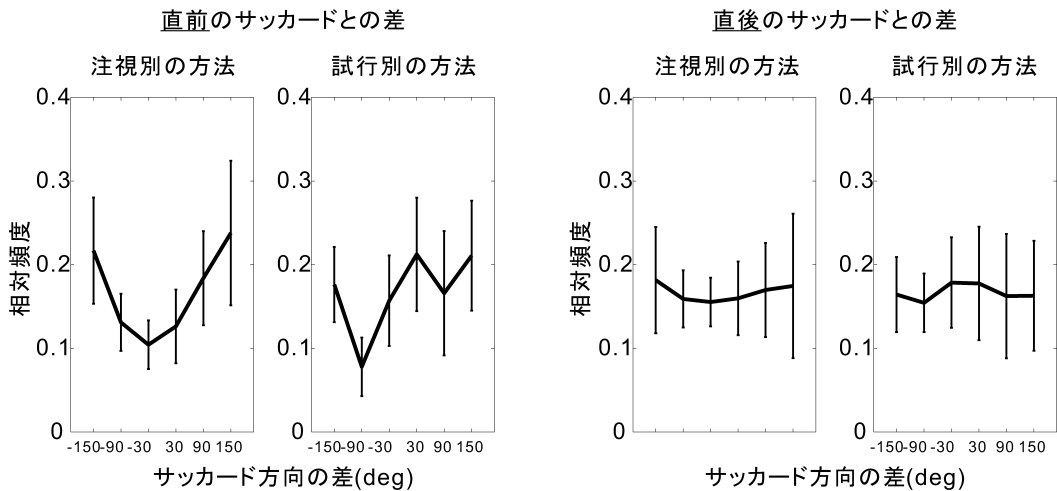


図4 マイクロサッカードの方向を基準とした前後のサッカードとの方向差。横軸の方向差は反時計方向の回転を正の値で示している。エラーバーは標準偏差を示している。

カードとして検出される眼球運動の発生頻度が低いことが示された。特に試行別の方法では、探索開始時に注視をそろえてもターゲットの有無による発生頻度の差がみられ、どちらのキーを押すか決定する以前からすでにターゲット有り試行と無し試行で探索方略が異なっている可能性を示している。ただし、発生頻度の計算時に注視回数によって注視時間が異なる可能性を考慮していないため、こちらをもさらに分析手法を改善していく必要がある。

今回はマイクロサッカードの方向と課題画面の関連の分析には至らなかったが、注視位置近傍の刺激配置によってマイクロサッカード方向が異なる可能性が考えられる。また、ターゲット刺激の顕在性や刺激配置によってマイクロサッカードの発生頻度や方向が変化することも考えられる。今後、マイクロサッカードの検出方法を確立させて、これらの問題に取り組んでいきたい。

謝辞 この研究は稲盛財団研究助成金および科学研究費補助金(21730596)の助成を受けて行われた。

文 献

- 1) 斎田真也：眼球運動の種類。大山 正，今井省吾，和気典二（編）新編感覚・知覚心理学ハンドブック，誠信書房，851-860，1994.
- 2) R. Engbert and R. Kliegl: Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Research*, **43**, 1035-1045, 2003.
- 3) G. Galfano, E. Betta and M. Turatto: Inhibition of return in microsaccades. *Experimental Brain Research*, **159**, 400-404, 2004.
- 4) J. Laubrock, R. Engbert and R. Kliegl: Microsaccade dynamics during covert attention. *Vision Research*, **45**, 721-730, 2005.
- 5) M. Turatto, M. Valsecchi, L. Tame and E. Betta: Microsaccades distinguish between global and local visual processing. *Neuroreport*, **18**, 1015-1018, 2007.
- 6) M. Rolf, R. Kliegl and R. Engbert: Toward a model of microsaccade generation: the case of microsaccadic inhibition. *Journal of Vision*, **8**, 1-23, 2008.
- 7) M. I. Posner: Orientation of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **32**, 3-25, 1980.