

サッカード軌道を湾曲させるのは位置ベースの抑制システムか？

十河宏行
武田裕司

日本学術振興会
産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門
産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門

視覚探索中には、一度注視した対象を再び注視しないように二種類の抑制が働いている。一つは、視線の移動から短時間だけ働く抑制であり、サッカード軌道の湾曲によって観察される。もう一つは、機能するまでの潜時が長く、その後数秒間持続する復帰抑制である。本研究では、キューされたオブジェクトが移動した場合でも、オブジェクトの移動先ではなく、キューが与えられた位置を避けてサッカード軌道が湾曲することを実験によって示した。この結果は、最初の抑制メカニズムはオブジェクトの移動に伴う抑制位置の更新処理をしない代わりに高速に直前の注視位置を抑制し、復帰抑制はその逆の性質を持つ事によって、相補的に一度注視した対象への抑制を実現している可能性を示唆している。

Keywords: spatial inhibition, saccade trajectory, object-based mechanism.

問題

ある対象に向かってサッカードを行うときに、その近傍に「注意を補足するが眼を向けてはいけない」刺激(捕捉刺激)が存在すると、その補足刺激を避けるようにサッカード軌道が湾曲する(e.g. Sheliga, Riggio, & Rizzolatti, 1995)。この現象は、サッカードの運動指令と補足刺激への抑制の競合によって起こると考えられている。最近、この軌道の湾曲現象を利用して、視覚探索中には直前に注視した位置へ戻るサッカードが抑制されていることが示された(Sogo & Takeda, 2006)。同様の視覚探索中の抑制効果として、一度注意を向けた刺激に対する反応速度が遅延する復帰抑制(IOR)が知られている。しかし、IORの効果が現れるまでには一般に数百ms以上の時間が必要なものに対して、サッカード軌道を湾曲させる抑制効果はサッカード終了直後が最も強く、時間の経過と共にIORと交代するように減衰する事から、両者は異なるメカニズムによって実現されていると考えられる(Godijn & Theeuwes, 2004; Sogo & Takeda, 2006)。

なぜ時間特性は異なるが機能的には類似した二つの抑制メカニズムが存在しているのだろうか。一つの仮説として、視覚探索中のIORはオブジェクトの移動に追従するなどの複雑な処理過程に基づいているのに対して(Ogawa, Takeda, & Yagi, 2002), 軌道湾曲を生む抑制メカニズムは早く確実に直前の注視位置へのサッカードを抑制することに特化している可能性が考えられる。この仮説が正しければ、軌道湾曲を生む抑制メカニズムは、オブジェクトの運動に関わらず位置ベースに働くと予想される。この予想を検証するために以下の実験を行った。

方法

実験手続

3名の被験者(YT,HS,KK)が実験に参加した。実験は Immediate条件とDelayed条件から構成された(ブロック間要因)。Figure 1に実験に用いた刺激を示す。い

ずれの条件においても、被験者が点Fを注視している時に、4個のプレイスホルダ(以下PH)のいずれか1個に赤または緑のCueが100ms提示され、その直後の100ms間に4個のHPが相対的な位置関係を保ったまま右または左に4度滑らかに移動した。Immediate条件では緑のCueが提示されたら直ちに点Tへサッカードを行い、Delayed条件ではCueのオンセットから600ms後に注視点が上向きの矢印に変化するのを待ってから点Tへサッカードを行った。この課題におけるサッカード潜時は平均300ms以上だったため、Immediate条件においても、サッカードが始まる前にはPHの移動が終了していた。いずれの条件でも、赤いCueが提示された場合は点Fを注視し続けるよう求められた。赤いCueが提示される割合は全試行の33%であった。各条件を24試行1ブロックとして10ブロック行った。以上の課題遂行中の被験者の左眼の運動を計測し、サッカード軌道の湾曲を評価した。湾曲の指標として、サッカード始点と終点を結ぶ直線からサッカード軌道へ引いた線分の長さの最大値(以下「最大偏移」)を用いた。

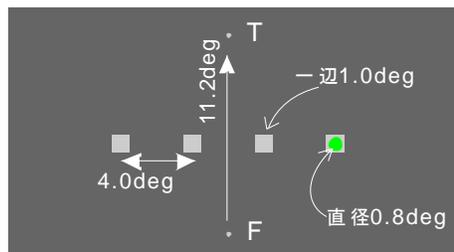


Figure 1. Stimulus used in this study.

予測される結果

Figure 2に実験結果の予測を示す。Figure 2左は抑制メカニズムがオブジェクトベースである場合、右は位置ベースである場合の予測である。Cueが提示されたPHを左から順にPH1~PH4とすると、CueがPH2に提示されて右スライドした試行およびPH3に提示されて左にスライドした試行では、Cueが提示されたPHが正

中線を越えて左右反対側へ移動する。従って、オブジェクトベースに抑制が移動するならば、PH2とPH3では、左スライドと右スライドの試行でサッカド軌道の湾曲方向が反転すると予想される (Figure 2左)。一方、抑制が位置ベースであればこのような反転は起きず、PH1とPH2にCueが提示された試行では右へ、PH3とPH4に提示された試行では左へ軌道が湾曲すると考えられる (Figure 2右)。PH1、PH4にCueが提示された場合は、左右どちらにスライドしてもスライドの前後でPHは反対側へ移動しないので、スライド方向に関わらずPH1に提示された場合は右へ、PH4に提示された場合は左へ軌道が湾曲すると予想される。

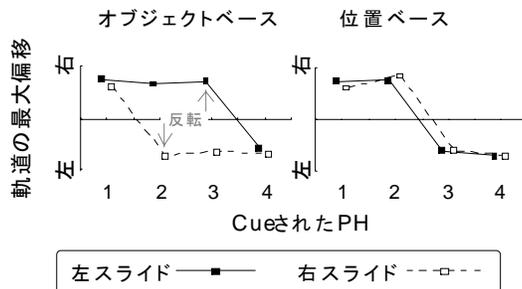


Figure 2. Saccade trajectory curvatures predicted from the object-based and location-based inhibitory mechanisms.

結果

すべての被験者において類似の傾向が見られたので、代表として被験者KKの結果をFigure 3に示す。CueされたPHとスライド方向の効果を分析するため、被験者毎に二元配置の分散分析をおこなった (Table 1)。その結果、Delayed条件ではすべての被験者において、CueされたPH、スライド方向、および両者の交互作用は有意ではなかった。Immediate条件では、すべての被験者においてCueされたPHの主効果が有意であった。下位検定の結果、被験者YTおよびHSにおいてはPH1、PH2とPH3、PH4の間に有意な差が見られた。被験者KKにおいては、PH1とPH2、PH3、PH4の間、およびPH2とPH3、PH4の間に有意な差が見られた。スライド方向の主効果については、被験者YTにおいてのみ、有意にスライドと反対方向にサッカド軌道が湾曲していた。CueされたPHとスライド方向の効果の交互作用は、すべての被験者において有意ではなかった。

以上の結果をFigure 2と比較すると、サッカド軌道の湾曲を生む抑制メカニズムはImmediate条件では位置ベースに働いていることがわかる。一方Delayed条件では抑制の効果はほとんど消失していると考えられる。

考察

Delayed条件ではCueの提示から600ms+眼球運動の潜時(約200ms)の時間間隔を置いてサッカドが行われているが、この条件において軌道の湾曲が見られなかったことは、軌道の湾曲を生む抑制メカニズムの時間特性がIORのそれとは異なるとする先行研究の知見

を補強するものである。また、Immediate条件においてFigure 2左の予想で示した湾曲方向の反転が起きなかったことは、湾曲を生む抑制メカニズムは主に位置ベースで機能しており、オブジェクトベースの働きは存在しないか、今回の方法では検出できないほど微弱なものであることを示唆している。IORは位置ベースにもオブジェクトベースにも働くことから、軌道の湾曲を生む抑制メカニズムはIORと異なる性質であることがわかる。以上の結果は、軌道の湾曲を生む抑制メカニズムはオブジェクトベースのような複雑な処理を行っていないであろうという予想を支持するものであり、時間的に分離して作用するこれらの抑制機能が視覚探索において相補的に働いているものと考えられる。

Table 1. Results of ANOVA (slide direction × cued PH)

Condition	Slide dir.	Cued PH	Interaction	
Immediate	YT	F(1,144)=103**	F(3,144)=27**	F(3,144)=0.6
	HS	F(1,119)=0.4	F(3,119)=6.3**	F(3,119)=1.3
	KK	F(1,135)=0.7	F(3,135)=24**	F(3,135)=0.0
Delayed	YT	F(1,150)=0.7	F(3,150)=0.5	F(3,150)=1.3
	HS	F(1,131)=1.0	F(3,131)=1.7	F(3,131)=0.9
	KK	F(1,136)=0.0	F(3,136)=2.3	F(3,136)=0.3

** $p < 0.01$

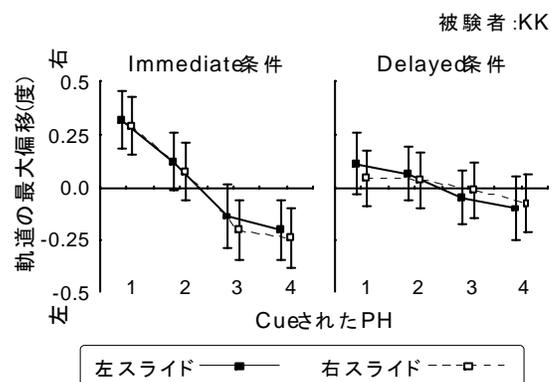


Figure 3. The result of Experiment. The data for KK are plotted here.

引用文献

- Godijn, R. & Theeuwes, J. (2004). The relationship between inhibition of return and saccade trajectory deviations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 538-554.
- Sheliga, B. M., Riggio, L., & Rizzolatti, G. (1995) Spatial attention and eye movements. *Experimental Brain Research*, 105, 261-275.
- Sogo, H., & Takeda, Y. (2006). Effect of previously fixated locations on saccade trajectory during free visual search. *Vision Research*, 46, 3831-3844.
- Ogawa, H., Takeda, Y., & Yagi, A. (2002). Inhibitory tagging on randomly moving objects. *Psychological Science*, 13, 125-129.