

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：32665

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H06443・19K21514

研究課題名(和文) ターゲットの移動予測時における視線活動と脳活動様式の解明

研究課題名(英文) Elucidation of eye gaze and brain activity patterns during motion prediction of a moving target

研究代表者

越澤 亮 (Koshizawa, Ryo)

日本大学・経済学部・講師

研究者番号：80822791

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：人々は移動するターゲットが見えない中で眼球の速度を維持することはできませんが、サッケードによって視線をターゲットの軌道に近づけてポジションエラー(視線とターゲットの2点間の距離)を修正することがあります。本研究は、このポジションエラーの修正に關与する脳波パワースペクトラムに焦点を当てました。その結果、ターゲットが見えなくなってから、移動ターゲットの追従に關連する右後側頭領域の脳波パワーが増加するにつれてポジションエラーが減少することを示しました。以上のことから、移動ターゲットが見えない中でポジションエラーを減らすためには、右後側頭領域の活動が關与することが明らかになりました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、これまで明らかにされていない滑動性追跡眼球運動、サッケードの眼球運動ストラテジーによって、いかにターゲットに対する視線のポジションエラーを減らしているかを、その時の脳内の活動様式と対応させて明らかにした点です。本研究の社会的意義は、移動するターゲットをどのような思考の下で見るべきか、「視線ストラテジー」を提示することで、円滑な球技スポーツの教育や指導が期待できるが、本研究で得られた成果はその資料の一部になり得ると考えられます。

研究成果の概要(英文)：Although people cannot maintain eye-tracking velocity when a moving target is invisible, people may correct for the position error (the distance between the eye gaze and the moving target) by saccades that bring the eye gaze towards the target trajectory. In the present research, we focused on the Electroencephalogram (EEG) power spectrum involved in the correction of this position error. The results showed that the position error decreased as EEG power increased in the right posterior temporal region related to the tracking of a moving target after the target occluded. Our findings suggest that the activity of the right posterior temporal region is involved in reducing position errors when a moving target is invisible.

研究分野：身体教育学

キーワード：移動ターゲット occlusion 予測 position error 脳波 時間周波数解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

球技スポーツでは、ボールの軌道などの移動を予測できて初めて到達位置と到達時間の予測が可能となると考えられる。ボールなどのターゲットの移動を予測する際の視線活動に関するこれまでの研究の多くは、特定の位置に視線を向けた時間や回数、saccade の回数を検討したものがほとんどである。ターゲットと視線の向けられた位置からそれらの距離(以下、position error)を検討している研究は少ない。また、視線活動と同様、ターゲットの移動予測に関する脳研究の多くは、一連の課題を通して活動する脳領域の解明にとどまっている。移動するターゲットの予測時に、刻々と変化するターゲットに向けられた視線の位置情報は、脳によって調節した結果である。

以上のことから、ターゲットの移動を予測している時の視線と脳の調節過程はどのようになっているかという学術的問いを明らかにするためには、ターゲットおよび視線の向けられた位置情報と脳活動様式を細かい時間分解能で検討していく必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、ターゲットの移動予測時の視線活動と脳波を、ミリ秒オーダーで同時計測することで、どのような脳活動様式の下で、どのような視線活動を遂行しているか明らかにすることを目的とした。特に、ターゲットに向けられた視線の位置座標を細かい時間分解能で抽出し、その時の脳活動様式を脳波ベースで解明することは、これまでの研究手法にはあまりない。脳波はごく短時間の脳活動様式を捉えるのに適している。具体的な目的は以下の通りである。

- (1) 重力加速度を伴って下方に移動ターゲットと、等速で下方に移動するターゲットの移動予測時における視線活動と脳波を同時計測することで、移動ターゲットの加速度が視線活動と脳活動様式に与える影響を明らかにすることを目的とした。
- (2) (1) で用いた移動ターゲットが途中で見えなくなる状況で視線活動と脳波を同時計測することで、移動ターゲットが途中で見えなくなることが視線活動と脳活動様式に与える影響を明らかにすることを目的とした。
- (3) (1) で用いた移動ターゲットが途中で見えなくなる状況において、ターゲットに対する視線の position error を減らせた時には、どのような脳活動様式が生じるか明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者

1年目と2年目を通して被験者は、視覚異常、神経疾患のない健常な成人30名(18-38歳、男性21名、女性9名)を対象とした。実験は1964年制定のヘルシンキ宣言に従って行われ、日本大学生産工学部人を対象とする研究倫理審査委員会に認められた後に実施した。実験に先立ち、被験者には本研究の内容を説明し、実験参加への同意を得た。被験者は全員右手が利き手であった。

(2) 課題

被験者は、コンピュータディスプレイ上を2400msかけて移動するターゲットに対して眼球で追跡する課題を行った。課題1として被験者は、実際のターゲットが移動する時に受ける重力の影響を考慮して、重力加速度を伴って下方に移動するターゲットを眼球で追跡する課題を行った(研究目的(1))。課題2として被験者は、等速で下方に移動するターゲットを眼球で追跡する課題を行った(研究目的(1))。課題3として被験者は、課題2と同様の移動ターゲットが途中で見えなくなる中、ターゲットを眼球で追跡する課題を行った(研究目的(2))。球技スポーツの多くは、実際にボールが見えなくなることはないが、ボールを見続けることが不可能である場合や、見続けられない方が他に注意を向けられるので、競技を進める上で有利となる場合がある。課題3では課題中の半分である1200msの間が見えなくなる設定とした。

(3) 記録

課題中の視線活動と脳波を同時計測した(図1)。課題中の視線活動は、被験者から0.6m離れた19インチのコンピュータディスプレイタイプの視線計測装置であるGazefinder(JVCKENWOOD社製)を用いて、サンプリング周波数50Hzで記録した。脳波は、モバイル型多チャンネル脳波アンプeego sports(ant neuro社製)を用いて、頭皮上32カ所からサンプリング周波数1000Hzで記録した。

(4) 解析

視線活動の解析には、ターゲットに対する視線の position error および saccade 数を求めた。

脳波解析には、EMSE Suite v5.6(Source Signal Imaging, Inc. San Diego)を使用した。各課題ともに、ターゲットの移動開始200ms前から2400ms後までを脳波解析区間とした。全電極の脳波の平均値をリファレンス(common average reference)に再基準化した。その後、複素 Morlet wavelet transformation による時間



図1 視線活動と脳波の同時計測
コンピュータディスプレイ上で移動ターゲットを追跡する課題中の視線活動と脳波を同時計測した。

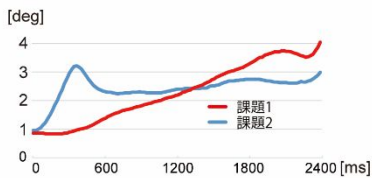


図2 課題1と課題2の position error
重力加速度を伴って移動する課題1と等速で移動する課題2を行っている時の position error の結果を示した。重力加速度のある課題1の方が、ターゲット移動開始直後に position error が少なかった。横軸はターゲットが移動を開始してから時間を示した。縦軸は position error として視角を示した。

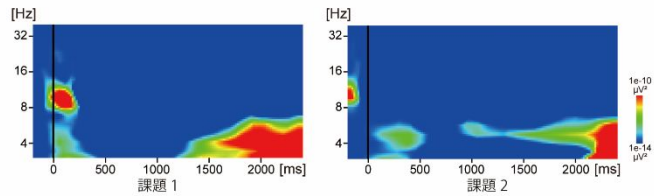


図3 課題1と課題2の頭頂領域における脳活動様式
重力加速度を伴って移動する課題1と等速で移動する課題2を行っている時の頭頂領域における時間周波数解析の結果を示した。重力加速度のある課題1の方が、10 Hz 前後でターゲット移動開始直後に活動がみられた。そのために視覚情報処理を円滑に行うことができ、position error も少ない結果になったものと考えられる。横軸はターゲットが移動を開始してから時間を示した。縦軸は脳波周波数を示した。

周波数解析を行った。電極および周波数ごとに、ターゲットの移動開始 200 ms 前から移動開始までの区間を基にベースライン処理した。被験者ごとに加算平均を行い、全被験者について総加算平均を行った後、課題ごとの値を算出した。

4. 研究成果

(1) 移動ターゲットの加速度が視線活動と脳活動様式に与える影響

課題1である重力加速度を伴って移動するターゲットを眼球で追跡する課題時の視線と脳波を同時計測した結果、等速で移動するターゲットと比較して、移動開始直後のターゲットに対する position error が少なかった(図2)。これは課題2よりも重力加速度のある課題1の方が、ターゲット移動開始直後に頭頂領域における 10 Hz 前後の周波数帯域の活動による、視覚情報処理が円滑に行われていたためであると考えられる(図3)。また、移動ターゲットの加速途中では、側頭領域、頭頂領域の活動によって、ターゲットの動きを注意深く分析することによる視覚情報処理と、重力加速度に関する内部感覚の統合を計っていることが示唆された。

(2) 移動ターゲットが途中で見えなくなる状況が視線活動と脳活動様式に与える影響

課題3である等速に移動するターゲットが見えなくなった時の視線と脳波を同時計測した結果、ターゲットが途中で見えなくなるのにも関わらず、ターゲットを終始見続けられる課題2と比較して、移動ターゲットに対する position error に差がなかった(図4)。これは、ターゲットが途中で見えなくなってから saccade を行うことで position error を最小限にとどめていると考えられる(図5)。これまでの先行研究でも、移動ターゲットが見えなくなってから 216-596ms 後に saccade の大部分は生じることからも (Bennett and Barnes, 2006), これらの結果は先行研究の結果を支持する結果となった。

それではそのような視線活動はどのような脳活動様式によって制御されているのであろうか。課題中の脳波を周波数解析した結果、ターゲットを終始見続けられる課題2よりも課題3の方が、ターゲットを視知覚可能な時に後側頭領域と頭頂領域の活動が有意に高かった。右半球の後側頭領域は、移動ターゲットの pursuit 開始時に活動する (Greenlee et al., 1995)。頭頂領域は予期しない刺激に注意を向け直す時に活動する (Corbetta and Shulman, 2002)。有意差が生じたタイミングはどちらの課題もターゲットを視知覚可能であるが、課題3は後にターゲットが見えなくなるので、それまでによりターゲットを正確に追跡しようという行動を今回の結果は反映しているものと考えられる。

また、ターゲットを終始見続けられる課題2よりも課題3の方が、ターゲットが見えなくなった時に頭頂領域の活動が有意に高かった。頭頂領域は、ターゲットが見えなくなった時における眼球運動情報の維持・調節に関連する機能を有する (e.g. Makin et al., 2009)。したがって、課題3のターゲットが見えなくなった時における頭頂領域の脳活動は、眼球運動情報の維持・調節を反映する活動であると考えられる。

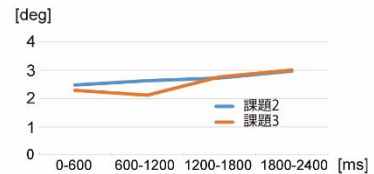


図4 課題2と課題3の position error
課題3は1200ms以降ターゲットが途中で見えなくなるのにも関わらず、ターゲットを終始見続けられる課題2と比較して、移動ターゲットに対する視線の position error に差が生じなかった。横軸はターゲットが移動を開始してから時間を示した。縦軸は position error として視角を示した。

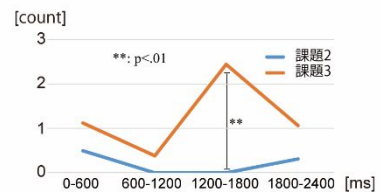


図5 課題2と課題3の saccade
ターゲットが途中で見えなくなった時 (1200-1800ms) に課題3では課題2よりも saccade を有意に多く行うことができていた。これにより position error を最小限にとどめていたと考えられる。横軸はターゲットが移動を開始してから時間を示した。縦軸は saccade を実施したサンプル数を示した。

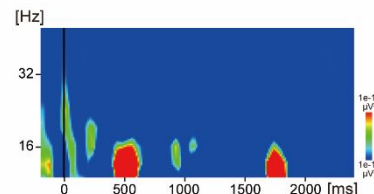


図6 position error の少ない被験者の後側頭領域における脳活動様式
position error の少ない被験者の後側頭領域の時間周波数解析の結果を示した。負の相関関係が生じたターゲットの移動開始直後とターゲットが見えなくなった後に活動が顕著にみられた。横軸はターゲットが移動を開始してから時間を示した。縦軸は脳波周波数を示した。

(3) ターゲットに対する視線の position error を減らせた時には、どのような脳活動様式が生じるか

課題 3 を行っている時の視線 (position error) と脳波 (時間周波数解析) とで、相関関係を時系列分析した。その結果、負の相関関係がみられたのは視覚領域、後側頭領域、運動前野であり、共通してターゲットの移動開始直後であった。移動を開始したターゲットに視線を移動させるのに要する時間は 160-170ms と言われている。その後ターゲットに対する視線の position error を減らすためには、等速の移動ターゲットに対して滑動性追跡眼球運動をする必要がある。視覚領域、後側頭領域、運動前野の活動が滑動性追跡眼球運動中の position error を減らすためには重要であることが示唆された。

また、後側頭領域の活動性と position error に負の相関関係がみられたのは、ターゲットが見えなくなってからであった。移動ターゲットが見えなくなってから 216-596ms 後に saccade の大部分は生じて (Bennett and Barnes, 2006), 上述のように本研究結果も同様のタイミングで saccade が生じたことから、この結果は見えなくなったターゲットに向けて saccade を行った後の結果を反映していると考えられる。後側頭領域は、ターゲットの動きに関する視覚的なフィードバックがない場合でも、継続的に更新される目の速度の表現を提供することからも (Bennett and Barnes, 2006), 見えなくなったターゲットの移動予測を行っていると考えられる。したがって、見えなくなったターゲットの移動予測を反映する後側頭領域の活動が position error を減らすためには重要であることが示唆された。図 6 に position error の少ない被験者における後側頭領域の時間周波数解析の結果を示した。負の相関関係が生じた、ターゲットの移動開始直後とターゲットが見えなくなった後に活動が顕著にみられた。

(4) 当初予期していないことが起きたことにより得られた新たな知見

課題 3 のように途中でターゲットが見えなくなる場合、position error を小さくするにはターゲットが見えなくなった時の脳活動が重要ではないかと当初は予期していた。しかし、実際はターゲットを視知覚可能な時の方が position error を減らすことに関連する脳領域が多かった。以上のことから、ターゲットを眼球によって追跡することが途中から困難な状況において position error を減らすには、ターゲットを視知覚可能な時にいかに移動ターゲットの速度等の情報を処理できるかがポイントになるのかもしれない。

(5) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本研究の位置付けは、これまで明らかにされていない smooth pursuit eye movement , saccade の眼球運動ストラテジーによって、いかにターゲットに対する視線の position error を減らしているかを、その時の脳内の活動様式と対応させて明らかにした点である。移動するターゲットをどのような思考の下で見るとすべきか、「視線ストラテジー」を提示することで、円滑な球技スポーツの教育や指導が期待できるが、本研究で得られた成果はその資料の一部になり得ると考えられる。

(6) 今後の展望

実際のスポーツ場面では、特に高速でターゲットが移動する場合は、ターゲットの動き始めに軌道、到達位置、到達時間を同時に予測判断して、その地点にサッケードを行うことが想定される。今後は、本研究課題のような移動ターゲットの軌道の予測を単独で検討するのではなく、移動ターゲットの軌道、到達位置、到達時間を同時に予測している時の視線活動と脳活動様式を検討することが望まれる。そのように実際のスポーツ場面に近づけることで、今後計画している応用研究への移行が円滑になる。

< 引用文献 >

- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews neuroscience*, 3(3), 201-215.
- Bennett, S. J., & Barnes, G. R. (2006). Combined smooth and saccadic ocular pursuit during the transient occlusion of a moving visual object. *Experimental Brain Research*, 168(3), 313-321.
- Greenlee, M. W., Lang, H. J. G., Mergner, T., & Seeger, W. (1995). Visual short-term memory of stimulus velocity in patients with unilateral posterior brain damage. *Journal of Neuroscience*, 15(3), 2287-2300.
- Makin, A. D., Poliakoff, E., & El-Deredy, W. (2009). Tracking visible and occluded targets: Changes in event related potentials during motion extrapolation. *Neuropsychologia*, 47(4), 1128-1137.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 越澤 亮, 沖 和磨, 高寄 正樹	4. 巻 24
2. 論文標題 移動ターゲット追跡時の視線活動と脳活動様式 重力加速度を伴いながら下方に移動するターゲットを用いての検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本大学商学部総合文化研究	6. 最初と最後の頁 261-278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 越澤 亮, 沖 和磨, 高寄 正樹
2. 発表標題 自由落下するターゲットを移動予測している時の視線活動と脳活動様式の解明
3. 学会等名 第73回日本体力医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Koshizawa, Kazuma Oki, Masaki Takayose
2. 発表標題 Line of sight and brain activity during pursuit of a moving target with constant velocity
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception 42nd(ECVP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----