

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：32665
研究種目：若手研究
研究期間：2020～2022
課題番号：20K19549
研究課題名（和文）移動ターゲットの軌道・到達位置・到達時間の予測時における視線活動と脳活動様式

研究課題名（英文）Gaze and EEG activity patterns during prediction of moving target trajectory, arrival position, and arrival time

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） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：移動するターゲットの「軌道」「到達位置」「到達時間」を予測している時の視線活動と脳活動様式を検討しました。

その結果、移動するターゲットの「軌道」を予測するには、ターゲットを視覚できない時に、右頭頂領域によるターゲットのポジションに対する注意が重要であることが明らかになりました。また、移動するターゲットの「到達位置」「到達時間」を予測するには、必ずしもターゲットから眼を離さずにパーシュートを行い続ける必要のないことが明らかになりました。そして、そのためには移動するターゲットの速度をいち早く左後側頭領域で処理して、サックードストラテジーを行う必要があることも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

学術的意義や社会的意義として、これまでの常識として考えられていた「ボールから眼を離さない」という球技スポーツにおけるストラテジーに対して、ブレイクスルーを起こし得る研究成果が挙げられます。それは単にサックードストラテジーを行う必要性があることの有用性にとどまらず、ブラックボックスであった、サックードストラテジーによる移動ターゲットの〔軌道〕〔到達位置〕〔到達時間〕の予測が、どのように脳内で処理された結果導かれるかを明らかにしたからです。球技離れが進む子ども達に対する指導法など、身体教育への波及効果が期待できると考えられます。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined gaze and EEG activity patterns when predicting the trajectory, arrival position, and arrival time of a moving target.

As a result, attending to the target's position through the activity of the right parietal region is crucial for predicting the trajectory of a moving target, even in situations where the target is occluded. In addition, to predict the arrival position and arrival time of a moving target, it is not always necessary to continuously pursue while maintaining visual fixation on the target. To accomplish this, it is necessary to quickly detect the speed of the moving target in the left middle temporal visual area and perform a saccade strategy.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：移動ターゲット 軌道 到達位置 到達時間 サックード パーシュート 視線 EEG

1. 研究開始当初の背景

移動ターゲットを鮮明に映すことが可能な網膜の中心窩で捉え続ける眼球運動を滑動性追従眼球運動というが(以下, パーシュート), パーシュートの正確性がターゲットの〔軌道〕〔到達位置〕〔到達時間〕の予測を正確にするのに影響を及ぼすことが基礎, 応用それぞれの先行研究から明らかになっている (e.g. Fookien et al., 2016)。しかし, 高速でターゲットが移動する場面もあり, パーシュートすることが困難となった時には, ターゲットの動き始めに〔軌道〕〔到達位置〕〔到達時間〕を予測判断して, その地点への急速な眼球運動によって視線を向けるサックードを行うことが有効である。しかし, パーシュートやサックードそれぞれの戦略による移動ターゲットの〔軌道〕〔到達位置〕〔到達時間〕の予測が, どのような脳活動によって導かれているかについては明らかではない。

この学術的問いを明らかにするには, 視線活動と脳活動を高い時間分解能で同時計測する必要がある。視線と脳活動の関連性をみることで, 正確な視線制御に必要な脳機能(例えば, 記憶や注意など)が, どのようなタイミングで発揮されるとターゲットに対するポジションエラーの少なさ(良いパフォーマンス)を生むかわかる。

2. 研究の目的

本研究では, コンピュータディスプレイ上において, 移動するターゲットの〔軌道〕〔到達位置〕〔到達時間〕これら3つの予測時における視線活動と脳活動様式を明らかにする。

これまでに, ターゲットを捉えるために行うパーシュートやサックードなどの眼球運動そのものを遂行するのに必要な脳機能は明らかになっている。しかし実場面では, 移動ターゲットの〔軌道〕〔到達位置〕〔到達時間〕などの予測を伴いながら眼球運動する必要があるが, その脳機能は明らかになっていない。特にターゲットに向けられた視線の位置情報と脳活動の関連性を, 視線計測器と脳波によって高い時間分解能で検討することは, これまでの研究手法にはない。

3. 研究の方法

(1) 実験参加者

18-23歳の参加者16名(平均年齢: 20.13歳, 男性14名)のデータが分析された。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

参加者は, 画面の左下から右下に向けて(重力加速度を模倣して)放物線状に移動するターゲットの〔軌道〕〔到達位置〕〔到達時間〕を予測する課題を実施した(図1)。なお, 最終到達位置が異なる3種類の移動ターゲット(CLOSE, MID, DISTANT)を使用した。

参加者は non-Occluded Pursuit Task (nOPT)(図1a), Occluded Pursuit Task (OPT)(図1b), Pursuit Strategy Task (PST)(図1c), Saccade Strategy Task (SST)(図1d)の4つのタスクを実行した。nOPT, OPT および PST では, 参加者はターゲットを目で追うように指示された。OPT および PST については, 軌道の後半(the occluded phase)では, 参加者は, 目に見えるターゲットがないにもかかわらず, ターゲットがまだ移動しているとイメージし, 目でその位置を予想するように指示された。PST の場合は, 参加者には, ターゲットがディスプレイ下部の最終到着点(開始点とほぼ同じ高さ)に到達すると予測したときに, 右手の親指でボタンを押すように指示された。SST では, 予想される最終到着点(出発点とほぼ同じ高さ)を予測したらすぐにそこに視線を直接移動させるよう参加者に指示した。そして参加者には, ディスプレイ下部の最終到達点(開始点とほぼ同じ高さ)に目を向け続け, 到達したと予測したら右手の親指でボタンを押して反応するように指示された。いずれのタスクでも, 3種類の放物線状に移動するターゲットがランダムに提示された。どちらのタスクでも, 30回の試行を6セット実行した。

(3) 記録

課題中の視線活動と脳波を同時計測した。課題中の視線活動は, 被験者から0.6m離れた

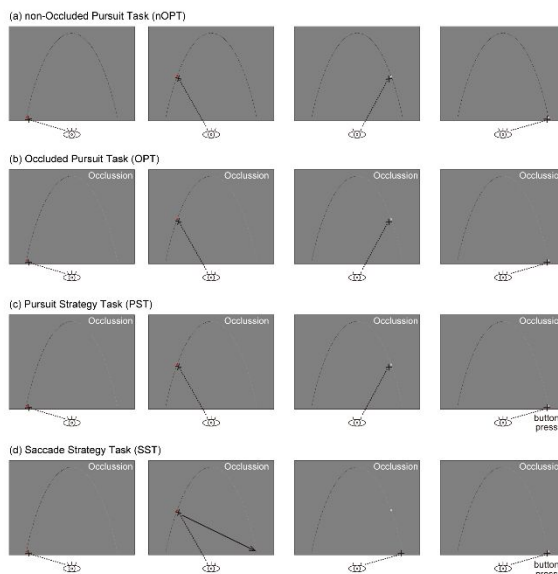


図1 課題 *Koshizawa et al. (2023) を改編

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, サンプル周波数 50 Hz 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 サンプル周波数 1000 Hz で記録した。

(4) 解析

視線計測して得られたデータを用いて, 以下のパラメータを算出した。【研究成果(1)】 x position error (PE) at point: 0.02s 刻みでの x 座標の視線位置とターゲット位置との距離 y position error (PE) at point: 0.02s 刻みでの y 座標の視線位置とターゲット位置との距離 gain 【研究成果(2)】 position error (PE) at the response: 参加者がボタン押し反応したときの視線位置と, 最終到着点のターゲット位置との距離 response error: 参加者がボタン押し反応したときから 4.6 秒 (ターゲットの移動時間) を引いた時間 PE at point: 0.02s 刻みでの視線位置と最終到着点のターゲット位置との距離 X coordinate at point: 0.02s 刻みでの X 座標の視線位置 Y coordinate at point: 0.02s 刻みでの Y 座標の視線位置

また, 脳波計測して得られたデータを用いて, low beta の脳波周波数帯域に対して Hilbert transforms を行うことで脳波パワーを算出した。low beta の脳波周波数帯域は, 本研究の課題に則した認知処理時に顕著にみられることが報告されているので (e.g. Spitzer & Haegens, 2017), 当該周波数帯域を採用することとした。

4. 研究成果

(1) 移動ターゲットの〔軌道〕予測時における視線活動と脳活動様式の解明

移動開始直後のターゲットに対するキャッチアップサッケード後に (図 2a), OPT 時に右頭頂領域の EEG 活動が有意に増加した (図 2b)。これはキャッチアップサッケード後の移動ターゲットのポジションに対する注意を反映していると考えられる (越澤ら, 2021a; Koshizawa et al., 2021; Koshizawa et al., 2022)。同様に, ターゲットが遮蔽されてからサッケード後に (図 2a), OPT 時に右頭頂領域の EEG 活動が有意に増加した (図 2c)。これもサッケード後の移動ターゲットのポジションに対する注意を反映していると考えられ (越澤ら, 2021a; Koshizawa et al., 2021; Koshizawa et al., 2022), ターゲットが遮蔽された状態であっても, 先ほどのターゲットが視知覚可能な時と同様の結果となった。

以上のことから, ターゲットの軌道予測には, パーシュートだけではなく, サッケードが必要であり, 右頭頂領域によってサッケード後に移動ターゲットのポジションに対する注意を向けることで, ターゲットの軌道予測が行われることが明らかになった。また, OPT の中でも PE の少ない参加者においても右頭頂領域の EEG 活動が有意に高い結果となった (越澤ら, 2021b; Koshizawa et al., 2021; Koshizawa et al., 2022)。ターゲットの軌道を正確に予測するためにも右頭頂領域が重要であると考えられる。

(2) 移動ターゲットの〔到達位置〕〔到達時間〕予測時における視線活動と脳活動様式の解明

PST と SST の間で, PE at the response に有意差は生じなかった (図 3a)。これまでの研究では, ターゲットに対するパーシュートの精度はインターセプト (いわゆるキャッチング) の精度にとって重要ではなく, インターセプトに優れた選手がそうではない選手と同様のパーシュートの精度を示すことが明らかになっている (Cesqui et al., 2015)。したがって, パーシュートを行わずに, ターゲットを「戦略的に」目で追わなくても, うまく到着位置を予測できることが明らかになった。PE at point については, SST の方が PST よりも, ターゲット移動開始後 0.40-4.60s 間に有意に減少した (図

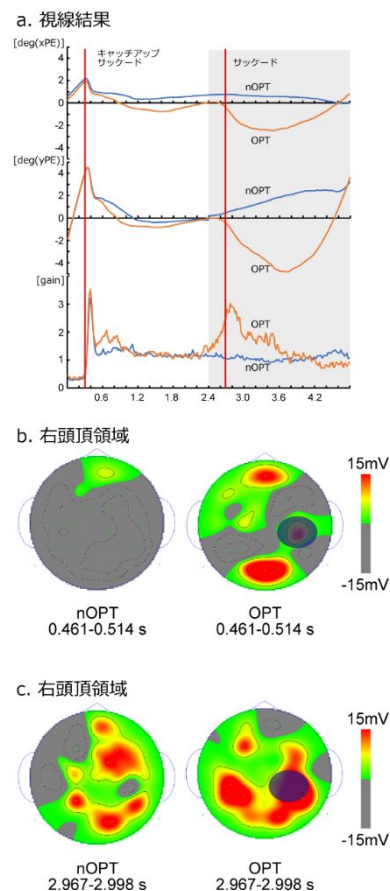


図2 研究成果(1) *越澤ら(2021a;b)を改編

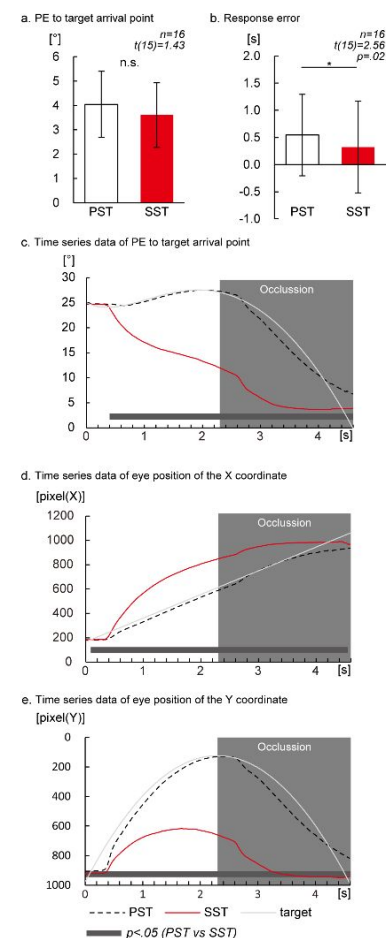


図3 研究成果(2) *Koshizawa et al. (2023) を改編

3c)。X および Y coordinate at point の時系列データも、ほぼ同様に PST と SST 間で有意差が生じた(図 3d,e)。PST では、参加者はターゲットをパーシュートするように指示された。したがって、パーシュートを課題遂行の戦略として使用する場合、ターゲットを追従(後追い)するため、ターゲットの到着点に対する PE at point が生じ、response error の遅延が生じたと考えられる(図 3b)。

脳波結果については、以下の通り 4 点の主要な結果が得られた。二次視覚野において、ターゲット移動開始後 0-0.010s の時点で、PST よりも SST の EEG 活動が有意に高かった(図 4a)。この結果は、ターゲットの移動開始に対する視空間的注意を反映していると考えられる(越澤ら, 2022; Koshizawa et al., 2023)。一次運動野において、ターゲットの移動開始後 0.156-0.245s の時点で、PST よりも SST の EEG 活動が有意に高かった(図 4b)。この結果は、移動ターゲットに対するパーシュートを反映していると考えられる(越澤ら, 2022; Koshizawa et al., 2023)。この現象は、ターゲットの速度と方向の処理などのボトムアッププロセスと、移動ターゲットへの注意に関連するトップダウンプロセスの組み合わせによって発生すると考えられる。右頭頂領域において、ターゲット移動開始後 1.761-1.774s, 1.794-1.819s, 1.824-1.850s の時点で、PST よりも SST の EEG 活動が有意に高かった(図 4c)。有意差が生じた時間帯の SST における X coordinate は、ターゲットの最終到達点(およそ 1000pixel)近くのおよそ 800pixel 付近に位置していた。この結果は、ターゲットの到達位置に対する視覚的注意を反映していると考えられる(越澤ら, 2022; Koshizawa et al., 2023)。右後側頭領域において、ターゲット移動開始後 0.105-0.185s の時点で、SST の中でも PE at the response の少ない参加者において EEG 活動が有意に高かった(図 4d)。この結果は、ターゲットの速度や移動方向などの情報をいち早く検知していると考えられる(越澤ら, 2022; Koshizawa et al., 2023)。

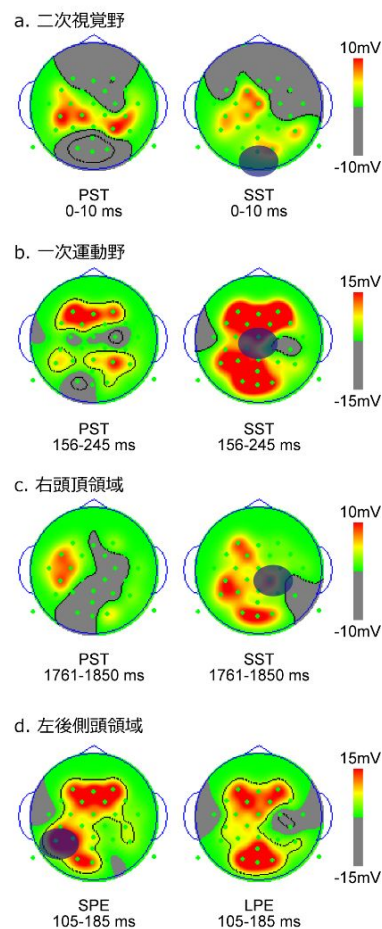


図4 研究成果(2)
*Koshizawa et al. (2023) を改編

(3) 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

当初予期していないこととして、PST よりも SST の方が PE at the response が少なかった点が挙げられる。SST より PST の方が、到達位置の予測が正確であることが、これまでの先行研究から想定されていた。このような本研究の結果から、必ずしも移動ターゲットから眼を離さずにパーシュートを行い続ける必要がないことが新たな知見として得られた。そして、そのためには移動ターゲットの速度や方向などの情報をいち早く脳内で処理して、サッケード戦略を行う必要があることも併せて新たな知見として得られた。

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本研究の得られた成果はこれまでの常識として考えられていた「ボールから眼を離さない」という球技スポーツにおける戦略に対して、ブレイクスルーを起こし得る。それは単にサッケード戦略を行う必要性があることの有用性ととどまらず、ブラックボックスであった、サッケード戦略による移動ターゲットの〔軌道〕〔到達位置〕〔到達時間〕の予測が、どのように脳内で処理された結果導かれるかを明らかにした点である。球技離れが進む子ども達に対する指導法など身体教育への波及効果が期待でき、得られた成果はインパクトがあると考えられる。

(5) 今後の展望

本研究で用いられていた移動するボールは、コンピュータディスプレイ上の統制された環境下のものである。今後は、より実践レベルに近づける必要がある。例えば、実際に投手がリリースしたボールに対して、バッターがどのように脳で視覚情報処理しているかを明らかにする、などが挙げられる。特に、トップアスリートのプレー中の視線行動について、実践レベルで細かい精度で明らかになってはいるものの、依然、脳機能については未解明なままである。こうした、トップアスリートのプレー中の視線行動について脳波計測による科学的エビデンスを得ることにより、ヘッドマウントディスプレイなどによる合理的な ICT トレーニングへの道筋を開拓し得る。

<引用文献>

- Cesqui, B., Mezzetti, M., Lacquaniti, F., & d'Avella, A. (2015). Gaze behavior in one-handed catching

- and its relation with interceptive performance: What the eyes can't tell. *PLoS One*, 10(3), e0119445.
- Fookien, J., Yeo, S. H., Pai, D. K., & Spering, M. (2016). Eye movement accuracy determines natural interception strategies. *Journal of vision*, 16(14), 1-1.
 - 越澤亮, 沖和磨, 高寄正樹 (2021a) 放物線移動するターゲットの軌道予測時における視線活動と脳活動様式 . 日本健康行動科学会第 19 回学術大会
 - Koshizawa, R., Oki, K., & Takayose, M. (2021) Electroencephalography activity patterns after saccades during visual tracking of a visible and an occluded parabolic-moving target . *European Conference on Visual Perception 43rd (EVP 2021)*
 - 越澤亮, 沖和磨, 高寄正樹 (2021b) 遮蔽される移動ターゲットに対して正確に軌道を予測している時の視線活動と脳活動様式 . 日本健康行動科学会第 20 回学術大会
 - 越澤亮, 沖和磨, 高寄正樹 (2022) 移動ターゲットの到達位置・到達時間の予測時における視線活動と脳活動様式 ストラテジーの違いによる比較 . 日本健康行動科学会第 21 回学術大会
 - Koshizawa, R., Oki, K., & Takayose, M. (2022). The presence of occlusion affects electroencephalogram activity patterns when the target is occluded and immediately before occlusion. *NeuroReport*, 33(8), 345-353.
 - Koshizawa, R., Oki, K., & Takayose, M. (2023). EEG activity during pursuit and saccade visual strategies to predict the arrival position of a target. *現在査読中
 - Spitzer, B., & Haegens, S. (2017). Beyond the status quo: a role for beta oscillations in endogenous content (re) activation. *eneuro*, 4(4).

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 1件）

1. 著者名 Koshizawa, R., Oki, K., & Takayose, M.	4. 巻 33
2. 論文標題 The presence of occlusion affects electroencephalogram activity patterns when the target is occluded and immediately before occlusion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neuroreport	6. 最初と最後の頁 345 - 353
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/WNR.0000000000001792	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6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 遮蔽される移動ターゲットに対して正確に軌道を予測している時の視線活動と脳活動様式
3. 学会等名 日本健康行動科学会第20回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryo Koshizawa, Kazuma Oki and Masaki Takayose
2. 発表標題 Electroencephalography activity patterns after saccades during visual tracking of a visible and an occluded parabolic-moving target
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception 43rd(ECVP 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 越澤亮, 沖和磨, 高寄正樹, 荒木みさこ
2. 発表標題 移動ターゲットが見えない中でposition errorを減らすために必要な脳波活動様式
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 越澤亮, 沖和磨, 高寄正樹
2. 発表標題 追跡眼球運動時における脳波のヒルベルト変換およびウェーブレット変換を用いた時間 - 周波数解析
3. 学会等名 第23回日本ヒト脳機能マッピング学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 越澤亮, 沖和磨, 高寄正樹
2. 発表標題 放物線移動するターゲットの軌道予測時における視線活動と脳活動様式
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 越澤亮, 沖和磨, 高寄正樹
2. 発表標題 移動ターゲットの到達位置・到達時間の予測時における視線活動と脳活動様式 ストラテジーの違いによる比較
3. 学会等名 日本健康行動科学会第21回学術大会
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------