



サッカーのリフティングと視覚的探索行動の練習を同時に行うためのシステムの設計

福島, 敦
土田, 修平
寺田, 努
塚本, 昌彦

(Citation)

マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム2021論文集:179-187

(Issue Date)

2021-07

(Resource Type)

conference paper

(Version)

Version of Record

(Rights)

ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。

Notice for the use of this material The copyright of this material is retained by th...

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90008741>



サッカーのリフティングと視覚的探索行動の練習を同時に行うためのシステムの設計

福島 敦¹ 土田修平¹ 寺田 努¹ 塚本昌彦¹

概要：サッカーの試合状況は 11 人のプレイヤーからなる 2 つのチームによって変化し続けるため、プレイヤーはボールの保持状況に関わらず周辺状況を把握しなければならない場面が多い。周辺状況を把握する能力の 1 つに敵、味方の位置などを探そうとする「視覚的探索行動」がある。しかし、ボール保持中の視覚的探索行動に関する研究はあまり行われていない。そこで本研究ではボールを保持し続けなければならないリフティング練習と視覚的探索行動の練習を同時に行うことで、ボールを保持しているときの視覚的探索行動を鍛えるシステムを提案する。評価実験では被験者が LED が光ってから LED の光に反応してボールを蹴るまでの時間を測定する。提案システムを用いるグループと従来手法を用いるグループに分けて、提案システムを用いるグループが従来手法を用いるグループより探索的行動の能力が向上するのかを調査した。実験の結果、両グループとも反応時間が短くなったが提案システムを用いたグループのほうが反応時間の短縮率が大きかった。しかし、計測した反応時間を用いてグループ間で 2 要因混合検定を行った結果、提案システムの優位性はみられなかった。

1. はじめに

サッカーの試合状況は 11 人のプレイヤーからなる 2 つのチームの絶え間ない動きにより変化し続ける。そのため試合において、プレイヤーはボールを保持した状態で周辺状況を瞬時に把握しなければならない場面が多い。また Jordet ら [1, 2] によると、周辺状況を把握する回数が多くなるとパスの精度が向上することがわかっている。以上を踏まえると、周辺状況を把握する能力を鍛えることでプレイヤーのパフォーマンスの向上が期待できる。

周辺状況を把握するには、積極的に首を振って敵、味方の位置や空いているスペースなどを探そうとする「視覚的探索行動」、「視覚的探索行動」を通して得た情報を解釈し、数秒後の状況をイメージする「予測」、「予測」した状況に応じてパス、ドリブル、シュートなどを選択する「意思決定」の 3 種類の能力が必要である [3]。このうち視覚的探索行動を鍛えると頭を動かす頻度が高くなり、状況に応じた迅速な意思決定が促される [4] ため視覚的探索行動に着目する。

視覚的探索行動は、ボールを保持する前とボールを保持しているときの 2 種類の状況に分けられる。ボールを保持する前の視覚的探索行動に関する研究は近年盛んに行われている [1, 5] 一方で、ボールを保持しているときの視覚的

探索行動に関する研究はあまり行われていない。ボールを保持しているときは保持していないときと比較してボールを注視する時間が長くなるため、視覚的探索行動がおろそかになると考えられる。そのためボールを保持した状態で視覚的探索行動を鍛える練習法を模索する必要がある。

今日ではプレイヤーの周囲に常に变化する状況を作り複数人で探索的行動を鍛える練習が多く採用されている。具体的に鳥かごと呼ばれる練習法がある [6]。鳥かごは 1 人もしくは数人の鬼役を決め、その鬼役の周囲を囲む複数人でボールを鬼役に奪われないようにパスを回す練習法である。この練習では鬼役の動き、ボールの動きを常に把握しなければいけないため、視覚的探索行動を鍛える練習として知られている。一方 1 人でボールを保持しながら視覚的探索行動を鍛える練習の一つにリフティング中に首を振るという練習法がある。しかし単に首を振るだけの練習になり、選手の周囲の対象物を探す練習になっていないため視覚的探索行動を鍛える目的には適していない。このように 1 人でボールを保持しながら視覚的探索行動を鍛える練習では周囲に変化し続ける状況を作るのが難しく、複数人で行う練習と比較して視覚的探索行動を鍛えるのが難しい。

そこで本研究ではボールを保持し続けなければならないリフティング練習と視覚的探索行動の練習を同時に行うことで、ボールを保持している際の視覚的探索行動を鍛えるシステムを提案する。視覚的探索行動を促す周囲の刺激と

¹ 神戸大学大学院工学研究科

してプレイヤーの周囲に LED テープを配置する。プレイヤーは所定の枠内でリフティングをしながらボールから目線を切り、首を振ってランダムに光る LED を目で追う。これにより、プレイヤーのボール保持中の首振りによる探索的行動の能力向上が期待できる。評価実験では被験者はランダムに 1 か所光る LED を認識した瞬間に光っている LED の方向にパスを出す。その際に LED が光った時から被験者が LED の光を認識してその光の方向にパスを出すまでの時間を測定した。先述した反応時間を測定して、提案システムを用いるグループが単に首振りをおこなうグループより探索的行動の能力が向上するのかを調査した。その後、実験結果を踏まえた議論を行うことにより、視覚的探索行動を鍛えるシステムの実装を目指す。

2. 関連研究

本章では、サッカーにおける視覚的探索行動の関連研究について紹介する。

2.1 視覚的探索行動を行う際に影響する空間的な制約

Jordet ら [1,2] の研究をもとに Thomas ら [7] はパフォーマンスを決定する要因は主にピッチの位置、プレーの位置、プレーのフェーズなどの制約にあるとし、空間的な制約と選手のボールの保持状況に基づいて選手の視覚的探索行動の違いの判断を調査し、ボールの保持状況に関わらず、空間的な制約が厳しければ厳しいほど視覚的探索行動の回数が増加することを明らかにした。Yiannaki ら [8] はサッカーとフットサルの空間的、時間的な制約が選手に与える影響をサッカーとフットサル選手がもつ注意の方向性の評価を通して調査した。サッカー選手とフットサル選手では視覚的探索行動を行うタイミングが異なり、サッカー選手は主にボールを保持していないときに、フットサル選手はボールを保持した瞬間とこれをコントロールしている間にそれぞれ視覚的探索行動を行うことを明らかにした。以上のことから、空間的な制約が厳しければ厳しいほど迅速な意思決定が促されるといえるため、狭い空間で視覚的探索行動を行えるシステムをサッカーの練習に適用できれば高い効果が得られる可能性がある。

2.2 視覚的探索行動の検出に関する研究

今村ら [9] は被験者の周囲に半円上に設置された 5 つのモニターの画面が赤色に変化した際に、そのモニター方向のサッカー選手の全身反応課題の反応時間と注視点距離に有意な相関がみられることを明らかにした。このことからサッカー選手の広範囲な周辺視を測る方法として注視点距離が有用であることを示すとともに、注視点距離が長いと周辺がよく見えていると解釈した。Daniel ら [10] は視覚的探索行動を検出するために Head Mounted IMU から得られるジャイロセンサデータを用いて、実験中に頭の回転

数をカウントする提案アルゴリズムが、視覚的探索行動の尺度として頭の回転数を評価するための適切な方法であることを示した。眼球運動とビデオ映像を用いた視覚的探索行動の検出手法に限界を感じた Thomas ら [11] は、視覚的探索行動の頻度を 1 秒当たりの頭の回転数として定義し、IMU から得られるジャイロセンサデータから被験者の頭の回転数を正確に測定した。また、プレイヤーの頭の回転頻度および回転エクスカージョンの関係を調査するために合計 783 回のボールを保持してからパスを出すまでの被験者の視覚的探索行動を分析し、両者に強い相関があることを明らかにした。Christian ら [12] は被験者の周囲に設置されたゲートから発射されたサッカーボールをトラップし LED が光っているゲートに向かってパスをするシステムである Footbonaut を用いて、様々な年齢層のサッカー選手の応答時間と精度を計測できることを明らかにした。Thomas ら [13] は視覚的探索行動に関する多くの研究は実験室ベースの実験的な制約の設定が曖昧であるとして、ドイツのプロサッカーリーグチーム U13, U23 の選手に Footbonaut で標準化されたトライアルを行わせ、視覚的探索行動と様々なサッカースキルのパフォーマンスとの関連を調査した。具体的には、頭に装着した慣性センサを用いてボールの所持前および所持中の頭の動作回数とその頻度を測定した。その結果、ボールを受け取る前の頭の回転数がパスのパフォーマンスに影響を与えることがわかり、ボール保持前の頭の回転数が視覚的探索行動を評価する指標として最も適切であることが明らかになった。以上の関連研究から、提案システムでは HMD を装着した際の VR 酔いなどのデバイスによる身体の影響が少ない慣性センサを用いて頭の回転頻度と回転角度を測定する。また関連研究では対象物の視認の有無について議論されていないため、対象物の視認状況をウェアラブル目線カメラを用いて把握する。

2.3 視覚的探索行動の訓練

サッカー選手は視覚的探索行動を通じて情報を収集することにより、周囲の環境に自分の動きを適応させる。Chris ら [14] は PETTLEP 画像を用いて 5 人のエリートアカデミーの選手に対して 6 週間 VEA トレーニングを行わせることにより、センターミッドフィルダーで VEA が改善し、一部の選手のボールパフォーマンスが向上することを明らかにした。Jordet [15] は生態学的画像介入プログラムを 3 人のエリートサッカー選手に行わせることにより、パフォーマンスの改善につながる可能性があることを示した。Ebrahim ら [16] はエリートアスリート向けの心理的スキルトレーニングプログラムに多く用いられる PETTLEP 画像が、初心者スキル向上にも有用であることを示した。Jennifer ら [17] はサッカー選手の新しいトレーニング環境として VR を挙げ、大学の男女サッカー選手に対して仮想

没入型感覚運動トレーニングを週2回のペースで6週間行わせた。その結果、神経学的プロセスに基づく9種類のトレーニング演習で7種類の有意な効果を得られたとし、VRを用いた仮想空間内でのトレーニングが現実世界でのパフォーマンス向上につながることを明らかにした。

いずれの研究でも画像や映像を用いる一方で、画像や映像の注視による酔いなどの身体に悪影響を生じる可能性があると考えられる。そこで本研究では身体への悪影響が少ないLEDテープと慣性センサを用いて視覚的探索行動を鍛える。

2.4 視覚的探索行動の評価

サッカーにおける視覚的探索行動の評価に関する研究は数多くある。Cesarら[18]はVR空間内のシミュレーションで視覚的探索活動(VEA)の実行時にHMD(Head Mounted Display)で取得した視線情報を通じて導出したHMDの中心軸に対するオイラー角を用いてVEAのゾーンを分割しCGで再現されたゲーム画面上で相手選手のプレッシャーを再現することでプレイヤーの行動を調査するシステムを提案した。具体的には、HMDと動的な身体追跡を組み合わせと身体の動きを統合する全身相互作用を用いることにより相手選手の存在感を生み出すというものである。このシステムを用いることによりサッカープレーへの被験者の没入感を高めることに成功するとともに、初心者とアマチュアプレイヤーの間でVEAのパフォーマンスに差異が生じることを明らかにした。Adamら[19]はFootbonautのサッカーのゲームプレイで経験した知覚とアクションの結合を厳密に再現するスキル評価ツールとしての適性に関する調査を行った。その結果、ブンデスリーガのクラブのU12~U23の男性選手に対して、Footbonautがサッカー特有のスキルを評価するシステムとして有用であり、年齢層に関わらず効果を得られることが明らかになった。以上のことから、選手に没入感を与えた上でFootbonautのシステムを用いて、周囲を探索して刺激の対象を認識してからスキルに移行するまでの時間の測定を通して視覚的探索行動を評価できるのではないかと考えられる。

3. 提案システム

3.1 システム設計

Thomasら[20]の先行研究より視覚的探索行動が多いとパスの精度が向上することから、サッカーの技術を向上するための視覚的探索行動を促すシステムを作成する。本システムでは従来手法である単に首を振るだけのリフティング練習に加えて視覚的探索行動を促すため、リフティング練習ができるプレイヤーを対象とする。リフティングとは同じ場所で身体の方角をなるべく変えずにボールを地面に落とさずに蹴り続ける練習である。そのため、身体の方角

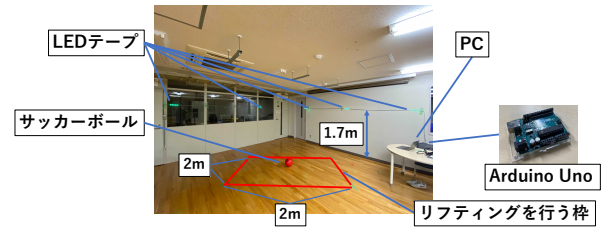


図1: 実装環境

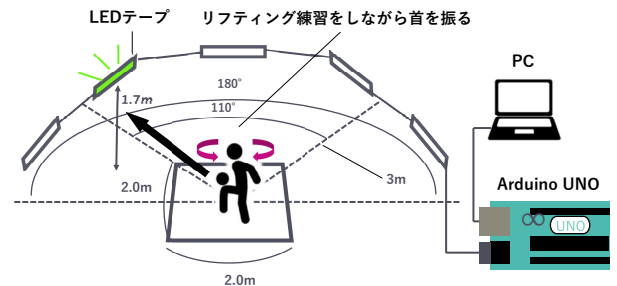


図2: 提案システム

を変化させないようにリフティング練習を行う枠を設定する。また、リフティング練習の性質上ボールを注視し続ける必要があるため、視覚的探索行動を促す顔を上げる動作をさせる必要がある。そこで、プレイヤーの目線の高さに視覚的探索行動を促す対象物を配置することで顔を上げさせる。さらに、常に首振りを意識させるために常時周囲の状況が変化する環境を構築しプレイヤーの顔を上げさせて、首を振ることによる視覚的探索行動を促す。具体的には、リフティング練習を行う枠の周囲の壁にLEDテープを配置し、PCに接続したマイクロコンピュータを用いてプレイヤーの周囲に配置されたLEDをランダムに光らせる。プレイヤーは首を振って光っている箇所を探索することで、視覚的探索行動の能力の向上が期待できる。

3.2 システム実装

本システムの実装環境を図1に示す。1辺が2mの四角形の枠内でプレイヤーはリフティングを行う。システムは、プレイヤーがリフティング練習を行う際に使用するサッカーボール(F5TP)、視覚的探索行動の対象物となるLEDテープ(WS2812B)、PC(MacBook Air 13-inch, 2018)とArduinoUnoの4つから構成される。

提案システムを図2に示す。空間的な制約が厳しければ厳しいほど視覚的探索行動を行う回数が増えることがわかっている。そのため1辺が2mの赤線で示した枠を設定して、枠内の狭い空間でプレイヤーはリフティングを行う。またLEDテープは地面から1.7mの位置に1本5mのものを2つ直列接続し、図2のように半円状に配置する。これはリフティング練習中の顔が下がった状態でLEDの光がプレイヤーの視界に入らないようにするためである。今

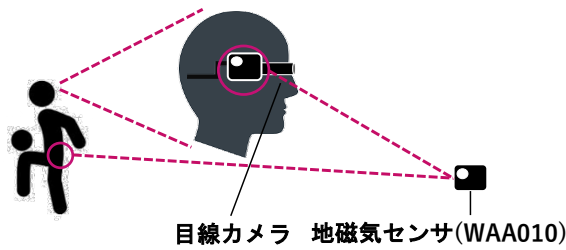


図 3: 計測デバイス



図 4: 地磁気センサ WAA010



図 5: 目線カメラ

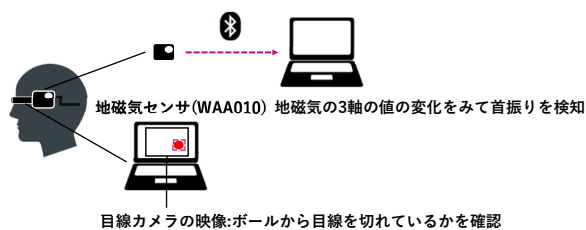


図 6: 視覚的探索行動を検出するプロセス

村ら [9], Ferrer ら [18] の先行研究を参考にし、プレイヤーが周辺状況を判断できる有効視野 110° の範囲に 3 箇所、リフティング練習によって目線が下がっているため、首を振らないと対象を認識できない生理的視野 $110^\circ \sim 180^\circ$ の範囲に 2 箇所の計 5 箇所に配置された LED テープのうちランダムで 1 箇所 15 cm の LED を光らせる。1 秒間隔でランダムに LED が光るプログラムを macOS Catalina 上で Arduino IDE を用いて作成し、シリアル通信させることで LED テープに接続している Arduino Uno を制御する。プレイヤーはリフティング練習を行いながらランダムに光る LED を首を振って目で追うことによって視覚的探索行動を行う。

4. 視覚的探索行動の検出方法の検討

4.1 計測デバイスの選定

Thomas ら [21] の先行研究を参考にして図 3 に示す通り、身体に対して首を振る向きを確認するために背中と頭部の 2 箇所に地磁気センサ (図 4) を、プレイヤーがボールから目線を切ったときに LED の光を認識したかどうかを確認するために頭部の目線カメラ (図 5) をそれぞれプレイヤーに装着させる。図 6 に示す通り地磁気センサから得ら

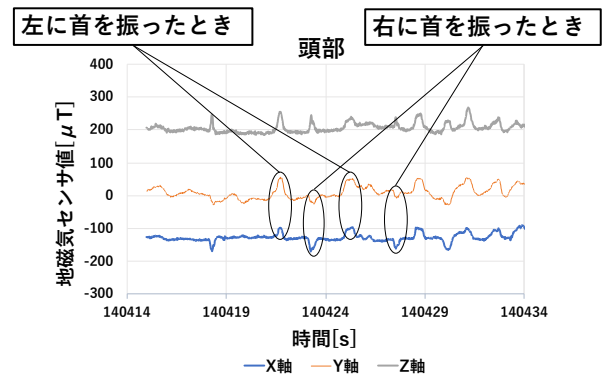


図 7: 頭部地磁気センサ値の変化

れるセンサ値を Windows 用 WAA-010 専用データ受信ソフトウェア「AccelViewerHybridII」を用いて PC に記録する。記録された 3 軸のセンサ値の山、谷の組み合わせと大きさから、首振りの頻度および角度の大きさを算出できると考えられる。

4.2 予備実験

4.2.1 実験概要

視覚的探索行動の検出に先述した 2 つのデバイスが適しているかを検討するために予備実験を行った。被験者は図 3 のように背中と頭部の 2 箇所に図 4 に示す地磁気センサ (WAA-010)、図 5 に示す目線カメラを頭部に装着して図 1 に示す環境でリフティングを行う。被験者は自分でリフティング中に LED テープを見た回数を数える。なおボールが落ちている間に LED テープを見た回数はボール保持中の視覚的探索行動とはいえないため、数えさせないこととした。またカメラ映像に LED テープが映っていないにも関わらず被験者が LED テープを見たときとカウントした場合、視覚的探索行動によって LED の光を認識したとはいえないため、実験者が目線カメラ映像から被験者が LED テープを見た回数を確認することとした。本実験は 20 秒を 1 セットとして計 3 セット行い、各セットの間に被験者は 2 分間の休憩をとる。被験者はサッカー歴 12 年の 20 代男性 1 名である。

今回の予備実験では提案システムを使うとき及び使わないときにおける、首を振った際の頭部と背中に装着した地磁気センサの 3 軸のセンサ値の変化をそれぞれ分析し、視覚的探索行動を検出できるかを確認する。また目線カメラの映像から被験者がボールから目線を切った LED の光を認識しているかを確認する。

4.2.2 結果

リフティングをした状態で 2 つの地磁気センサを装着して首振りをしたときの頭部のセンサ値の変化を図 7 に示す。図 7 より 1 回の首振りに対して頭部の地磁気センサ値は特徴的な変化を示している。左に首を振ると 3 軸とも値が増加し、右に首を振ると X, Y 軸は基準値に対して減少するが

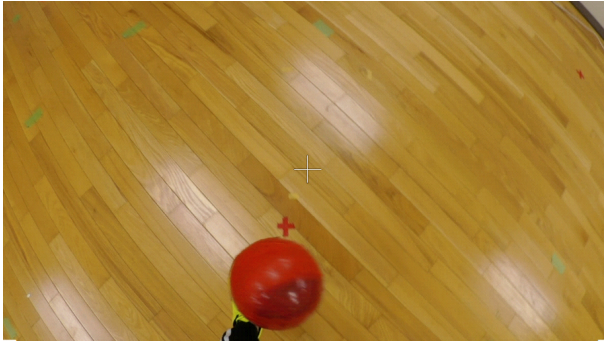


図 8: ボールを見ているとき

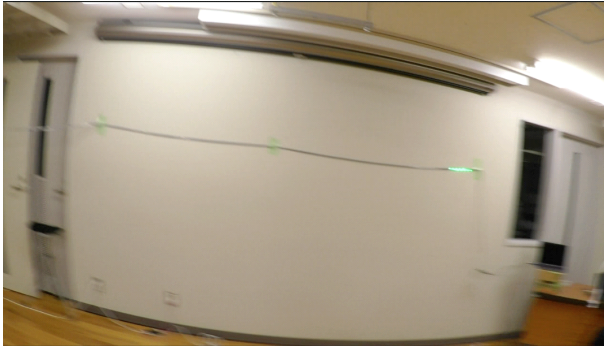


図 9: ボールから目線を切ったとき

Z 軸は増加していることから、基準値に対して軸の値の変化をみれば、頭の回転方向と頻度を検出できる。また 3 軸の値の変化の大きさから首振りの角度の大きさも検出できる。なおシステムを実装する際はリフティングを行うため身体の向きが変化する。したがって基準の方角に対して身体が向いている方向と、身体の方角に対する首振りの向きのセンサ値の変化を実験前に確認しなければならない。

また目線カメラ映像の写真を図 8, 図 9 に示す。リフティング中は図 8 に示すように、ほとんどボールが映像内にあった。また被験者が首を振ったとき図 9 に示すようにボールが映像内から一瞬消えて LED テープを目視していることが確認できた。探索的行動はボールから目線を切って周囲の状況を把握しようとする動作であるので、目線カメラで探索的行動を検出することは適切であるとわかった。またリフティングという練習の性質上ボールを常に見る必要があるため、目線を切る練習としてリフティングは適切であると考えられる。以上より、リフティング中に探索的行動を促す本システムに地磁気センサと目線カメラの 2 つのデバイスを使用することは適切であると考えられる。

5. 評価実験

5.1 実験概要

提案システムを用いてボール保持中の視覚的探索行動の能力を向上させることができるかどうかを確認するための実験を行った。被験者はサッカー歴 5 年以上の著者を含む 20 代男性 6 名である。そのうち次の 2 つのグループに分けて 3 日間の実験を行った。

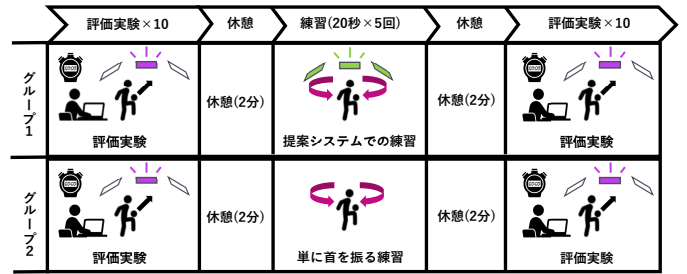


図 10: 実験の流れ

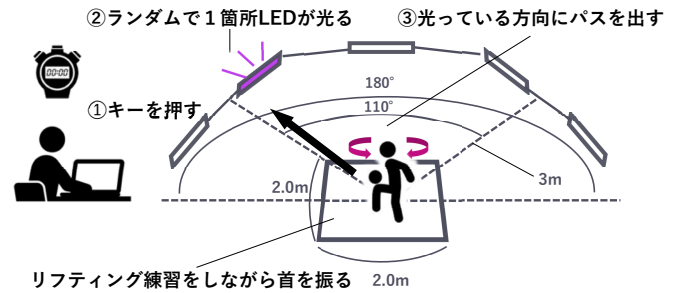


図 11: 評価実験システム

- システムあり: 提案システムを用いてリフティング練習をする (3 人)
- システムなし: 提案システムを用いずにリフティング練習をする (3 人)

実験の流れを図 10 に示す。この流れを 3 日間行う。各実験日の練習前にシステムあり、システムなしともに評価実験を行う。その後休憩を 2 分はさんでから、システムありは図 1 に示す提案システムを用いて 20 秒を 1 セットとし、5 セット首を振りながらランダムに光る LED を探しながらリフティング練習をする。その際、被験者にはできるだけ首振りの角度を大きくするように促した。システムなしは提案システムを使わずに 20 秒を 1 セットとし、5 セット単に首振りをしながらリフティング練習をする。システムなしの被験者に対してもできるだけ首振りの角度を大きくするように促した。練習後、休憩を 2 分はさんでからシステムあり、システムなしともに練習前に行った評価練習を再び行った。

評価実験は Adam ら [19] が示した Footbonaut のシステムを参考にして、図 11 に示す方法で行う。実験者は被験者のリフティングが安定したタイミングで、PC のキー操作によってランダムに LED を 1 か所光らせる。被験者はリフティングをしながら首を振って LED の光を探して、LED の光を確認したらその方向にパスを出す。LED が光ったときから被験者が LED の光を確認して、その光の方向にパスを出すまでの時間を測定する。LED はランダムに光るので、リフティング中に身体の向きが変わり、首振りをしなくても LED が見えてしまう場合がある。そのため評価テストを 10 回実施し、10 回分の平均値を反応時間とし

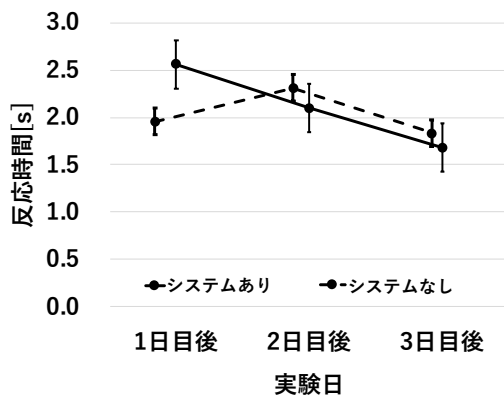


図 12: 両グループの反応時間の推移

表 1: 各実験日の練習前後の反応時間の短縮率 (%)

		1 日目	2 日目	3 日目
システムあり	被験者 A	13.5	-6.2	8.5
	被験者 B	19.9	-11.1	-7.9
	被験者 C	36.9	10.9	7.7
システムなし	被験者 D	30.0	-8.8	4.7
	被験者 E	29.2	3.7	-14.4
	被験者 F	-9.77	-56.0	-10.5

た。LED の光に素早く反応できると首振りの頻度が多くなるということなので、視覚的探索行動の能力が向上したといえる。

5.1.1 実験結果

各実験日の評価実験における練習後の両グループの反応時間の推移を図 12 に示す。被験者 A~C は提案システムを用いたシステムありで、被験者 D~F は提案システムを用いずに単に首を振って練習をしたシステムなしである。各グループの被験者の練習後の平均反応時間の推移を表し、両グループともに本実験前後で反応時間は短くなっているがシステムありのほうがシステムなしより反応時間が短くなっているようにみえる。しかしシステムに対する慣れや、実験開始前のリフティング技術の差から本実験開始時の反応時間に大きな個人差があるため、一概に提案システムによって反応時間が短くなったとは言い切れない。そこで全被験者の各実験日の練習前後での反応時間の短縮率の変化をまとめた結果を表 1 に示す。反応時間の短縮率を以下の式で導出した。各実験日の練習前の反応時間を t_1 、各実験日の練習後の反応時間を t_2 とする。練習前に比べて練習後の反応時間のほうが長くなった場合はマイナスの値となる。

$$\bullet \text{ 反応時間の短縮率} = 100 \times \frac{t_1 - t_2}{t_1}$$

表 1 より、各実験日でみると両グループとも練習前後で反応時間が短くなるとは限らなかった。よって実験日数を増やして被験者の数を増やし長期的に検証する必要がある。提案システムを用いて練習するシステムあり、単に首振りをするだけの練習をするシステムなしの 2 グループと

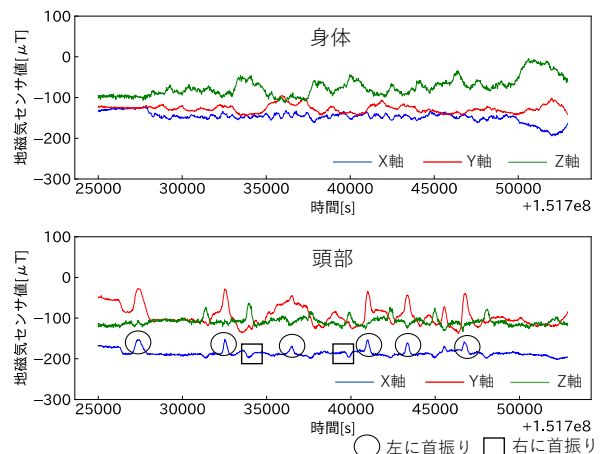


図 13: 被験者 F の 3 日目の評価実験時の地磁気センサ図

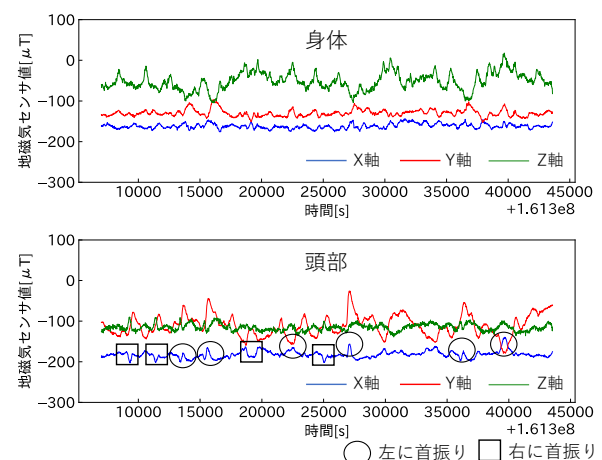


図 14: 被験者 B の 3 日目の評価実験時の地磁気センサ図

実験日数との間に有意差が生じるかどうかを検証するために、両グループの練習後に行った評価テストの反応時間の平均値を用いて 2 要因混合検定を行った。システムあり、システムなしを要因 A、実験日数を要因 B として 2 要因混合検定を行った結果、要因 A すなわちシステムあり、システムなしの主効果に有意差はなかった。要因 B すなわち実験日数の主効果は有意差があった ($p > .10$)。また要因 A, B の交互作用に有意差はなかった。したがって今回の実験では提案システムを用いて練習することが、単に首振りをするだけの練習より探索的行動の向上に効果があるとはいえなかった。しかし今回は 3 日間の実験だったため、提案システムの慣れが影響したと考えられる。したがって 1 週間に練習を 3 日間行い、全体で 4 週間実験を行うなど長期的に検証する必要があるとわかった。

また首振りによる探索的行動が反応時間の短縮になっているかを調査するために地磁気センサ値から検証する。そこで、システムなしの 3 日目の評価実験における被験者 F の 2 つの地磁気センサによって探索的行動を検知した結果を図 13 に、システムありの 3 日目の評価実験における被験者 B の 2 つの地磁気センサによって視覚的探索行動を検知した結果を図 14 に示す。

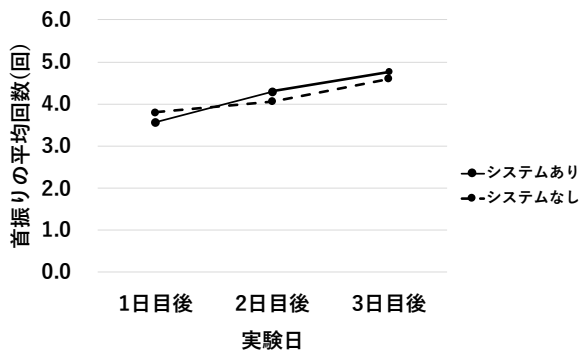


図 15: 各グループの 10 秒間での左右首振りの平均回数

図 13 に示した頭部のグラフの時間 30000~50000[ms] の区間と図 14 に示した頭部のグラフの時間の 10000~30000[ms] の区間を比較する。2つのグループとも首振りを意識して実験をするよう促した中で、首振りの回数は被験者 B のほうが多いとわかる。また□で囲んでいる X 軸の基準値から-200 方向に値が近づいているときは右に首を振って、○で囲んでいる X 軸の基準値から-100 方向に値が近づいているときは左に首を振っていることを表している。以上の方法で各被験者の 10 秒間における右の首振り、左の首振りの平均回数を図 15 に示す。図 15 より、3 日間の評価実験を通じて左右の首振りの平均回数はシステムあり、システムなしの間で大きな差はなかった。しかし各被験者でみると 1 日目から 3 日目にかけて首振りの平均回数は多くなっており、図 12 より反応時間は短くなっている。首振りの回数が多くなると反応時間は短くなっているといえる。また図 13, 図 14 の身体部のグラフを見るとセンサ値が大きく変化しているのがわかる。これはリフティング中に身体の向きが変わっていることを示しており、なるべく身体の向きを変えずにリフティングをすることが望ましい。今後実験を進めていく上で身体の向きができるだけ変わらないように促す手法を検討する。

6. 今後の課題

提案システムを用いて実験を行った結果生じた問題が 3 つある。1 つ目は実験後被験者に行ったアンケートの結果、人によって探索的行動を行う際に首を振る場合と目だけを動かす場合で異なることである。提案システムを用いて練習したシステムありの被験者の目線カメラの映像を確認すると、首を振らずに LED の光を認識しているときがあった。先行研究 [22] では、眼球運動を検知するシステムを用いて映像テストにおける被験者の意思決定とサッカーのスキルの関係を調査した。その結果、迅速な意思決定を促した被験者は映像に映っている相手選手とその選手以外の部分の映像を頻繁にスキャンしていることが明らかになった。また先行研究 [23] によってサッカー経験が豊富な被験者は映像に映っている相手選手の周辺の環境を凝視するこ

とが明らかになった。したがって、首を振る場合の探索的行動を検知するために地磁気センサを用いることは適切だが、首を振らない眼球運動における探索的行動も検証しなければいけないと考えられる。

2 つ目は視野範囲の広さに個人差があることである。3.1 節で示したように提案システムでは 180° の範囲に LED テープを配置したが、被験者によって首を振る角度を大きくしなくても 180° の範囲まで見えることがある。先行研究 [18] で示されているように、被験者によって HMD で視線情報を取得して視覚的探索活動 (VEA) のゾーンを (1) 首を振らずに対象物を確認できるゾーン、(2) 首を振って対象物を確認しないとけないゾーン、(3) 首を振り身体を回転させないと対象物を確認できないゾーンの 3 つに分割する必要があることがわかった。今回の提案システムでは先述した VEA のゾーン (1)(2) の計測だが、VEA のゾーン (1),(2) が被験者によって曖昧だったため、被験者によって LED テープの配置する高さや光らせる場所を変える必要があると考えられる。

3 つ目は提案システムと評価方法が似た手法であるという点である。今回は、先行研究 [19] に示されているサッカーのスキルと探索的行動を明確に評価できる Footbonaut というシステムを参考にした。しかし提案システムと評価実験の両方で LED テープを用いているため、提案システムを用いて練習したグループのほうが反応時間は短くなる可能性がある。また今回の評価実験で反応時間の計測方法は実験者がストップウォッチを使用した目視での計測だったため、正確性に欠けていた。したがって、より正確で厳密に評価できる手法を検討する。また実験後のアンケートで、被験者の周囲 360° に LED テープを配置するとより実際の試合状況に近づけて探索的行動を鍛えることができるのではないかという意見があった。ただし今回はリフティング練習と同時に探索的行動を鍛えることを目的としていた。したがってリフティング練習の性質上、身体の向きをできるだけ変えずに探索的行動を行う必要があり、LED テープを配置する範囲を 180° に設定した。今後は実際のサッカーの試合に近づけるために、探索的行動の対象物を被験者の周囲 360° に拡張して対象物を LED テープではなく選手の顔の映像にして、映像中のジェスチャーなどから状況を把握できるようにする。また今回は被験者から一定の距離の対象物を探索するものだった。今後は被験者に対して近距離と遠距離を同時に探索できるようなシステムを実装する。

7. まとめ

本論文ではサッカーにおける周辺状況の把握の重要性から、サッカーのリフティング練習と周辺状況の把握を同時に行うシステムの設計と実装を試みた。地磁気センサと目線カメラを用いた予備実験によってリフティング練習にお

ける探索的行動を2つのデバイスで検知することは適切であるかを調査した。また予備実験の結果から被験者に2つのデバイスと被験者の周囲にLEDテープを配置して、リフティング練習をしながら探索的行動を鍛えるシステムを実装した。この提案システムを用いて練習したグループと提案システムを用いずに練習したグループでそれぞれ評価実験を行った。その結果、提案システムを用いたグループと提案システムを用いなかったグループを比較したが優位性はみられなかった。以上のことから提案システムを用いた練習法では探索的行動の能力が向上したとはいえなかったが、練習日数を増やしていけば探索的行動の能力向上につながる可能性があると考えられる。しかし首振りの頻度が多くなると反応時間が短くなる傾向があるとわかった。より厳密に探索的行動を検出し、反応時間を正確に測定する手法を検討する。

また実装したシステムの改善点として評価方法と提案手法が似ていることが考えられる。そのため今後は提案システムを改良してLEDテープを使用せずに、実際の試合を想定して探索的行動の対象物を選手の映像にして、近距離と遠距離の探索的行動を同時に鍛えるシステムの設計と実装の検討を行う。

謝辞

本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1, JPMJCR18A3)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] G. Jordet, K. M. Aksum, D. N. Pedersen, and A. Walvekar: Scanning, Contextual Factors, and Association With Performance in English Premier League Footballers: An Investigation Across a Season, *Journal of Frontiers in Psychology*, Vol. 11 (2020).
- [2] G. Jordet, J. Bloomfield, and J. Heijmerikx: The Hidden Foundation of Field Vision in English Premier League(EPL)Soccer Players, *Proc. of the 7nd International Conference on MIT Sloan Sports Analytics* (2013).
- [3] 中川 昭: ボールゲームにおける状況判断のための基本概念の検討, *体育学研究*, Vol. 28, No. 4, pp. 287–297 (1984).
- [4] T. B. McGuckian, M. H. Cole, D. Chalkley, G. Jordet, and G. J. Pepping: Visual Exploration When Surrounded by Affordances: Frequency of Head Movements Is Predictive of Response Speed, *Journal of Ecological Psychology*, Vol. 31, No. 1, pp. 30–48 (2019).
- [5] D. Eldridge, C. Pulling, and M. Robins: Visual Exploratory Activity and Resultant Behavioural Analysis of Youth Midfield Soccer Players, *Journal of Human Sport and Exercise*, Vol. 8, No. 3, pp. 560–577 (2013).
- [6] M.R.T.P. Menuchi, A.R.P. Moro, P. Ambrosio, D. Araujo: Effects of Spatiotemporal Constraints and Age on the Interactions of Soccer Players when Competing for Ball Possession, *Journal of Sports Science and Medicine*, Vol. 17, No. 3, pp. 379–391 (2018).
- [7] T. McGuckian, M. Cole, D. Chalkley, G. Jordet, and G. J. Pepping: Constraints on Visual Exploration of Youth Football Players during 11v11 Match-Play: The Influence of Playing Role, Pitch Position and Phase of Play, *Journal of Sports Sciences*, Vol. 38, No. 6, pp. 658–668 (2020).
- [8] C. Yiannaki, C. Carling, D. Collins: Long-Term Practice with Domain-Specific Task Constraints Influences Perceptual Skills, *Journal of Frontiers in Psychology*, Vol. 9 (2018).
- [9] 今村 律子, 乾 真寛, 徳島 了, 花沢 明俊, 坂元 瑞貴, 山本 勝昭, 磯貝 浩久: 広域視野範囲におけるサッカー選手の視覚情報処理, *バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌*, Vol. 16, No. 1, pp. 105–116 (2014).
- [10] D. Chalkley, J. B. Shepherd, T. B. McGuckian, and G. J. Pepping: Development and Validation of a Sensor-Based Algorithm for Detecting the Visual Exploratory Actions, *Journal of IEEE Sensors Letters*, Vol. 2, No. 2 (2018).
- [11] T. McGuckian, D. Chalkley, J. B. Shepherd, and G. J. Pepping: Giving Inertial Sensor Data Context for Communication in Applied Settings: An Example of Visual Exploration in Football, *Proc. of the 12th Conference of the International Sports Engineering Association*, Vol. 2, No. 6 (2018).
- [12] C. Saal, S. Müller, H. Fiedler, and J. Mayer: The Footbonaut as an Innovative Diagnostic System Differentiating Response Times in Soccer Players of Different Age-groups, *2nd International Congress on Sports Science Research and Technology Support* (2014).
- [13] T. McGuckian, A. Beavan, J. Mayer, D. Chalkley, and G. J. Pepping: The Association between Visual Exploration and Passing Performance in High-Level U13 and U23 Football Players, *Journal of Science and Medicine in Football*, Vol. 4, No. 4, pp. 278–284 (2020).
- [14] C. Pocock, M. Dicks, R. C. Thelwell, and M. Chapman: Using an Imagery Intervention to Train Visual Exploratory Activity in Elite Academy Football Players, *Journal of Applied Sport Psychology*, Vol. 31, No. 2, pp. 218–234 (2017).
- [15] G. Jordet: Perceptual Training in Soccer: An Imagery Intervention Study with Elite Players, *Journal of Applied Sport Psychology*, Vol. 17, No. 2, pp. 140–156 (2005).
- [16] E. Norouzi, R. Norouzi, M. S. Afroozeh, M. Vaezmosavi: Examining the Effectiveness of a PETTLEP Imagery Intervention on the Football Skill Performance of Novice Athletes, *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity*, Vol. 14, No. 1 (2019).
- [17] J. C. Renekera, W. C. Pannell, R. M. Babl, Y. Zhang, S. T. Lirette, F. Adah, and M. R. Reneker: Virtual Immersive Sensorimotor Training (VIST) in Collegiate Soccer Athletes: A Quasi-Experimental Study, *Journal of Helixyon*, Vol. 6, No. 7 (2020).
- [18] C. D. R. Ferrer, H. Shishido, I. Kitahara, and Y. Kameda: Read-the-game: System for Skill-Based Visual Exploratory Activity Assessment with a Full Body Virtual Reality Soccer Simulation, *Journal of PLOS ONE* (2020).
- [19] A. Beavan, J. Fransen, J. Spielmann, and J. Mayer: The Footbonaut as a New Football-specific Skills Test: Reproducibility and Age-Related Differences in Highly Trained Youth Players, *Journal of Science and Medicine in Football*, Vol. 3, No. 3, pp. 177–182 (2018).
- [20] T. McGuckian, M. Cole, G. Jordet, and D. Chalkley: Don't Turn Blind! The Relationship Between Exploration Before Ball Possession and On-Ball Performance in Association Football, *Journal of Frontiers in Psychol-*

ogy, Vol. 9 (2018).

- [21] T. B. McGuckian and G. J. Pepping: Wearable Inter-
stitial Sensor for Improved Measurement of Exploration
Behaviour in Sport Compared to Notational Analysis,
Journal of Fitness Research, Vol. 5, pp. 40–41 (2016).
- [22] R. Vaeyens, M. Lenoir, A. M. Williams, and R. M.
Philippaerts: Mechanisms Underpinning Successful De-
cision Making in Skilled Youth Soccer Players: An Anal-
ysis of Visual Search Behaviors, *Journal of Motor Be-
havior*, Vol. 39, No. 5, pp.395–408 (2007).
- [23] A. M. Williams, K. Davids, L. Burwitz, and J. G.
Williams: Visual Search Strategies in Experienced
and Inexperienced Soccer Players, *Journal of Research
Quarterly for Exercise and Sport*, Vol. 65, No. 2, pp.
127–135 (1994).