

サッカー指導における熟練者と未熟者の注視行動の違い Differences of Eye Gaze Behavior between Expert and Novices while Soccer Coaching

岩月 厚¹, 平山 高嗣^{1,2}, 森田 純哉³, 間瀬 健二¹
Atsushi Iwatsuki, Takatsugu Hirayama, Junya Morita, Kenji Mase

¹ 名古屋大学大学院情報科学研究科,

² 名古屋大学実世界データ循環学リーダー人材養成プログラム,

³ 名古屋大学未来社会創造機構

¹ Graduate School of Information Science, Nagoya University

² Graduate Program for Real-World Data Circulation Leaders, Nagoya University

³ Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University

iwatsuki@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract

How do people see a thing? When and where do they pay attention in the view field? It depends on the observer's knowledge, experience, skill, and so on. This study compares the eye movements of an expert and novices and extracts the skill-oriented differences in gaze behaviors. In this paper, to reveal the soccer expert's particular viewing skills, we extracted gaze transition intervals including a difference between the expert's and novices' gaze pattern while watching on a video of a soccer game as gaze context. We analyzed when the intervals occurred, how often they gazed at the ball, which team or area they gazed longer at during the intervals and so on. The result shows that we could make the implicit knowledge explicit by taking an elicitable clue from gaze context instead of game context.

Keywords — Eye Gaze Behavior, Cognitive Science, Viewing skills, Soccer, Expert

1. はじめに

ものごとを観察する際、いつ、どこに、どう注目するかといった注視行動は、観察者の知識や経験により異なる[1]。また、観察対象が動的な場合、時々刻々変化する状況を把握し、ときに予測しつつ効率的に観察する必要がある。そのため、観察者の熟練度による見方の差が顕著に現れると考えられる。熟練者と未熟者の視線を比較することで、注視行動に関する暗黙知を抽出し形式知にできれば、人は自身の見方を自覚したり、他人に伝承したりすることができる。と考える。

動的な対象の観察において熟練者及び未熟者の視線を分析する研究には、スポーツを対象としたものが多い。サッカーにおける選手の視線分析の研究として、張ら[2]は、サッカーの1対1と3対

3の映像を、熟練したサッカー選手と非熟練者にパスの方向を予測するように観察させたときの視線を分析し、ボールを蹴り出す直前において、熟練者はパス予測の正確性が高いとともに、停留点が少なく、停留時間が長いことを示した。また、1対1の場面より3対3の場面の方が、熟練者の予測正確性が高いことを示し、熟練者は周辺の状態も利用してより有益な情報を引き出しうる視覚探索方略ないし選択的注意を持っているとした。また、Mark Williamsら[4]は、11対11のオープンプレイにおけるボールのパス方向予測に関して、熟練した選手はボール以外に多く注視し、このことが速く正確な予測に貢献したとしている。スポーツ指導者の視線を分析した研究としては、石垣ら[3]の、バレーボールの試合映像を観察した際の指導者と選手の視線運動の違いを比較したものがあ。これは、選手に比較し指導者の視線の移動量がより少ないこと、さらにボールへの追従が少ないことの定性的な評価を示している。これらは、映像内のコンテキストを記述せずに視線運動（注視点の移動）について分析したものや、試合の全体ではなく、特定のゲームシーンに限った場合における分析であるという点に限界がある。

本研究の目的は、サッカー熟練者の試合の見方に関する暗黙知を顕在化することである。我々はこれまで、ゲームシーンを限定することなく熟練者が何を見ていたかを映像内のボールと選手の座標に基づいて分析してきた[5, 6]。しかし、時区間の分類をしていなかったため、熟練者と未熟者が同じ場所を見ている時区間も含めた全体での傾向しか分からなかった。

本稿ではサッカー熟練者と未熟者の視線運動が異なった時区間として乖離区間を定義し、その間及びその直前に熟練者が何を見ていたかを映像内のボールと選手の座標に基づいて分析する。この

ようなアプローチを取り熟練者と未熟者に差異があることが明らかな時区間に着目することで、従来研究のように意図的に状況を限定することなく、ボールや選手といった対象について具体的に「どのような状況のとき、どの対象を見ればよいか？」に関する知見が得られると考える。

2. 試合映像および視線データの概要

サッカー試合映像(20分間)を画面上に表示して被験者に見せる形式で実験を行い、被験者の注視点を画面上での時系列座標データとして計測した。観察時のタスクは「画面右方側のチームの指導者として見る」と設定した。以後、この指導するチームを味方チーム、もう一方を相手チームと呼ぶ。

映像はサッカーフィールドの横側中央から全体が写るように広角カメラで撮影されたものである。この試合は、全日本高校サッカー選手権で優勝経験のある高校サッカー部の紅白戦である。横側からの全体の撮影は、実際に指導する際に横側から俯瞰している状況に近く妥当であると考えられる。

被験者は、サッカー熟練者1名及びサッカー指導未熟者(以下、未熟者と省略)4名である。熟練者は日本サッカー協会公認S級指導者ライセンスを保有しており、Jリーグを含む32年間の選手歴、4年以上の解説者歴を経て、強豪高校サッカー部の指導者として2年間の指導歴を持つ。未熟者は全員20歳代男性であり、指導者としての経験はなく、サッカー部などでの活動を通じて最大5年間の選手歴がある。

視線計測にはTobii X60 Eye Tracker(精度0.5 deg, 60 Hz)を使用した。得られた視線データにはガウシアンフィルタによる平滑化を施した。分析範囲は試合開始から試合終了までとし、試合が中断してからスローイン、ゴールキックなどのセットプレーが行われる直前までの区間は、プレーに関係ない時間が長く視線運動が散漫になりやすいため除いた。

3. 分析手法

本稿の分析は、視線データと映像中のボール及び選手の時系列座標データについて、熟練者と未熟者の視線が乖離する区間に着目し、その区間中及びその直前に見ている場所や対象について調べることで行う。本章では、映像中の場所の表現、熟練者と未熟者の視線の乖離区間の定義、対象を見ているかを意味する視線配布の定義について述べる。



図1 ボールと選手の座標

3.1 位置の表現

3.1.1 ボールと選手の座標付与

ボールと選手22人に対し、分析対象外の時区間も含めた全時区間において、映像上での座標を各対象にそれぞれ付与した。約38,500フレーム中、ボールは約3,900フレーム、選手は1人あたり平均1,650フレームを手動で付与し、残りは線形補間により付与した。動きに忠実に点付けするため、対象の動きが激しいところや曲線的に動く時区間に対してはより多くの手動点付けを行った。選手については、足元に移動の仕方や動作の特徴がより現れるため、踏み出す足やボールを蹴り出す足の座標を抽出した。図1に一例を示す。図中の小さな円の中心が付与した座標であり、黄がボール、青が味方選手、赤が相手選手である。

3.1.2 フィールド座標の定義と映像からの変換

本分析は、画面上のボールと選手の座標及び視線座標が、フィールドに対してどの位置に存在するかに基づいて行う。特にサッカーは二つのゴール間のどの辺りに位置するかという横方向の情報がより重要となるため、二つのゴールラインを端とし、右方の味方側ゴールラインを+1、左方の相手側ゴールラインを-1となるようにフィールド座標を定義する。

図2は上記のように定義したフィールド座標上で0.1ごとに、つまりフィールドを20等分するように線を引いたものである。本稿の分析では、ボールの位置としてこの20等分された領域のうち、どの領域にボールの座標が含まれているかにより、おおまかな試合状況の分類を行う。

3.1.3 選手集団領域とその分割

選手座標がどのようにフィールド上に分布するかは試合の状況により様々である。それぞれの状況に応じて、選手のポジションをおおまかに把握

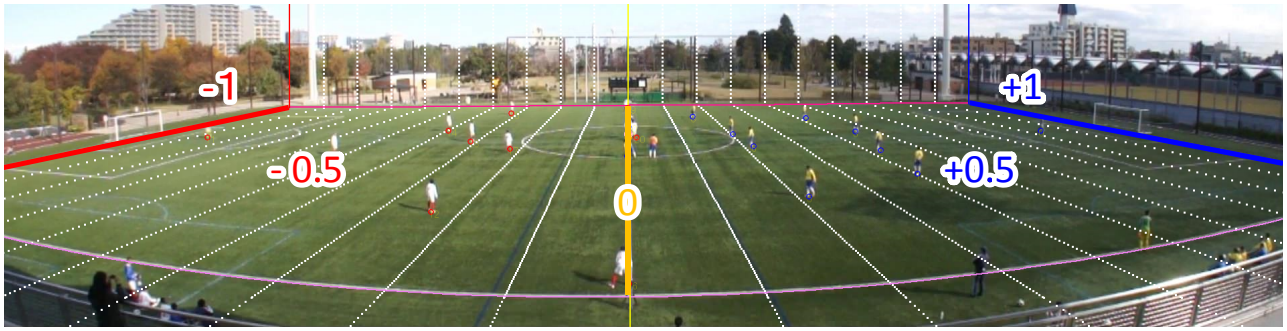


図2 定義したフィールドと座標映像からの変換



図3 選手集団領域と前衛・中衛・後衛

できれば、その場所にいる選手の役割が解釈しやすくなると考える。

そのためには、フィールド全体ではなく、フィールドの中で選手が存在している領域に注目する必要がある。基本的にゴールの手前にいるゴールキーパーを除いた20人の選手のうち、二つのゴールラインにそれぞれ最も近い選手のフィールド座標で挟まれる範囲を選手集団領域とする。さらにこの領域を三つに分割する線を引き、相手ゴールライン側を前衛、味方ゴールライン側を後衛、その間を中衛とする(図3)。

3.2 乖離区間

3.2.1 視線のクラスタリング

熟練者の視線と未熟者らの視線が乖離していることを表すためには、まず、複数の視線が共に同じ場所を見ていることを定義する必要がある。この定義はクラスタリングにより行う。各フレームに対して熟練者1名および未熟者4名の視線を、視線座標間のユークリッド距離を用いて、最長距離法で距離が75 pixel (3.3節で後述する中心視領域の半径の半分) を超えるまでクラスタリングした。これにより、おおよそ同じ場所を見ている視線群が一つのクラスタとして表される。なお、孤立した視線は大きさ1のクラスタとなる。

3.2.2 乖離・融合・分散

さらに、熟練者および未熟者らの視線クラスタの構成状態から、各時刻(フレーム)を下記の3状態のいずれかとする。

【乖離】

熟練者の視線が、固まった未熟者たちと離れている状態

【融合】

熟練者の視線が、固まった未熟者たちと近い状態

【分散】

熟練者および未熟者の視線が散り散りであり、乖離とも融合とも評価できない状態

判定アルゴリズムおよび判定の例を図4に示す。図中の重なりあった円は一つのクラスタを意味する。ただし、このアルゴリズムは熟練者1名、未熟者4名のサンプル数に即して設計したものであり、それぞれの人数が変われば設計し直す必要がある。

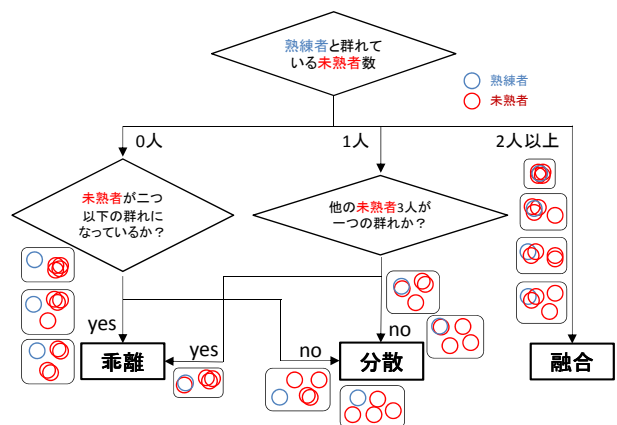


図4 乖離・分散・融合の判定アルゴリズム

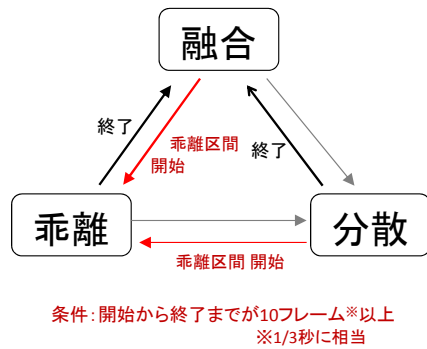


図5 乖離・分散・融合の状態遷移と乖離区間の開始・終了

3.2.3 乖離区間

分散または融合の状態から乖離に遷移して、次に融合に遷移するまでの間を乖離区間と定義する(図5)。ただし、フレーム数が10フレーム未満の場合はノイズとして棄却する。これにより、熟練者が未熟者と異なる場所を見ている時区間を抽出することができる。

3.3 中心視領域と視線配布

人は視角にして約200度の広い視野を持つ。しかし、視野に含まれる対象を一様の視力(細部まで見える力)で見ることができない。視力は注視点で最も高く、注視点から少し離れると急激に低下する。例えば、注視点から10度離れた箇所では、視力は中心視の20%以下に低下する[7]。

したがって、情報を取り込みたい箇所に次々と視線(視軸)を動かしていく必要がある[9]。このような視線の振る舞いを視線運動という。どのように注意を払って視線運動をしているかが、注視行動の重要な要素である。

本研究では、高い解像度で知覚できる中心窩視(〜2度)と、それに準ずる傍中心窩視(2〜5度)を合わせた、5度までの範囲を中心視領域と定義する。画面上における中心視領域は、注視点から半径150pixelの円とした(図6)。この半径は実験時の被験者と画面との距離から幾何学的に算出したものである。



図6 中心視領域

さらに、中心視領域を単に視力の高い領域ととらえるのではなく、視覚活動の中心的領域として位置づけ[10]、中心視領域に対象を収めることを視線配布と定義する。

ただし、注視点を変えるときや、注視対象が高速に移動し追従しきれなくなったときに発生する、素早い眼球運動(サッケード, Saccade)中では、ほとんど視知覚ができない(サッケード抑制)[8, 10]ため、対象が中心視領域内にあっても知覚していないとし視線配布していないとする。サッケード区間の抽出には文献[11]を参考にした。

4. 視線の乖離区間の分析

4.1 乖離区間はどれくらいあるのか?

本分析では3.1.2節の通り、ボールの位置に基づいて乖離区間を整理する。最初に、ボールの位置がフィールドに対してどのように分布し、さらにそのとき乖離区間がどの程度あるかを明らかにしておく。ボールはサッカーの試合において中心的な対象であり、フィールド上のどこにボールがあるかは試合状況を記述するために有効な指標となると考える。

図7の棒グラフはフィールドの各領域ごとにボールが存在する累計時間(フレーム)をまとめ、さらに乖離区間と非乖離区間に分けたものである。フィールド中央に多い分布にはなっているが、その半分程度の時間はフィールド端にボールがあり、サンプル数が著しく減少していないことが確認できる。棒グラフ下部の数字はその領域にボールがあるときに発生した乖離区間の回数を示す。1回の乖離区間の時間にはばらつきがあるため、乖離の回数と時間とは比例しない。

また図7の折れ線グラフは、ボールが各領域に存在していた時間に対し、乖離区間がどの程度あったかを示す。ボールがゴールラインに近づくと、乖離時間の割合が大きくなるのが分かる。つまり、ボールがゴールラインに近いときに熟練者と未熟者の差が表れやすいことを示唆している。

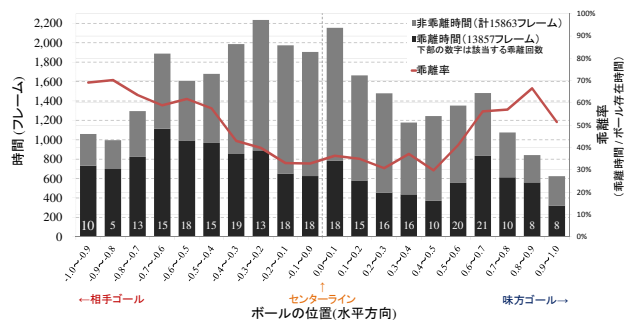


図7 ボールの存在時間分布と乖離区間の割合

4.2 乖離区間中に何を見ているのか

4.2.1 ボール

熟練者と未熟者の乖離区間中でのボールへの視線配布率を図8aに示す。熟練者と未熟者の視線配布率には平均60%以上の大きな開きがみられた。特に、両ゴールライン付近においては、熟練者のボールへの視線配布率は20%未満であり、殆どボールを見ていない。

乖離区間以外についても同様に図8bに示す。基本的に未熟者と同じ所を見ているという性質があり、熟練者、未熟者共にボールを見ていない割合は平均約80%と大きい。また乖離区間中と非乖離区間の未熟者の視線配布率が同程度であることから、未熟者は乖離区間、非乖離区間に関わらず、ボールを常に見ていることがわかる。

これらのことから、熟練者の視線が未熟者と乖離するときにはボール以外を見ている場合が多いといえる。また、両ゴールライン付近について、未熟者は非乖離区間よりも乖離区間の方が、ボールへの視線配布率が高い。ボールがゴールに近いとき、よりボールは目立つ対象になると考えられる。このようにボールが目立つ視対象であるときほど、未熟者の視線から熟練者の視線が乖離しやすい可能性がある。

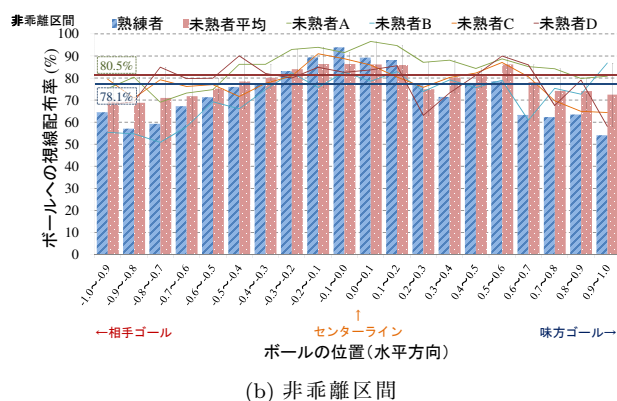
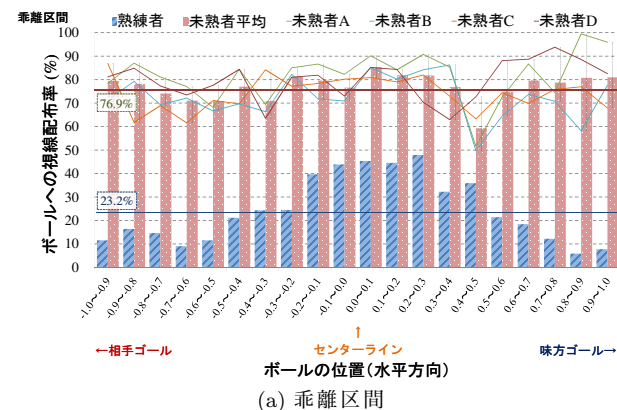


図8 ボールへの視線配布率

4.2.2 選手

ボールを見ていない時区間は、選手を見ている可能性が考えられる。乖離区間中の熟練者の視線座標から最も近い選手との距離は平均31.0 pixelと視角では約1度に相当し、選手を見ている可能性は大きい。

しかし、選手といってもどちらのチームの選手を観察しているのだろうか? 図9は乖離区間発生時のボールの位置ごとに、乖離区間中に中心視領域内に入っていた両チームの選手数を比較し、「味方選手が多い」、「相手選手が多い」、「どちらも同じ数で均等」のどの場合が最も多かったかを示す。ただし、選手を見ていなかった場合は「選手なし」とする。即ち、1回の乖離区間中にどちらの選手をより観察していたのかを示している。両チームの選手数そのものではなくバランスに注目する理由は、状況により選手数の多い少ないが発生し、その結果を平均する上で、選手数が多い状況の影響が大きくなるのを防ぐためである。

ボールが相手ゴールライン付近からサッカーフィールドの中腹にかけて存在するとき、未熟者は相手選手が多く存在する場所を主に見ていることが多い(図9b左側)のに比べ、熟練者は味方選手が多く存在する場所を主に見ている(図9a左側)ことがわかる。

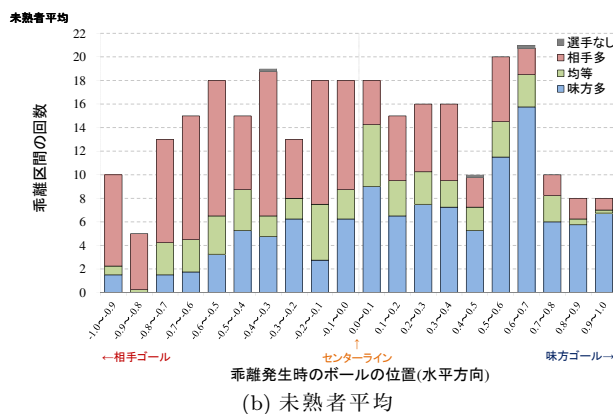
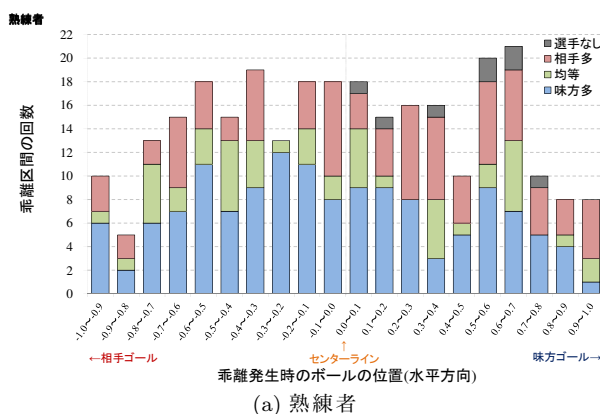


図9 乖離中の中心視領域内の選手バランス

特に相手ゴールライン付近にボールが存在する場合について、該当するシーンを集めて映像を確認したところ、ボールを受け取った直後の相手のゴールキーパー、またはディフェンスの選手が自陣の側を向いてボールを持っている状況が多く含まれていた。相手がディフェンスラインからどのように攻めてくるかに備え、味方選手が対応できているかを確認し、どこにボールが行くかを予想していると考えられる。

一方で、ボールが味方ゴールに近いときは、熟練者は相手選手が多く存在する場所を比較的見ていた。同様に該当シーンを集めて確認したところ、味方のゴールキーパーがボールを受ける直前に、乖離が発生していた場合が多かった。

4.3 乖離区間中にどこをみているのか

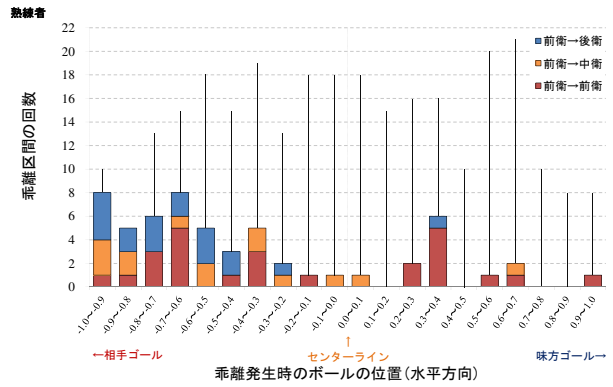
図10, 11, 12は、乖離の発生時に各被験者が前衛、中衛、後衛を見ていた場合ごとに、その後の乖離区間で最も長い時間見ていた選手領域を示す。即ち乖離区間が発生し、熟練者及び未熟者らがどこからどこへ視線を動かしたのかを示している。

図10は乖離が発生したときに前衛(相手ゴール側)を見ていた場合である。未熟者に比べ、そもそも前衛を見ていたときに発生した乖離の回数が少ないが、前衛ではなく後衛や中衛を最も長い時間見ていた乖離区間が多い。

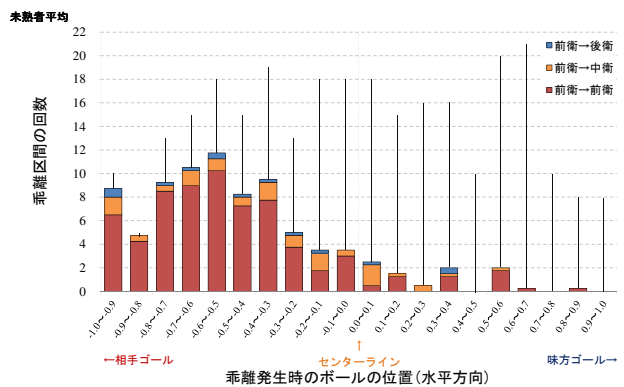
図11は乖離が発生したときに中衛を見ていた場合である。ボールがフィールドの中腹から相手ゴール手前にかけてあるとき、未熟者に比べ、後衛を最も長い時間見ていた乖離区間が多い。一方、未熟者はボールが相手陣地にあるとき、やや前衛を意識している傾向がある。このことから、熟練者と未熟者が同じシーンにおいて、全く異なる視線運動をしている場合がある可能性が考えられる。

図12は乖離が発生したときに後衛(味方ゴール側)を見ていた場合である。未熟者に比べ、前衛や中衛を最も長い時間見ていた乖離区間が多い。また、フィールドの相手陣地での乖離区間の回数が多く、ボールが相手陣地側にあるときに後衛を見ているケースも多かった。これは分散の状態から未熟者の視線が集まったことにより乖離と識別され、乖離区間が始まったケースの影響と考えられる。これを除くことによって熟練者の自発的な乖離にのみ着目することができると考える。

以上の三つの場合をまとめたものが、図13である。即ち乖離発生時に見ていた場所を問わず、乖離中に見ていた場所が前衛、中衛、後衛のいずれであるかを示す。未熟者は多くの時間ボールを見

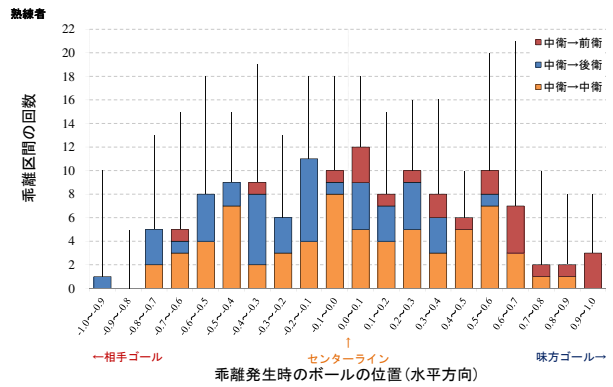


(a) 熟練者

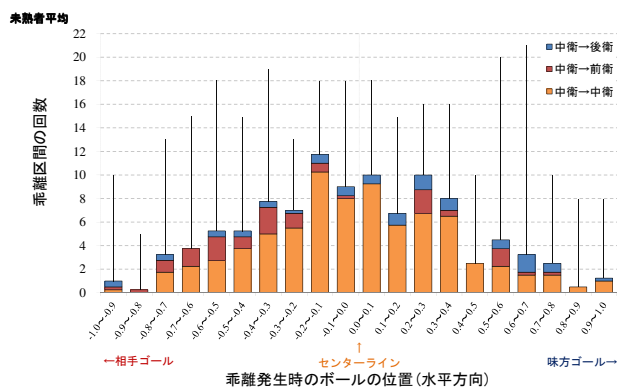


(b) 未熟者平均

図10 乖離発生時に前衛を見ていた場合



(a) 熟練者



(b) 未熟者平均

図11 乖離発生時に中衛を見ていた場合

ているため、ボールの位置に対応する結果となっている。それに対し熟練者は、特にゴールライン付近において、未熟者の見ている領域とは反対、即ちボールが存在する領域とは反対側の選手領域を見ている場合が多く含まれている。またボールがフィールドの中腹にあるときは、前衛よりも後衛を多く見る傾向にある。

5. 総合的な考察

いずれの結果も、未熟者はボールを中心的な視対象として試合を観察しており、一方で熟練者はボールに完全に依存することなく、積極的にボールから離れた場所を見ていることを示唆している。特に、ボールがゴールに近い状況において、熟練者と未熟者の注視行動の違いが現れやすく、熟練者は味方ゴール手前にボールがあるときは自陣の前衛を見る一方で、相手ゴール手前にボールがあるときは自陣の後衛を見るなど、ボールの存在位置とは反対側の選手領域を意識しながら見ていると考えられる。これらのことから、ボールに直接絡んでいない選手を観察することが、熟達した試合観察として必要な要素であることが裏付けられる。ボールがサッカーフィールドの中腹にある場合については、4.2.2節の味方選手が多い場所をよく見るという結果と、4.3節の後衛をよく見ているという結果を併せることで、熟練者が指導している味方チームの守備を未熟者よりもよく観察していることが伺える。これらはこの試合におけるこの熟練者の見方の基本となる大きな特徴である。

また、4.3節において、熟練者と未熟者の視線が乖離しているにもかかわらず、前衛・中衛・後衛のポジションは乖離発生時から変わっていないものも半分以上存在する。これは、未熟者らが見ている場所から比較的近い場所、または奥行きのみ異なる場所を観察しているためと考えられる。未熟者らが見ている選手と、熟練者が見ている選手がどのような関係であるかを調べることで、熟達した観察の暗黙知をより顕在化する鍵となると期待する。

6. まとめ

本研究の目的は、サッカー熟練者の試合観察に関する暗黙知を顕在化することであった。熟練者と未熟者の見方が異なる時区間である乖離区間に注目することにより、ボールがゴールラインに近いときに熟練者と未熟者の注視行動に差が現れやすい、熟練者は試合の状況と逆行するように観察しているなど、熟練者の試合観察の特徴を抽出することに成功した。

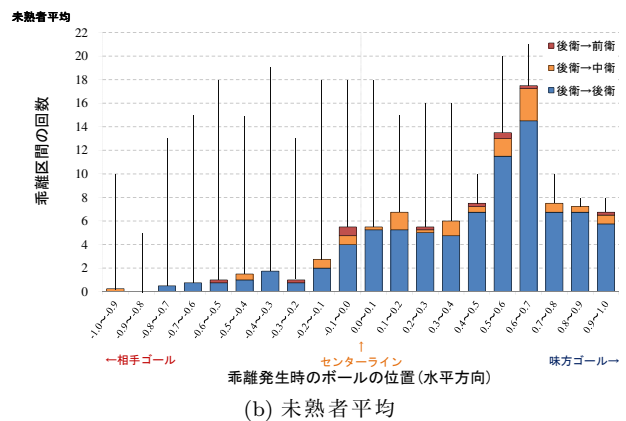
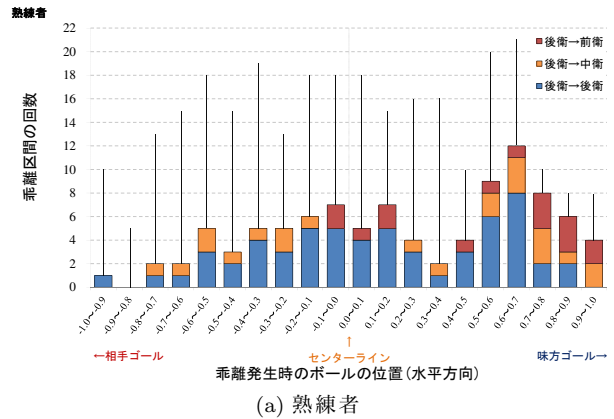


図 12 乖離発生時に後衛を見ていた場合

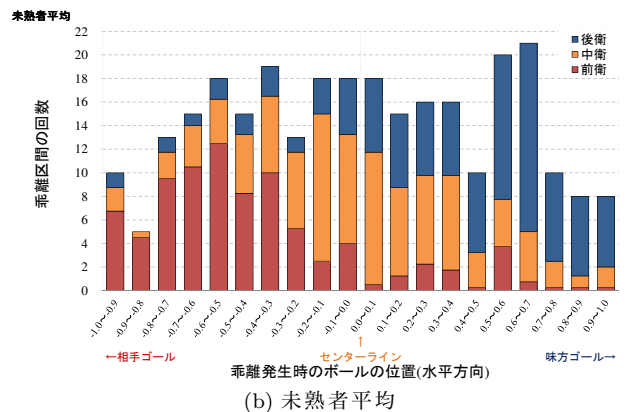
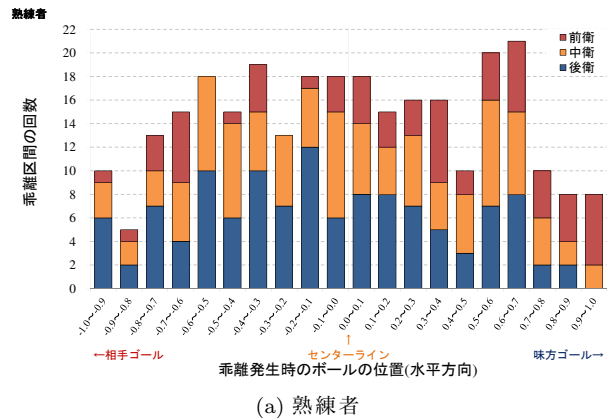


図 13 乖離区間中に見ていたポジション

このように本研究の意義は、従来研究のように特定したゲームシーンに対して視線運動を分析するのではなく、熟練者と未熟者の視線の不一致関係を用いることで、任意のゲームコンテキストに対して熟練者特有の見方が顕在化する時区間を対象に定量的な分析をしたことである。これは、被験者の視線データの関係に注目した視線コンテキストを用いることで、特徴の現れるゲームコンテキストを探し出しているとみなせる。視線コンテキストを手がかりにすることによって、熟練者の暗黙的なスキルに焦点を当てた分析が可能になり、暗黙知の形式化が容易になると考えられる。

今後、ボールを持っている選手の所属、ボールの軌跡等の情報を用いて、乖離区間をより詳細に分類することで、更なる暗黙知の発見を目指す。

謝辞

本研究の一部は、JSPS科研費 26280074（基盤研究(B)）及び26730119（若手研究(B)）の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] A. L. Yarbus, B. Haigh, and L. A. Riggs, (1967) "Eye movements and vision", Vol. 2, No. 5.10.
- [2] 張劍, 渡部和彦, 馬淵麻衣, (2008) "サッカー熟練者と非熟練者の予測正確性および視覚探索方略に関する研究—1対1と3対3場面についての比較—" 体育学研究, Vol.53, No.1, pp.29-37.
- [3] 石垣尚男, 川岸與志男, 植田和次, 後藤浩史, 金子美由紀, 平田勝彦, 上野敦史, (2009) "ゲーム場面を見る際の指導者と選手の視線比較" バレーボール研究, Vol.11, No.1, pp.7-11.
- [4] A. M. Williams, K. Davids, L. Burwitz, and J. G. Williams, (1994) "Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players", Research quarterly for exercise and sport, Vol. 65, No. 2, pp. 127-135.
- [5] 岩月厚, 平山高嗣, 榎堀優, 間瀬健二, (2013) "サッカー指導者の注視行動の分析-動的対象との関連性-" 情報処理学会第75回全国大会, 第2分冊, pp. 471-472.
- [6] A. Iwatsuki, T. Hirayama, K. Mase, (2013) "Analysis of Soccer Coach's Eye Gaze Behavior", International Joint Workshop on Advanced Sensing/Visual Attention and Interaction 2013.
- [7] T. Wertheim, (1894) "Über die indirekte Sehsch?rfe", Z Psychol, Vol. 7, pp. 172?187.
- [8] 大野健彦, (2002) "視線から何がわかるか—視線測定に基づく高次認知処理の解明" 認知科学, Vol.9, No.4, pp.565-576.
- [9] 三浦利章, (2005) "見ることと注意—視覚的注意と行動, 安全性" 認知心理学の新しいかたち (仲真紀子 編著), pp.73-103.
- [10] J.M. フィンドレイ・I.D. ギルクリスト・本田仁 視<監訳>, (2006) アクティヴ・ビジョン—眼球運動の心理・神経科学—.
- [11] 堀井健, 上坂重樹, 小谷賢太郎, (2006) "眼球の加速度値を利用したサッカー運動の抽出" 人間工学, Vol.42, No.4, pp.234-242.