

# ゴール型ボールゲームにおける 視線行動に基づいた協調パターン獲得の実験的検討

Experimental Study of Players' Cooperation Pattern Acquisition Based on Referring Behavior in Goal-oriented Ball Game

糸田孝太<sup>\*1</sup> 渡邊紀文<sup>\*2</sup> 武藤佳恭<sup>\*1</sup>  
Kota Itoda Norifumi Watanabe Yoshiyasu Takefuji

<sup>\*1</sup>慶應義塾大学 Keio University <sup>\*2</sup>東京工科大学 Tokyo University of Technology

In goal-oriented ball games, players dynamically cooperate and compete with each others, and they change their behaviors based on a recognition of situations including other players' positions and behaviors in a moment. In this research, we focus on cooperation patterns that are shared by players for their behavior selections. Behavioral experiments of these pattern acquisition in a soccer game are constructed in a virtual environment using head-mounted display (HMD). Players' referring behaviors which reflect their instant decisions based on cooperation patterns are approximated by their head directions and focused. The effect of acquisition of patterns are evaluated by analyzing their referring behaviors.

## 1. はじめに

サッカーやハンドボールといったゴール型ボールゲームにおける選手行動は、動的に切り替わる状況の中での敵味方お互いの位置や行動を元にした瞬時の戦術的判断に支えられている。時間的・空間的に強い制約を受けたそのような瞬時の判断を実現するためには、集団内部で共有される協調パターンが存在する事が考えられる。本研究は、サッカーにおけるパスに関する協調パターン、そして選手の瞬時の判断が現れると考えられる視線行動に着目する。選手のポジション・トラッキングデータを元に協調行動を仮想環境で再現し特定の場面を繰り返し提示する事で、パス行動におけるボールを出す選手と受ける選手の協調パターンの獲得実験を行い、その前後における視線行動の変化の分析とその評価を行った。

## 2. 背景

被験者の認知過程や行動決定過程を分析するためには、行動判断のための均一な実験環境を構築する必要がある。実際の状況に近い状態で、スポーツの場面を人に提示する事により認知訓練等は行われているが、それらは実際のフィールドでチームメンバーによってミニゲーム形式で場面を再現する形式 [10] と、ディスプレイを用いて表示する形式 [11, 7] がある。実際のフィールドにおける場面の再現は、再現する場面に近い臨場感を持つ一方で参加するメンバーや天気によって状況は変化してしまい再現性が低いという問題点がある。また、ディスプレイを用いた形式では再現性は高い一方で、被験者の視線行動を基本として状況を切り替えるには 360 度に近い曲面ディスプレイ等の大掛かりな装置が必要である事や、敵や味方が自分の目の前にいるといった臨場感に乏しい事が問題となる。一方で近年、VR(仮想環境)の技術の進歩により操作者が頭部に装着する事によって仮想環境に入り込む事を可能とする非常に没入感の高いヘッドマウントディスプレイが開発されている。これらのデバイスを利用する事で、選手の訓練にも仮想環境が使われ、その有効性が示されている [1, 8]。このようにゴール型ボールゲームにおける協調パターンのような協調行動の訓練

や分析において、仮想環境を用いた研究が広く行われるようになってきている。本研究においても、仮想環境を用いる事で訓練場面の提示と同時に選手の行動を記録及び分析し、実際の場面に近い環境での行動変化を評価する。

## 3. HMD と仮想環境を用いた実験環境

仮想環境を構築し、頭部に装着する事で仮想環境を利用者に表示する事が可能なヘッドマウントディスプレイ (HMD) である Oculus 社製 Oculus Rift DK2(図 1)[3] を用いる。Oculus Rift は他の HMD と比較して約 110° という広範囲の視野角と、利用者の頭を追随する事によって仮想環境を円滑に表示するヘッドトラッキングが可能である。これにより、再現性及び没入感が高い形で特定の場面を再現し行動実験を行う。仮想環境については、今回 Oculus Rift を公式でサポートしている Unity Technology 社製のゲームエンジン "Unity3D" を用いて構築した。

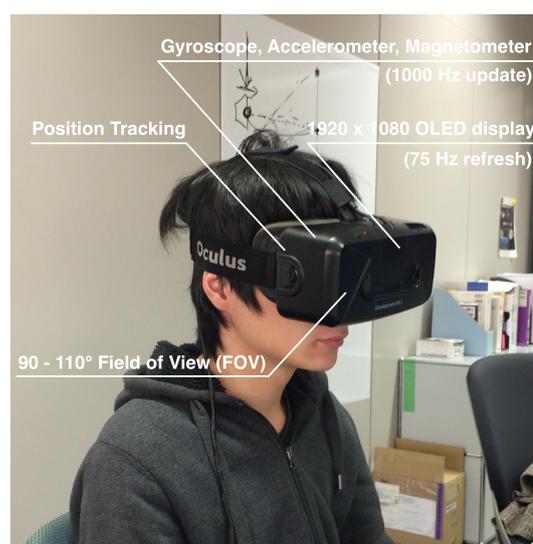


図 1: Oculus Rift DK2[3]

連絡先: 糸田孝太, 慶應義塾大学政策・メディア研究科, 神奈川県藤沢市遠藤 5322, kota02@sfc.keio.ac.jp

仮想環境において選手の役割を果たすエージェントはチーム毎に赤と白で色分けされ、それらやフィールドを含むパラメータは実際の選手や試合の規定を基に作成を行った [2](図 3)。

実験は頭部と HMD の位置を揃え、被験者は選手の中の 1 体と視線を共有する事で行った。これによりフィールドを見下ろすような俯瞰映像ではなく、一人称視点で行動を決定する、より実際の場面での判断に近い形での行動を評価する事が可能であると考えられる。また、被験者エージェントの身体を透過処理する事により自らの身体で周囲の物体が隠れてしまう事を防いでいる。仮想環境と実験の様子を図 2 に、また仮想環境における主なパラメータを表 1 に示す。

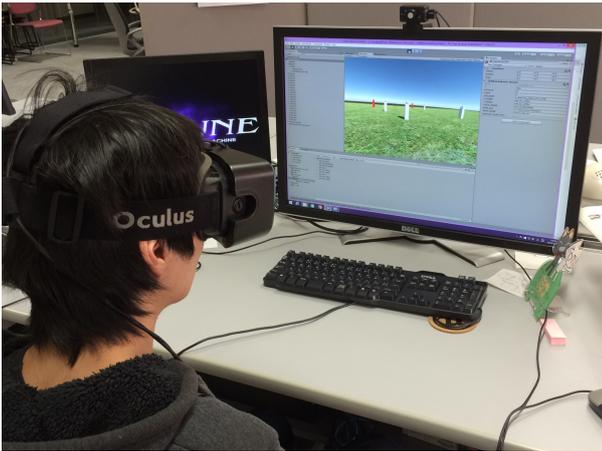


図 2: 実験環境 (被験者の目の前のディスプレイに表示されている画面と同じものが HMD に提示される)

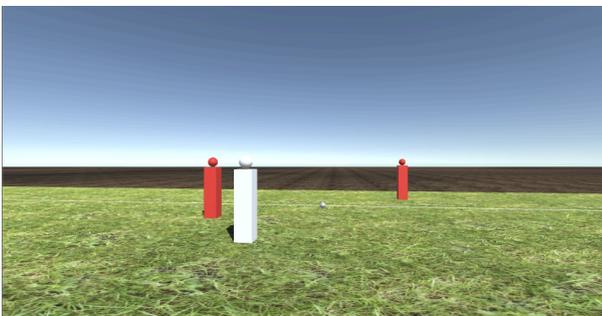


図 3: 被験者の一人称視点での仮想環境

表 1: 仮想環境の主なパラメータ設定 \*1

ボールの直径	2.2	フィールドの横の長さ	1050.0
選手の高さ	17.0	フィールドの縦の長さ	680.0
選手の幅	4.0	ゴールの幅	73.2
選手の頭の直径	3.0	ゴールの高さ	22.4

## 4. 視線行動に関する協調パターン獲得実験

### 4.1 実験に用いる場面

今回の実験では、FIFA Confederations Cup 2013 年のスペイン対イタリア戦の 10fps で選手の位置を記録したポジション・トラッキングデータ及び動画データを用いる。また実験のため当該の試合中の一場面を選択して用いた。そして、ボールゲームにおいて重要である、ボールを受けるタイミング及び送るタイミングで味方のポジションを確認する視線行動に着目する。データには視線方向は含まれていないため、動画データを元に今回は選手の頭部方向を用いて選手の視線方向を近似する。近年の研究では人の頭部方向から視線や注意の方向を近似できる事が示唆されている [9]。実験に用いた場面は、前半において中盤のボール確保から味方内でのパスを含みシュートに至るまでの約一分間の場面である。また、周囲のパターンを判断し行動を切り替えるミッドフィルダーの選手に注目し、攻撃の序盤から終盤へと繋がる各段階での視線行動を評価する。今回分析に用いたスペインチームはボールを保持し続ける戦術を持つ、パス回しが非常に優れているチームであり、精度の良いパスを実現するお互いの協調パターンが存在すると思われる。また、スペインチームの中心選手である Xabi Alonso 選手はインタビューの中で”We have the same idea as each other. Keep the ball, create movement around and off the ball, get in the spaces to cause danger. (選手たちは互いに同じアイデアを共有している。ボールを保持し、オフ・ザ・ボールの動きで相手にとって危険なスペースに入り込む)”と述べており [6]、チームが共通の協調パターンを持つ事を裏付けている。

### 4.2 実験手順

今回の実験では、選手が見ていた場面を仮想環境で作成し繰り返し提示する事で被験者は協調パターンを獲得する。仮想空間におけるエージェントはトラッキングデータを基に自動で移動し、被験者は実験で指定した選手一人に対応するエージェントとして視線行動を取る。被験者は Oculus Rift を頭部に装着した状態で首を振る事で仮想環境における周囲の状況を自由に確認できる。なお実験は被験者の安全のため着席状態で行った。

実験は図 4 に示すように『事前フェーズ』『学習フェーズ』、『事後フェーズ』の三つのフェーズに分かれている。『事前フェーズ』では被験者は頭部を動かし、対応の場面での状況を自由に確認する事ができる。『学習フェーズ』では被験者の視野範囲を固定し、実際の選手が行った視線行動を被験者に提示する。最後の『事後フェーズ』では、被験者は学習フェーズで選手が行っていた行動を基に頭部を動かす。被験者には、場面について事前に説明し、その場面にいた場合にどこに注意するのかを判断するよう指示し、全てのフェーズを三試行ずつ実施する。被験者は二十代の大学生及び大学院生四名で行い、実験の後に、ボールゲームの経験や視線行動を取る時にどこに着目していたかといった簡単なアンケートを行った。なお、VR 酔いを防ぐため各試行の間で最長 1 分程度の休憩時間を取っている。

## 5. 事前・事後フェーズにおける視線行動の変化

被験者のエージェントはシーンの中で四回のボールの受け渡しをする。各三回の試行における全体の角度分散を求めると図

\*1 Unity3D における基本単位は 1m であるが、トラッキングデータが 10cm 単位となっていた為それに揃えて仮想環境のパラメータも基本単位を 10cm としている。

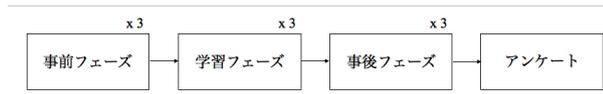


図 4: 実験手順

5 のようになる．角度の分散は，一周回るとまた同じ値として戻ってくるという特殊な性質を持つため通常のように観測値の総和を用いて平均，分散を求める事ができない．そこで式 1, 2 のように三角関数を用いて表現する方法が用いられる．

$$(R \cos \bar{\theta}, R \sin \bar{\theta}) = \frac{1}{N} (\sum \cos \theta, \sum \sin \theta) \quad (1)$$

$$V = 1 - R \quad (2)$$

ここで， $\bar{\theta}$  は平均， $V$  は分散を， $N$  はデータ数を表し，角度が同方向に揃う程動径  $R$  が単位ベクトルに近づき，揃わない程動径  $R$  は 0 に近づく事から，式 2 のように 0 から 1 の間の値として分散の大きさを表現できる．

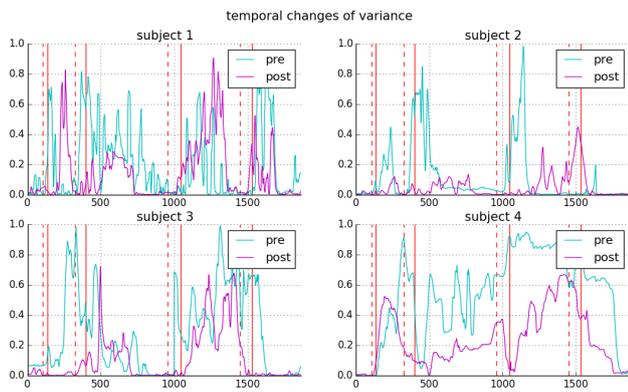


図 5: 事前・事後での被験者の視線行動の分散変化 (被験者のエージェントのボールタッチの時点を示す赤色点線，パスの時点を示す赤色実線で示す)

図 5 を見ると，多少の逆転を含むものの，学習フェーズを経る事によりほとんどの被験者において明確に全体の分散が下がっている．特にボール受け渡し直前の一秒間の分散の試行間平均 (図 6) より，多くの場合で事後フェーズにおける分散の減少が見られる．しかし，被験者 1, 3, 4 における三回目と四回目のボールタッチの間の区間，被験者 1, 3 の二回目のパスの後の 300 フレーム程は，事前，事後フェーズともに分散の値が同じように高くなっている箇所も見受けられる．

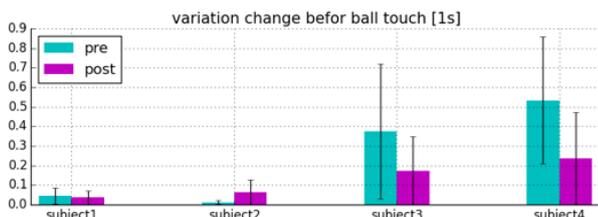


図 6: ボールを受ける直前 1 秒間の視線行動の分散変化

## 6. 考察

学習フェーズを経る事によって三試行間の時系列のばらつき減少がいずれの被験者においても見られる事は，事前フェーズでは周囲の状況が分からず，主にボールを中心とした周囲の状況を確認する行動が多い事に対し，学習フェーズを経る事によって実際の選手が行っている視線行動を把握する事で状況の着眼点を理解したと考えられる．特に図 6 に見られるようなボールを受ける直前の視線行動の変化は，被験者がボールを渡す選手との協調パターンを獲得したと考えられる．

一方で図 7 のように中盤からシュートが行われる終盤までの攻撃の場面では，敵へのしかけの段階になる程場面の移り変わりが激しくなるため，着目する場所を見失い被験者の視線行動の分散は高くなった．四回目の最後のパスの後はただ味方のシュートを眺めているのみであるためこの被験者も分散は下がる．また，パスの直後での分散の上昇は今回の実験では実際の選手の生の時系列データに沿って勝手に自身のパスが行われるため，被験者がボールを見失った事が原因であると考えられる．これは事後アンケートにおいても，事前フェーズでは特に被験者が主に着目していたのは四人全員ともボールやボールを持っている選手であり，ボールを自分が持つタイミングでは自分の足元にボールが来る事で，下を向いてボールを確認していたとの回答があった．そのため自分の思う方向とは関係なくパスが行われることに起因するボールの探索と説明できる．

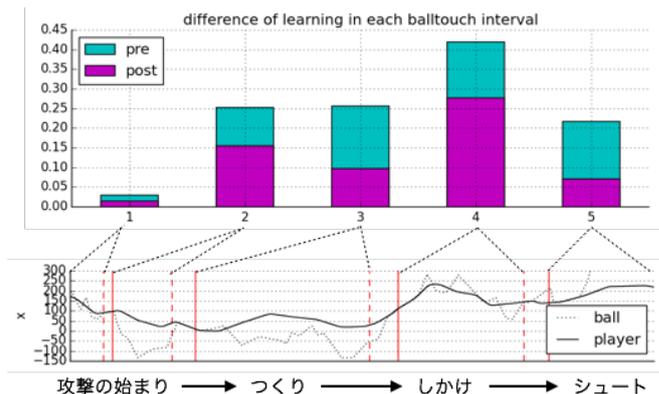


図 7: 攻撃の段階における分散減少の変化 (実線は選手，破線はボールの  $x$  軸上の位置)

協調パターンを獲得する事によって味方との連携をするための視線行動はある程度決まってくるため，行動の分散は減少する事が考えられ，今回の実験の結果は協調パターンの獲得を示唆する．一方で，試行間の視線行動の分散の減少の原因として，ボールの移動に伴う記憶も考えられるため，今後の実験において学習場面と類似した未知の場面でも同様に対処できるのか検証する必要がある．

## 7. まとめ

選手の視線行動に着目し，仮想環境を用いてパス行動を再現する事でボールの受け渡しに関係した選手の協調パターンに関する獲得実験を行った．結果として，学習フェーズを経た事後フェーズにおいて視線行動の分散が明確に減少する事が見られ，場面ごとにおける違いもある程度明らかになった．特にボールを受ける直前に分散が小さくなった事で，被験者はボールを受けるためのパスの協調パターンを獲得したと考えられる．

しかし今回の分析の結果は協調におけるパターンの獲得よりもボールの追従に関して迷いがなくなっただけとも解釈できてしまう。今後この問題を解決するために、ボールの扱いを被験者自身で行えるようにする、ボールタッチがない場面を選択する、といった事が考えられる。被験者自身でボールを扱うパス行動を含んだ実験をするためには、パスの時点で場面を区切ってしまうか、他のエージェントを何らかの方法で被験者の行動に合わせて行動させる必要がある。また、協調パターンの獲得を確かめるために今回分析に用いた場面に類似した場面を被験者に提示して、未知の場面に対して学習場面と同様に対処できるかといった実験する事で、協調パターンの汎化性能を確かめることも重要であろう。近年は集団行動の自動抽出 [4] や、集団行動における選手間の関係を分析する手法 [5] も研究が進んでいるため、そういった手法と組み合わせていく事も今後考えていく。

## 参考文献

- [1] Benoit Bideau, Richard Kulpa, Nicolas Vignais, Sébastien Brault, Franck Multon, and Cathy Craig. Using virtual reality to analyze sports performance. *Computer graphics and applications, IEEE*, Vol. 30, No. 2, pp. 14–21, 2010.
- [2] Fédération Internationale de Football Association, et al. *Laws of the game*. FIFA., 2015.
- [3] Oculus Rift DK2. <https://www.oculus.com/en-us/dk2>. Accessed: 2016-03-20.
- [4] Alexandre Hervieu, Patrick Bouthemy, and Jean-Pierre Le Cadre. Trajectory-based handball video understanding. In *Proceedings of the ACM International Conference on Image and Video Retrieval*, p. 43. ACM, 2009.
- [5] Kota Itoda, Norifumi Watanabe, and Yoshiyasu Takefuji. Model-based behavioral causality analysis of handball with delayed transfer entropy. *Procedia Computer Science*, Vol. 71, pp. 85–91, 2015.
- [6] Ian Ladyman. World cup 2010: Beat spain? it's hard enough to get the ball back, say defeated germany. <http://www.dailymail.co.uk/sport/worldcup2010/article-1293239/WORLD-CUP-2010-Beat-Spain-Its-hard-ball-say-Germany.html>, 7 2010. Accessed: 2015-01-02.
- [7] W Lee, Tomohiko Tsuzuki, Masato Otake, and Osamitsu Saijo. The effectiveness of training for attack in soccer from the perspective of cognitive recognition during feedback of video analysis of matches. *Football Science*, Vol. 7, No. 1-8, 2010.
- [8] Helen C Miles, Serban R Pop, Simon J Watt, Gavin P Lawrence, and Nigel W John. A review of virtual environments for training in ball sports. *Computers & Graphics*, Vol. 36, No. 6, pp. 714–726, 2012.
- [9] Ryoichi Nakashima and Satoshi Shioiri. Facilitation of visual perception in head direction: Visual attention modulation based on head direction. *PloS one*, Vol. 10, No. 4, p. e0124367, 2015.
- [10] 中川昭. ボールゲームにおけるゲーム状況の認知に関するフィールド実験: ラグビーの静的ゲーム状況について. *体育学研究*, Vol. 27, No. 1, pp. 17–26, 1982.
- [11] 中本浩揮, 杉原隆, 及川研. 知覚トレーニングが初級打者の予測とパフォーマンスに与える効果. *体育学研究*, Vol. 50, No. 5, pp. 581–591, 2005.