

VRを活用したバドミントンにおける シャトル落下点予測技術向上支援システムの提案

大坂屋拓甫^{†1} 栗原渉^{†1} 三上浩司^{†1}

概要：バドミントンにおいて、相手の打球コースを素早く予測し、適切な位置へ移動する能力は、競技力を決定づける重要な要素である。この予測能力を習得するための既存の学習方法として、熟練者のプレー映像を視聴する方法がある。しかし、2次元の映像では奥行き情報が欠落しており、フォームの微細な空間的变化や、実際のコート上での距離感を掴むことが困難であるという課題がある。そこで、バドミントン初心者に対して、熟練者動作の違いへの「気づき」を促し、落下点予測能力の習得を支援することを目的として、モーションキャプチャとVR技術を活用したトレーニングシステムを開発した。本システムでは、熟練者のスイング動作を3次元データ化し、VR空間内で提示する。最大の特徴は、異なる球種のフォームを同一座標上に同時に表示する「重畳表示」機能である。これにより、学習者はフォームがどのタイミングで、身体のどの部位の動きが分岐するのかを、3次元的に比較・観察できることを目指す。

1. はじめに

スポーツは、身体的、精神的な健康維持に加え、自己成長や他者との交流といった側面でも重要な役割を果たしており、多くの人々にとって身近な活動となっている。一方で、実際にこれらのスポーツを体験しようとする時、体育館や競技場などの物理的な活動場所の確保や、対戦相手の存在が不可欠であり、誰もがいつでも手軽に取り組めるわけではないという側面がある。

そこで近年、技術の進歩により様々なスポーツをVRで擬似的に体験できるようになった。さらに、単なる体験にとどまらず、VR空間内における物理法則の制御や視覚提示を活用した技術習得支援の研究も進められている[1][2]。

バドミントンは競技としての難易度が高く、ラケットのスイングやフットワーク、シャトルの落下点予測などの技術習得には多大な時間を必要とする。

このうちVRを用いてラケットのスイング技術の習得を支援した研究がある[3]。しかし、試合で失点を防ぎ勝利するためには、単にラケットを振る技術だけでなく、相手の打球を素早く判断し、シャトルの適切な落下地点を予測して移動する予測能力が不可欠であるとされている[4][5]。これは、シャトルの初速が非常に速く、プロ選手ともなると最高初速が400kmを超えるため、打たれてから反応したのでは間に合わない場が存在するためである。加えて、スマッシュ、クリア、ドロップといったオーバーヘッドストロークから打たれるショットは、予備動作が酷似している一方で、実際には打球直前のスイング速度や手首の位置といった動作に微細な物理的差異が存在し[4]、それに伴う打球音にも違いがある。

この予測能力を習得するための既存の学習方法として、実際にプレーをしながら学習する方法や、書籍の読解、熟

練者のプレー映像（動画）を視聴する方法が挙げられる。しかし、プレーをしながらの学習では、練習環境や2人以上の練習相手が必要であること、動画での学習では、奥行き情報が欠落しており、フォームの微細な空間的变化や、実際のコート上での距離感を掴むことが困難であるという問題がある。

これらのことから、バドミントンの予測技術の習得には、従来の学習方法だけでは不十分であり、3次元的な視覚情報を学習できる新たな支援環境が必要であると言える。

本研究では、バドミントン初心者に対して、スイング動作の違いへの気づきを促し、落下点予測能力の習得において理解向上を図るために、VRを活用したバドミントン技術向上支援システムを提案する。モーションキャプチャで取得した熟練者の動作データをVR空間内に提示し、オーバーヘッドストロークから打たれる3種類の球種（スマッシュとクリア、ドロップ）のスイング動作を重ね合わせて比較表示する機能を実装する。既存の教材では不可能な、様々な角度や位置からの観察やスイングの特徴比較をVRコンテンツ内で可能にすることで、動画では判別しにくいフォームの微細な差異を容易に理解させることを目指す。

2. 関連研究

バドミントンの動作解析に関して、升[4]は光学式モーションキャプチャを用いてドロップやスマッシュ等の動作データを分析し、テイクバック時の肩関節の角度や手の位置が球種判別の重要な指標となることを示した。また升ら[6]は同様の手法でストレートとクロス打ち分け動作も分析し、手首の移動速度やインパクト直前の手関節の位置に有意な差があることを明らかにしている。邵ら[5]は、ラケットに装着した加速度センサを用いてスイングを計測し、熟練者はバックスイングからフォアスイングへ移る局面の加

^{†1} 東京工科大学

速度変化を予測の手がかりとしている可能性を示唆した。これらの研究では、専用の計測機器を用いて動作データから動作予測を行っていた。

また、VRを用いたスポーツの技術習得を支援する研究も行われている。川崎ら[1]は、VR上でけん玉の動作を3次元提示し、再生速度を調整可能なシステムを開発した。これにより、スロー再生された手本を観察・模倣することが、動画視聴よりも技の成功率向上に寄与することを示した。遠藤ら[2]は、スポーツにおいて重要となる足部反応速度の向上を目的としたVRトレーニングシステムを提案し、その妥当性を評価した。その結果、VR環境でのトレーニングが足部反応速度の向上に有効であることを示唆している。さらに、黒澤ら[3]は、VR空間内で熟練者のラケットの動きに自身の動きを重ね合わせることで、従来の動画学習より動作の理解が深まりやすいことを確認した。これらの研究により、VRを用いたフォームの模倣や身体反応の向上といった技術面や身体面のトレーニングは有効性が示されているが、バドミントンにおけるシャトルの落下点予測能力の習得を目的とした支援は未だに行われていない。

そこで本研究では、VRを用いて、予測の手掛かりとなるスイングフォームや、打球音、打球時のラケット角度をバドミントン初心者が理解でき、シャトル落下地点予測能力の向上に結びつけられるシステムの提案をする。

3. 対象となるショットについて

本研究では、バドミントンの基本動作となる、オーバーヘッドストローク(頭より高い位置にあるシャトルを打ち返すスイング動作)から繰り出される3種類のショットを学習対象とする。これらのショットは、ラケットを頭上で振る予備動作が共通している一方で、図1に示すようにインパクト後のシャトルの軌道が大きく異なるため、予測の重要性が極めて高い。

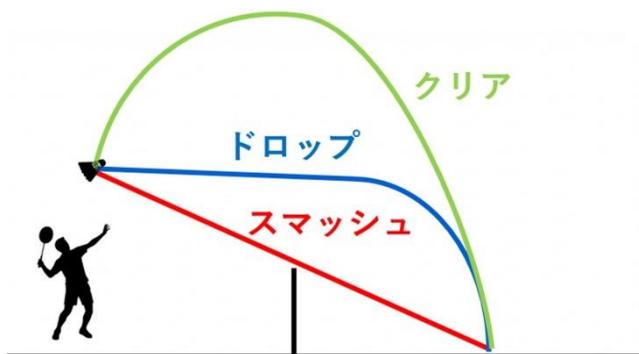


図1 各ショットのシャトル軌道

スマッシュは、高い打点から相手コートに向けて鋭角かつ高速に打ち下ろす攻撃的なショットである。軌道は直線的であり、主にラリーの決定打で用いられる。クリアは、相手コートの後方まで高く遠くへ飛ばすショットである。軌道は大きな放物線を描き、相手をコート奥へ押し下げる

ために用いられる。ドロップは、打つ瞬間にスイング速度を緩め、ネット際へ短く落とすショットである。軌道はネットを越えた直後に急激に落下する。本研究では、これらの予備動作は似ているが軌道が異なるショット群、学習対象として選定した。

4. 提案手法

本研究では、初心者が落下点の予測能力を効果的に習得するために、ヘッドマウントディスプレイを用いたVR空間上において「3次元のスイング動作可視化」、「提示するモデル動作の重畳表示」、「予測とフィードバックによる能動的学習」の3つのアプローチを行う。

(1) 3次元のスイング動作可視化

従来の2次元による学習では、奥行き情報が欠落しているため、手首の回内・回外や肘の屈曲といった立体的な動作の差異を正確に把握することが困難である。そこで本手法では、熟練者の動作をモーションキャプチャにより3次元データ化し、VR空間内に提示する。これにより、学習者は視点を自由に移動させ、あらゆる角度からフォームの微細な空間的变化を観察することが可能となる。

(2) 提示するモデル動作の重畳表示

異なる球種におけるフォームの違いを学習する際、従来は2つの映像を並べて見比べるか、交互に再生して記憶に頼って比較する必要があった。これに対し、本手法では重畳表示を採用する。これは、比較対象となる2つの動作を同一座標上に色違いで同時に表示する手法である。2つの動作が空間的に重なり合うことで、軌道が一致している部分は重なって見え、違いがある部分は「ズレ」として可視化される。これにより、学習者は動作が分岐する瞬間や部位を容易に発見することができる。

(3) 落下点予測とフィードバックによる能動的学習

熟練者の動作を観察する受動的な学習よりも、学習者が能動的に思考し判断を下すアクティブラーニングの方が技能の定着において優れている。そこで本手法では、打球の0.1秒後までの情報から落下点を推測させるシステムにより能動的な学習を支援する。自身の予測結果に対し、システムが即座に実際の落下点との誤差をフィードバックすることで、学習者は予想した落下点と実際の落下点の差異を視認が可能である。この①予測、②誤差の自覚、③フォームの再確認によるサイクルを繰り返すことで、予測の因果関係を効率的に学習させる。

5. 実装

本節では、提案手法で挙げた3つのアプローチの実装について述べる。

5.1 3次元のスイング動作可視化機能

本システムでは、学習のモデルとなる熟練者のスイング動作を3次元データとして提示する。本稿における実装で

は、スマッシュ、クリア、ドロップの3種のスイング動作を対象とした。本研究では、単眼のスマートフォンカメラと AI 姿勢推定を用いてこれらの動作データを取得、再現する。動作を iPhone SE のスローモーション撮影機能(240fps)を用いて撮影し、その動画データからボーン情報を含む動作データ (FBX 形式) を生成した。動作データの制作には、AI 姿勢推定サービスである DeepMotion[7]を使用した。生成された動作データの1コマを図2に示す。AIによって生成されたデータには微細なノイズや関節回転の誤りが含まれる。そのため、3DCG ソフト Blender[8]を用いて、位置座標は変更せず、回転のみを自然な形に補正するクリーニング処理をした。

これらのデータを Unity[9]と Meta Quest 3[10]を用いて表示することで、図3に示すように VR 空間内で熟練者のスイングをあらゆる角度から、かつ等身大のスケールで観察することが可能である。



図2 動画から生成された動作データの1コマ



図3 VR空間内で動作を表示した様子

5.2 動作の重畳表示機能

学習者が動作の微細な違いに気づくためには、単に動作を眺めるだけでなく、異なる球種を能動的に比較することが重要である。そこで本システムでは、スマッシュとクリア、ドロップという似た動作から打たれる3種類の異なるショットを、学習者の操作によって自由に再生・スロー再生できる機能を実装した。

Meta Quest 3のコントローラを用いてシステム内のUIを

操作することで、学習者は任意の動作を繰り返し確認することができる。図4に操作画面の外観を示す。学習者が指定可能な要素には球種、打球位置、シャトル落下位置、モデルの色、動作の再生速度の5つがある。球種はスマッシュ、クリア、ドロップの3種類が選択可能である。打球位置はコート後方の相手の打球位置を右、中央、左の3種類が選択可能である。シャトルの落下位置は、コートを9分割した領域のどの位置にシャトルが落下するかを選択可能である。モデルの色は、3Dモデルの色を8色の中から選択可能である。動作の再生速度は、実時間の1/4、1/2、3/4、等倍の4つの再生速度を選択可能である。また、視覚情報だけでなく、実際の打撃時に録音した「打球音」を打球時に再生することで、聴覚的な違いからの比較も可能である。

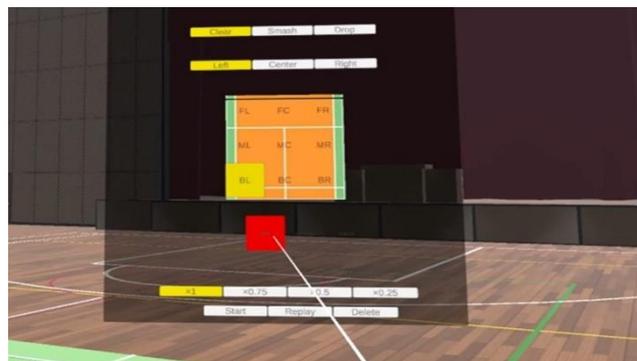


図4 動作の種類を設定する GUI

図5には3種類のショット動作を重畳表示した画像を示す。映像を用いて比較する場合、映像を並べて表示するか、交互に見るのが一般的である。それに対し、本機能では2つの動作が空間的に重なり合うため、動作軌道が分岐する瞬間や、手首の回内・回外の差によるラケット面の向き(関節角度)のズレを容易に発見することができる。

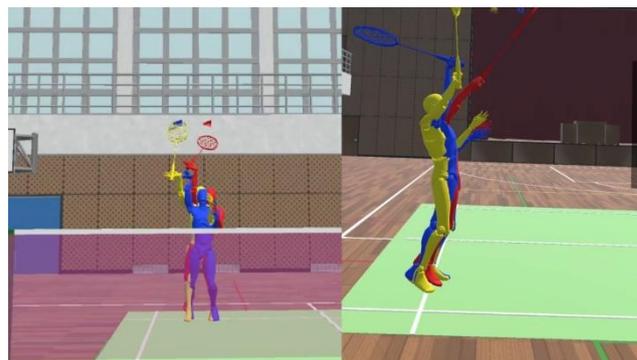


図5 正面(左)と横面(右)から各ショット(赤:スマッシュ,青:ドロップ,黄:クリア)の動作を重畳表示した様子

5.3 予測とフィードバックによる能動的学習機能

学習した知識の実践と定着を確認するために、シャトルの落下点予測を行う機能を実装した。このシステムでは、

熟練者モデルの動作アニメーションが再生され、インパクト（シャトルを打つ）の瞬間の 0.1 秒後に動作とシャトルが停止する。学習者は、それまでのフォームや、シャトルの軌道、打球音から予測されるシャトルの落下地点を、コントローラを用いて指し示す。回答後、システムの時間が再開し、正解となるシャトル落下点を表示し、学習者の予測位置との誤差（距離）を図 6 のようにフィードバックする。これにより、学習者は自身の予測の正確さを把握し、次の学習への動機づけを得ることができる。

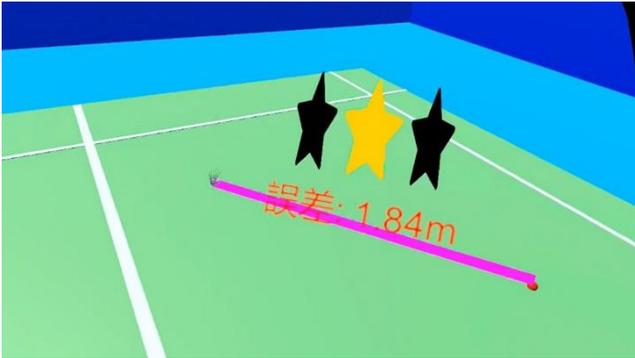


図 6 予測誤差フィードバックの様子

6. 今後の展望

本研究では、バドミントンにおけるシャトル落下点予測技術向上支援を目的として、VR 環境内で動作を可視化し、複数の動作を重量表示するシステムを開発した。映像による学習では把握が難しかった奥行き情報や、動作の差異を比較、観察できる環境を構築した。

今後の展望として、以下の 2 点が挙げられる。ひとつは、学習可能な球種および動作データの拡充である。現在は基本的なオーバーヘッドストロークのみの実装であるが、実際の試合ではフェイント動作やネット前でのショットなど、より多様な予測が求められる。また、落下点はコート内だけでなくコート外も存在する。これらの動作データを追加し、比較学習のバリエーションを増やす必要がある。ふたつめは、定量的な学習効果の検証である。本システムの有効性を客観的に評価するため、バドミントン初心者を対象とした比較実験を計画している。被験者を「提案システム群 (VR)」と「動画学習群 (2次元映像)」に分け、一定時間の学習前後における落下点予測テストの正答率および予測誤差（ユークリッド距離）の変化量を比較する。これにより、本システムが初心者の予測精度向上およびフォーム理解に与える影響を定量的に明らかにする予定である。

参考文献

- [1] 川崎仁史, 脇坂崇平, 笠原俊一, 齊藤寛人, 原口純也, 登嶋健太, 稲見昌彦. けん玉できた! VR: 5 分間程度の VR トレーニングによってけん玉の技の習得を支援するシステム. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2020 論文集, 2020, p. 26-32.
- [2] 遠藤惟織, 中島達夫. 足部反応速度トレーニングにおける VR

- 環境の妥当性評価と効果分析. インタラクション 2025 論文集, 2025, vol. 2B, no31. p. 696-699.
- [3] 黒澤優太, 兼松祥央, 三上浩司. VR を活用したバドミントン支援システムの提案. WISS2022 第 30 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ予稿集, 2022.
 - [4] 升佑二郎. バドミントン競技におけるスマッシュ, クリアおよびドロップの上肢動作様式の違い. コーチング学研究, 2017, vol. 30, no2. p. 193-204.
 - [5] 邵建雄, 張禎, 金謙樹, 藤巻裕昌, 湯海鵬. バドミンントンのストロークにおける予測に関する研究. バイオメカニズム学会誌, 2019, vol. 43, no2.
 - [6] 升佑二郎, 駒形純也, 藤野和樹. バドミントン競技におけるフォア奥からのクリア, ドロップ, スマッシュによるストレートとクロス方向への打ち分け動作の比較. コーチング学研究, 2018, vol. 31, no2. p. 219-230.
 - [7] DeepMotion Inc. “DeepMotion”, <https://www.deepmotion.com/>, (参照 2025-12-22).
 - [8] Blender Foundation, “Blender”, <https://www.blender.org/>, (参照 2025-12-22).
 - [9] Unity Technologies, “Unity”, <https://unity.com/>, (参照 2025-12-22).
 - [10] Meta, “Meta Quest 3”, <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>, (参照 2025-12-22).