

バレーボールのサーブ姿勢の分析支援のための可視化

鳥井 菜央^{1,a)} 伊藤 貴之^{1,b)}

概要: バレーボールにおいてサーブとは最初の攻撃であり、試合の流れを決める鍵である。我々はコントロールの良いサーブを打つための練習過程を可視化する研究に取り組んでいる。本研究では、選手に目標物に向かってサーブを打ってもらい、落下地点からの距離と関節の座標を取得する。続いて、取得した座標群に次元削減を適用して散布図として描画し、サーブの精度によって点を色分けすることによって、サーブ姿勢と精度の相関を可視化した。本報告ではその拡張機能として、サーブの3Dモデル可視化機能と、トスの高さ可視化機能、関節の軌跡描画機能を開発し、サーブの改善点を詳細に確認可能とした点を報告する。これらの機能を用いた実行結果から、選手のサーブの安定性や、選手によってサーブ中の姿勢が安定している瞬間が異なる点などを確認できた。

1. はじめに

バレーボールにおいてサーブは最初の攻撃であり、試合の流れを決める鍵である。よって、サーブ技術の向上がチーム勝利への近道となる。サーブを鍛えるためにはその威力やコントロールを上げる必要がある。本研究では、コントロールを向上させることで、サーブの改善を目指す。コントロールを向上させるためには、上級者と自分のフォームの違いや、自分のサーブの傾向を知る必要があるが、初心者や中級者がこれらを客観的に理解するのは困難である。

そこで我々は、サーブの練習過程を可視化する手法を提案している。本手法では、サーブ姿勢の骨格データを取得し、次元削減を適用して散布図に描画する。ここで、サーブの精度によって散布図の各点を色分けすることで、サーブ姿勢と精度の相関を可視化する。ここではサーブの精度を、目標物から落下地点までの距離と定義している。また、3Dモデルやトスの高さ、関節の軌跡を可視化することで、詳細な分析を可能とした。

サーブのフォームの分析に関する研究は数多く存在するが、サーブの良し悪しを数値化してフォームとの関係を分析する研究は少ない。本研究では、サーブのフォームと精度を同時に可視化することによって、サーブ技術向上につながる分析をすることを目的としている。

本報告では我々の開発した可視化手法の拡張機能として、サーブの3Dモデル可視化機能と、トスの高さ可視化

機能、関節の軌跡描画機能を開発し、サーブの改善点を詳細に確認可能とした点を報告する。また本報告では、女子のバレーボールの主流であるフローターサーブを題材とした実行結果を示す。

2. 関連研究

岡部ら [1] は、被験者に直前のサーブを再現するサーブを打ってもらい、直前のサーブ動作とのずれとサーブの命中率を測定することによって、サーブの動感とサーブ能力の関連性を明示した。動感とは自分がどのように動いているのかという感覚であり、これを理解している選手のほうがサーブ能力が高い傾向にあると示した。本研究では、高精度で打つことができているサーブを示し、選手がこれを再現する練習をすることで、サーブ精度の向上につなげられるようになることを目標とする。

Zhang ら [2] は、良いサーブは、良いサーブ技術、選手の身体的・精神的な資質にもとづいているとし、サーブ技術の向上には、基本的技術、動作、サーブの強さ、コントロール能力などの選手の総合的な能力を高めることが重要であると述べている。本研究では、サーブの基本的技術、動作、コントロールを向上させることによって、サーブの質の向上を目指している。

サーブの質の評価方法として、堀越ら [3] は、腰と利き手に加速度・角速度を測定するモーションセンサを装着し、レシーブしたボールが落ちた位置に応じてポイントを与えるという手法を用いている。この評価手法では、レシーバーのコンディションによって判定結果が左右されてしまうという可能性が懸念される。本手法ではサーブの評価

¹ お茶の水女子大学

^{a)} g1920528@is.ocha.ac.jp

^{b)} itot@is.ocha.ac.jp

を、ボールの落下地点から目標物までの距離とし、異なる環境下においても同等な評価を可能とした。

3. 提案手法

本章では提案手法の処理手順を説明する。提案手法は以下のステップで構成されている。

- (1) データ取得
- (2) データ処理
- (3) 次元削減
- (4) 散布図描画
- (5) 3D モデル表示
- (6) トス可視化
- (7) 関節の軌跡描画

このうち「データ処理」「次元削減」「散布図描画」は前年度の我々の発表 [5] と同一である。

3.1 データ取得

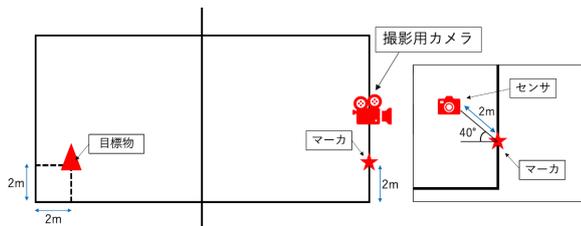


図 1 (左) 目標物とマーカーとカメラの設置位置。(右) センサの設置位置。

データ取得のためのコートの設定は以下の通りである。コートの反対側に目標物としてコーンを設置し、被験者はコーンを狙ってサーブを打つ。被験者のサーブ開始から終了までの骨格データと、ボールの落下地点から目標物までの距離を取得する。ここで、被験者には設置してあるマーカーの位置でサーブを打つように指示する。また、前年度の我々の発表 [5] に加え、実際の映像を撮影するためのカメラを設置する。設置物の位置関係を図 1 に示す。

3.1.1 骨格データの取得

骨格データの取得には Azure Kinect DK という Microsoft 社が開発したモーションセンサを利用する。Azure Kinect DK は赤外線照射に対する反射所要時間から物体との距離を得るセンサを搭載したカメラである。これにより、被験者の 32 個の関節の 3 次元座標値を取得することができる。ここで、利き手の動きがよく映るように、センサは正面でなく図 1 に示した位置に設置する。

3.2 データ処理

この章では次元削減のためのデータ処理方法について説明する。手順は以下の 3 ステップで構成されている。

- (1) サーブの抽出

- (2) 空間補正

- (3) フレーム分割

3.2.1 サーブの抽出

被験者の左手が一番カメラ側にくるフレームを開始フレーム、右手が一番カメラ側にくるフレームを終了フレームと定義し、開始フレームから終了フレームまでの骨格データを抽出する。また、次元削減の精度向上のため、Azure Kinect DK から計測可能な 32 個の関節のうち 14 個の代表関節を選択し、関節 14 個分の骨格データを抽出した。

3.2.2 空間補正

測定位置によるずれを軽減するために、骨格データに基準点を設け、この点を基準とした相対座標に変換した。被験者にはマーカーの位置でサーブを打つように指示し、ボールを打つ時の左足の座標を基準点とした。また、右手が一番高い位置にある時をボールを打つ瞬間とした。

3.2.3 フレーム分割

サーブ所要時間が異なるデータ間で同じ姿勢を比較するために、サーブ開始時点、サーブ開始から終了までの $\frac{1}{4}$ 時点、 $\frac{2}{4}$ 時点、 $\frac{3}{4}$ 時点、サーブ終了時点の計 5 時点の骨格データを抽出した。

3.3 次元削減

データ処理し終えた骨格データに次元削減を適用する。我々の実装では Python のライブラリ scikit-learn が提供する t-SNE を用いている。本研究では、サーブ開始から終了までの全データと、各時刻のデータの各々に次元削減を適用する。

3.4 散布図描画

サーブのモーションデータに次元削減を適用した結果を散布図として描画する。この際に、サーブの落下地点から目標物までの距離によってサーブを評価し、この評価ごとに点群を色分けする。評価基準と色を表 1 に示す。時刻ごとに抽出したデータを 1 枚の散布図に描画し、該当時刻以外のデータを灰色で表示した。

表 1 サーブの評価基準と色。

落下地点から目標物までの距離	評価値	色
100cm以下	A	オレンジ
100cm以上	B	青
サーブミス	C	黒

3.5 3D モデル表示

ユーザが自分のサーブ姿勢を確認できるようにするために、3D モデル表示機能を開発した。サーブの抽出と空間補正を終えた骨格データから、フレームごとの各関節の 3 次元座標を取得し、関節間を連結する線分群を 3 次元空間

に描画する。

3.6 トス可視化

被験者の右手側から撮影した動画に背景差分法を適用し、被験者とボールの動きを抽出する。背景差分画像から面積が小さすぎる物体を除去し、一番高い位置にある物体の高さをトスの高さとする。全ての入力動画から取得したトスの高さの平均を算出し、動画に赤い線で描画する。

3.7 関節の軌跡描画

被験者の右手側から撮影した動画に、動作解析のフレームワークである MediaPipe を適用し、被験者の 33 個の関節の 2 次元座標値を取得する。ユーザが選択した関節のサーブ動作開始から終了までのデータを抽出し、折れ線グラフとして描画する。サーブ 1 本ごとに色を赤から青にグラデーション変化させて、練習による関節の軌跡の変化を可視化する。

3.8 ユーザーインターフェイス

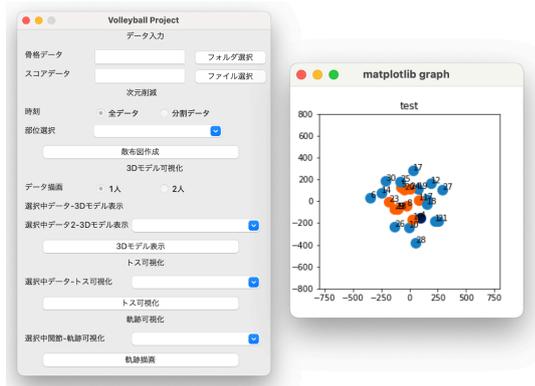


図 2 ユーザーインターフェイス。(左) メインウィンドウ。(右) 散布図可視化ウィンドウ。

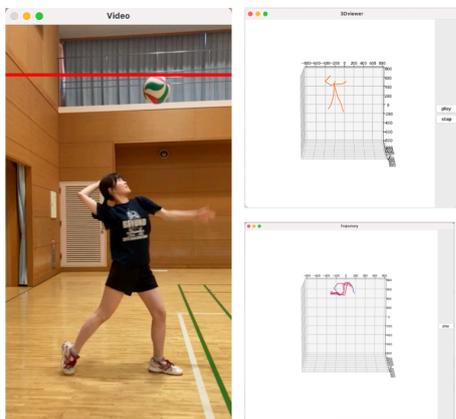


図 3 ユーザーインターフェイス。(左) トス可視化ウィンドウ。(右上) 3D モデル表示ウィンドウ。(右下) 軌跡可視化ウィンドウ。

3.4 節、3.5 節で述べたグラフ描画と 3D モデル表示を Python で実装した。まずユーザはメインウィンドウでフォルダ選択ボタンを押して、骨格データを格納してあるフォルダを選択する。続いて再度ファイル選択ボタンを押して、サーブごとの精度を記録してあるファイルを選択する。この段階で散布図選択ボタンを押すと、選択したデータに次元削減を適用した結果を散布図可視化ウィンドウに表示する。散布図の中からさらに詳細を確認したいデータがあれば、「選択中データ-3D モデル表示」の欄で選択する。この際に、重ねて描画したいデータがあれば、「選択中データ 2-3D モデル表示」の欄で追加選択することができる。データを選択し終わったら、「3D モデル表示」ボタンを押すことで、3D モデル表示ウィンドウが表示される。このウィンドウにより 3D モデルの動きを確認できる。また、トスの高さについて確認したい際は、「選択中データ-トス可視化」の「データ」の欄でデータを選択すると、トス可視化ウィンドウが表示される。このウィンドウにより、全入力データのトスの平均の高さと、選択中データのトスの高さを比較できる。同時に、実際のサーブ動画も確認できる。特定の関節について詳しく観察したい際は、関節の「選択中関節-軌跡可視化」の「関節」の欄で、注目する関節を選択すると、関節の軌跡可視化ウィンドウが表示される。このウィンドウでは、特定の関節について、練習の繰り返しでどのように動作が変化したのかを確認できる。

4. 実行結果・考察

実験は以下の被験者 4 名に協力してもらった。

- 被験者 A：バレーボール競技歴 3 年
- 被験者 B：バレーボール競技歴 3 年
- 被験者 C：バレーボール競技歴 6 年
- 被験者 D：バレーボール競技歴 6 年

本研究では被験者 A, B を中級者。被験者 C, D を上級者として扱う。

4.1 散布図可視化

図 4 はサーブ開始から終了までのデータを次元削減し、精度ごとに色分けした結果である。被験者 A, C, D は散布図中の点群のばらつきが小さいことから、安定性があると考えられる。また、被験者 C の橙色の点群に塊が見られるのに対して、同じ上級者である被験者 D は、散布図中の点全体のばらつきは小さいものの、橙色の点群の塊が見られない。このことから被験者 D は、多くのサーブを一定のフォームで打つことができているが、高精度のサーブをもたらす特定のフォームを有さないことがわかる。

図 5 はサーブ開始から終了までの各時刻のデータを次元削減し、精度ごとに色分けした結果である。中級者の被験者 A を見てみると、時刻ごとの点群のばらつきが小さく、特定のフォームが高精度をもたらすことがわかる。それに

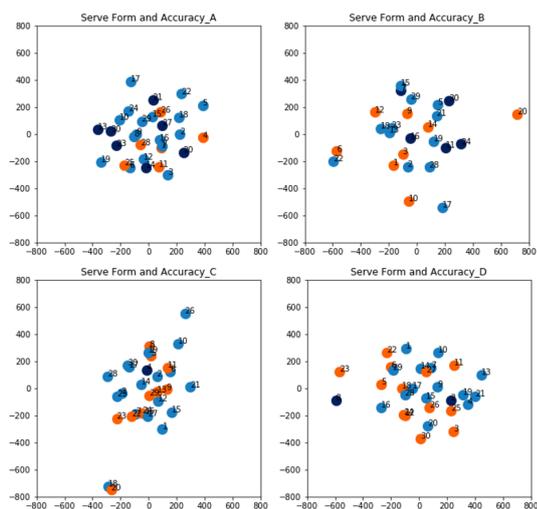


図 4 サーブフォームと精度. (左上) 被験者 A. (右上) 被験者 B. (左下) 被験者 C. (右下) 被験者 D.

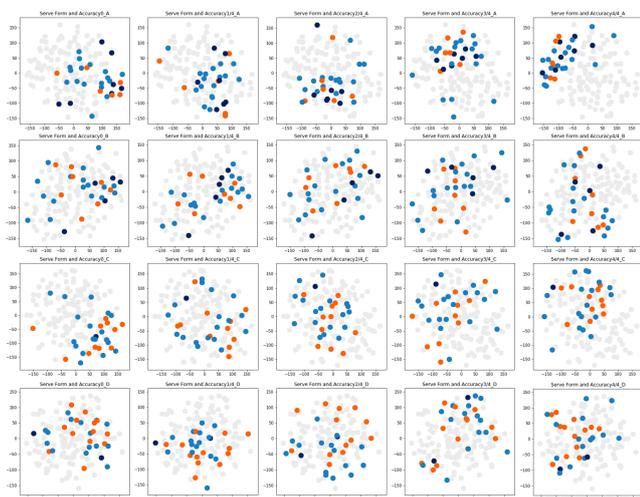


図 5 各時刻のサーブフォームと精度. 左が開始時, 右が終了時を表す. (1 段目) 被験者 A. (2 段目) 被験者 B. (3 段目) 被験者 C. (4 段目) 被験者 D.

比べて被験者 B は, 時刻ごとの点群にばらつきがあることから, 安定性がないことがわかるが, 一方でサーブミスを示す暗い青色の点群の塊が見られる. このことから, サーブミスをしやすい姿勢が存在することがわかる. 上級者の被験者 C は, 3/4 時点以外で高精度を表す橙色の点にまとまりが見られ, 高精度のサーブをもたらす特定のフォームが存在する可能性がある. 被験者 D はサーブの前半と最後に橙色の点のまとまりが見られるが, 打つ瞬間に当たると考えられる 2/4 時点では外れ値で橙色が目立つ. このことから, 低精度をもたらすフォームのパターンが存在する可能性があることがわかる. また, 被験者 D はトスに対する修正力が高く, 普段と異なるフォームでも高精度のサーブを打つことができる選手であると考えられる. このように時刻ごとの姿勢可視化を用いることで, 図 4 と同様の内容をより詳細に確認することができた.

4.2 3D モデル可視化

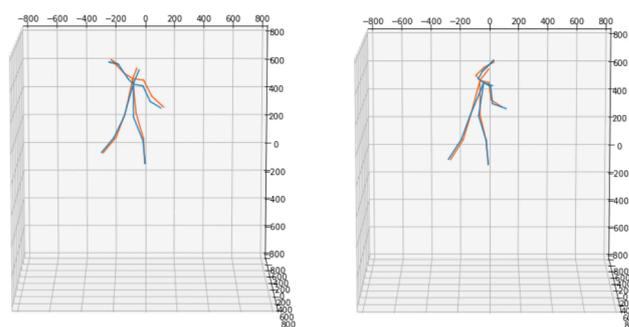


図 6 3D モデル表示によるサーブ姿勢比較. (左) ボールを打つ直前. (右) がボールを打つ直後.

被験者 C について, 精度のよかったサーブをオレンジ色, 精度の悪かったサーブを青色として, 3D モデルを重ねて表示した. 図 6 のボールを打つ直前の姿勢を比較してみると, 高精度のサーブの方が左足が地面と垂直に近く, 左足により体重が乗っていることがわかる. また, 低精度のサーブは右肩と左肩の傾きが大きく, 左肩が下がってしまっている. また, ボールを打った直後の姿勢を比較してみると, 低精度のサーブの方が高精度のサーブに比べて前のめりになっていることがわかる. よって, 被験者 C はしっかりと左足に体重を載せきれていなかったこと, 体を前傾しすぎたことが, 本実験にてサーブの精度が低かった原因と考えられる.

4.3 トスの高さ可視化

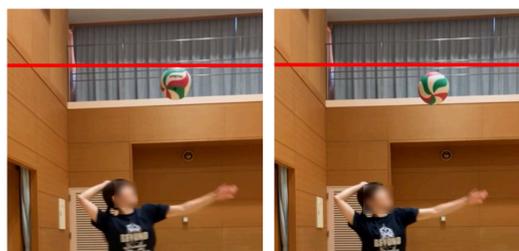


図 7 トスの高さ可視化. (左) 高精度のサーブ. (右) 低精度のサーブ.

被験者 D について, 一番精度の高かったサーブと低かったのサーブのトスの高さを比較してみると, 図 7 より, 高精度のサーブはほぼ平均と同じ高さにトスを上げられていることがわかる.

4.4 関節の軌跡可視化

被験者 D について, 右手関節の軌跡を可視化したところ, 図 8 より, ほぼ一定の動作を繰り返していることがわかる. サーブを始める際の手の位置にはばらつきが見られるが, 終了時の手の位置にはほとんど差が見られなかつ

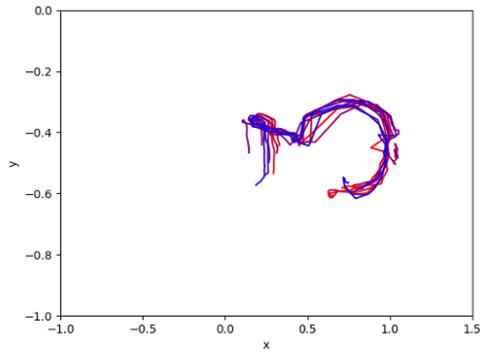


図 8 関節の軌跡可視化.

た。また、練習の積み重ねによるフォームの変化は起こらなかった。

5. まとめと今後の展望

我々はサーブのフォームと精度の相関を可視化する手法を開発している。この手法によって、選手ごとのフォームの安定度や、理想的なフォームの存在の有無、選手ごとの傾向を確認することができる。本報告では従来の可視化機能に加えて、サーブの 3D モデル可視化機能と、トスの高さ可視化機能、関節の軌跡描画機能を示した。

3D モデル可視化機能とトスの高さ可視化機能では、狙い通りに打つことができたサーブフォームと打つことができなかったサーブフォームの差を可視化することができた。これにより、散布図可視化だけでは確認することができなかった具体的な改善点の確認をすることが可能となった。

関節の軌跡可視化の機能は、フォームの安定感を可視化することができたが、色のグラデーション変化による時間経過がわかりにくかったので、今後より良い可視化方法を検討したい。また、今回は上級者のデータを扱ったため、練習中の姿勢変化が起こらなかったが、今後は初心者にも使ってもらい、時間経過による姿勢変化が起こるのかを観察したい。

また、模範となる上級者と各ユーザの姿勢を比較するために、複数人のデータでの散布図可視化を可能としたい。また、Liu ら [4] はランニングの姿勢分析のために関節の角度による比較を取り入れたが、本研究でも骨格が異なるユーザ間でも姿勢比較ができるように、関節の位置だけでなく角度による比較機能も実装したい。

謝辞 本研究の被験者を務めていただいた方々に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 岡部滉斗, 勝本真, 上地勝. バレーボールにおけるサーブの動感とサーブ能力の関連. 茨城大学教育学部紀要. 教育科学. 71. 101-107. 2022.
- [2] Zhang Tao, Xiaolong Liang. Analysis of Factors Affect-

ing Serving Effectiveness in Volleyball Matches. ISSEC 2019. 2019.

- [3] 堀越将介. モーションセンサを用いたバレーボールにおけるフローターサーブのフォーム測定. 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編. 57. 1-4. 2016.
- [4] Jingyuan Liu, Nazmus Saquib, Zhutian Chen, Rubaiat Habib Kazi, Li-Yi Wei, Hongbo Fu, Chiew-Lan Tai. PoseCoach: A Customizable Analysis and Visualization System for Video-based Running Coaching. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 1-14. 2022.
- [5] 鳥井菜央, 伊藤貴之, バレーボールのサーブ姿勢と精度の可視化 インタラクシオン 2023, 1P-67, 2023.