モバイルモーションキャプチャーを活用したフォーム学習システムの開発

小山田 恭祐　安藤 崇央

本研究では、指導者不在の環境でも正しい運動フォームを習得可能なフォーム学習支援システムをモバイルモーションキャプチャー “mocopi” を活用して開発した。本システムは、mocopi で取得した利用者の動作をリアルタイムに 3D アバターへ反映させる。さらに、お手本となるアバターと利用者の全身 13 箇所の関節角度を比較し、シンクロ率を数値およびグラフとして提示する機能を実装した。性能検証の結果、指導者不在下でのフォーム習得や自身の動作修正に対して高い有用性が確認された。

1　はじめに

近年、プロスポーツ選手やスポーツ漫画・アニメの影響で、新しくスポーツを始める人が多くいる。一方で、学校の運動部活動において指導者の不足や経験のない競技を指導せざるを得ない状況が課題となっている。参考文献 [1] によると、全国の中学・高校の部活動の顧問のうち、体育の教員ではなく、また顧問をしているスポーツの経験もないという人が全体の約 25 %もいるというデータがある。

著者らはどんなスポーツにおいても、正しいフォームを覚えること、上手い人の動きを真似することが上達への近道だと考えている。そこでお手本となる正しいフォームと、それを模倣したフォームにどれだけの差があるかプレイヤー自身で簡単に測ることができれば、指導者がいなくても正しいフォームを身に付けられるのではないかと考えた。そして、そういったシステムをモーションキャプチャー技術を用いて開発することによって、この問題を解決できると考え本研究を始めた。

本研究では、ソニー製のモバイルモーションキャプチャ “mocopi” に加え、その機能を拡張する “mocopiPro キット” を活用し、指導者がいなくても正しいスポーツフォームを身に付けられる学習支援システムを提案・開発する。本システムは、お手本となる熟練者の動作と自身の動作をリアルタイムに比較・視覚化することで、直観的にフォームを改善することを可能にする。また、開発したシステムを実際に使用してもらい、フォーム学習、改善に効果があるかアンケート調査および動画比較による検証で確認する。

2　関連研究

2.1　三次元計測に基づくスポーツ研究・応用事例：体操競技の場合

カメラ型のモーションキャプチャーを用いた運動の分析の研究では藤原らの研究 [2] が挙げられる。この研究では深度センサーのついたカメラ型モーションキャプチャー Kinect を用いて三次元情報を取得し、その情報をもとに体操の動きを分析している。

Kinect はカメラで撮影した画像をもとに三次元情報を取得するため、設置に広いスペースが必要であり屋外で気軽に使用できない、死角に入ってしまうと測定ができない、という課題点が挙げられる。

Development of a Form Learning System with Mobile Motion Capture.

Kyosuke Oyamada, 群馬大学大学院情報学研究科, Graduate School of Informatics, Gunma University.

Takahiro Ando, 群馬大学大学院情報学研究科, Faculty of Informatics, Gunma University.

2.2　サイバー空間とフィジカル空間における動作獲得の違いと運動効果の検討

mocopi を用いたサイバー空間の運動の分析の研究では今井らの研究 [3] が挙げられる。この研究では mocopi と VR 機器 (Meta Quest 2) を用いて VR 空間で卓球の練習をして現実空間との練習強度の差を計測している。

この研究では mocopiPro キットは利用されておらず、6 点センサーで計測しているため下肢の素早い動きを計測できない、VR 機器を装着しているため現実空間との動きに差異がある、という課題点が挙げられる。

2.3　本研究の意義

本研究ではモバイルモーションキャプチャー mocopi および mocopiPro キットを用いて Unity 内でリアルタイムにアバターを操作しフォーム学習を行えるシステムを開発する。本システムでは大掛かりな設備を用意せず、PC、mocopi、Web カメラのみで計測を行うことができ、センサーとカメラの両方を使用することで計測の精度を上げることができる点は藤原らの研究の課題点を解決できる。また、mocopi Pro キットを用いた 12 点センサーでの計測による精度の向上、Unity の画面を用いて現実空間と近い感覚で練習できる点は今井らの研究の問題点を解決できる。これらの点が本研究の意義であると考える。

3　システム構成

3.1　システム概要

本システムは図 1 のように、mocopiPro キット、PC、Web カメラで構成される。プレイヤーの全身に装着した mocopi から送信されるモーションデータを Unity 上でリアルタイムに取得し、3D アバターに反映させる。

3.2　アバター設定

はじめに Unity 内で mocopi から取得したモーションデータを利用できるようにするために、mocopi Receiver Plugin for Unity をインストールする。その後 Unity のシーン内にアバターを配置することで、

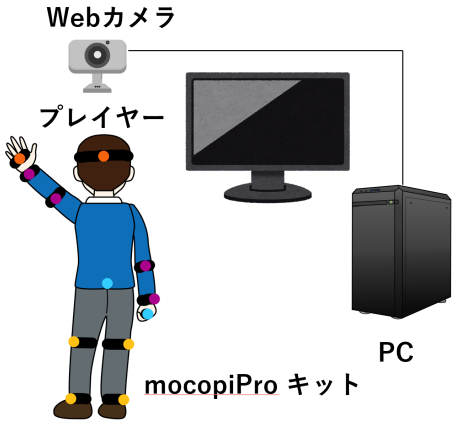

図 1　システム構成のイメージ図

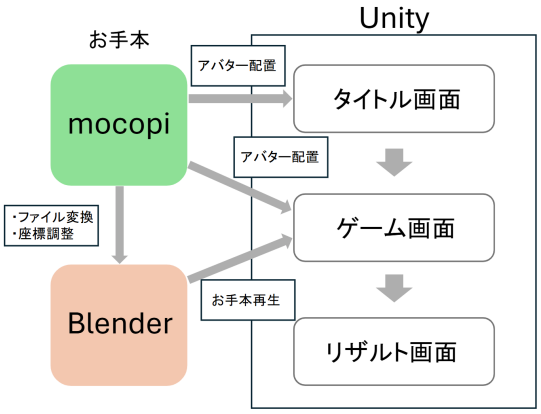

図 2　全体構成図

プレイヤーアバターの操作が可能になる。

次にお手本アバターに再生させるモーションデータの準備を行う。mocopi で記録したモーションデータファイルは BVH 形式であり、そのままの形式だと Unity 内で再生できないため、一度 Blender にインポートし FBX 形式に変換を行う。また、mocopi で記録したお手本アバターはキャリブレーションを行った座標を原点として動作するため、Unity でモーションデータを再生するとお手本アバターを配置した位置とずれてしまう。そこでお手本アバターの座標の微調整も Blender を利用して行う。Blender からインポートしたモーションデータを Unity 内の Animator Controller にアタッチし、アニメーションタイプを

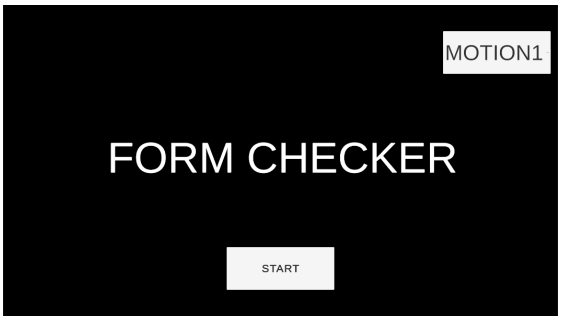

図 3　タイトル画面

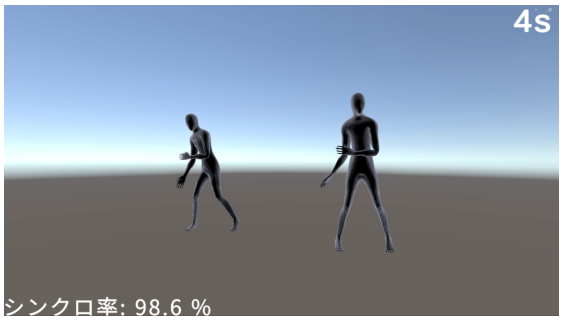

図 4　ゲーム画面

ヒューマノイドに変更することで、Unity 内でモーションデータの再生を可能にしている。

3.3　ゲームシーン

ゲームシーンは、タイトル画面、ゲーム画面、リザルト画面の 3 つのシーンで構成されている。

3.3.1　タイトル画面

タイトル画面には、ゲームタイトル、モード選択、ゲームスタートの 3 つを実装した。実際の画面を図 3 に示す。

ゲームタイトル

画面中央に設置されているのがゲームタイトルであり、お手本のモーションを真似して自分のフォームを確認するというゲーム性から “FORM CHECKER” というタイトルにした。

モード選択

画面右上に設置されているのがモード選択ボタンであり、一度押すとドロップダウンが表示される。選択肢として “MOTION 1”、“MOTION 2”、“MOTION 3” の 3 つがあり、それぞれ選択することで再生するモーションの種類を変更することができる。

ゲームスタート

画面下に設置されているのが START ボタンであり、このボタンを押すことでタイトル画面からゲーム画面に遷移することができる。

3.3.2　ゲーム画面

ゲーム画面には、お手本アバター、プレイヤーアバター、START / FINISH 表示、タイマー表示、シンクロ率表示の 5 つを実装した。実際の画面を図 4 に示す。

お手本アバター

画面左に設置されているのがお手本アバターであり、事前に記録したモーションデータを再生してお手本のモーションを実演する。

プレイヤーアバター

画面右に設置されているのがプレイヤーアバターであり、プレイヤーが mocopi を装着してリアルタイムで操作する。

START / FINISH 表示

ゲームの開始または終了時、画面の中央に START / FINISH 表示が設置される。ゲーム画面に遷移した後に “3、2、1” のカウントダウンが表示されその後 “START” と表示される。“START” の表示の後、お手本アバターのモーションが再生され、モーションが停止すると “FINISH” と表示される。

タイマー

画面右上に設置されているのがタイマーであり、お手本アバターのモーションが再生されるとスタートし、経過時間が表示される。お手本のモーションが停止するとストップする。

シンクロ率表示

画面左下に設置されているのがシンクロ率表示である。お手本アバターとプレイヤーのモーションがどれだけ一致しているかを表すシンクロ率を、小数点第一位までリアルタイムに表示する。シンクロ率の算出については 3.4 節で述べる。

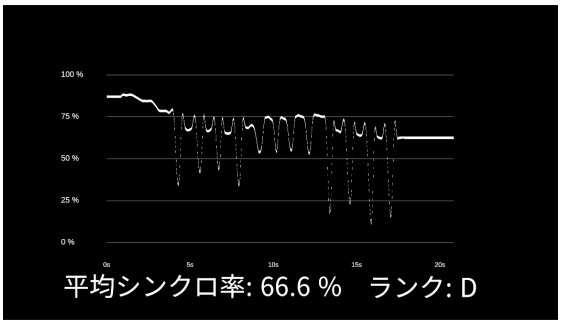

図 5　リザルト画面

3.3.3　リザルト画面

リザルト画面には、シンクロ率グラフ、平均シンクロ率表示、ランク表示の 3 つを実装した。実際の画面を図 5 に示す。

シンクロ率遷移表示

画面中央に設置されているのがシンクロ率遷移表示であり、縦軸がシンクロ率、横軸がタイマーの経過時間を表している。お手本アバターのモーションが再生されてから停止するまでのプレイヤーのシンクロ率の時間的な変化を波線で表示する。

平均シンクロ率表示

画面左下に設置されているのが平均シンクロ率表示であり、プレイヤーのシンクロ率の平均値を表示する。

ランク表示

画面右下に設置されているのがランク表示であり、平均シンクロ率をもとにスコアを E 〜 S の 6 段階で評価し、表示する。

3.4　シンクロ率算出アルゴリズム

お手本アバターとプレイヤーアバターのシンクロ率は、対応する関節の回転角の差をもとに算出する。mocopi の Bone 構造には計 27 の関節が定義されており、Unity はこの Bone 情報を Unity 内のヒューマノイドに対応させてマッピングしている。

本研究では頭、背骨、腰、右上腕、右前腕、左上腕、左前腕、右大腿、右下腿、右足、左大腿、左下腿、左足の 13 部位の回転角の差をもとにシンクロ率の計算を行っている。回転角の計算には Quaternion.Angle を用い、指先などのノイズを除去して計算負荷を抑えている。また、予備実験に基づき、小さいズレの影響を抑え、大きなズレを強調する補正係数（2.2 乗）と許容できるずれの最大値 (90°) を導入した独自の計算式 (1) を用いている。計算式 (1) はある関節 i のスコア S_i を算出する。

$$S_i = \left(1 - \left(\frac{\mathrm{Angle}(q_{t,i}, q_{p,i})}{90}\right)^{2.2}\right) \times 100 \qquad (1)$$

ただし、お手本 Bone の 1 つの関節情報を $q_{t,i}$、プレイヤー Bone の 1 つの関節情報を $q_{p,i}$、Quaternion.Angle から求められる回転角の差を $\mathrm{Angle}(q_{t,i}, q_{p,i})$、とする。

比較した関節すべての計算結果を合計し、比較した関節数で割った平均値をシンクロ率として算出している。

4　評価実験

4.1　実験方法

本システムの性能を検証するために、ゲームプレイ後の被験者へのアンケートによる定量評価、ゲームプレイ前後の被験者の動画比較による定性評価の 2 つの観点による評価を行った。お手本のモーションには著者の卓球のフォームが保存されており、フォアハンド、バックハンド、ドライブの 3 つの打ち方が保存されている。

評価の手順は、はじめにお手本アバターに保存されているモーションがどのようなモーションか説明し、ゲームをプレイする前に一度素振りをしてもらいその動画を撮る。その後 1 回約 1 分のゲームを 5 回ほどプレイしてもらい、評価が上がるようにリザルト画面の結果を確認しながら挑戦してもらう。最後にもう一度素振りをしてもらい動画を撮る。その後にアンケートを行った。

アンケートは Google フォームを用いて実施した。“フォーム学習、改善効果”、“通信速度”、“操作難易度” の 3 つの観点を 1〜5 の 5 段階（1 が悪く 5 が良い）と自由記述で回答を求めた。動画比較実験では、被験者のゲームプレイ前後の卓球の素振りを撮影し

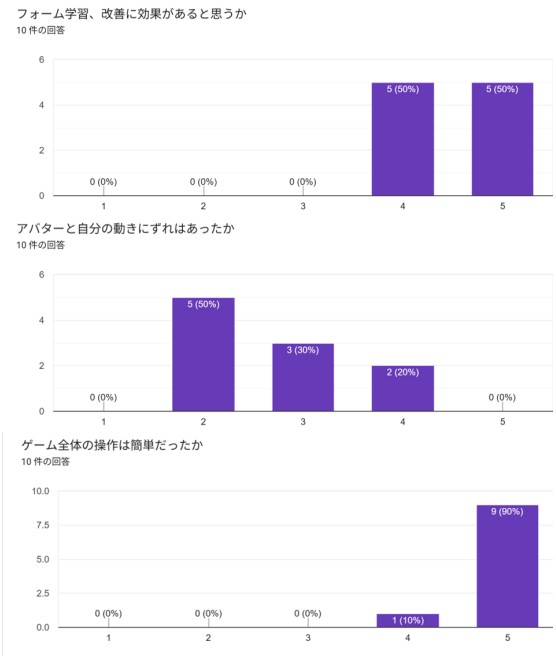

図 6　アンケート結果

変化を観測した。

実験は 10 名の被験者に対して行った。被験者の属性は、右利き 7 名（内卓球経験者 1 名）、左利き 3 名（内卓球経験者 1 名）となっている。

4.2　実験結果

アンケート調査では図 6 の通り、“フォーム学習、改善効果” の項目では平均 4.5、“通信速度” の項目では平均 2.7、“難易度” の項目では平均 4.9 の回答が得られた。動画比較実験では、多くの被験者にフォーム学習、改善の効果が見られた。

5　結果と考察

アンケート調査の結果、“フォーム学習、改善効果” および “操作難易度” の項目では高い評価が得られ、指導者がいなくても直観的に使用できるフォーム学習支援システムであることが示された。一方で、“通信速度” の項目は評価が低くリアルタイム性の向上が今後の改善点として挙げられる。

動画比較の結果、右利き・左利きを問わず、テイクバックの深さや膝の曲げ方、腰の落とし方といった基本的なフォームにおいて顕著な改善が見られ、特に未経験者において高い効果が確認された。一方で、経験者には効果が限定的であった。これはすでに自分自身のフォームが確立されており、5 分程度という短時間の実験では影響を受けにくいためだと考えられる。また、他のラケットを扱う競技経験者はラケットを扱わない競技経験者より効果が薄かった。左利きの被験者については、高い効果が見受けられた。右利き用に作られたお手本のモーションだったためシンクロ率自体は低くなってしまっていたが、上昇率という面では右利きと同様の結果が得られた。

図 7　被験者ゲームプレイ前後のフォーム (左: 前、右: 後)

6　まとめ

本研究では、モバイルモーションキャプチャ “mocopi” を用いて指導者がいなくても正しいフォームを身に付けられるシステムを開発した。本システムは mocopi、Unity、Blener を利用して開発した。プレイヤーが mocopi を使ってゲーム内のプレイヤーアバターを操作し、お手本アバターのモーションを模倣する。そしてアバター同士のモーションのシンクロ率を計算しグラフ化するという機能を実装した。

本システムの性能の検証を行うため、被験者へのアンケート調査と動画比較の 2 つの観点から評価を行った。アンケート調査の結果から、“フォーム学習、改善効果” および “操作難易度” の項目で高い評価を

獲得し、動画比較の結果から、卓球の素振りにおいて重要度が高い、テイクバックやひざの位置などの箇所で改善が見られたことから、指導者がいなくても正しいフォームを身に付けられるという点において非常に高い効果があることを確認した。

今後の展望は、時間の都合で実装を見送ったフィードバック機能やリプレイ機能の実装や、課題点として見つかった通信速度の改善に取り組んでいきたいと考える。

参 考 文 献

[1] 公益財団法人日本スポーツ協会指導者育成委員会. 学校運動部活動指導者の実態に関する調査報告. https://www.japan-sports.or.jp/Portals/0/data/katsudousuishin/doc/R3_houkokusho.pdf, 2021.

[2] 藤原敏行. 三次元計測に基づくスポーツ研究・応用事例：体操競技の場合. In *Review of Sports Research Based on Three-Dimensional Measurement : Artistic Gymnastics*, pp. 715–720, June 2020.

[3] 今井智子, 松河剛司, 小栗真弥, 功刀峻. サイバー空間とフィジカル空間における動作獲得の違いと運動効果の検討. 総合技術研究所研究報告, pp. 74–78, November 2024.