

弓道の効率的な練習に向けたVR射形練習システムの開発と評価

加瀬 颯悟^{1,a)} 中島 達夫^{1,b)}

概要：本研究では、弓道未経験者を対象とした弓道の Virtual Reality (VR) 射形練習システムを開発した。具体的には、VR 空間上で、手本となるアバターの動きを練習者の任意の方向から観察することや、手本のアバターの動きに練習者の動きが反映されたアバターを重ね合わせるようにして練習することができるようなシステムを開発した。本システム開発後、ノートパソコンのスクリーン上で熟練者の動画を視聴する従来の練習方法と、本システムを用いる練習方法との比較実験を行った。その結果、本システムを用いる練習方法の方が、従来の練習方法に比べて、より効率的な弓道の射形練習につながることが示された。

1. 序論

弓道を始める際、最初から矢をつがえて弓を引くことはできない。実際に矢をつがえて弓を引くことができるようになるには、数か月以上の射形練習が必要になる。射形練習の最初は、手に何も持たない徒手の状態で行う。この練習をする際に、師範や先輩などの熟練者から指導を受けることが望ましい。しかし、昨今の新型コロナウイルスの感染拡大のようなパンデミックが起きた場合、なかなかそのような熟練者から直接指導を受けることができなくなる。そして、元々長い射形練習の期間がさらに長くなってしまふ。

そこで本研究では、弓道未経験者が一人でも効率的に練習できることを目標とした、弓道の Virtual Reality (VR) 射形練習システムを提案する。弓道において、弓を引く動作を以下の8つの節に分けることができ、それらをまとめて「射法八節」と言う [1]。

- (1) 足踏み (あしづみ)
- (2) 胴作り (どうづくり)
- (3) 弓構え (ゆがまえ)
- (4) 打起し (うちおこし)
- (5) 引分け (ひきわけ)
- (6) 会 (かい)
- (7) 離れ (はなれ)
- (8) 残心 (残身・ざんしん)

提案するシステムでは、これらの節のうち (4) 打起しから (8) 残心までを練習対象としている。初心者が一人で練習する際、Youtube などでも熟練者の動画を視聴しながら練習することが従来の練習方法の1つである。このような従来の練習方法ではできないようなことを、本システムに実装した。具体的には、弓道熟練者の動きを練習者の任意の方向から観察することができること。さらには、熟練者の動きに練習者の上半身のリアルタイムな動きを重ね合わせるようにして練習することができることである。これら2つの要件に合わせて、本システムは、練習者から見えるVR空間が2つのエリアに分かれている。前者の要件に合わせたエリアでは、熟練者の動作をするアバターの周りを、練習者が動き回ることができるようになっている。後者の要件に合わせたエリアでは、仮想の鏡を用意することで、熟練者の動作に練習者自身の動作を重ねるようにして練習することができるようになっている。本研究の目的は、従来の練習方法と本システムを用いた練習方法とを比較し、本システムを用いた練習方法の方が、弓道のスキルの効率的な向上に貢献するかどうかを明らかにすることである。

2. 関連研究

VR空間上で弓道の練習者の上達を支援するようなシステムは、いくつかの研究によって提案されている。西本らは、Head Mounted Display (HMD) を用いることで、顔の向きと姿勢を崩すことなく弓道を学習できるシステムを提案した [2]。彼らは、開発されたシステムを用いることで、より射法八節の正しい動きに近づくことができるかを評価するための実験を実施した。被験者は弓道未経験者4名であった。実験の結果、そのシステムを利用することで、

¹ 早稲田大学

^{a)} sougo_kase@dcl.cs.waseda.ac.jp

^{b)} tatsuo@dcl.cs.waseda.ac.jp

より射法八節の正しい姿勢に近づくことができると分かった。山本らは、VR デバイスを用いて、練習者が自身の動きや姿勢を確認しながら、弓道の一連の動作を学習できるようなシステムを提案した [3]。中村らは、矢が的に当たる楽しさを練習者に経験させることで、弓道初心者の射形練習のモチベーションの維持向上を狙ったシステムを提案した [4]。しかし、山本らと中村らの提案システムの評価については、論文中に記されていない。

また、VR 空間ではなく、Augmented Reality (AR) デバイスを用いて弓道の練習者の上達を支援するようなシステムの研究もある。Soga らは、練習者が熟練者の視点から、熟練者の動作を HMD 上で確認し、トレースすることができるシステムを提案した [5]。評価実験の結果、明確な学習効果は確認できなかったが、アンケート調査によって動作の習得に有効であることが示されていた。

さらに、弓道以外のスポーツでも、VR 空間上で効率的なスポーツスキルの上達を目指したシステムが、様々な研究で提案されている。平本らは、テニスサーブの動作を、VR 空間上で練習者自身の動作とプロ選手の動作を比較しながら練習できるシステムを提案した [6]。評価実験の結果、このシステムを用いた練習は、既存のスクリーン上で動画を視聴する練習方法に比べて、学習が楽しくなり創造的なテニスサーブの練習に貢献することが分かった。しかし、定量評価による分析の結果では、2 群間に有意差は見られなかった。

本研究では、今までにない、VR 空間上で弓道の熟練者の動作を自由な方向から観察することができ、かつ、熟練者の動作をするアバターに練習者自身のアバターを重ねることで実践練習もすることができるシステムを提案する。提案システムを利用する練習方法と、従来の練習方法であるスクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法とを比較することで、提案システムの評価をした。

3. 提案システムの設計と実装

本研究で提案するシステムの開発には、ゲームエンジンの Unity (バージョンは 2022.3.13f1) とプログラミング言語の C# を用いた。このシステムは、HMD として Meta Quest 2 を使用し、コントローラーとして Meta Quest 2 に付属しているコントローラーを使用した。

練習者は、Meta Quest 2 とコントローラーを使用することで提案システムを利用することができる。このシステムは、練習者から見える VR 空間が以下の 2 つのエリアに分かれている。

- (1) 手本のアバターの動きを、任意の方向から観察することができるエリア
- (2) 手本のアバターの動きに、練習者の上半身の動きが反映されたアバターを重ね合わせるようにして練習する

ことができるエリア

まず、両方のエリアで実装されている機能について説明する。手本のアバターの動きは、Plask.ai[7] を利用して、弓道熟練者の射形の動画からモーションデータを抽出、出力された fbx ファイルを Unity に取り込むことで実装している。さらに、手本のアバターの動きは、コントローラーのボタンを用いることで、動きの再生・終了、一時停止・再開を自在に練習者が操作することができる。また、2 つのエリア間の移動も、コントローラーのボタン用いることで、自由に移動可能となっている。

次に、1 つ目のエリアで実装されている機能について説明する。手本のアバターの動きを任意の方向から観察できるようにするために、VR 空間内の練習者の位置や視点を、コントローラーのスティックを用いて移動できるように実装している。図 1 に 1 つ目のエリアの様子を示している。青色の透けているアバターが熟練者の動作をするアバターである。図 1 中の左側にある英文字は、コントローラーのどのボタンがどの操作に対応しているかを示している。

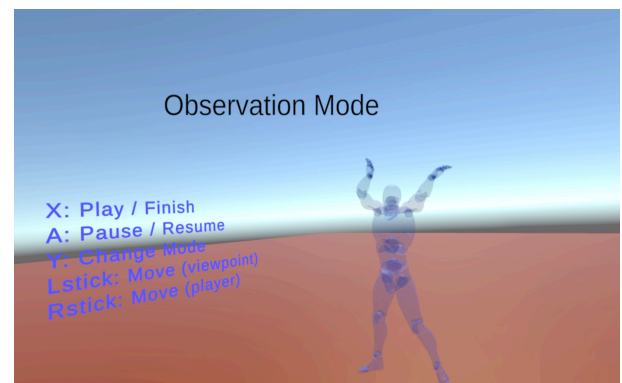


図 1 1 つ目のエリア

最後に、2 つ目のエリアで実装されている機能について説明する。練習者の動きが反映されたアバターは、練習者にモーションセンサ (SONY 製の mocopi[8] を使用) を装着してもらうことで実装している。mocopi は、練習者のモーションをキャプチャし、そのモーションデータをリアルタイムで Unity に送信することができる。また、mocopi のモーションセンサは 6 つあり、それぞれを頭、肘寄りの両上腕、両手首、腰に装着する。通常、両足首につけるはずのモーションセンサを、肘寄りの両上腕に装着している。このようにした理由は、mocopi の上半身集中モードを利用することで、モーションキャプチャの精度を上げるためである。練習者の下半身の動きをキャプチャすることはできないが、今回練習対象としている射法八節の範囲では足を動かすことがないので、それが練習に支障をきたすことはない。

さらに、練習者が立つ向きを指示するための緑色の球体



図 2 mocopi

と、鏡が実装されている。練習者は、正面に緑色の球体が見える方向を向いて立つ。そして、顔だけ 90° 程度左を向くようにして練習する。ちょうど顔を 90° 程度左に向けたときに見える空間に、手本のアバターと練習者自身のアバターが映った鏡が設置されている。鏡は 2 つあり、2 つのアバターを正面から見た鏡と、それらを上から見た鏡が実装されている。図 3 と図 4 に 2 つ目のエリアの様子（緑色の球体と鏡）を示している。図 4 において、青色の透けているアバターが熟練者の動作をするアバターであり、赤色のアバターが練習者自身の動作が反映されたアバターである。

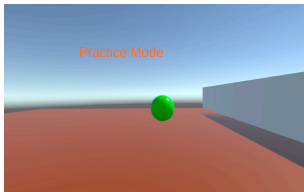


図 3 2 つ目のエリアの緑色の球体



図 4 2 つ目のエリアの鏡

4. 評価実験

本システムを評価するために、本システムを用いる練習方法と、ノートパソコンのスクリーン上で熟練者の動画を視聴する従来の練習方法とを比較する実験を行った。

4.1 実験条件

本実験の被験者は、大学生 15 名であり、男性が 10 名、女性が 5 名であった。被験者は全員、弓道未経験者であり、2 つの練習方法を両方とも体験した。また被験者は、1 回目の練習方法で体験した記憶をリセットするために、2 回目の練習方法は 1 回目の体験から 1 週間以上の間隔を空けてから体験した。それぞれの被験者がどちらの練習方法を先に体験するかは、順序効果を減らすためにランダムに決めた。

4.2 実験手順

本実験の手順を以下に箇条書きで示す。

- (1) 弓道の射形練習についての説明
- (2) 被験者に mocopi を装着
- (3) 動きのテスト
- (4) 10 分間の練習（動画視聴もしくは本システム）
- (5) 動きのテスト
- (6) アンケート
- (7) 1 週間以上空けてからもう一方の練習方法で (1) から (6) を同様に実施
- (8) 実験終了

被験者は実験の始めに、「射法八節」の正しい動きや練習対象の動きなどについて、実際の射形動画 [9] を用いた説明を受けた。また、練習前後の動きのテストでは、被験者は、練習対象としている部分の動きを実演した。さらに、10 分間の練習では、本システムを用いる練習方法もしくは、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法で練習した。本システムを用いる練習方法で練習する際には、被験者は、練習直前に操作方法など練習に必要な情報の説明を受けた。本システムを用いる練習方法は、自由に本システムを利用するだけであり、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法は、弓道の熟練者の射形動画 [10] (1 つの動画のみ) を繰り返し視聴することである。

4.3 評価方法

本実験では、2 つの定量評価を行った。提案システムに組み込んだ射形採点機能による評価と、弓道の有段者による評価である。2 つの定量評価はどちらも、セクション 4.2 で紹介した練習前後の動きのテストで得られた被験者の動きと、手本の動きとを比較し、0 点から 100 点の間で評価された。

提案システムの射形採点機能について具体的に説明する。被験者は、10 分間の練習の時以外で VR デバイスを装着しない。さらに、被験者に、提案システムに射形採点機能が組み込まれていることを教示しておらず、被験者が練習中に誤ってその機能を使用してしまうことがないようにした。そのようにした理由は、どちらの練習方法においても練習前後の動きのテストで、その射形採点機能を使用しているからである。被験者の動きのテストの際、私が提案システムを使用し、特定の 4 か所のタイミングでの VR 空間上の被験者の座標と手本の座標を比較して採点している。特定の 4 か所において、私がコントローラーのボタンを押すことで採点できる。特定の 4 か所とは、練習対象としている「射法八節」の打起しが終了したタイミングと、引分けの途中の大三と呼ばれるタイミング、会をしているタイミング、離れをして残心のタイミングの 4 つである。

また、座標の比較は、被験者と手本の両アバターの腰、左上腕、左下腕、左手首、右上腕、右下腕、右手首の7か所それぞれにおける差として、ユークリッド距離を計算することで行われる。100点からの減点方式で採点され、それら7か所における被験者の座標と手本の座標との差（ユークリッド距離）が大きいほど点数が低くなる。これらの練習前後における動きのテストの点数の上昇幅が、本システムを用いる練習方法と、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法との間で有意な差があるかを調査するために、ウィルコクソンの符号順位検定を実施した。

次に、弓道の有段者による評価について具体的に説明する。前述した射形採点機能が採点の対象としている特定の4か所と同じタイミングで、弓道の有段者が採点した。1か所それぞれ25点満点（4か所で合計100点満点）で評価した。この評価を実施するために、全ての動きのテストにおける被験者の射形を、被験者に許可を取ってビデオ録画した。そして、練習前後における動きのテストの点数の上昇幅が、本システムを用いる練習方法と、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法との間で有意な差があるかを調査するために、対応のあるt検定を実施した。

4.4 2つの定量評価による実験結果

2つの定量評価の結果について説明する。

まず、本システムを用いる練習方法と、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法における、提案システムに組み込まれた射形採点機能によって採点された時の点数の上昇幅の平均値と中央値、不偏標準偏差の結果を表1に示す。点数の上昇幅は、練習後の点数から練習前の点数を引くことで求められている。さらに、それぞれの練習方法における点数の上昇幅の比較には、正規性が確認されなかったため、ウィルコクソンの符号順位検定を用いた。両群ともサンプル数は15である。その結果、本システムを用いる練習方法と、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法との間で、点数の上昇幅に有意な差が認められた。（ $p = 0.04126 < 0.05$, 95%信頼区間：0.5281 から 9.014）

表 1 射形採点機能による採点において2つそれぞれの練習方法の点数の上昇幅

練習方法	上昇幅の 平均値	上昇幅の 中央値	上昇幅の 不偏標準偏差
本システム使用	6.09	4.80	8.05
動画視聴	1.98	-0.143	6.71

次に、本システムを用いる練習方法と、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法における、弓道の有段者によって採点された時の点数の上昇幅の平均値と中央値、不偏標準偏差の結果を表2に示す。さらに、それぞれの練習方法における点数の上昇幅の比較には、正規性

が確認されたため、対応のあるt検定を用いた。両群ともサンプル数は13である。その結果、本システムを用いる練習方法と、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法との間で、点数の上昇幅に有意な差が認められた。（ $p = 0.02644 < 0.05$, 95%信頼区間：0.9920 から 13.32）この検定において、被験者数が15であるのにサンプル数が13と2少ない理由は、2人分録画ミスで録画できていなかったからである。

表 2 弓道の有段者による採点において2つそれぞれの練習方法の点数の上昇幅

練習方法	上昇幅の 平均値	上昇幅の 中央値	上昇幅の 不偏標準偏差
本システム使用	9.38	9.00	8.87
動画視聴	2.23	1.00	5.57

2つの定量評価においてどちらも、本システムを用いる練習方法と、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法との間に有意な差があることが示された。この結果から、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法より本システムを用いる練習方法の方が、弓道未経験者が効率的に上達できると考えられる。

5. 結論と今後の課題

本論文では、大きく分けて以下の3つのことを報告している。

- (1) 弓道未経験の初心者を対象とした弓道のVR射形練習システムの提案
- (2) 提案システムを用いる練習方法と、従来のスクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法とを比較する実験の実施
- (3) 2つの定量評価による実験結果

2つの定量評価による実験結果はどちらも、スクリーン上で熟練者の動画を視聴する練習方法より提案システムを用いる練習方法の方が、弓道未経験者が効率的に上達するということを示す結果となった。

今後はアンケートによる定性評価の分析や、2つの定量評価のさらなる分析を進めていく予定である。そしてそれらの分析結果を基に、提案システムを改善していきたい。

参考文献

- [1] 公益財団法人全日本弓道連盟, 弓道の心, <https://www.kyudo.jp/howto/>, (参照 2024-12-15).
- [2] 西本林太郎, 岡本勝, 松原行宏, 岩根典之: HMDを用いたVR型弓道学習支援システム, 教育システム情報学会2017年度学生研究発表会, p.201-202 (2017).
- [3] 山本侑人, 山岸芳夫: VRを用いた弓道学習支援システム, 教育システム情報学会第48回全国大会, p.131-132

(2023).

- [4] 中村昌詠, 牛田啓太: 弓道初心者の徒手・ゴム弓を用いた射形練習の実射シミュレーション VR システム, 第 28 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2C1-09 (2023).
- [5] Soga, M., Nishino, T., Taki, H.: Proposal and Development of Motion Navigator Enabling Learners to Observe Expert's Motion from Expert's Viewpoint by Augmented Reality. In: König, A., Dengel, A., Hinkelmann, K., Kise, K., Howlett, R.J., Jain, L.C. (eds) Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems. KES 2011. Lecture Notes in Computer Science(), vol 6883. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23854-3_5 (2011).
- [6] Hiramoto, Y., Al-Sada, M., Nakajima, T.: Design and Implementation of a Virtual Reality Tennis Serve Practice System for Creative Tennis Serve Practice. In: Chen, J.Y.C., Fragomeni, G. (eds) Virtual, Augmented and Mixed Reality. HCII 2024. Lecture Notes in Computer Science, vol 14708. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61047-9_5 (2024).
- [7] Plask Motion, Plask Motion: AI-powered Mocap Animation Tool, <https://plask.ai/>, (参照 2024-12-15).
- [8] SONY, mocopi, <https://www.sony.net/Products/mocopi-dev/jp/>, (参照 2024-12-15).
- [9] 弓道チャンネル, 高校弓道 射法八節, <https://www.youtube.com/watch?v=At0aVN6kXK4>, (参照 2024-12-15).
- [10] ティアンドエイチ SportsDVD, 【弓道】静寂の中から放たれた一射と驚【切り抜き】, https://www.youtube.com/watch?v=mNG_kK-u7o, (参照 2024-12-15).