

XR 環境における身体動作に適応したインタフェースフレームワークの構築

浦西 友樹 (D3 センター)

白井 詩沙香 (D3 センター)

小林 聖人 (D3 センター)

清川 清 (奈良先端科学技術大学院大学)

1 研究の背景

本研究では、これまでに実施した「身体動作に内在する不可視情報の計測と伝達」の発展的な課題として、バーチャル空間における身体動作の伝達に適応したユーザインタフェース (UI) フレームワークの開発を行う。Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) および Mixed Reality (MR) (以降、総称して XR と呼称) 環境においては、旧来のコンピュータ向けの UI をそのまま用いることは実用的でなく、様々な応用先に適応した UI を適宜構築する必要があるが、現状においてはそれぞれの事例に合わせて都度最適な UI を試行錯誤的に構築しており、他の事例で得られた「知」を転移して活用できていない問題がある。

2 研究の目的

本研究においては、ある事例で得られた身体動作や不可視情報を集積して得られる「知」を他の事例の UI 構築に活かすためのフレームワーク構築を目指すべく、身体情報の計測および提示手法や、XR 環境の UI に関する研究を行う。我々はこれまでに、クライミングでの登攀時における前腕への力の込め方を登攀者の前腕に装着した筋電センサにより計測し、必要以上に前腕に力を込めた際、プロジェクタによる視覚的な教示や、振動モータによる触覚的な教示を行うことによる登攀技能の向上手法について、30 名を実験協力者とする実験で有効性を検討してきた (2022 年度)。また、サッカーにおけるキックフォームの学習を支援するため、タブレットによる 3D での熟練者フォームの提示と、空間に直接プロジェクタでキック位置を投影する 2D での提示を組み合わせたシステムを提案し、その有用性を被験者実験により検証した (2023 年度)。本研究においては引き続き、これまでに個々の事例に着目してきた結果をもとに、スポーツにおける四肢の動きなどの身体動作や、力の入れ方などの不可視情報を、自然言語による情報伝達に限らず、空間への表現により学習者に伝達するための提示手法を確立することを目指す。

3 研究の方法

本研究プロジェクトにおいては特に、拡張現実 (Augmented Reality; AR) 技術を用いた身体動作の計測と即時提示に関する研究と、バーチャルリアリティ (Virtual Reality; VR) 空間への没入感を向上するための VR 環境への連続的遷移に関する研究の二つに取り組んだ。それぞれの研究について以下に述べる。

3.1 アーチェリー行射における身体傾斜情報の即時提示

スポーツにおいて高いパフォーマンスを達成するためには、身体の微細な動きや姿勢の制御が重要である。その中でもアー

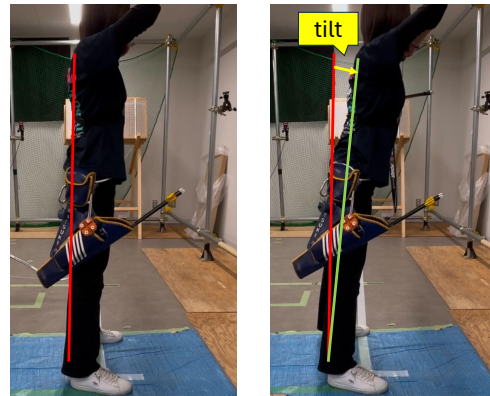


図 1: 理想形

図 2: 実際の行射

チェリーは、集中力と身体の制御が高度に求められる競技であり、アーチャは常に安定したフォームを維持しながら正確に矢を放つことが求められる。フォームを一定にするためには、身体の前傾や重心など様々な要素を一定にさせる必要がある。しかしそれらは行射中にアーチャ自身で把握することが難しく、図 1 に示すような理想の形と比べて身体傾斜が発生している (図 2) ことに気が付かないことも多いため、改善することはさらに難しい。そのため、多くのアーチャは気になる部分が確認できるように動画を撮影して行射後に確認したり、指導者に指導を仰ぐことで改善を図る。しかし、動画ではエイミング中に確認しながら調整することができないことや、服や動画の角度によって認識しづらいことがある。また他人から言葉で伝えられると、身体傾斜や重心の移動など、どの程度変えると理想的な姿勢になるのか、などの度合いがうまく伝わらないという課題が残る。そこで本研究では身体の前傾という要素に着目して、アーチャがエイミング中に的確に狙いながら身体傾斜を視覚的に確認できるシステムを開発し、その効果とユーザビリティを実験により調査した。

身体傾斜の計測には光学式モーションキャプチャシステムを用いた。また、図 3 に示すような傾き量を表すバーを的の近くに投影することで、アーチャに支援情報を提示した。

3.2 RV Continuum に沿ったバーチャル環境への没入感向上のための連続的遷移

現状の VR 体験では、現実環境からバーチャル環境への遷移プロセスにおいて、ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) を装着すると即時にバーチャル環境へ没入する設計が一般的であり、この急な切り替えがユーザーの没入感や存在感を低下させる要因となっている。そこで

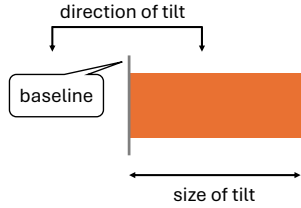


図 3: 身体傾斜を表すバー

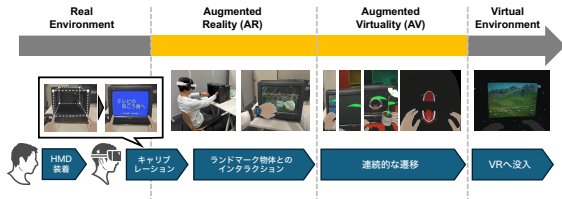


図 4: バーチャル環境への没入感向上のための連続的遷移

本研究では、現実環境とバーチャル環境を一つの連続的なスペクトルとして捉えるフレームワークである Reality-Virtuality (RV) Continuum に沿って、現実環境からバーチャル環境への連続的な遷移を実現する手法を提案する。本手法では、現実環境とバーチャル環境のいずれにおいても共通して認識できるランドマーク物体を導入するとともに、AR 段階と Augmented Virtuality (AV) 段階を経由して、ユーザーが連続的にバーチャル環境へ没入できるよう設計している。AR 段階ではランドマーク物体とユーザーが触れ合う操作を行い、バーチャル物体への親近感を高める。AV 段階では、現実環境の映像を徐々にバーチャルに置き換える連続的な映像変化を行い、違和感を軽減することを目指した。図 4 に提案手法の概要を示す。

4 研究成果

前節で説明したそれぞれの研究について、研究成果を述べる。

4.1 アーチェリー行射における身体傾斜情報の即時提示

提案手法の評価のため、実験を行った。実験対象は、18 歳以上かつアーチェリー部に現役で所属している中級者とした。実験協力者として採用したのは 18 ～ 22 歳の男女 9 名（男性 6 名、女性 3 名）の現役アーチェリー選手であり、競技経験年数は 1 ～ 9 年であった。

弓具の組み立てや防具の装着が完了してから、実験の流れや注意事項についての説明を行い、反射マーカを付けたサポータを装着させた。初めに弓具を持たない状態で行射時の構えをとらせ、基準とする身体傾斜を計測した。その後、ウォームアップとして 5 分間自由に行射させ、提示なし 1、提示あり、提示なし 2 と順番に行射を行い、各行射での身体傾斜を計測した。行射はそれぞれ 6 射を 3 分程度で射たせ、矢取りとあわせて 5 分程度を 2 セット行った。行射の本数は大会に倣って 6 射ずつとしており、提示がある場合のデータを計測する前には、提示を確認しながら行射を行う練習を 6 射分行わせた。またより普段の練習に近い環境で行射を行うため、行射には実験協力者自身の弓具を使用した。

表 1 にそれぞれの行射における理想的な姿勢からの傾きの統計量を示す。支援情報の提示によって傾きが減少するとともに、その後の行射（提示なし 2）においても提示なし 1 と比較して傾きが減少していることが示された。

4.2 RV Continuum に沿ったバーチャル環境への没入感向上のための連続的遷移

本研究では、AR 段階の長さ、連続的または急な遷移、およびインタラクションの有無の 3 つの要因がユーザーの没入感やエンゲージメントに与える影響を検証した。特に、現実からバーチャルへの遷移過程における連続的遷移の効果を明らかにするため、主観的評価指標（IPQ, UES-SF, NASA-TLX）と客観的評価指標（心拍の LF/(LF+HF) 比）を用いて評価を行った。本学の全学生のうち、後述の「テレビの向こう側へ」を体験したことがない実験参加者を募り、18 歳から 30 歳の男女 75 名（男性 41 名、女性 34 名）を採用した。

評価実験では、AR 段階の長さや遷移方法、インタラクションの有無を組み合わせた 5 つの条件下で比較を実施した。その結果、連続的遷移は急な遷移と比較して没入感を向上させる効果があることが示唆された。また、短い AR 段階は集中度や緊張感を高める一方、長い AR 段階はストーリーへの理解を深めるとともに、安定した体験を提供する補完的な効果が確認された。さらに、インタラクションの有無については、主体的な関与やエンゲージメントの向上に寄与する一方で、視覚的な没入感への影響は限定的であることが示された。また、本研究の知見を活用したインタラクティブコンテンツ「テレビの向こう側へ」を作成し、国内外の展示会において多数の展示を行った。

発表論文等

【学会発表および展示】

- [1] 木下夏綺, 白井詩沙香, 小林聖人, 千葉直也, 浦西友樹, “アーチェリー行射における身体傾斜情報の即時提示システムの提案”, 情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 2025.
- [2] “Beyond the TV”, Laval Virtual 2024, 2024.

【その他】

- [1] 古和田徹, XR CREATIVE AWARD 2024, 学生部門 優秀賞, 2024.

表 1: 身体傾斜の分布の統計量 [deg]

	提示なし 1	提示あり	提示なし 2
平均値	0.8059	0.3428	0.5438
中央値	0.7860	0.3047	0.5872
SD	0.3063	0.1210	0.2602