

Title	VR を活用したスポーツ技術支援システム:動画解析によるフィードバック
Author(s)	廣野, 一也
Citation	
Issue Date	2026-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="https://hdl.handle.net/10119/20502">https://hdl.handle.net/10119/20502</a>
Rights	
Description	Supervisor:金井 秀明, 先端科学技術研究科, 修士(知識科学)

## VR を活用したスポーツ技術支援システム：動画解析によるフィードバック

2410152 廣野 一也

近年、YouTube 等の動画共有サービスの普及に伴い、映像を用いたスポーツやダンスの学習が一般的になっている。しかし、従来の 2 次元動画の視聴のみによる学習では、お手本の死角となる部位の確認や、詳細な関節角度の把握が困難である。また、学習者が具体的なフィードバックを得ることができない点が練習を妨げる原因となっている。そこで本研究では、単眼カメラの映像を入力として用い、時間・空間アライメントを行い、VR 空間でフィードバックを可能にするシステムを提案する。

本提案システムは、一般的なスマートフォン等で撮影された単眼カメラ映像を入力とし、以下の 3 段階の処理を経て VR 空間でのフィードバックを作成する。

第 1 段階は、時間アライメントによる動作の正規化である。時間軸の同期には Temporal Cycle Consistency Learning (TCC) を採用した。これにより、お手本とユーザー動画の間でゴルフスイング速度が異なる場合でも、「テイクバック」や「インパクト」といった動作の意味的なフェーズに基づいた同期を可能にした。

第 2 段階は、3 次元骨格情報の推定である。姿勢推定技術 (VideoPose3D) を適用することで、2 次元映像から 3 次元骨格座標を推定する。これにより、高価な計測機器を不要とし、システムの利用ハードルを低減した。さらに、Kabsch Algorithm を用いた空間アライメントにより、体格差や立ち位置の違いを補正し、比較を可能にした。

第 3 段階は、VR 空間でのフィードバックである。VR 空間内でのフィードバックにおいて、単なる骨格の表示に留まらず、算出された骨格間のズレ (2 乗平均平方根誤差: RMSD) を解析し、その誤差量に応じて骨格モデルの色を変化させる強調表示機能を実装した。加えて、お手本とユーザーの骨格を「横並び」や「重ね合わせ」を行う複数の表示モードやスロー再生機能を VR 空間内に機能として実装することで、学習者は修正すべき箇所やタイミングを理解することが可能となる。

本論文では、システムの有用性を検証するため、ゴルフスイングを対象とした被験者 9 名による評価実験を行った。その結果、定量的評価においては、4~5 分程度のフィードバック時間では、スイングフォームの改善 (RMSD の統計的に有意な減少) は確認されなかった。この要因として、新しい動作フォームを身体に定着させるための練習時間が不足していた点が考えられる。

一方、アンケートを用いた定性的評価においては、多くの被験者が「自身の癖や手本との違いを明確に認識できた」と回答しており、本システムの有用性が示された。特に、2D 映像では把握困難な「奥行き方向のズレ」や「身体のねじれ」を、VR 空間での視点変更によって理解できた点が、高い評価に繋がった。

また、フィードバック手法の比較からは、全体像を俯瞰的に捉えやすい「横並び表示」と、色変化により修正箇所を即座に認識できる「誤差強調表示」が特に高く評価された。この結果は、学習の目的 (全体把握か細部修正か) に応じて、適切な視覚的提示手法を組み合わせることが、効果的な動作理解に不可欠であることを示唆している。以上の結果から、本システムは即時的な矯正ツールとしての課題を残しつつも、学習を促す支援環境として有効

であることが実証された。

最後に、本研究の課題と今後の展望について述べる。第1に、骨格推定精度の向上である。現在は単眼カメラのみを使用しているため、ゴルフスイング特有のオクルージョンが発生する局面での推定誤差や、奥行きの変昧性が課題として挙げられる。これに対し、複数台のカメラを用いるマルチビュー推定や、慣性計測ユニットを用いたモーションキャプチャースーツの導入が必要であると考えられる。第2に、操作性およびフィードバック機能の改善である。自分とお手本の差を一目で理解できるような補助や、コントローラーを用いた操作の簡易化が求められる。また、フィードバックを即座に動作修正に反映させるため、自身の3Dモデルをリアルタイムに提示する機能の実装など、より直感的なシステムへの改良が必要であると考えられる。第3に、長期的効果の検証である。本実験では4~5分程度の短時間のフィードバックであったため、学習の定着までは確認されなかった。今後は、本システムを継続的に使用した場合に、RMSDの有意な減少や、学習効果の定着などが起きるかどうか検証する必要がある。