

明治大学大学院

2023年度 修士論文

論文題名 動画・画像への軌跡付与による

ヒップホップダンス振り付け習得支援に関する研究

先端数理科学研究科 先端メディアサイエンス専攻

指導教員名 中村聡史

本人氏名 中村瞭汰

2023 年度 修士学位請求論文

動画・画像への軌跡付与による  
ヒップホップダンス振り付け習得支援  
に関する研究

明治大学大学院先端数理科学研究科

先端メディアサイエンス専攻

中村 瞭汰

Master's Thesis

A Study on Learning Support for Hip-Hop Dance  
Choreography by Superimposing Trajectories on  
Videos and Images

Frontier Media Science Program,

Graduate School of Advanced Mathematical Sciences,

Meiji University

Ryota Nakmaura

## 概要

ダンスは表現方法の 1 つであり、多くの人にとって身近な存在になっている。SNS や動画共有サイトの普及によって手軽にダンスを発信できるようになり、アイドルやダンサー、インフルエンサーなど多くの人がダンス動画を投稿するようになった。それに伴って動画上の人に憧れを抱き、投稿された動画を見てダンスを真似する人も増えている。しかし、投稿された動画から振り付けを習得するのは難しいという問題がある。中でも腕の動きは複雑な動きや素早い動きが含まれていることが多く、動画から正確に習得するのは難しい。そこで本研究では、見本のダンス動画から腕の動きを習得することが難しいという問題に着目をし、見本の動画に対して手の軌跡を付与することによって腕の動きの習得を支援する手法を提案する。この手法によって腕の動きが可視化され動きの習得に役立つことが期待される。

まず、見本の動画内の人物の姿勢推定を行い、姿勢推定結果の手の座標を用いることで手の軌跡を付与した動画を作成した。実験協力者を軌跡付与なし動画を用いて練習する群と軌跡付与動画を用いて練習する群に分け、振り付けの習得実験を行なった。実験協力者に動画を見て振り付けを覚えてもらった後に、覚えた振り付けを踊ってもらい撮影を行った。その後撮影した動画をダンス上級者に評価してもらった。実験の結果、4 本の動画内の 1 本において腕の動きの評価値が軌跡付与あり群の方が有意に高い結果となった。ここでは具体的にどのような動きに対して軌跡付与動画が効果的なのかが明らかになっていなかったため、動きの理解度を調査するための実験を行なった。短いダンス動画を見てもらい、その動画の動きを説明するための穴埋め問題に回答してもらった。実験の結果、手を「どのように」動かすかの項目において軌跡付与動画を用いた場合の点数の方が高い結果となった。

次に、軌跡付与動画を用いて練習する場合、ユーザが動画とともに動いている軌跡を同時に認識する必要があり、その把握が容易ではないと考えた。そのため、動画ではなく静止画に対して軌跡の付与をしたものが動きの習得に役立つのではないかと考えた。ここで、通常の動画再生機能に軌跡付与画像の提示の機能を加えたシステムを実装し、このシステムを用いてユーザに振り付けを理解してもらった実験を行なった。この実験を通じてシステムに対するフィードバックと、システムの使用ログの収集を行った。具体的なフィードバックとして、「自分が見たいフレームが表示されていない」、「ユーザインタフェースが使いづらい」などが得られ、これを元にシステムの改善を行なった。

改善したシステムを用いて振り付けの習得実験を行い、軌跡付与動画を用いた振り付けの習得実験と同様に習得してもらった振り付けを踊った様子を撮影しダンス上級者に評価してもらった。実験の結果、手法によって有意な差は見られなかったが、主観評価アンケートの結果やシステムの使用ログから、ユーザのレベルに沿った提示方法の必要性について議論を行う。



## Abstract

Dance is a way of expression that has become familiar to many people. The spread of SNS and video-sharing sites has made it easy to share dance videos, and many people, including idols, dancers, and influencers, post their dance videos. In addition, more and more people become fascinated by the people in the videos and imitate their dance moves by watching the posted videos. However, there is a problem that it is difficult to learn choreography from posted videos. It isn't easy to learn arm movements accurately from video clips because they often include complex and fast arm movements. In this study, we focus on the problem that it is difficult to learn arm movements from dance videos. We propose a method to support the learning of arm movements by superimposing hand trajectories to the sample videos. This method is expected to be useful in visualizing arm movements and helping the learning of arm movements.

First, we estimated the posture of a person in a video and created a video with hand trajectories by using the hand coordinates obtained from the posture estimation results. We divided the participants into two groups: one group practiced the choreography using the video without trajectories, and the other group practiced the choreography using the video with trajectories. After the participants watched the videos and learned the choreography, we asked them to dance the choreography they had learned and filmed them. Then, the advanced dancers evaluated their filmed videos. The results of the experiment showed that in one of the four videos, the evaluation value of the arm movement was significantly higher in the group of videos with the trajectories. Since it was not clear what specific movements the video with the trajectories was effective for, we experimented to investigate the degree of comprehension of the movements. We asked participants to watch a short dance video and answer fill-in-the-blank questions to explain the movements in the video. The results of the experiment showed that scores for "how" to move the hand were higher when practiced with the video with the trajectories.

Next, when practicing with video with the trajectories, the user must simultaneously recognize the moving trajectory along with the video. We thought that this was difficult to grasp. For this reason, we thought that trajectory-superimposed still images, rather than video, would be useful for learning the movements. We implemented a system that combines the normal video playback function with the function to present the images with trajectories. We experimented to have users understand the choreography using this system. Through this experiment, we collected feedback and usage logs. Specific feedback was obtained, such as "The frame I wanted to see was not displayed" and "The user interface was difficult to use," and the system was improved based on this feedback.

We conducted a choreography learning experiment using the improved system, and as in the choreography learning experiment using the video with trajectories, we filmed the dancing of the learned choreography and evaluated it by the advanced dancers. The results of the experiment

showed no significant differences between the methods, but the results of the subjective evaluation questionnaire and the system usage logs suggest the need for a presentation method that is more in line with the user's level.

# 目次

第1章	はじめに .....	1
1.1.	ダンスの普及とコピーダンスの背景.....	1
1.2.	パフォーマンス動画からの振り付け習得の難しさ.....	1
1.3.	本研究の目的 .....	2
1.4.	本稿の構成 .....	3
第2章	関連研究 .....	4
2.1.	ダンスに関する研究 .....	4
2.2.	動作の習得支援に関する研究.....	6
2.3.	軌跡を用いた動作の習得支援に関する研究.....	7
第3章	軌跡付与動画を用いた振り付け習得実験.....	9
3.1.	振り付け習得実験.....	9
3.1.1.	実験概要 .....	9
3.1.2.	実験動画作成.....	9
3.1.3.	実験手順 .....	10
3.1.4.	実験結果 .....	12
3.1.5.	考察.....	12
3.2.	穴埋め問題を用いた動きの理解度調査 .....	14
3.2.1.	実験概要 .....	14
3.2.2.	実験動画作成.....	14
3.2.3.	実験手順 .....	15
3.2.4.	実験結果 .....	16
3.2.5.	考察.....	18
第4章	軌跡付与画像提示システムのユーザテスト .....	20
4.1.	実験概要.....	20
4.2.	実験用システム.....	20
4.3.	実験手順.....	22
4.4.	実験結果.....	22
4.5.	考察.....	25
第5章	システムを用いた振り付け習得実験.....	27
5.1.	実験概要.....	27
5.2.	システム改善点.....	27
5.3.	実験手順.....	28
5.4.	実験結果.....	29

5.5.	考察.....	31
第6章	総合考察と今後の展望.....	33
6.1.	実験と分析を踏まえた総合考察.....	33
6.2.	制約と今後の展望.....	33
第7章	おわりに.....	35

## 第1章 はじめに

### 1.1. ダンスの普及とコピーダンスの背景

ダンスは表現方法の1つである。自己表現力やコミュニケーション能力を養うことを目的に、2012年より中学校の体育の授業でダンスが必修になった。また、TikTokやInstagramなどのSNSや、YouTubeなどの動画共有サイトの普及によって、アイドルやダンサーのダンス動画を目にすることが増えている。これらによって特に10～20代の若い世代のダンスに対する関心が高まっていることから、2020年にはプロダンスリーグD.LEAGUEが発足され、2024年のパリオリンピックの新競技としてブレイキン（ブレイクダンス）が採用された。このことから今後もダンスはさらに普及し、より身近なものになっていくことが予想される。

ダンスの普及にはこれらの他に、N次創作[1]の存在が影響している。投稿されたダンス動画を見てその人のように踊ってみたいと憧れるファンも少なくなく、実際にファンが真似して踊った動画がN次創作として投稿されることが増えている。特にK-POPアイドルのダンスを真似するファンは多く、2023年9月現在、Instagramにおける「#kpopdancecover」のタグがついている投稿は約301万件存在する。しかし、SNSなどにアイドルやダンサーが投稿する動画の多くはパフォーマンスを見せるための動画（以後、パフォーマンス動画と呼ぶ）であって、振り付けをレクチャーするための動画（以後、レクチャー動画と呼ぶ）ではないため、その動画を見て真似をすることは難しい。そのため、プロのダンサーによるアイドルのパフォーマンス動画の解説をするコピーダンス教室や、レクチャー動画の投稿も増加している。しかし、ファンの憧れの対象は動画上の人であるため、難度が高くてもパフォーマンス動画を見て独学で振り付けを真似することを好む人が多い。

### 1.2. パフォーマンス動画からの振り付け習得の難しさ

パフォーマンス動画を見て振り付けを真似することが難しい原因としてポーズ間の動きの見落としが挙げられる。振り付けを覚えるために動画を見ても印象的なポーズに目が向いてしまい、そのポーズに至るまでの動き方が見落とされることが多い。その結果、踊り手が見落としした箇所は曖昧な動きや見本と異なった動きとなり、見本の動画とのずれが生じる。

見落とされることが多い動きの例として、ポーズに至るまでの手の動線が挙げられる。例えば図2は図1の動きを見本として真似したが、動きの見落としがあり、見本通りに再現できていない例である。見本となる図1では、手を肩の位置まで持ち上げてから横に伸ばしているが、それを真似した図2では終着点に向かって直線的に手を動かしてしまっている。図1と図2で手の始発点と終着点は一致しているが、手の通過点が異なるため、図1

はコンパクトな動きに見えるのに対して、図2はぼんやりとした動きに見えてしまう。このような動きの違いの積み重ねによって見本の動画と自身のダンスのずれが大きくなり、練習の際のモチベーション低下にも繋がると考えられる。また、特に腕の動きを見落としやすい原因として、足などの他の部位の動きと比較して複雑で早い動きが可能のため理解が難しいことが考えられる。振付師からダンスの指導を受ける場合は、このような振り付けの中の見落としやすい箇所に対して指導が行われるが、パフォーマンス動画から独学で振り付けを習得する場合は、その見落としやすい箇所に自身で目を向ける必要があるため難度が高い。

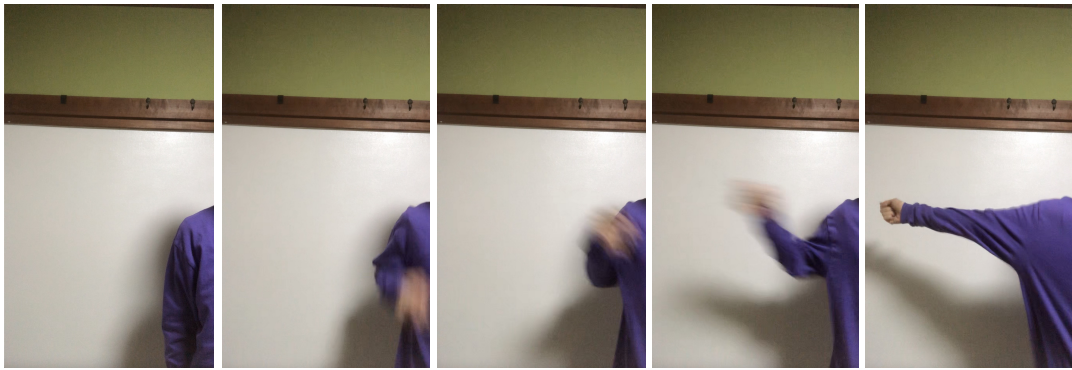


図1 見本（手を体に沿ってあげる）

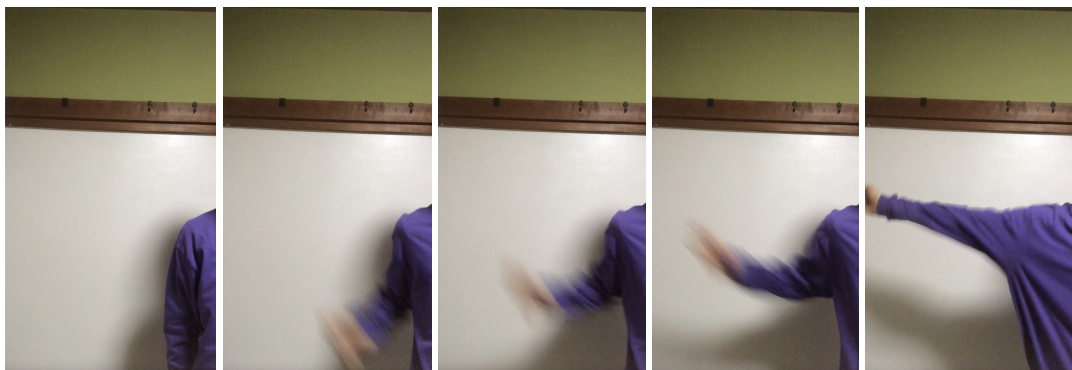


図2 見本を真似して間違った動き（手を斜めに真っ直ぐあげてしまっている）

### 1.3. 本研究の目的

本研究はダンスのパフォーマンス動画を見て腕の動きを習得することが難しいという問題に着目し、見本の動画、画像に対して手の軌跡を描画することによって手の動きの可視化を行い腕の動きの習得を支援することを目的とする。

本研究ではまず、見本の動画上の人物の姿勢推定を行い、姿勢推定結果の手の座標を用いることで軌跡を作成し動画上に描画を行った。軌跡を付与した動画を用いて練習するこ

とで腕の動きの習得に影響があるのか、またどのような動きにおいて習得が促しているのか調査を行った。ここで軌跡を付与した動画を用いた場合にユーザは動画とともに動いている軌跡を同時に認識する必要があり、その把握が容易ではないという問題があった。そこで動画ではなく画像に対して軌跡を付与したものが動きの習得に役立つのではないかと考えた。動画から振り付けの切れ目となるフレームを抜き出して並べたものに対して手の軌跡を描画することによって、これが動きの習得に役立つのか検証する。そして軌跡提示機能を取り入れた動画再生システムを実装し、腕の動きの習得にどのような影響を及ぼすのか、システムの実用性を検証する。

## 1.4. 本稿の構成

本稿は、本章を含む全7章から構成される。まず本章でダンス動画から振り付けを習得する際の困難と、本研究の目的について述べた。2章では本研究の関連研究について述べる。3章では軌跡付与なしの動画と、動的な軌跡付与を行なった動画を用いて振り付けの習得実験を行い、その結果について述べる。また、具体的にどのような振り付けに対して動的な軌跡提示の効果があったのかについて確認するために、短い動画の動きを説明する穴埋め問題に回答する実験を行い、その結果について述べる。4章では動画から選択した範囲の動きの切れ目となるフレームを抜き出し静的な軌跡付与を行なうシステムの実装を行い、動的な軌跡付与との違いや問題点を調べる。5章では4章の実験を踏まえ改善を行ったシステムをユーザに利用してもらい、システムの評価実験について述べる。6章では本研究の総合的な考察と展望について述べる。最後に第7章で本稿のまとめを行う。

## 第2章 関連研究

### 2.1. ダンスに関する研究

ダンスは表現方法、競技としてだけでなく研究の対象としても着目されている。ダンスの習得支援に関する研究として、Fujimoto ら[2]はダンス動画から振り付けを覚える際に練習者が踊れるようになった時の姿が想像できるとモチベーションが上がると考え、見本動画の人のボーン情報を重ねた合成ビデオを提示する手法を提案している。練習後のアンケートの結果、合成ビデオは動きのタイミングの確認に役立つことが明らかになった。Eaves ら[3]は練習者の姿が映っているディスプレイ上に見本の関節点を提示する手法を提案し、関節点のフィードバックはたくさん提示するのではなく、少なめに提示することで学習効果が高くなることを明らかにしている。土田ら[4]はダンス情報処理研究を発展させることを目的とし、ストリートダンス動画データベース AIST を作成した。また、Tsuchida ら[5]は AIST の動画をもとに深層学習を用いてダンスをマスターした自己映像を作成した。作成した映像を提示することで動きの理解を深めるのに役立つものの、映像生成の質が課題となった。

周辺機器を用いたダンスの習得支援の研究として、Nakamura ら[6]はダンス動画から動きのタイミングが読み取りにくいという問題に着目し、ウェアラブルデバイスを装着して振動を提示することによって、動くタイミングの習得支援をする手法を提案している。デバイスを用いた練習の結果、アンケートによる主観評価では差がなかったが、タイミング誤差の測定結果には有意な差が見られた。Grosshauser ら[7]はウェアラブルデバイスを用いて練習者の足の裏の圧力や膝の曲がり具合を測定し、音でフィードバックを提示する手法を提案した。その結果、練習者は音によるフィードバックにより動きの修正が可能であることを明らかにした。Senecal ら[8]は VR ゲームによりサルサダンスの練習を行う手法を提案し、システムを用いた練習中の動きを光学式モーションキャプチャで記録した。その結果、ダンス経験のないユーザのリズムエラーが減少したことを明らかにした。また、ダンス経験のあるユーザはシステムを使うにつれて VR 上に提示される見本の動きを取り入れ始めた。また、同様に VR を用いた研究として Yang ら[9]は VR を用いて見本の動きを提示し、その動きを追ってダンスの練習をするシステムを開発し、実験により対面での学習と同じように効果的な練習が可能であることを明らかにしている。ダンスの練習で用いる鏡に着目した研究として、Anderson ら[10]は AR の鏡を使ってガイダンスやフィードバックを提示し、練習が進むにつれて徐々に提示する情報を減らすシステム YouMove を提案している。システムを用いた結果、ビデオを用いた場合よりも学習効果が高いことが明らかになった。Molina-Tanco ら[11]は鏡への動きの反映を遅くして提示する The Delay Mirror を提案し、実際のバレエ教室で用いたところ、生徒や教師が自発的に鏡を利用したと述べている。Kyan ら[12]は多面スクリーンで囲んだ空間の中にユーザが入る Cave と Microsoft Kinect を用いて



ダンスの習得支援を行う手法を提案した。この研究では、見本と練習者をスクリーンに並べて提示する方法と、見本を練習者の動きに重ねて提示する方法の2種類を提案している。システムを用いて6回の練習を行なった結果、見本と比較したときの類似度のスコアが向上した。Elsayedら[13]は画面サイズの異なるディスプレイ（スマートフォン、タブレット端末、デスクトップモニタ、テレビ、大型ディスプレイ）でダンスの模倣に取り組んだ際の精度の違いについて調査を行なった。その結果、スマートフォンを用いて練習した場合と比較して、デスクトップモニタ、テレビ、大型ディスプレイを用いて練習した場合の方が模倣の精度が高いということが明らかになった。また、Rahebら[14]は提案されている様々なダンスのトレーニングシステムを取り上げ、その有用性や問題点について議論している。その中で、提案されているシステムの半分が持ち運びの難しいことを問題として挙げている。

ダンスの理解を支援するための研究も様々行われている。Usuiら[15]はタブレットにユーザのCGアニメーションを提示することでハワイアンダンスの練習支援を行う手法を提案した。アニメーションを用いることで、自身の踊りを客観視しやすくなったが、提示する情報量の調整が課題となった。斎藤ら[16]はダンス動画からの振り付けの習得の際に、振り付けのニュアンスを把握することが難しいという問題に着目し、その問題を解決するためにダンス動画にオノマトペを付与する手法を提案した。実験の結果、ダンス動画に対してオノマトペを漫画風に付与した手法が習得において効果的であることを明らかにしている。同様にオノマトペを用いた例として、天野ら[17]はストリートダンス指導における伝達方法の違いが動作習得過程に及ぼす影響について調査するために、4つの手法（言語のみ、オノマトペのみ、言語とオノマトペ、カウントのみ）で指導する動画を作成した。これらの動画を用いて練習した結果、「言語とオノマトペ」両方を使って指導した動画で練習した場合、情報過多となって習得が難しいことが示唆された。Sarahら[18]はダンサーの動きを4つの点と4つの線を用いてリアルタイムで表現することによって動きの質の理解を促すシステムを開発した。ダンサーは繰り返しシステムを利用することによって自身の動きを理解し、改善することが可能であった。また、振り付けの分割についてRivièreら[19]はダンスの指導者はレッスンにおいて振り付けを分割しながら指導をするが、ダンス初心者が動画を見て振り付けを習得する際にはレッスンと同じような流れで学習することが難しいと述べている。そこで、MoveOnというシステムを用いてダンス初心者に指導者の振り付けの分解方法を提示することによって、ダンス習得の参考になることを明らかにしている。遠藤ら[20]は視覚特徴量と聴覚特徴量をTemporal Convolutional Network (TCN)に入力することで振り付けの自動分解を行なった。その結果、視覚特徴量と聴覚特徴量それぞれを入力した場合と比較して、両方とも用いた場合の方が高い精度となった。

ダンスの評価についての研究として、Alexiadis[21]らはKinectを用いて関節の位置を推定し、ダンスをリアルタイムで評価することを可能にしている。また同様にKinectを用いた研究として、Furuichiら[22]はダンスの骨格情報による個性の推定を試みた。Kinectで推定

した関節の角度情報を用いることで個人のダンスを高精度に判別可能であることを明らかにした。Piana ら[23]は Mass-Spring-Damper モデルに基づいて、人の動きの流暢さを自動評価する手法について検討しており、評価者が流暢的と判断した動きを自動で識別可能であることを示している。Niewiadomsk ら[24]は2つの筋電センサと2つの IMU センサを用いてダンスの軽やかさと脆弱さという2つの項目についての評価を行なった。その結果、どちらの項目についてもダンス上級者に近い評価が可能になった。Haoyu ら[25]は videoPose3D を用いて3次元姿勢推定を行い、特徴面マッチングを行うことで各部位の類似度スコアと全体的なスコアの算出を提案している。Kato ら[26]は録画したビデオから OpenPose[27]を用いて姿勢推定を行い、動的時間伸縮法 (DTW)、ピアソン相関、タイムラグ相互相関 (TLCC) の3手法を用いて見本と生徒の動画の類似度評価を行なった。その結果 DTW と TLCC は類似度が高く出たものの、ピアソン相関は類似度が非常に低い結果となった。Zhou ら[28]は複数人で揃えるダンスの練習のために、身体の中の部位が動きの揃わない原因となっているかをヒートマップで示すシステムを作成した。AlphaPose[29]で姿勢推定し、サポートベクター回帰を用いたところポーズの類似度とシンクロ度の評価がダンス上級者の評価と近い結果となった。ダンスの評価時の視線について 剣持ら[30]は、ダンス経験者は頭部や手先を注視するのに対してダンス未経験者は胴体や首、腕と言った身体の中心に近い部位を注視する傾向にあることを明らかにした。

Raheb ら[14]が述べているようにダンスの習得支援、理解支援に関する研究の多くがハードウェアデバイスを用いる必要があり、実際の練習環境で用いることが難しい。また、多くのユーザが常備しているスマートフォンのみを用いた習得支援として、斎藤ら[16]の研究があるが、しかし、オノマトペは動きの速度などを表現に向いているが、動き方を表現することが難しいといった問題がある。本手法では実際の練習環境で使いやすいようにスマートフォンのみを用いて、腕の動きの習得支援を目的とする。

## 2.2. 動作の習得支援に関する研究

新野ら[31]は野球の素振り動作の反復練習を目的としたスマートミラーシステムを提案している。このシステムは、撮影開始姿勢を検出して高速度撮影を行うものである。実験の結果、91.6%の精度で正しい検出及び撮影が可能であることが明らかになった。武藤ら[32]は HMD に付属したカメラを利用してスポーツの動作を連続写真として表示する可視化手法を提案した。ランニング、立ち幅跳び、軟式テニス、バドミントンについて提案手法による可視化を行った結果、競技者の動作の可視化が可能であった。篁ら[33]はビデオ映像の解析を行い、野球の投球動作の把握に効果的な画像の作成手法を提案している。その結果、元の画像では表示できない動作の重要な着眼点の表示やシーンの分類を行うことによって、動作水準の向上可能な静止画や動画を提示することが可能になった。畠田ら[34]は移動を含む個人プレイのスポーツを対象として、選手をカメラワークさせながら撮影し

た映像からストロボ画像を作成する手法を提案している。その結果、従来手法を用いた場合と比較して、動作分析の評価が有意に向上することが明らかになった。龍野ら[35]はボーリングの投球動作を習得するために電気刺激を用いたシステムを提案している。システムを用いた結果、実投球動作中における電気刺激は学習を阻害してしまうことが明らかになった。また、トレーニングとしてスイングのみを行っている間に電気刺激を用いた結果、投球動作修正が32%確認された。神田ら[36]は職人の仕事、芸能、芸術、スポーツといった身体的な活動が主となる分野の暗黙知に着目し、熟練者の知識を蓄積し利用することで、身体動作の理解、習得を支援するシステムの構築を目指した。具体的にはシステム内に熟練者の指導や意見を蓄積し利用することによって自習を支援するものである。社交ダンスの練習においてシステムを用いた結果、熟練者の知識をシステム上に表現できおり、その知識を利用してある程度の自習ができているということが示唆された。ANら[37]はボート競技の基本動作であるローイング動作の筋肉の使い方を教示する手法として、筋活動の可視化を行なった。システムを用いて非熟練者への教示を行い、技能およびパフォーマンス向上が期待できることを示した。

これらの関連研究で取り上げられている動作とダンスの振り付けの違いとして、動作の種類が多さが挙げられる。ここで取り上げた関連研究ではユーザが対象の動作をある程度習得しており、その動作を改善することを目的としている。しかしダンスにおいては新たな動作を習得するため、自身の動作を見本と比較する前に見本の動作を理解する必要がある。本研究ではこの動作の理解の段階に重きを置いている。

### 2.3. 軌跡を用いた動作の習得支援に関する研究

軌跡を用いた動作の習得支援の研究として、Shimookaら[38]は実験協力者に社交ダンスを踊ってもらう際に首、肘、腰、膝にLEDライトを装着させることによって、実験協力者の動作の軌跡を観測する手法を提案している。実験の結果、LEDライトの光によって動きの微細な揺らぎが確認しやすくなることが明らかになった。小坂ら[39]は三味線の練習時に三味線、撥、球体、熟練者の撥の軌跡を3DCGで画面に表示しリアルタイムで操作可能なシステムを提案し、自身の動作と熟練者の動作を比較できるようにしている。システムを用いた結果、学習者が自身の直線度とウチの角度を認識して反復練習することができた。Sunadaら[40]は竹刀の動きを軌跡で可視化するためにベクトルによる可視化、三角錐と球体による可視化、色と球体による可視化、3DCGによる可視化の4種類の可視化手法を用いて、それぞれの動画から得られる情報についてアンケートを行なった。アンケートの結果、速度や加速度の変化が理解しやすいことが明らかになり、4手法の中で3DCGによる可視化が有意に低い評価となった。加えて砂田ら[41]は塗装熟練技能工の手の動きに着目をし、速度・加速度・筋電情報の可視化を試みている。比較手法として、ビデオ、速度・加速度の可視化、加速度・積分筋電図の可視化、曲線による軌跡の可視化を用いて提示し

た。これらの手法において、積分筋電図を描画点の大きさ（円の半径）、加速度を加速・減速の2種類の点の色で表していた。実験の結果、加速度・積分筋電図による可視化が動作習得における支援への活用の可能性に対する評価が高いことが明らかになった。

これらの研究において軌跡提示が動作理解に役立つことが明らかになっている。本研究も同様に軌跡を用いることで見本の動作に対する理解を支援するものである。また、本研究では複雑な動作やユーザが新たに習得する動作を対象としており、この場合どのような軌跡提示方法が適切か検討する必要があると考えられる。

## 第3章 軌跡付与動画を用いた振り付け習得実験

### 3.1. 振り付け習得実験

#### 3.1.1. 実験概要

本研究では、ダンス動画から習得することが難しい腕の動きの習得支援をすることを目的としている。見本の動画から手の動きを推定し、手の動きの軌跡を重畳提示する手法を提案する。本手法により手の動きの経路がわかりやすくなり、腕の動きの理解につながると考えられる。実験協力者を軌跡提示ありの動画を見て練習する群と、軌跡提示なしの動画を用いて練習する群に分け、振り付けを覚え踊ってもらう。本研究が対象とするユーザはダンス動画から振り付けを習得しようと思うほどにダンスに取り組むモチベーションがあるユーザである。そこで、実験協力者はダンスサークルで活動しているダンス経験のある人とした。

#### 3.1.2. 実験動画作成

実験で使用するダンス動画は、実験協力者が既に知っている動きが少ない振り付けが適していると考えられる。また、ダンスのジャンルは多くのジャンルのベースとなっている Hiphop ダンスが適していると考えた。そこで、実験で使用するダンス動画は、AIST Dance Video Database[4]の Advanced Dance の LA-style Hip-hop から選定した。この中から著者が動画を確認し、動画のみを見て習得することが非常に難しい錯視のような動きを利用した振り付けは実験に適していないと考え除外し、2本の動画を選定した。次に選定した2本の動画の初めの4小節とその次の4小節を用いて計4本の動画を作成した。具体的には、選定した2本の動画のうちの1本目の始めの4小節を動画1、その次の4小節を動画2、2本目の始めの4小節を動画3、次の4小節を動画4とした(図3)。また、実際に踊ってもらう際に振り付けに入るタイミングを掴むことが難しいため、AIST Dance Video Database で曲の開始前に用いられていたメトロノーム音をそれぞれの動画の最初に挟んだ。

軌跡の付与は動画をフレームに分割し、フレームごとに tf-pose-estimation を用いてダンサーの姿勢推定を行い、N フレーム前までの推定された手首の位置を結んで動画に重畳提示することで実現した。なお、軌跡の提示量が多すぎることで見本の動画が見づらくなるなどの問題があったため、提示する軌跡は直前15フレーム分とし(N=15)、透明度を0.6、色はmatplotlibにおけるdarkorangeとした。また、色や透明度については動画の背景やダンサーの服装の色と重なって軌跡が見づらくなならないように配慮しつつ設定した。図4は動

画上のダンサーの手に軌跡を付与した様子である。ダンスを模倣するユーザは、この軌跡を見つつその動きを把握することが可能となる。

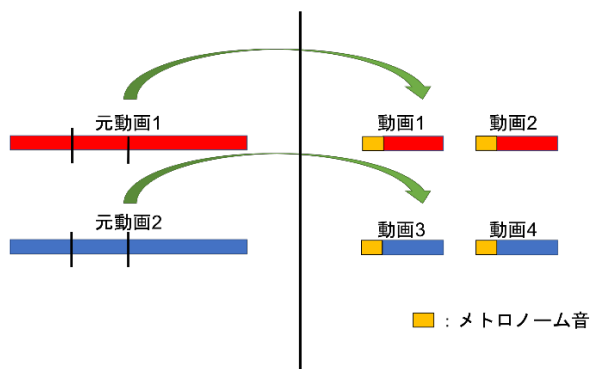


図3 動画生成の方法



図4 ダンサーの手に軌跡を重畳付与した様子

### 3.1.3. 実験手順

実験では実験協力者に10分間で動画を見て振り付けを覚えてもらった後、覚えた振り付けを踊ってもらい撮影した。その後主観評価アンケートに回答してもらった。この流れを動画4本に対して繰り返し行なった。軌跡提示なし群は4本全て軌跡なしの動画を見て練習に取り組み、逆に軌跡提示ありの群は4本全て軌跡ありの動画を見て振り付けを覚えてもらった。

実験協力者は大学のダンスサークルに所属する大学生の男女20名（男性8名、女性12名）であり、ランダムに軌跡提示なしグループと軌跡提示ありグループに分けた。複数人が同時に練習する際にはお互いの姿が見えないような位置や方向を決め、鏡を用いて自身の姿が見える状態で練習を行なった。動画を見るデバイスには実験協力者が普段の練習でも利用している各々のスマートフォンを用いた。また、撮影環境は撮影対象とカメラの距離が7.50m、カメラの高さが1.15mの位置から撮影を行なった。動画撮影後の主観評価アンケートの設問を表1に示す。

撮影したダンス動画は Hiphop ダンスの指導をプロから長期間受けていた女子大学生2名（指導を受けていた歴はそれぞれ6年間，8年間）に客観評価アンケート（表2）を用いて評価を行ってもらった。評価者からは軌跡提示なしの動画を見て練習した動画なのか，軌跡提示ありの動画を見て練習した動画なのかわからない状態で評価を行ってもらった。客観評価アンケートは Google Form を用いて作成し，1本の動画に対して2ページで構成されている。評価時の注意として，2ページ目の回答後に1ページ目を回答し直すと2ページ目の各項目の平均点をつけてしまう可能性が考えられたため，ページを遡らないように指示をした。また，それぞれのページに見本の動画と評価対象の動画を掲載した。

表1 主観評価アンケート

	質問内容	回答形式
1	振り付けが覚えやすかったか	10段階評価 1（難しかった）～10（簡単だった）
2	上手く踊れたと思うか	10段階評価 1（踊れなかった）～10（踊れた）
3	感想	自由記述

表2 客観評価アンケート

ページ数	質問内容	回答形式
1 ページ目	見本と似ているか	10段階評価 1（似ていない）～10（似ている）
2 ページ目	動きが音と合っているか	10段階評価 1（合っていない）～10（合っている）
	振り付けを覚えられているか	10段階評価 1（覚えられていない）～10（覚えられている）
	頭の動きが似ているか	10段階評価 1（似ていない）～10（似ている）
	胴体の動きが似ているか	10段階評価 1（似ていない）～10（似ている）
	腕の動きが似ているか	10段階評価 1（似ていない）～10（似ている）
	足の動きが似ているか	10段階評価 1（似ていない）～10（似ている）
	その他気づいたことコメント	自由記述

### 3.1.4. 実験結果

客観評価アンケートの見本と似ているかの評価値を用いて、外れ値となったユーザを分析対象から除外した。見本と似ているかの評価値を用いた理由としては、この項目値が最も振り付けの習得度を総合的に評価している項目であると考えたためである。第一四分位数-1.5×IQR を下限、第三四分位数+1.5×IQR を上限として外れ値の検出を行なった結果、動画1において軌跡提示なしグループの1名が外れ値に該当したため、分析対象から除外した。群間における差がないことを確認するため、見本と動きが似ているかの評価値を用いて2標本t検定を行ったところ有意な差は見られなかった。

表3は客観評価アンケートの各項目の平均値をまとめたものである。この結果から、頭、胴体、腕、足の評価値はいずれも軌跡提示ありグループの方が高いが、見本と似ているかの項目の評価値の差はわずか0.3となっている。また、腕の動きの評価値は、他の部位（頭、胴体、足）の評価値と比較して低いことが読み取れる。客観評価アンケートの結果から、見本と似ているかの項目と腕の動きが似ているかの項目について図5、図6に示す。図の横軸は動画1~4それぞれを示しており、図の縦軸はそれぞれの評価に関する平均値を示している。図5の見本の動きと似ているかの項目において軌跡提示なしと、軌跡提示ありで有意な差は見られなかった。二元配置分散分析を行ったところ動画の種類によって難易度に差があることが明らかになった ( $p<0.5$ )。図6の腕の動きが似ているかの評価値を用いて2標本t検定を行なったところ動画3において有意な差が見られた ( $p<0.5$ )。

次に主観評価アンケートのうまく踊れたと思うかの項目の評価値を図7に示す。図5、6と同様に横軸は動画1~4それぞれを示しており、図の縦軸は評価者による評価の平均値を示している。図7より軌跡提示なし群、軌跡提示あり群共に動画3の評価が最も低いことが読み取れる。

### 3.1.5. 考察

実験結果より、実験で用いたダンス動画に難易度の差が見られた。主観評価アンケートの自由記述において、動画3に対して難しいという回答が多く見られた。動画3が難しかった要因として、曲の裏拍を用いた振り付けが多かったことが考えられる。実験に用いる動画を選定する際に振り付けの動きの難易度のみで判断していたことで、音の取り方による難易度の違いが出てしまった。この問題については次節以降の実験において考慮する。

手法の効果について、図5の動画3において軌跡提示なしと軌跡提示ありの場合で有意な差が見られた。先述の通り、動画3は最も難しい動画だったが、特にこの動画において軌跡による腕の動きの可視化の効果が見られた。その要因として、振り付けの目立つ部位違いの影響が考えられる。動画1、2については足の振り付けが目立つ箇所が多く、動画3、4については腕の振り付けが目立つ振り付けであった。そのため、腕の動きの可視化が動画3においては特に効果的であったと考えられる。具体的にどのような振り付けの場合に



手法の効果があるのかは本節の実験では明らかでないため、次節においてより詳しく調査を行う。

表3 各項目の客観評価の平均値

	軌跡提示なし	軌跡提示あり
見本と似ているか	5.6	5.9
動きが音と合っているか	8.1	8.0
振り付けを覚えられているか	7.4	7.6
頭の動きが似ているか	5.1	5.9
胴体の動きが似ているか	5.3	6.1
腕の動きが似ているか	4.2	4.9
足の動きが似ているか	5.0	5.9

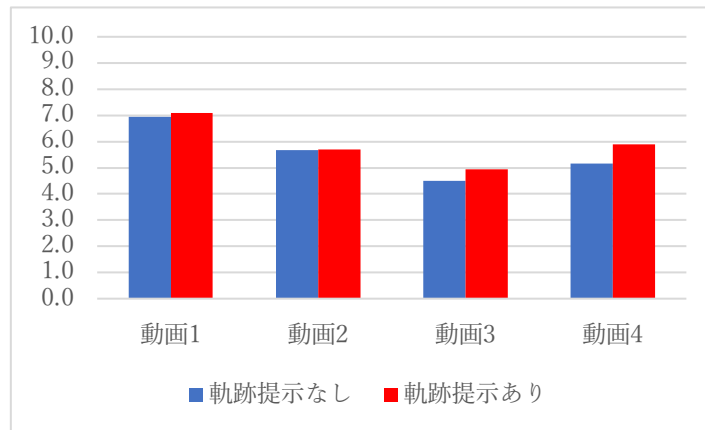


図5 見本の動きと似ているかの評価値

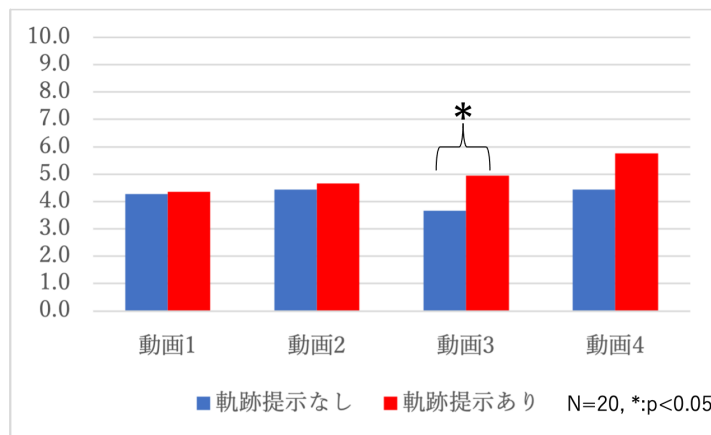


図6 腕の動きが似ているかの評価値

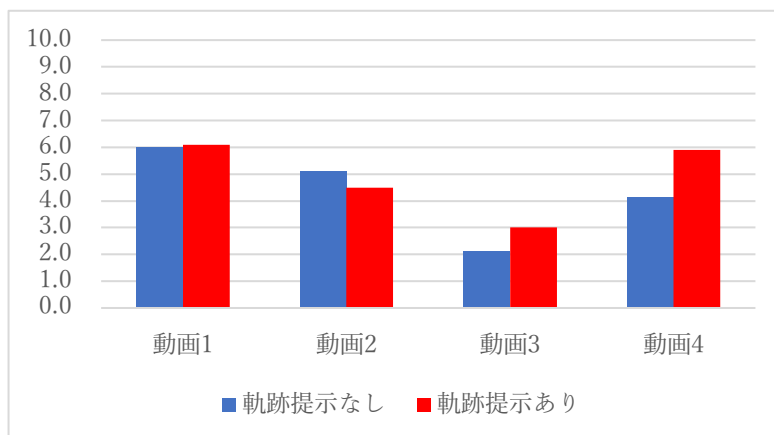


図7 うまく踊れたと思うかの評価値

## 3.2. 穴埋め問題を用いた動きの理解度調査

### 3.2.1. 実験概要

前節の実験では動画の種類によっては軌跡提示によって腕の動きの習得度が向上することが明らかになった。ここで、振り付けの習得は動きを理解する、動きを再現するという二つの段階に分けられるが、前節の実験では動きの理解、再現どちらに差があったのかが明らかにできていなかった。そこで、ダンス動画を見せた後に腕の動きがどのような動きだったのか記述してもらった実験を行い、提案手法が腕の動きの理解にどのように影響するか調査を行った。また、振り付けの中のどのような動きに対して軌跡提示が効果的だったのかについても考察する。

ここでは動きの理解度を測るために、ダンス動画の一部を切り取って作成した短い動画を見て、動画内のダンサーの手の動きを把握してもらうとともに文章で説明してもらい、その説明の度合いに応じて評価を行う。本実験は実際に踊る実験ではないため、ダンス経験のほとんどない大学生、大学院生を対象に行った。ダンス経験のない人が自由記述で腕の動きを説明するのは難しく、またプレ実験を実施したところ表記の詳細度が人により大きく異なり評価が難しかったため、穴埋め問題の形式で実験を行うこととした。

### 3.2.2. 実験動画作成

実験で使用するダンス動画は 3.1.2 項と同様に AIST Dance Video Database[4]の Advanced Dance の LA-style Hip-hop から腕の動きが重要な振り付けを選定し 4 拍程度の短い 6 本のダンス動画を作成した。3.1 節の実験では実験動画に対して手がどのように動いてきたのかを軌跡として提示していた。実験協力者からの感想として手がこれからどのように動くのかを軌跡で提示したのも欲しいという意見が複数得られた。この意見をもとに本節の実験

では手がこれからどのように動くのかを軌跡で提示する手法を加える。これにより軌跡の提示パターンは2種類となった。具体的には下記に示すものである。

- 過去軌跡提示手法: 手を通った箇所に後から軌跡が提示されるもの (図8左) であり、動画を見て動きを理解する際に効果的であると期待される。
- 未来軌跡提示手法: 手がこれから動く先に軌跡が提示されるもの (図8右) であり、動画と同時に動いて練習する場合に後から動きが追いやすく効果的であると期待される。

以降、軌跡提示なしを”baseline”，過去軌跡提示手法を”back”，未来軌跡提示手法を”front”と表す。本手法の実現においては、前章で用いていた tf-pose-estimation よりも OpenPose[27] を用いた場合の精度の方が高かったため、動画を1フレームずつ分割し OpenPose を用いて姿勢推定を行った。姿勢推定の精度が悪く、大きくずれているフレームは著者が手作業で修正を行った。3.1.2 項と同様に N フレーム分の推定された手首の座標を結ぶことによって軌跡を作成し、N=15 とした。軌跡については 3.1 節の実験において、軌跡が薄く見えにくいという意見が得られたため、軌跡の描画は Processing を用いて実装し、RGB=(255, 140, 0)、透明度は 190 とし、3.1 節で用いた動画の軌跡よりも濃いものにした。

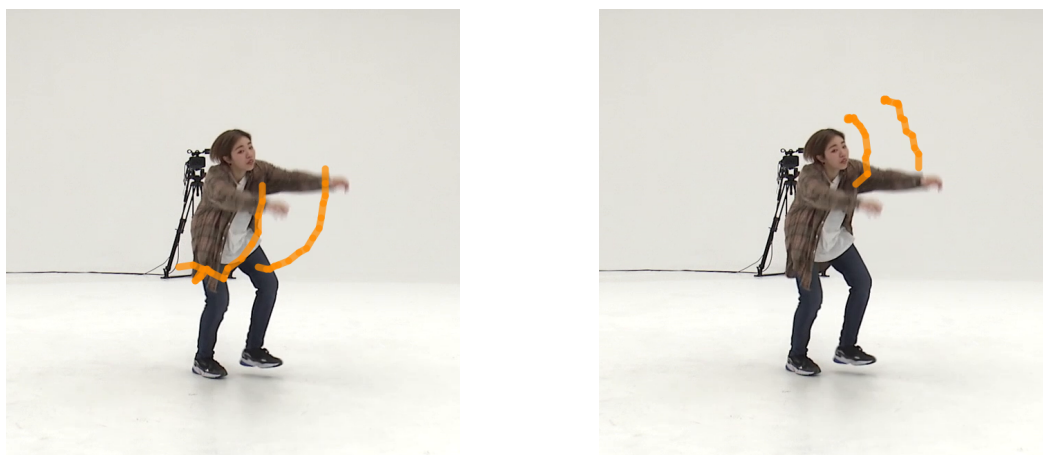


図8 軌跡の提示パターン

(左：過去軌跡，back (通った箇所に提示)，右：未来軌跡，front (これから動く先に提示))

### 3.2.3. 実験手順

実験協力者はダンス経験がほとんどない大学生，大学院生 20 名 (男性 10 名，女性 10 名) を対象に行った。なお、動画は実験協力者の各自の PC で見てもらい、穴埋め問題に対する回答は Google Form 上の回答欄を用いて行ってもらった。実験では動画を視聴するたびにダンスに対する理解が変化すると考え、1 つのダンス動画に対してダンス動画を視聴し穴埋め問題に回答するという試行を 3 回繰り返してもらった。具体的な 3 回の手順は下記のとおりである。

- 1 回目は、実験協力者にこれから見る動画の穴埋め問題の文章を確認してもらった後、動画を1回見てもらい穴埋め問題に回答してもらった。
- 2 回目は、同じ動画をもう一度見てもらい、穴埋め問題に回答してもらった。
- 3 回目は、何回も動画を見直したり、動画の再生位置を変更するスライダーを用いてゆっくり再生したり、一時停止したりしてもよいという条件のもと穴埋め問題に回答してもらった。

この流れを6回繰り返し、穴埋め問題に回答してもらった。なお、実験協力者が見る6本の動画はbaseline, back, frontの3手法が2つずつ含まれるようにランダムに組み合わせたもので、ランダムな順番に取り組んでもらった。

動きの理解度を測るために用いた穴埋め問題の枠組みは、動画の動きを再現するために抑えるべきポイントが穴抜きの箇所になるようにダンス歴10年以上の著者が作成した(表4)。また、どの問題も穴抜きの箇所は3つになるようにそれぞれの動画に対応した問題を作成した。回答された穴埋め問題は著者らが模範解答と採点基準(表5)をもとに1つの空欄を1~3点の三段階で評価を行うこととした。評価をする際には何回目の回答なのか、どの提示方法の動画を見たときの回答なのかがわからない状態で評価を行った。

表4 穴埋め問題一覧

動画番号	穴埋め問題
動画1	手を「どこ」から「どこ」へ「どのように」動かす
動画2	右手を「どこ」から上げる→「どこ」まで下げる→「どこ」に伸ばす
動画3	手を「どこ」から「どこ」に上げる→「どこ」に上げる
動画4	手を「どこ」から、「どこ」を支点として、「どのように」動かす
動画5	右手を「どこ」から「どこ」まで回す→「どこ」まで下げる
動画6	右手を「どこ」から「どこ」へ「どこ」を支点として回す

表5 採点基準

	1点	2点	3点
「どこ」の空欄	「上」や「下」など位置の情報がない	位置が模範回答と少しずれている	模範解答の位置が再現できる
「どのように」の空欄	動かし方に関する情報がない	動かし方の経路が模範解答から少しずれている	模範回答と同じ動きが再現できる

### 3.2.4. 実験結果

手法ごとに実験協力者の点数の平均を計算し、外れ値の検出を平均値 $\pm 2SD$ を基準として行ったところ、3名のデータが外れ値に該当した。そのため、以降の分析ではこの3名のデータを分析対象から除外した。

まず、各問題の平均点を図9に示す。この図から問題6が他の問題と比較して平均点が低いことが読み取れる。また、評価は1~3の3段階だったが、最も平均点の低い問題6でも評価軸の中央値である2を超える結果となった。次に各手法の回答回数と平均点について表6に示す。表6より、どの手法においても回答回数が重なるにつれて、点数が増加していることが読み取れる。穴埋め問題の空欄の種類による影響を見るために、穴埋め問題の空欄を4種類（「どこ」から、「どこ」へ、「どのように」、「どこ」を支点として）に分類した時の平均点を表7に示す。この表より、「どのように」の空欄は軌跡提示があるbackやfrontの点数が高く、「どこを」支点としての空欄は特にbackの点数が低いことが読み取れる。またこの結果において、backとfrontの間には大きな差は見られなかった。表8は試行回数ごとに平均点をまとめたものである。実験の前半と実験の後半で平均点に差は見られなかった。

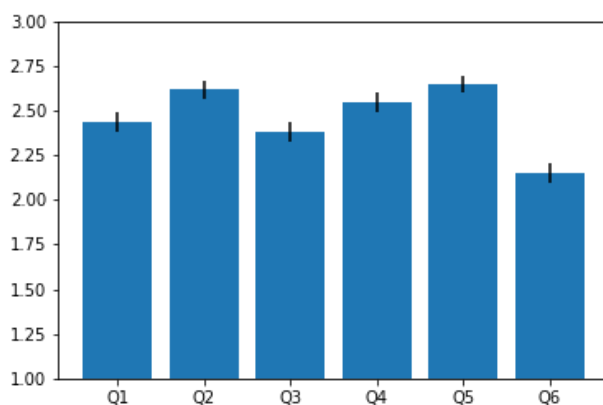


図9 各問題の平均点

表6 各手法の1つの問題に対する解答回数ごとの平均点

	1回目	2回目	3回目	平均点
baseline	2.34	2.49	2.62	2.48
back	2.32	2.46	2.65	2.48
front	2.22	2.40	2.62	2.41

表7 空欄の分類ごとの平均点

	「どこ」から	「どこ」へ	「どのように」	「どこ」を支点として
baseline	2.28	2.59	2.58	2.58
back	2.49	2.57	2.82	1.63
front	2.34	2.41	2.89	2.21

表8 問題に取り組んだ回数とその平均点

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
平均点	2.56	2.43	2.37	2.45	2.47	2.47

### 3.2.5. 考察

ダンス動画の難易度について、図9より、各問題の平均点が3段階評価の中央値の2より少し高いことから、問題が易しかったと考えられる。本実験の動画選定においては、動き自体の難易度の他にも、穴埋め問題を作成するために言語化がしづらい動きや、穴埋め問題の形式にしづらい動きを用いることが難しいといった問題点がある。そのため問題が似通ってしまい慣れが生じることも懸念される。しかし、表8より試行回数によって平均点の変化は見られなかったため、問題形式に対しての慣れはなかったと考えられる。これらの問題の対策として、穴埋めの箇所を増やすことによって問題の難度を上げ、回答形式を多様化することが考えられる。同じ動画を複数回見ることによる効果について、表6より、どの手法においても1回目よりも2回目、2回目よりも3回目の点数が上昇していることが読み取れる。動画を2回見たときの2回目の回答と、動画を何回みても良いという条件の3回目の回答で大きな差が見られなかった。このことからダンス動画および穴埋め問題が易しかったと考えられる。

次に表7の「どこを」支点としての問題において、backの点数が他の2つの提示方法と比較して低いことについて考察を行う。ここでまず、支点を問う問題においては、動画上には半円のような軌跡が描かれていた。点数が低い理由として、問題ではどこを支点として動かしているかを聞いているが、軌跡がどこを通過しているかという問題にすり替えて回答していると考えられるものが複数見られた。具体的には模範回答が「ひじを支点として回す」のに対して、軌跡が胸のあたりに描画されていたことから「胸を支点として回す」という誤答が見られた。

一方表7の「どのように」の項目においては軌跡提示がなかったbaselineよりも軌跡提示のあったback, frontの平均点が高い結果となった。その理由として、軌跡が提示されている場合において、手の動き方が可視化されて言語化に役立っていると思われる回答が複数見られた。具体的な例として、模範回答が「弧を描くように」の場合に、「掬い上げるように」、「ヨーヨーを投げるように」といった弧をイメージできる回答が見られた。一方、baselineにおいては「まっすぐ」といった直線的な動きを連想させる回答が1回目の回答において特に見られた。このことから、軌跡の提示によって手を「どのように」動かすのかについて、理解を促していると考えられる。また、振り付けを習得する際にも手の位置が、重要な振り付けよりも動き方が重要な振り付けにおいて軌跡提示が効果的だと考えられる。また、動画を見るだけの場合においてはbackの方が適していると考えていたが、back, frontの2手法の間には大きな差は見られなかった。このことから、ユーザが動画を見なが

ら動かないという状況においては **back**, **front** どちらも動きの理解に効果的であると考えられる。

## 第4章 軌跡付与画像提示システムのユーザテスト

### 4.1. 実験概要

3章では動画に軌跡付与する手法は、ユーザが動画とともに動いている軌跡を同時に認識する必要があり、その把握が容易ではないという問題があった。そこで動画ではなく静止画に対して軌跡の付与をしたものが動きの習得に役立つのではないかと考えた。具体的には、ダンス動画を時間分割して画像化したものに軌跡付与して並べて表示する手法を提案する。また、提示する画像を振り付けの切れ目となる画像にすることで動きの理解がしやすくなり、振り付けの習得支援につながると考えた。本章ではシステムとして実装しダンス支援に役立つかを調査するとともに、現在のシステムの改善点を調査し、今後のシステムの改善に役立てる。

### 4.2. 実験用システム

3.2節では手が通った箇所から軌跡が提示される過去軌跡提示手法と、手がこれから動く先に軌跡が提示される未来軌跡提示手法を用いて比較を行った。ここで未来軌跡提示手法は、動画を再生しながら自身も動くというある程度振り付けを習得した段階に欲しいという意見が多かった。本システムでは、まだあまり振り付けを覚えていない振り付けを理解する段階を使用場面として想定しているため、過去軌跡提示手法を採用した。

図10に本システムの概略図を示す。本システムではまず、対象とするダンス動画をダンスの動きの切れ目に着目して部分動画群へと分割する。次に特に振り付けの中で複雑な動きになりやすい腕の動きに着目し、その部分動画内の手首の座標を推定することで、部分動画内での手の軌跡を作成する。また、部分動画の最後のフレームを画像化し、その画像上に手の動きの軌跡を過去軌跡提示手法により重畳付与する。本システムにより振り付けに基づき分割された複数枚の軌跡付与画像を並べて閲覧できることで、動きの理解につながると考えられる。

本システムの実現においては、振り付けに基づき分割された動画を1フレームずつ分割し、OpenPoseの改良版であるAlphaPose[29]を用いて姿勢推定を行い、Nフレーム分の推定された手の座標を結ぶことによって軌跡を作成する。姿勢推定の結果が実際の手首の位置と大きくずれているフレームは筆者が修正を行い、手が目視できない箇所については軌跡を付与しないとした。なお、画像上に提示する軌跡は3.2節と同様に15フレーム分とし(N=15)、Processingを用いて実装し、RGB=(255, 140, 0)、透明度は140で設定した。

システムは2つの画面で構成されており、1画面目は動画再生の機能を備えた画面である(図11)。右上の”select”と表示されているボタンを押すことで2画面目に遷移する。2画面目では、遷移前に表示していた箇所の直後の軌跡付与画像が並べて提示される。ここで



直後のフレームを全て提示してしまうと動きに変化がないフレームも表示されてしまうので、動きの切れ目となるフレームのみを表示するのが効果的と考えた。ダンスの自動分割については遠藤ら[20]の研究があるが、精度面に問題がある。ここで、Rivièreら[19]の研究によると、ダンス上級者の振り付けの分割方法が参考になると明らかになっている。今回はそもそも提示手法の効果を検証するものであるため、自動分割には取り組まず、ダンス経験10年の著者が振り付けの切れ目となるフレームを選定した。ユーザが動画内のあるシーンを選択した後に画面遷移し選択箇所の前20フレーム、選択箇所の後ろ60フレームの範囲にある筆者が選定したフレームを提示した(図12)。各画像には抽出された画像の直前15フレーム分の軌跡が描画されている。本システムを、Swiftを用いてiPhone向けのiOSアプリケーションとして実装した。

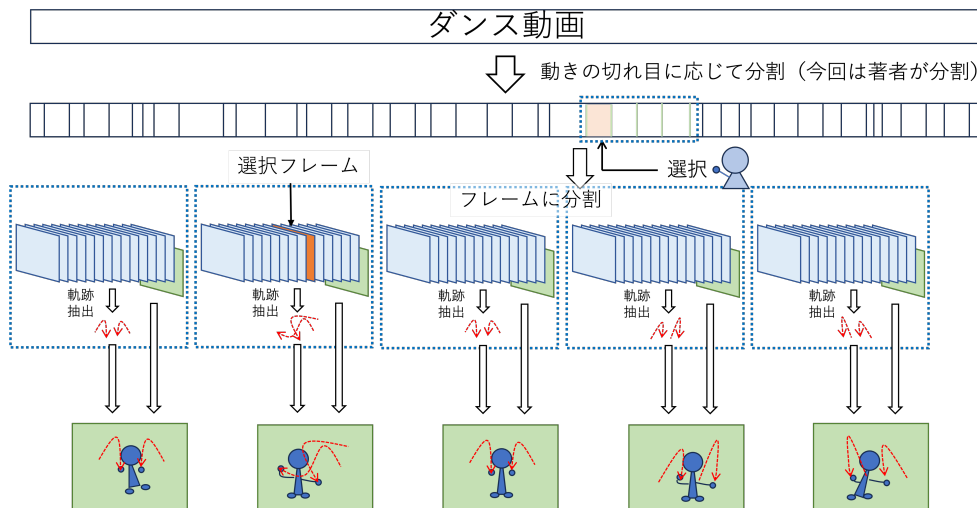


図10 システム概略図

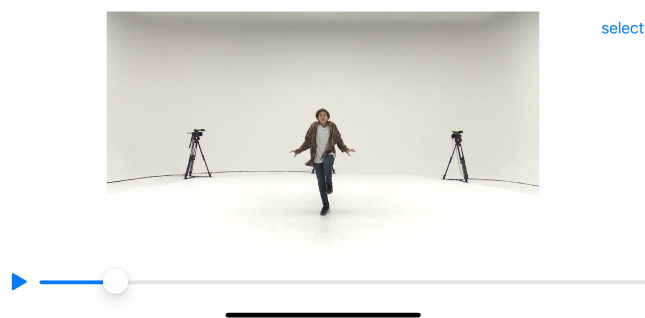


図11 動画再生画面

[< Back](#)

図12 画像表示画面

### 4.3. 実験手順

実験で用いるダンス動画は、3.2節同様 AIST Dance Video Database の Advanced Dance の中から選定した。2本のダンス動画を選定し、選定した動画の長さは38秒と48秒であった。実験ではまず実験協力者にシステムを用いて5分間は実際に踊らず、画像表示機能も用いずに動画を見てもらった。この5分間で、実験協力者には振り付けの全体の流れや、どこが難しそうかを把握してもらった。次に、その後の15分間は自由に踊ってもらい、画像表示機能も自由に使うこととした。ここでは、最初の5分間で難しいと思ったところから順に練習するように指示した。その後、難しいと思った箇所を習得できたと思ったら、動画を冒頭から覚えるように指示した。

画像表示機能を用いた際に、動画の何秒の箇所に使ったのかとタイムスタンプをデータベースに登録した。また、合計20分間の振り付け習得時間後に主観評価アンケートを実施した(表9)。この一連の流れをダンス動画2本で行ってもらった。なお、ダンス動画の提示順序は実験協力者により変更した。

### 4.4. 実験結果

実験協力者は、ダンスサークルにおいてダンスに取り組んだ経験がある15名(男性5名、女性10名)であった。表9の設問1の振り付けの難易度の項目の平均点は動画1が3.66、動画2が4.00と点数に差はなかった。難易度評価の結果として、全てのダンス歴4年以上の実験協力者は動画2の方が難しいと述べていた。また、2つの振り付けの難しかった点を質問した設問2では、2本の動画それぞれの特徴に言及した回答が見られた。具体的には、動画1については細かい動きや速い動きが難しかったという回答が多く、動画2では滑らかな動きが難しかったという回答が多かった。

システムを用いた感想を問う設問 4~7 においては、どちらの動画においても似通った感想が得られた。システムの良かった点としては、「手の起動が見えやすかった」、「動きが分割されていることで1つ1つの動きを理解しやすかった」という感想が多かった。一方、システムの悪かった点としては、「体が横向きになった時の手の動きがわかりづらい」、「自分が見たいフレームが表示されていない」という感想が見られた。また、動画2においては足の動きが難しい振り付けがあったため、「システムを用いても足の動きはわかりづらかった」という感想が見られた。さらに、実験において自分が選択したフレームが必ず抜き出されるとは限らないため、選択した箇所がどこに表示されているのかが分かりにくいという意見があった。

次にシステムの使用回数と使用位置を動画1、動画2でまとめたものが図13、14である。図の横軸は実験開始からの時間（実際にシステムを操作するのは5分後なので、5~20分の間）、縦軸はその動画内で指定した位置を意味している。この結果より、動画1、動画2ともに実験前半の5~10分、終盤の15~20分の間でのシステムの利用回数が多いことが読み取れる。また、実験前半で選択されている箇所は図12ではさまざまな秒数の箇所が選ばれているものの、図14では10秒以下の箇所に集中していることがわかる。

次に、実際にある実験協力者がシステムを使用したログを図示したものが図15~17である。縦軸、横軸ともに図13、14と同様である。この結果より、図15では前半はさまざまな箇所を確認しているが、後半には動画の冒頭から細かく確認していることが読み取れる。また、図16においては前半と後半で実験協力者が同じ箇所を何回も確認していることが読み取れる。図17は本来想定していた理想的なシステムの使用ログとなっていて、実験前半にわからない箇所をピンポイントで確認していると読み取れる。

表9 主観評価アンケート

	質問内容	解答形式
1	振り付けの難易度	5段階評価：1（簡単だった）~5（難しかった）
2	振り付けの難しいと感じた点	自由記述
3	振り付けを理解できたか	5段階評価：1（理解できなかった）~5（理解できた）
4	システムの良かった点	自由記述
5	システムの悪かった点	自由記述
6	システムを用いて動きがわかりやすくなった例	自由記述
7	システムを用いて動きがわかりにくかった例	自由記述
8	システムを使って振り付けを習得しやすくなると感じたか	5段階評価： 1（習得しづらくなると感じた） ~5（習得しやすくなると感じた）
9	感想	自由記述

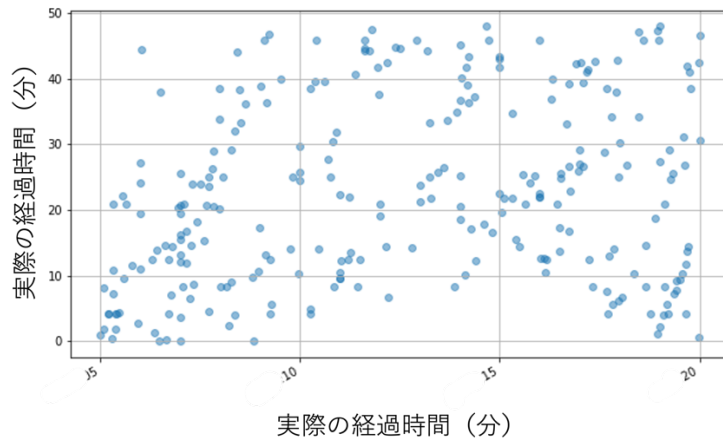


図13 システムの使用タイミングと使用位置 (動画1)

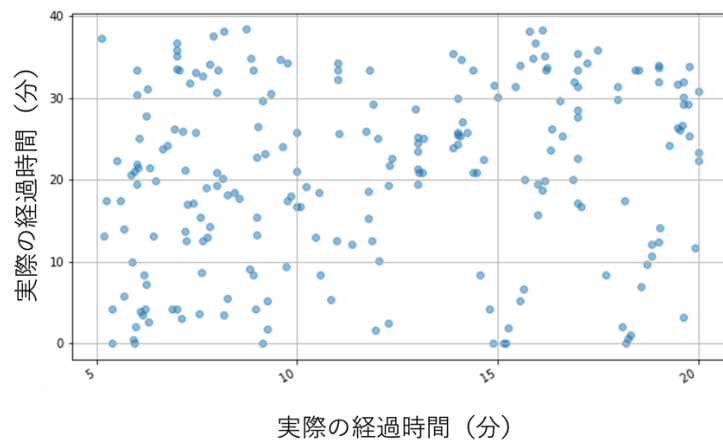


図14 システムの使用タイミングと使用位置 (動画2)

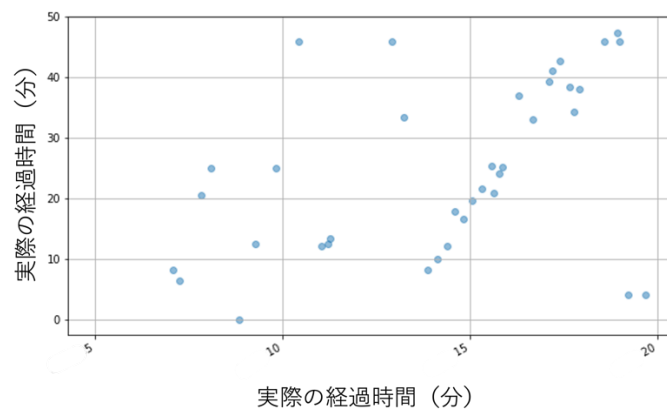


図15 ある実験協力者のシステム使用ログ (動画1)

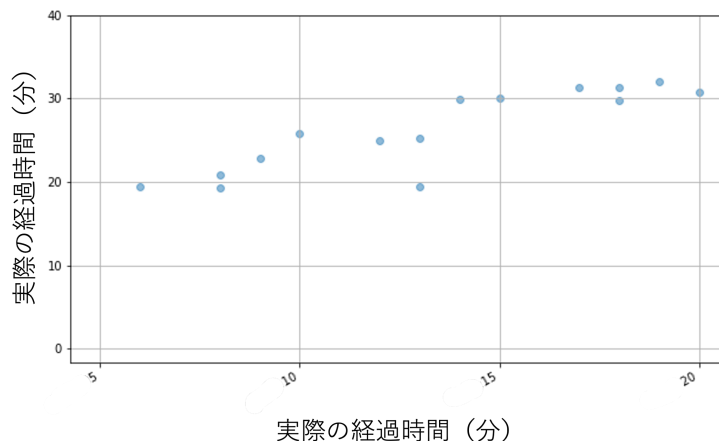


図 16 ある実験協力者のシステム使用ログ (動画 2)

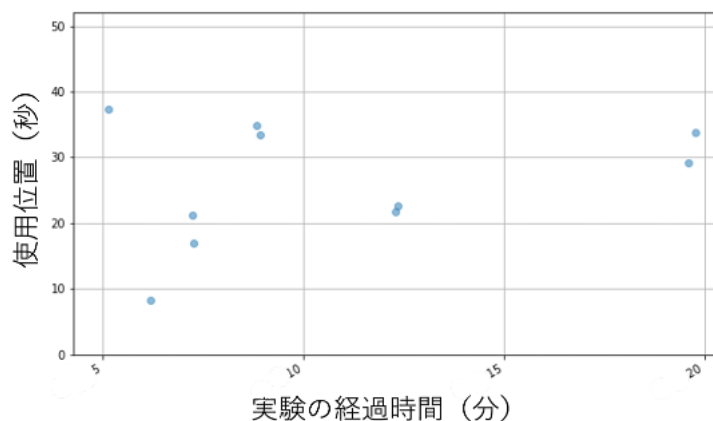


図 17 システムの理想的な使用ログ (動画 1)

#### 4.5. 考察

振り付けの難易度の評価値は差がなかったものの、ダンス経験の長い実験協力者の評価が一致していたことから 2 本の動画の特徴が異なっていたと考えられる。動画 1 は細かい動きや速い動きが含まれており細かい分割が効果的だったのに対し、動画 2 は滑らかな動きが含まれており細かく分割することが難しい振り付けであった。ここで、実験協力者によって振り付け分割の技能に違いがあったと考えられる。振り付けを覚えるときに、ある実験協力者は振り付けをざっくり分割しそれをより細かく分割して理解するのに対し、ざっくり分割することを苦手としており、分割を行わない実験協力者も存在したと考えられる。そのため、動画の分割難易度の差と実験協力者の分割技能の差によって難易度評価の平均点には差がなかったと考えられる。

システムを用いた感想からシステムの良かった点として、「手の軌道が見えやすかった」、「動きが分割されていることで 1 つ 1 つの動きを理解しやすかった」という意見が

あった。これらについてはシステムの目的通りに腕の動きの習得支援ができていると考えられる。一方、システムの悪かった点として、「体が横向きになったときの手の動きがわかりづらい」、「システムを用いても足の動きは分かりづらかった」という回答が見られた。今回は見えていない腕の動きは対象としておらず、動きの中でも特に難しいと考えられる腕の動きに限定していた。他の部位の動きの習得支援する場合には、動きの特徴が異なるので軌跡提示以外の方法が効果的だと考えられる。また、「自分が見たいフレームが表示されていない」という回答があった。本システムは図10のようにユーザが選択したフレーム（図中でオレンジ色で示したフレーム）が表示されてはいなかった。そのため、自身が選択したフレームが画像のどこに該当するのかが不明瞭であった。この意見をもとに5章の実験に向けての改善として、振り付けの切れ目となるフレームだけでなく選択したフレームを必ず表示するようにする。

全体のシステムの使用タイミングと使用位置に関する図13、14に着目すると、始めの5分間（横軸としては5~10分の間）で難しいと思ったところから取り組むように指示していたため、動画1では動画の前半10秒間に特に難しい箇所があったことが推察される。難しいと思ったところから取り組むという指示がなくとも、より多くのユーザのシステム使用箇所のデータが集まることによって、振り付けの難所の推定が可能だと考えられる。また、実験前半の5分間、終盤の5分間でシステムの使用が多かったのは、前半は実験の指示に従って動きを理解するために使用する人が多く、終盤には図15のように覚えた動きを確認するために用いていたためだと考えられる。図16の使用ログの例では何度も20、25、30秒付近を見ていることから、見たい画像を表示しようと試行錯誤していたものと考えられる。こちらは自身が選択したフレームを必ず提示することによって解決すると考えられる。

## 第5章 システムを用いた振り付け習得実験

### 5.1. 実験概要

4章で得られた意見を基にシステムの改善を行う。また、4章の実験では動画を見てどのくらい理解できたか主観アンケートで回答してもらったが、実際に踊ったものを客観評価していなかった。そのため、本章では実際に振り付けを習得してもらい、踊った動画をダンス上級者に評価してもらう。

### 5.2. システム改善点

4章で得られた「自分が見たいフレームが表示されていない」という意見をもとにシステムの改善を行う。具体的には、動きの切れ目となるフレームだけでなくユーザが選択したフレームも表示されるように変更を行なった。これまでは動きの切れ目となる画像のみをアプリケーション内に保存していたが、ユーザが選択したフレームを表示するためには全てのフレームを取り入れる必要があり、アプリケーションの容量が大きくなってしまった。そこで軌跡付与した画像をデータベースに入れておき、そこから画像を引き出し表示するように変更した。これによって全てのフレームを表示対象として取り扱えるようになった。また、動画再生機能のインターフェースについても改善を行った。システムの利用画面を図18, 19に示す。4章の実験において画像表示画面から動画再生画面に戻る際に元々見ていた秒数にシークするようにしていたが、シーク位置がずれる不具合が生じていたため修正を行なった。その他シークバーのタップ判定が鈍い箇所があったため、動画再生画面の改善を行なった。

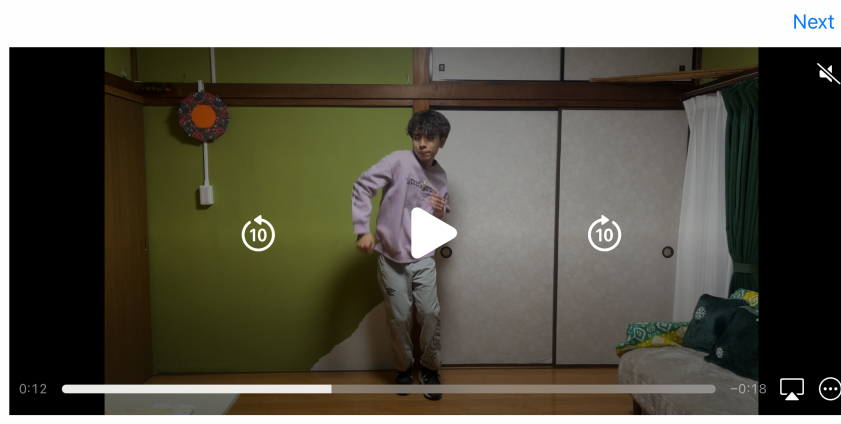


図18 改善後：動画再生画面

[< Back](#)[Next View](#)

図 19 改善後：画像表示画面

### 5.3. 実験手順

実験協力者は、ダンスサークルにおいてダンス経験のある 15 名（男性 6 名，女性 9 名）であった。習得してもらった振り付けの動画は著者が作成した。使用楽曲は bpm90 付近であること、曲の中に複数の音が混在している箇所が少ないことを条件として選定した。bpm については実験協力者が普段踊る楽曲は 80~120bpm に収まることが多いので、bpm は 90 付近を選定基準とした。また、曲に含まれる音の数については、曲の中に複数の音が混在しているとリズムキープが難しくなると考えたため選定基準とした。以上の基準をもとに「くるり-琥珀色の街、上海蟹の朝」，「クボタカイ-Wakakusa Night.」の 2 曲を選定した。

振り付けは Hiphop をベースとして腕の動きが重視されるようにそれぞれ 8 小節分作成した。

実験協力者には片方の動画はシステムなし，もう片方はシステムありで 40 分間練習してもらい，練習終了後に動画撮影を行なった。動画とシステムの組み合わせ，動画の順番はランダムとした。それぞれの動画撮影後に主観評価アンケートに回答してもらった。主観評価アンケートの項目は表 9 と同様であり，システムなしの場合はシステムに関する設問 4~8 を省いたアンケートに回答してもらった。

撮影したダンス動画は Hiphop ダンスの指導をプロから長期間受けていた社会人 2 名（指導を受けていた歴はそれぞれ 6 年間，8 年間）に客観評価アンケート（表 10）を用いて評価を行ってもらった。



表 10 客観評価アンケート

ページ数	質問内容	回答形式
1 ページ目	見本と似ているか	5段階評価 1 (似ていない) ~5 (似ている)
2 ページ目	動きが音と合っているか	5段階評価 1 (合っていない) ~5 (合っている)
	振り付けを覚えられているか	5段階評価 1 (覚えられていない) ~ 5 (覚えられている)
	胴体の動きが似ているか	5段階評価 1 (似ていない) ~5 (似ている)
	腕の動きが似ているか	5段階評価 1 (似ていない) ~5 (似ている)
	足の動きが似ているか	5段階評価 1 (似ていない) ~5 (似ている)
	その他気づいたことコメント	自由記述

#### 5.4. 実験結果

客観評価アンケートは評価者 2 名の平均点を評価値として取り扱う。実験の指示として動きがわからない箇所があった場合に画像表示機能を使用するように指示をしていたが、この機能を利用しなかった実験協力者が 3 名いたので分析対象から除外した。客観評価アンケートの見本と似ているかの項目について、動画ごとにまとめた結果を図 20 に示す。この結果より、動画 1 と動画 2 の間に難易度の差は見られなかった。次にシステムの有無によって見本と似ているかの項目と腕の動きが似ているかの項目についてまとめたものを図 21, 22 に示す。これらの結果よりシステムの有無によって見本の動画との類似度の評価値と、腕の動きの評価値の差は見られなかった。

次にシステムの使用ログについて図 23, 24 に示す。図 23 は動画 1, 動画 2 の平均が最も高かった実験協力者のシステム使用ログである。この結果より、システムを動画内のわからなかった箇所に対してピンポイントに使用していることが読み取れる。また図 24 は細かくシステムを使用していた実験協力者のシステム使用ログである。使用ログが線形に並んでいることから、動画の前から順にシステムを利用していることが確認できる。この他に 2 名が同様の使い方をしていた。

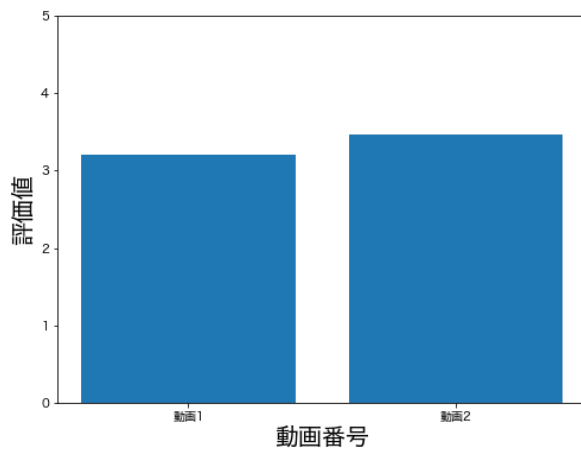


図 20 見本と似ているかの各動画の評価値

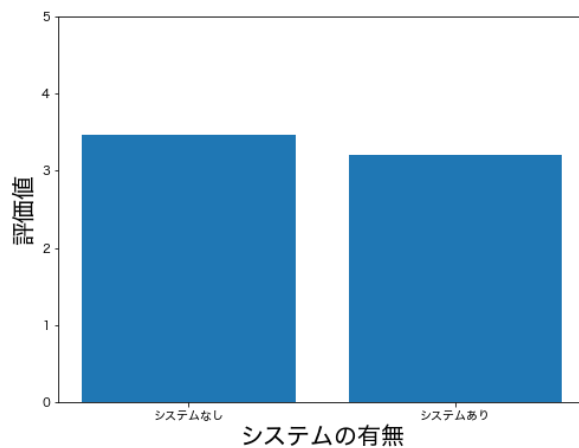


図 21 見本と似ているかの項目のシステムの有無による評価値

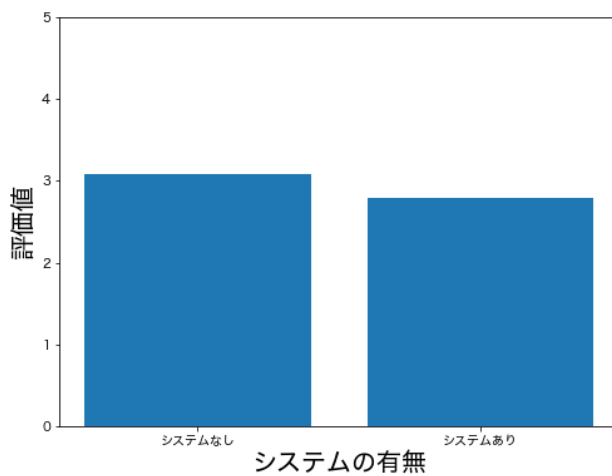


図 22 腕の動きが似ているかのシステムの有無による評価値

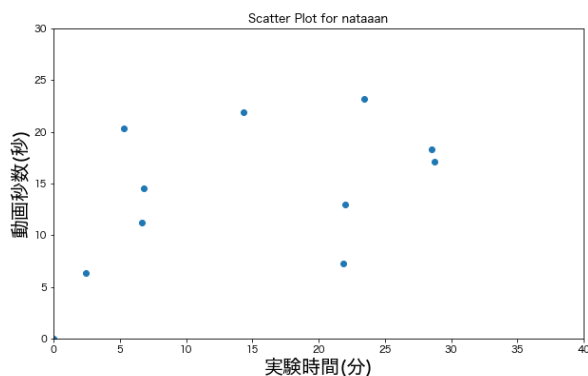


図 23 ピンポイントで見た際のシステム使用ログ

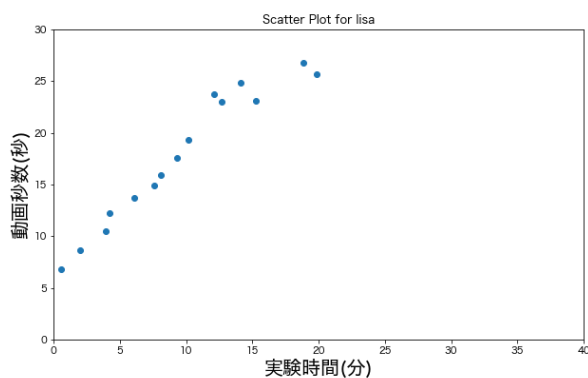


図 24 細かくシステムを用いた際のシステム使用ログ

## 5.5. 考察

まずシステムを利用しなかった実験協力者について考察を行う。自由記述でシステムを利用しなかった理由について「動きではなく音の取り方が難しかった」、「動きは比較的理解できていた」といったことが述べられていた。これら実験協力者に関しては振り付けの習得よりも、音の取り方の習得をかなり優先していたと考えられる。また、音の取り方を確認したのちに振り付けの細部を確認するには十分な時間がなかったと考えられる。本システムは音の取り方についてはある程度動画から読み取れるという前提で、振り付けの習得支援を行うことを目的としていた。そのため、音の取り方で苦戦するユーザはその習得を優先するため、動きを習得するための本システムの使用タイミングは遅くなると考えられる。このようなユーザにとってはシステムを操作せずに動きを把握する機会がある、軌跡付与動画の方が使いやすい可能性がある。

次に客観評価アンケートの結果について考察を行う。図 20 において動画間に難易度の差が見られなく、平均点が 3 に近いことから振り付けの難易度設定は適切だったと考えられ

る。一方、システムありとシステムなしどちらの場合においても見本と似ているかの評価値が4.5以上だった実験協力者が3名いた。この3名については想定していた実験協力者のレベルから外れていたと考えられる。次に図21, 22においてシステムの有無によって評価値に差が見られなかったことについて考察を行う。この理由としてシステムの使い方にユーザが慣れていなかったことが考えられる。本システムは振り付けのわからない箇所に対して用いることで動きを確認することを想定していたが、その通りに使用する実験協力者は少なかった。これについてはシステムの使用ログにおいて後述する。また、想定よりもレベルの高い実験協力者がいたことも影響していると考えられる。

システムの使用ログの図23より、想定通りの利用方法でシステムを利用する実験協力者がいたことがわかる。しかし、図24のように細かく確認する実験協力者や、システムの利用をしなかった実験協力者が大半を占めた結果となった。本システムは使用するにあたって、音の取り方がわかっていること、ユーザ自身が振り付けの理解できていない箇所がわかっていることを前提としていた。しかし、ユーザにとって音の取り方を動画から理解する難度が高く、システムの利用が難しかったと考えられる。そのため、音の取り方を苦手とするユーザは音がある状態で軌跡を見ることができると軌跡付与動画の方が使用しやすく、音の取り方が理解できているユーザにとっては本システムの方が使用しやすい可能性がある。

## 第6章 総合考察と今後の展望

### 6.1. 実験と分析を踏まえた総合考察

本章では、これまでに行なった実験やその結果を通しての総合的な考察を行う。まず、見本の動画、画像に対して手の軌跡を描画することによって腕の動きの習得を支援できたのかについて確認をする。

3章において動画に対する軌跡付与によって、腕の動きの習得度、理解度に影響を与えるのか調査した。その結果、腕の振り付けが目立つ振り付けにおいて腕の動きの習得度に役立つことが明らかになった。また、動きによっては軌跡の付与することでわかりづらくなる動きがあることが明らかになった。次に4章において、動画の選択箇所を軌跡付与した画像にして並べて提示する機能を持った動画再生アプリケーションを実装し、動画を見て振り付けを理解してもらった実験を通してシステムのテストを行い、フィードバックをもらった。その結果、表示される画像にユーザ自身が選択したフレームがないことに違和感があることが明らかになった。5章ではこの改善点を修正し、実際にダンス動画から振り付けを習得する実験を行いシステムの有用性について調査を行なった。その結果、システムによって腕の動きの習得に差は見られなかったものの、ユーザによってはシステムを振り付けのわからない箇所に対して使用できていたことから、ユーザのレベルによって適した提示方法が異なることが考察できた。具体的には音の取り方の理解を苦手とするユーザには軌跡付与動画が好ましく、音の取り方の理解ができるユーザにとっては軌跡付与画像による提示が好ましいと考えられる。

本研究では動きの中でも特に難度が高い腕の動きに注目していたが、ダンスにおいて習得が難しい技術は様々存在する。本研究で用いた可視化方法や提示方法を応用することによって、ダンスの他の技術の習得支援が可能になることが期待される。また、ダンス以外のスポーツなどにおいても新たに習得する技能の習得支援が可能になることが期待される。

### 6.2. 制約と今後の展望

これまでの実験で提案手法を用いた腕の動きの習得支援が可能であることを示した。しかし、本研究にも制約が存在する。まず、軌跡付与によって他の部位の動きや、音の取り方の習得が難しくなる可能性が存在する。具体的には、軌跡を提示することで過度に腕の動きに目が向いてしまい、足などの他の部位の動きの習得が疎かになる恐れがある。また、動画や画像に対して軌跡が重なっていることで他の部位の動きの視認性を低下させる可能性が挙げられる。実際に実験協力者からの意見として、足の動きがわかりにくかったといった意見が見られた。そのため、振り付けの難所を考慮した提示方法や、習得支援が考えられる。動画から振り付けの難所を推定し、腕が難所な場合は軌跡付与を行い、他の部位

が難所な場合は別の提示手法を用いるのは一つの理想形だと考えられる。また、実装面においては姿勢推定の精度が課題としてある。軌跡付与動画、軌跡付与画像を作成する際に姿勢推定ライブラリを用いているが、体が横向きの場合や、手が交差している場合の精度は低い。そのため、現状は著者が姿勢推定の結果を目視で確認し、誤っている箇所については修正を行っている。今後より高精度な姿勢推定が登場することによって、実装のコストが低下すると考えられる。また同様に実装面の課題として、振り付けの切れ目の抽出が挙げられる。4, 5章において振り付けの切れ目となる箇所は著者が選定していた。振り付けの自動分割についての研究として遠藤ら[20]の研究があるが、この研究においては振り付けのおおまかな分割に取り組んでいる。本研究で必要なのはより細かい分割であるが、この手法を応用することによって可能となることが期待される。姿勢推定の精度と振り付けの自動分割が可能になることによって、動画や画像に対する軌跡付与が自動でできるようになり、ユーザが軌跡付与したい動画に対して軌跡を付与できるようになると考えられる。

現状用いられているダンスの習得支援のためのアプリケーションとして、SymPlayer[42]などが存在するが動画反転、速度変更、ループ再生などには対応しているが、動画再生機能の面以外からの習得支援には取り組んでいない。本システムの理想形として、ユーザが練習したい動画をアップロードすることで動画を分析し、振り付けに応じた習得支援を行うことが考えられる。その習得支援の一つとして本研究が役立つことが期待される。

## 第7章 おわりに

本研究ではダンスのパフォーマンス動画を見て腕の動きを習得することが難しいという問題に着目し、見本の動画、画像化したものに対して手の軌跡を描画する手法を提案した。この手法によって手の動きが可視化され、腕の動きの習得支援に役立つと考えた。手法の影響を調査するために、まず軌跡を付与した動画を作成し、振り付け習得実験を行なった。習得してもらった後に動画撮影を行い、ダンス上級者に評価をしてもらった。その結果、腕の動きの評価値について有意な差がある動画があることが明らかになった。次に軌跡付与した動画が具体的にどのような動きに対して効果的だったのかを調査するために、穴埋め問題を用いた動きの理解度調査を行なった。その結果、手を「どのように」動かすかの項目において軌跡提示ありの場合の点数の方が高い傾向が見られた。次に、ユーザが動画とともに動いている軌跡を同時に認識する必要があり、その把握が容易ではないと考え、動画ではなく静止画に対して軌跡の付与をしたものが動きの習得に役立つのではないかと考えた。通常動画再生機能に軌跡付与画像の提示の機能を加えたシステムを実装し、このシステムを用いてユーザに振り付けを理解してもらおう実験を行なった。この実験においてシステムに対するフィードバックを集めシステムの改善に役立てた。具体的なフィードバックとして、「自分が見たいフレームが表示されていない」、「ユーザインタフェースが使いづらい」というフィードバックが得られ、これを元にシステムの改善を行なった。その後、改善したシステムを用いて振り付けの習得実験を行なった。軌跡付与動画の実験と同様に撮影した動画をダンス上級者に評価してもらった結果、評価値に差は見られなかったものの、ユーザのレベルによって適した提示方法が異なる可能性が示唆された。今後の展望として動画の難度の高い箇所や、ユーザのレベルに沿った習得支援を行うことでより良い習得支援ができると考えられる。

本研究が独学でダンスを学びたいユーザの手助けになることを望む。

## 謝辞

本研究に取り組むにあたってお世話になった方々にこの場を借りて感謝を申し上げます。はじめに、研究への取り組み方や論文執筆、発表準備などについて多くのご指導をいただいた中村聡史先生に深く感謝いたします。また、研究の議論や論文執筆の際のチェックなど様々な場面で協力していただいた中村研究室の皆様にも感謝いたします。自分が中村研究室に在籍していた5年間は取り組みたいことに取り組むことができ、研究室は中村先生や研究室に所属する学生との議論を行いやすい環境にありました。ここでの5年間で自分1人では得られなかったであろう視点を得られ、貴重な経験を積むことができました。今後、ここで得た経験を活かし、より多くのことを学んでいきたいと思っております。ありがとうございました。

最後に、これまでの大学・大学院生活において関わってくださった方々に改めて感謝いたします。



## 参考文献

- [1] 濱野 智史. ニコニコ動画はいかなる点で特異なのか: 「擬似同期」「N次創作」「Fluxonomy (フラクソノミー)」. 情報処理 (情報処理学会誌) . 2012, vol. 53, no. 5, p. 489-494.
- [2] Fujimoto, M., Tsukamoto, M. and Terada, T.. A Dance Training System that Maps Self-Images onto an Instruction Video. The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, 2012, p. 309-314.
- [3] Eaves, D. L., Breslin, G., Schalk, van. P., Robinson, E. and Separs, R. I.. The Short-Term Effects of Real-Time Virtual Reality Feedback on Motor Learning in Dance. Presence Teleoperators and Virtual Environments, 2011, vol. 20, no. 1, p. 62-77.
- [4] 土田修平, 深山覚, 濱崎雅弘, 後藤真孝. AIST Dance Video Database: ダンス情報処理研究のためのストリート ダンス動画データベース. 研究報告音楽情報科学 (MUS) , 2020, vol. 2020-MUS-126, no. 9, p. 1-10.
- [5] Tsuchida, S., Mao, H., Okamoto, H., Suzuki, Y., Kanada, R., Hori, T., Terada, T. and Tsukamoto, M.. Dance Practice System that Shows What You Would Look Like if You Could Master the Dance. Proceedings of the 8th International Conference on Movement and Computing, 2022, no. 15, p. 1-8.
- [6] Nakamura, A., Tabata, S., Ueda, T., Kiyofuji, S. and Kuno, Y.. Dance training system with active vibro-devices and a mobile image display. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005.
- [7] Grosshauser., T., Blasing, B., Spieth, C. and Hermann, T.. Wearable Sensor Based Real-Time Sonification of Motion and Foot Pressure in Dance Teaching and Training. Journal of the Audio Engineering Society, 2012, vol. 60, no. 7, p. 580-589.
- [8] Senecal, S., Nijdam, N. A., Aristidou, A. and Magnenat-Thalmann, N.. Salsa dance learning evaluation and motion analysis in gamified virtual reality environment. Multimedia Tools and Applications, 2020, vol. 79, p. 24621-24643.
- [9] Yang, U. and Kim, G.. Implementation and Evaluation of “Just Follow Me”: An Immersive, VR-Based, Motion-Training System. Presence, 2002, vol.11, no.3, p. 304-323.
- [10] Anderson, F., Grossman, T., Matejka, J. and Fitzmaurice, G.. YouMove: enhancing movement training with an augmented reality mirror. Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology, 2013, p. 311-320.
- [11] Molina-Tanco, L., García-Berdónés, C. and Reyes-Lecuona, A.. The Delay Mirror: A Technological Innovation Specific to the Dance Studio. Proceedings of the 4th International Conference on Movement Computing, 2017, no. 9, p. 1-6.
- [12] Kyan, M., Sun, G., Li, H., Zhong, L., Muneesawang, P., Dong, N., Elder, Bruce. and Guan, L.. An Approach to Ballet Dance Training through MS Kinect and Visualization in a CAVE

- Virtual Reality Environment. *Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2015, vol. 6, no. 23, p. 1-37
- [13] Elsayed, H., Hoffmann, P., Günther, S., Schmitz, M., Weigel, M., Mühlhäuser and M, Müller, F.. CameraReady: Assessing the Influence of Display Types and Visualizations on Posture Guidance. *Deigning Interactive Systems Conference*, 2021, p. 1046-1055.
- [14] Raheb, K., Stergiou, M., Katifori, A. and Ioannidls, Y.. Dance Interactive Learning Systems: A Study on Interaction Workflow and Teaching Approaches. *ACM Computing Surveys*, vol. 52, no. 50, p. 1-37.
- [15] Usui, Y., Sato, K. and Watabe, S.. Learning Hawaiian hula dance by using tablet computer. *SIGGRAPH Asia 2015 Symposium on Education*, 2015, no. 6, p. 1-2.
- [16] 斎藤光, 徳久弘樹, 中村聡史, 小松孝徳. ダンス動画へのオノマトペ付与によるダンス習得促進手法. *情報処理学会研究会報告グループウェアとネットワークサービス (GN)*, 2020, vol. 2020-GN-109, no. 33, p. 1-8.
- [17] 天野海都, 三浦健, 梶ちか子. ダンス動画を用いたストリートダンス指導における伝達方法の違いが動作習得過程に及ぼす影響. *スポーツパフォーマンス研究*, 2023, vol. 15, p. 176-185.
- [18] Fdili Alaoui. S., Bevilacqua. F., Bermudez. B. and Jacquemin. C.. Dance interaction with physical model visuals. *International Journal of Arts and Technology*, 2013, vol. 6, no. 4, p. 357-387.
- [19] Rivière, J. P., Alaoui, S. F., Caramiaux, B. and Mackay, W. E.. Capturing Movement Decomposition to Support Learning and Teaching in Contemporary Dance. *Proceeding of the ACM on Human-Computer Interaction*, 2019, vol. 3, no. 86, p. 1-22.
- [20] 遠藤輝貴, 土田修平, 五十嵐健夫. 振りの理解を助けるためのダンス動画の自動分割. *日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ(Web)*, 2022, p. 98
- [21] Alexiadis, DS., Kelly, P., Daras, P. and O'Connor., N. E.. Evaluating a dancer's performance using kinect-based skeleton tracking. *Proceeding of the 19th ACM international conference on Multimedia*, 2011, p. 659-662.
- [22] Furuichi S., Abe K., and Nakamura. S.. The possibility of personality extraction using skeletal information in hip-hop dance by human or machine, 17th IFIP TC.13 International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT 2019), Vol.11749, pp.511 - 519, 2019.
- [23] Piana, S., Alborno, P., Niewiadomski, R., Mancini, M., Volpe, G. and Camurri, A. Movement Fluidity Analysis Based on Performance and Perception. *Proceeding of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2016, p. 1629-1636.
- [24] Niewiadomski, R., Mancini, M., Plana, S., Alborno, P., Volpe, G. and Camurri, A.. Low-

- intrusive recognition of expressive movement qualities. Proceedings of the 19th ACM International Conference on Multimodal Interaction, 2017, p. 230-237.
- [25] Tang, H., Luo, Y. and Yang, J. Research on Dance Movement Evaluation Method Based on Deep Learning Posture Estimation. 2022 2nd International Conference on Big Data Engineering and Education (BDEE), 2022, p. 173-177.
- [26] Kato M., Goncharenko I. and Gu Y.. Investigation of Posture Similarity Metrics for Online Dance Learning Support. 2023 International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan), 2023, p. 229-230.
- [27] Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S.-E. and Sheikh, Y.. OpenPose: realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields, arXiv:1812.08008 (2018)
- [28] Zhou Z., Xu A., and Yatani K.. SyncUp: Vision-Based Practice Support for Synchronized Dancing. Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol., 5(3), Sept. 2021.
- [29] H.-S. Fang, S. Xie, Y.-W. Tai, and C. Lu. RMPE: Regional Multi-person Pose Estimation. 2017, In ICCV.
- [30] 剣持若菜, 河瀬彰宏, ダンスの質的評価に関する視線の分析, 2021, vol.2021-MUS-130, p. 1-5.
- [31] 新野大輔, 井尻敬. 姿勢検出法を活用したスポーツ反復練習のためのスマートミラーシステム. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, 2019, p. 138-144.
- [32] 武藤駿嗣, 新野大輔, 井尻敬. スポーツ連続写真の等身大可視化. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, 2019, p. 154-157.
- [33] 篁俊市郎, 斎藤隆文, 田中秀幸. スポーツ指導のためのビデオ映像処理. 情報処理学会研究報告, 2003, vol. 2003, no. 15, p. 37-42.
- [34] 鳶田聡, 鈴木章, 米村俊一, 小島明. 映像視聴によるスポーツ動作分析のための画像情報提示方法. 画像電子学会誌, 2012, vol 41, no. 1, p. 65-72.
- [35] 龍野翔, 早川智彦, 石川正俊. ボウリング投球動作を対象とした電気刺激によるスポーツスキル習得支援システムの開発. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2017, vol.22, no. 4, p. 447-455.
- [36] 神田賢一, 山形佳祐, 大本義正, 西田豊明. 熟練者の知識構造の構築と可視化による動作習得支援システムの構築. 人工知能学会全国大会論文集, 2012.
- [37] Qi A., 柳井香史朗, 中川純希, 温文, 山川博司, 山下淳, 浅間一. 実映像と筋活動の重畳表示によるローイング動作教育システム. 日本機械学会論文集, vol.82, no.834.
- [38] Shimooka, H. and Umemura, K.. Trajectory Study of Ballroom Dance Using Millisecond Video Analysis. ISBS – Conference Proceedings Archive, 30 International Conference on Biomechanics in Sports, 2012, p. 335-338.
- [39] 小坂晋, 柴田傑, 玉本英夫, 桂博章, 横山洋之. 三味線演奏における基本動作習得のための特徴表示システムの提案. 情報科学技術フォーラム講演論文集, 2011, vol. 10, no. 4, p. 421-426.

- [40] Sunada, H., Yokoyama, K., Hirata, T. and Matsukawa, T.. Visualization system for the information measured by motion capture system. 2016 11th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), 2016, p. 21-26.
- [41] 砂田治弥, 横山清子, 松河剛司. 速度・加速度・筋電情報の身体部位の動作軌跡への重畳による動作の可視化 —塗装熟練技能工の塗装時の手の動きを例に—. 芸術科学論文誌, vol. 19, no. 5, p. 77-85.
- [42] “SymPlayer -動画ミラー反転でプロの動きをマスター”.  
<https://faboll.tattin.com/symplayer%E3%81%AE%E4%BD%BF%E3%81%84%E6%96%B9/>, (参照 2023-12-20).

## 研究業績

- [1] 中村 瞭汰, 松山 直人, 中村 聡史, 山中 祥太. プログレスバーと周辺の視覚刺激の進行方向が体感時間に与える影響, 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 (HCI) , Vol.2021-HCI-191, No.2, pp.1-8, 2021.
- [2] 青木 柊八, 中村 瞭汰, 中村 聡史, 山中 祥太. プログレスバーの周辺の視覚刺激と数え方による体感時間の変化の調査, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2021-HCI-195, No.31, pp.1-8, 2021.
- [3] 中村 瞭汰, 藤原 優花, 古市 冴佳, 中村 聡史. 見本のダンス動画に対する手の軌跡の付与が動きの習得に及ぼす影響の調査, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2022-HCI-198, No.11, pp.1-8, 2022.
- [4] 中村 瞭汰, 中村 聡史, 藤原 優花. ダンス動画への軌跡の重畳付与が動きの理解に及ぼす影響, HCG シンポジウム 2022, No.B-4-6, pp.1-8, 2022.
- [5] 小川 剣二郎, 青木 柊八, 中村 瞭汰, 山中 祥太. PC とスマートフォンにおけるプログレスバーと周辺視野への視覚刺激の提示による体感時間短縮効果の調査, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2023-HCI-202, No.55, pp.1-7, 2023.
- [6] 三山 貴也, 小川 剣二郎, 青木 柊八, 中村 瞭汰, 中村 聡史, 山中 祥太. 周辺視野への視覚刺激の提示が読み込み中のページ離脱率に及ぼす影響, 信学技報, Vol.123, No.188, HCS2023-63, pp.35-40.
- [7] 中村 瞭汰, 中村 聡史. ダンスの切れ目と動きを考慮した軌跡付与画像による振り付け習得支援, HCG シンポジウム 2023, No.B-6-1, 2023.