

# 「ザイを切る」動作に着目した鬼剣舞の 練習支援システムの試作

近藤 勝伍<sup>1,a)</sup> 塚田 浩二<sup>1</sup>

**概要:** 日本の様々な地域で古くから民俗芸能が伝承されているが、筆頭著者の出身地である岩手県北上市では「鬼剣舞（おにけんばい）」と呼ばれる芸能が伝承されている。鬼剣舞に固有の特徴的な動きとして、首を大きく振る「ザイを切る」という動作が挙げられる。「ザイを切る」動作は主に踊り手の判断で行われる動作で、動きやタイミングに明確な基準が存在していないため、練習が困難である。よって、本研究ではザイを切る動作に着目した練習支援を行うシステムを開発する。6軸慣性センサを用いて踊り手の頭頂部と背面腰部の加速度・角速度を取得し、ザイを切る動作区間を自動抽出した上で、その特徴を動画と合わせて可視化することで、踊り手の練習支援を図る。さらに、性能評価実験を通してザイ区間検出機能の評価を、ユーザ評価実験を通して、システムの使いやすさ等の評価を試みる。

## Training Support System Focused on the “Shaking Zai” Motion in Onikenbai

SHOGO KONDO<sup>1,a)</sup> KOJI TSUKADA<sup>1</sup>

### 1. 序論

日本の様々な地域で古くから民俗芸能が伝承されているが、筆頭著者の出身地である岩手県北上市では「鬼剣舞（おにけんばい）」と呼ばれる民俗芸能が伝承されている。鬼剣舞は鬼のお面をつけて勇壮に踊ることからそう呼ばれるようになったが、本来は「念仏剣舞」と呼ばれる踊りの一種であり、モチーフは鬼ではなく仏である [1]。東京教育大学の松本ら [2] は、「鬼剣舞は舞楽のような端正に整った踊りではなく、身体の捻転やゆがみ、高速な手振りや力のこもった足踏みなど、より自由で開放的な素朴な動きの反復が見られる」と述べている。

鬼剣舞の特徴的として、「跳躍や屈伸」、「手指の動作」、「ザイを切る」動作が挙げられる。これらの動作の中でも特に印象的なものが、「ザイを切る」動作である（図 1）。「ザイ」とは、鬼剣舞の装束の一つで、馬の毛の束を円形の土台に縫い付け冠状に成型し、頭に装着するものである。

ザイを切る動作はザイを素早く水平方向に靡かせるように首を振る動作である。



図 1: ザイを切る様子

「ザイを切る」動作は、鬼剣舞の各演目の要所要所に見られる。池田ら [3] は、「ザイを切る舞踊動作は、単純に舞踊として観ていると、視覚的印象をもっとも強く抱くもので、鬼剣舞を鬼剣舞たらしめている特徴といえる」と述べている。ザイを切る場所はある程度決まっているものの、踊り手が踊りに迫力を持たせるために任意のタイミングで行う。例として鬼剣舞の代表的な演目である「一番庭」で

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学  
Future University Hakodate

<sup>a)</sup> g2122025@fun.ac.jp

はザイを切ることができる箇所は約 70 箇所存在するが、踊り手によらず必ずザイを切る箇所は 6 箇所程度である。

踊り手である筆頭著者自身の経験を踏まえると、鬼剣舞における自己練習の手順は以下の 3 つのステップに分けることができる。

- (1) 自分の踊りを動画で撮影する
- (2) 自分の踊りと熟練者の動画を見比べる
- (3) 動作を頭の中で想像し、真似をして練習する

このステップを繰り返すことにより、熟練者の踊りと自分の踊りの差を縮めていく。しかし、動画で見比べるだけでは体のひねりやザイを切る際の角度などの細かい癖までは真似をすることができない。特にザイを切る動作は踊り手毎に切るタイミングも異なるため、練習が困難であると考えた。

本研究では、ザイを切る動作に着目した鬼剣舞の練習を支援するシステムを提案する。2 台の 6 軸慣性センサを用いて練習者の頭頂部と背面腰部の加速度・角速度を検出し、そこからザイを切る動作区間を自動抽出する。さらに、動作の特徴を動画と合わせて可視化するシステムを実装する。このようにして、ザイの切り方の理解の補助や反復練習の効率化を目指す。

## 2. 関連研究

この章では、本研究の関連研究について、「画像処理技術を用いたダンス研究」、「センサモジュールを用いたダンス研究」の 2 つの観点から紹介する。

### 2.1 画像処理技術を用いたダンス研究

川西ら [4] は、ダンサーが無意識のうちに行っている動作の修正点を見出す作業を支援する可視化システムの開発を行った。同一ダンサーによる複数回のダンスについて、Azure Kinect で計測し、モーション間の差異に関する分類結果を可視化することでユーザの練習を支援する。Anbarsanti ら [5] はインドネシアに伝わる伝統的な踊りである「Likok Pulo」のジェスチャーを認識するシステムを開発した。このシステムは、XBOX Kinect で取得したデータを隠れマルコフモデルを用いて作成した分類器に入力し、ジェスチャーを 6 つに分類する。遠藤ら [6] は、ダンサーが効率的にダンスの振りを学習することができるダンス動画の自動分割システムを開発した。このシステムは、ダンス動画中のダンサーの体や手の位置から視覚的特徴量と音楽から聴覚特徴量を計算し、これらを Temporal Convolutional Network に入力して動画の分割位置を求める。土田ら [7] は、ダンスの学習者がプロのダンサーのように踊っている自身の映像を見せることでダンスの習得を支援するシステムを開発した。このシステムは、深層学習による映像生成技術を用いて、参照中のダンサーの動作を模

倣する学習者自身の映像を自動生成する。Zhou ら [8] は、シンクロダンスの練習を支援するシステムの開発を行った。このシステムは、ダンサー同士のポーズの類似性のみならず、動きの同期性をコンピュータビジョン技術で定量的に評価し、グラフや動画上のオーバーレイとしてポーズや動きのタイミングのズレを可視化する。Dayrit ら [9] は、Kinect v2 を 2 台用いて動作の学習を支援するシステムの開発を行った。このシステムは、教師の踊りを 2 台のカメラで姿勢推定し、画面内のユーザの隣に教師の踊りを AR で投影することで練習を支援する。

### 2.2 センサモジュールを用いたダンス研究

次に「センサモジュールを用いたダンス研究の事例」を紹介する。松山ら [10] は、社交ダンスにおけるフィガー\*1という動作を視覚センサ、加速度センサ、ジャイロセンサなどのマルチモーダルセンサを用いて自動認識するシステムを開発した。社交ダンスは 2 人 1 組で行うため、既存の行動認識手法をそのまま適用することが難しかったが、マルチモーダルセンサを用いることで、撮影環境や遮蔽物などの影響を低減し、高精度なパフォーマンス分析を実現することができた。土居ら [11] はダンス初級者を対象に、アイソレーション練習支援システムを開発した。このシステムは、スマートフォンやスマートウォッチを用いて身体の可動部や軸部の加速度・角速度データを取得し、軸の安定性や可動部の動きを評価、振動やグラフなどでフィードバックする。Villa ら [12] はダンス学習における運動技能の習得とそれに関する知識の伝達を支援するシステムを開発した。このシステムは、ウェアラブルデバイスを用いて指導者と練習者の踊りをリアルタイムで比較し、練習者が指導者の踊りを追従できていなかった場合は振動や音でフィードバックする。Chan ら [13] は、モーションキャプチャと仮想現実 (VR) 技術を用いたダンスの練習支援システムを開発した。このシステムは、踊る練習者の動きをモーションキャプチャで取得し、熟練者の踊りと比較してどこが間違っているかをリアルタイムでフィードバックする。

### 2.3 本研究の特徴

本研究では、慣性センサを用いたアプローチをとるが、鬼剣舞の特徴的なザイを切る動作に着目し、ザイ区間の自動抽出や動作特徴の可視化システムを提供することで、効果的な練習支援を図る。

## 3. 提案

この章では本研究で提案するシステムのコンセプトとシステム要件について述べる。

\*1 フィガーとは、複数の脚の動きや上体の動きを組み合わせ、1 2 小節内で踊る短い振り付けやステップのことである。

### 3.1 コンセプト

本研究のコンセプトは以下の2点である。

- (1) ザイを切る動作の練習支援
- (2) 小型で可搬性のあるデバイス構成

1点目は、鬼剣舞の中でも特徴的な動作である「ザイを切る」動作に着目した練習支援を目指す点である。ザイを切る動作は、踊り手毎にタイミングや特徴が異なるため、練習が困難な動作の一つである。本研究では、ザイ区間の自動抽出や動作特徴の可視化等の機能を提供することで、課題解決を図る。

2点目は、小型で可搬性のあるデバイス構成を取る点である。踊り手たちは道場のみならず、各家庭でも踊りの練習を行うため、大掛かりなモーションキャプチャ等を利用することは難しい。そこで、6軸慣性センサを内蔵した2台のIoTマイコン(M5Stack Core2)を中心としたシステム構成を取る。

### 3.2 システム構成

本研究で提案するシステムの構成図を図2に示す。提案システムはユーザが装着するセンサデバイスとPCの2種類のハードウェアで基本的に構成される。動画の撮影はPC内蔵のWEBカメラや、スマートフォン等を利用する。提案するシステムのワークフローを説明する。まず、ユーザがセンサデバイスを頭と背面腰部に装着して踊ると、加速度・角速度データがBluetooth経由でホストPCに送信され、CSVファイルとして保存される。保存された一連のデータから、ザイを切っている区間を自動抽出し、ザイを切る動作の速度や角度、頭と腰の相関などのパラメータを抽出する。さらに、事前にシステムで取得された他の踊り手のデータとグラフなどで比較できるように可視化する。

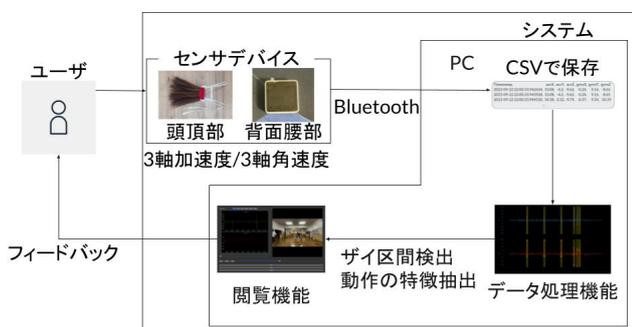


図2: システム構成図

## 4. 実装

この章では、本研究で実装したシステムの詳細について述べる。

### 4.1 ザイデバイスと固定方法

データを取得するにあたり、センサデバイスの選定を行った。このシステムではM5Stack Core2（以下、M5Core2とする）を用いる（図3）。M5Core2を用いた理由は6軸慣性センサを内蔵したIoTマイコンであり、電池持ちの良さやプログラミングが容易なためである。初期段階ではM5Stick-Cを用いていたが、15gと軽量である反面、30分程度しか電池が持たず、演目を通した使用が困難であった。M5Core2は重量が52gとM5Stick-Cに比べて重いという欠点があるが、ザイと一体化させた場合、ザイ自体にそれなりの重量(300g程度)があるのでザイを切る感覚への影響は小さいと考える。

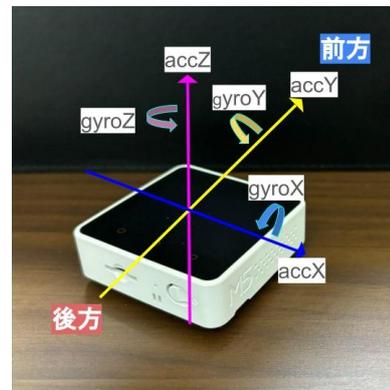


図3: M5Core2と6軸センサの対応

#### 4.1.1 ザイへの固定方法

ザイの動作を取得するために、M5Core2をザイに一体化させる手法を考案した。ザイと一体化することで、本番のザイを切る感覚を再現しやすいと考えた。M5Core2はマジックテープとポリエステル製のひもを用いてザイの土台の上部に固定した（図4）。マジックテープの片面をザイの土台上部に貼付し、それをポリエステル製のひもで縛った。もう片面のマジックテープをM5Core2に貼付し、ポリエステル製のひもを挟み込むようにしてマジックテープの両面を接着することで固定した。マジックテープの裏面は粘着シールになっていて単体でもそれなりの吸着力はあるが、強固に固定するためにポリエステル製のひもで縛り付ける手法を採用した。実際に装着して、ザイを切る動きをしてもずれないことを確認した。

#### 4.1.2 センサの装着位置

センサデバイスは頭頂部と背面腰部に装着する（図5）。頭頂部はザイ一体型センサデバイスを装着し、背面腰部は腰帯という鬼剣舞の衣装で包み込み、滑り止めテープで滑落しないように固定する。2台目のセンサを装着する位置として背面腰部を選んだのは、ザイを切る際のひねりの動作を抽出するために体の軸となる位置として適切であると考えたためである。

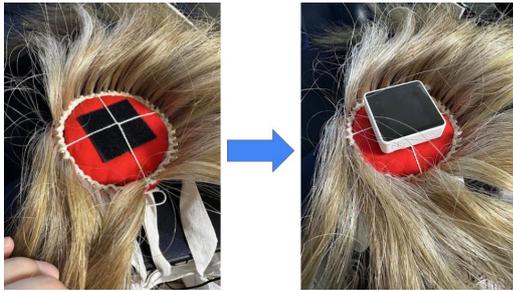


図 4: ザイへの M5Core2 の取り付け手法

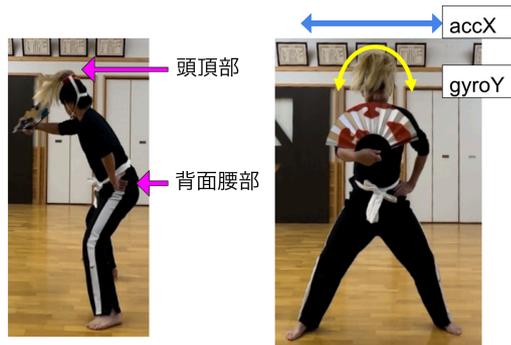


図 5: センサの装着位置と横方向の軸の対応

## 4.2 記録システム

データ保存機能を実現するために、加速度・角速度を取得し Bluetooth で送信する M5Core2 側のプログラムと、受信したデータにタイムスタンプをつけて CSV ファイルとして保存する PC 側のプログラムを作成した。

### 4.2.1 データの取得・保存

データを取得し送信する M5Core2 側のプログラムは、PlatformIO を用いて C++ で実装した。データは M5Core2 に内蔵されている加速度・角速度センサからパラメータとして accX, accY, accZ, gyroX, gyroY, gyroZ<sup>\*2</sup> の値を取得する。取得したデータを約 200Hz の間隔で Bluetooth シリアル通信で PC に送信する。また、送信モードと停止モードの 2 つのモードを切り替えることができる。データを受信して保存する PC 側のプログラムは、Python を用いて実装した。M5Core2 から Bluetooth シリアル通信で送信されたデータにタイムスタンプを付け加え、逐次処理で CSV ファイルに記述する。データは「Timestamp, accX, accY, accZ, gyroX, gyroY, gyroZ」の順で 1 行ごとに保存されていく。

以上の 2 つのプログラムを用いてデータを取得し保存する流れについて説明する。ユーザはまずセンサデバイスの電源を入れ、タッチパネル上でデータ送信モードにした状態でセンサデバイスを頭頂部と背面腰部に装着する。PC 側でセンサデバイスと Bluetooth ペアリングする操作をし、データ保存プログラムを起動する。踊りの計測を始める直前にユーザは PC 側のプログラムでデータ記録を開始

\*2 加速度の単位は  $\frac{1}{100}G$ 、角速度の単位は  $rad/s$  である。

する。データ記録を開始すると、頭と腰の CSV ファイルが出力され、逐次的にデータが記述されていく。データの取得が終わったら、PC 側のプログラムでデータ取得を停止する。

## 4.3 ザイ区間検出

全体の踊りの中からザイ区間のみを抽出するために、頭頂部の accX と gyroY に着目したザイ区間自動検出プログラムを作成した。accX と gyroY は正面から見て左右方向の加速度と角速度に対応する (図 5 右)。滑り窓で頭頂部の accX と gyroY の変化量を求め、合計変化量の絶対値を降順でソートし、上位のものをザイ区間として出力する。accX と gyroY の変化量は、1 から -1 の範囲で正規化する。正規化したそれぞれの変化量を足し合わせ、合計変化量として扱う。

次に、ザイ区間自動検出の流れについて説明する (図 6)。初めの操作として、ユーザはザイ区間を検出したいデータのファイルを指定する。指定されたデータについて、0.7 秒間隔の滑り窓で accX と gyroY の変化量を求め、各軸の変化量の合計が大きい順で時間窓をソートする。なお、0.7 秒は、ザイを切る際に accX と gyroY の値が変化し始める直前から平常値になるまでの一般的な時間を観察して設定した。ソートした時間窓について、重複のないものだけを取り出し、その中で合計変化量が閾値よりも大きいものをザイ区間として出力する。閾値については、第 5 章のザイ区間検出性能の評価において最適な値を求める。

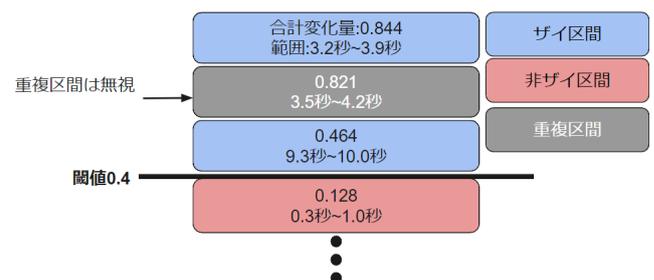


図 6: ザイ区間を自動で検出する場合の例

ザイ区間検出の出力例を図 7 に示す。グラフは accX の値を示している。プログラムで抽出したザイ区間は、グラフ上に黄色でハイライトして表示される。図の例では、40 秒の踊りの中で 6 回ザイを切っているデータをもとに出力を行い、正しいザイ区間を全て検出できた。

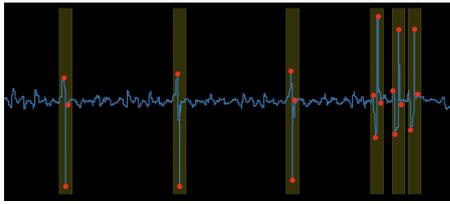


図 7: ザイ区間検出結果の一例

#### 4.4 ザイを切る動作の分析

鬼剣舞のザイを切る動作を評価するために、評価指標の検討とパラメータの抽出を行った。

##### 4.4.1 評価指標の検討

ザイを切る動作は、踊り手の感覚で洗練されてきたという歴史もあり、その評価指標はこれまで確立されていない。そのため、ザイを切る動作の評価指標を検討した。ザイを切る動作は、首だけを振る動作ではなく踊りの流れに一体化して現れる動作である。池田ら [3] によると、「ザイを切る動作は個別に扱われる〈振り〉ではなく振りの中で結果として生じる動作である」と述べている。このことから、ザイを切る動作を評価するには、ザイを切る瞬間の頭の動きに加えて、前後の全身動作にも着目すべきだと考えた。

ザイを切る際の頭部の動きを評価する指標として、「速度」や「角度」、「ザイを切る方向」、「溜めの回数」などが挙げられる。溜めとは、ザイを切る方向とは逆方向に頭を傾ける準備動作である。今回はザイを切る動作のキレや大きさを評価する指標として、「速度」と「角度」に注目する。ザイを切る際に付随する全身動作として、「跳躍」や「重心上下」、「ステップ」、「膝立ち」、「ひねり」などが挙げられる。跳躍には「片足跳躍」や「両足跳躍」、「回転」などのバリエーションがある。今回は頭と腰の連動を評価する指標として、「ひねり」に注目する。

##### 4.4.2 ザイ区間のパラメータの抽出

ザイの切り方を分析するために、前述した評価指標をもとにパラメータをザイ区間から抽出した。抽出したパラメータは以下の通りである。

- (1) ザイを切る動作の横方向の速度と角度
- (2) 頭と腰の各軸の相関値

(1) は、頭部の動きの評価指標として、ザイを切る動作のキレを「速度」、大きさを「角度」として抽出した。速さと角度はザイ区間内の  $accX$  と  $gyroY$  の値を台形積分することで求めた。ザイ区間内の最大速度と最大角度をザイを切る動作の「速度」・「角度」として抽出した。

(2) は、付随する全身動作の評価指標として、ひねりの動作を抽出した。ひねりの動作は垂直方向の軸の回転 ( $gyroZ$ ) について、頭と腰の相関を計算することで求めた。相関値の計算にはスピアマンの順位相関係数を用いた。頭と腰の  $gyroZ$  軸に負の相関があった場合、その軸方向に対して頭

と体は反対の動きをしており、ザイを切る動作にひねりがあると評価する。

これらのパラメータは1つのJSONファイル内にザイ区間ごとに分類して保存される。

#### 4.5 フィードバックシステム

ユーザに視覚的フィードバックを行うためのGUIの開発を行った。GUIはPython3.9のライブラリであるPyQt6を用いて実装した。GUIには「グラフ」、「アニメーション」、「動画」、「ボタン」の画面要素がある(図8)。

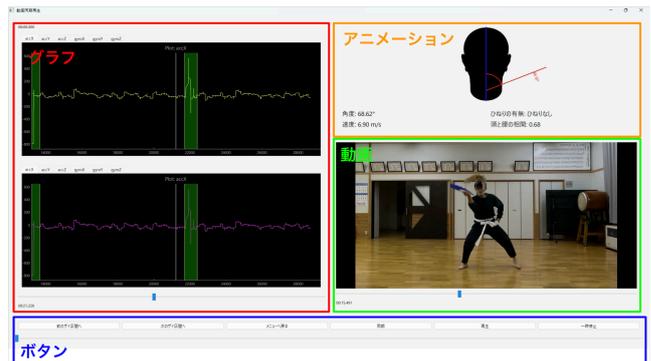


図 8: GUI の画面構成

グラフと動画の再生を同期する機能を実装した。図8に示すメイン画面で、「同期ボタン」を押すと、同期画面へ遷移し、グラフと動画の再生位置を同期することができる。同期画面でグラフ内の最初のザイ区間の位置と動画内のザイを切る位置を基準に同期ポイントを設定する。

グラフと動画の再生位置を前後のザイ区間へスキップする機能を実装した。UI上の「次のザイ区間」「前のザイ区間」の2つのボタンで操作することで、それぞれのザイ区間に再生位置をスキップすることができる。

ザイを切る動作をアニメーション表示する機能を実装した(図9)。アニメーションは、ザイを切る動作から抽出した角度をもとに描画される。頭を傾けるアニメーションは平常値から最大角度に至るまでの時間をもとに描画している。傾けた頭を0度に戻すアニメーションは、最大角度から平常値に戻る時間をもとに設定している。また、角度や速度、頭と腰の相関係数、ひねりの有無をアニメーションの下に文字で表示する。

出力されたフィードバックを二者間で並べて表示する機能を実装した(図10)。それぞれのフィードバックで、ザイを切る箇所の違いや、ザイを切る動作の大きさなどを比較することができる。

#### 5. 評価実験

この章では、本研究で実装したザイ区間検出機能の性能評価と、システムの印象評価について述べる。

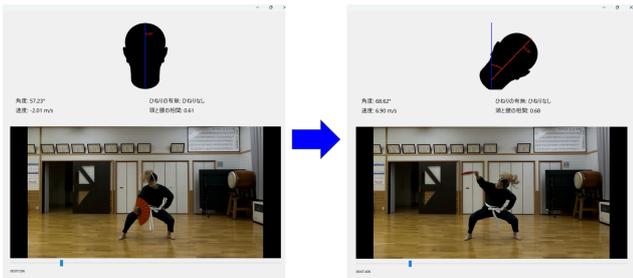


図 9: ザイを切る動作のアニメーション

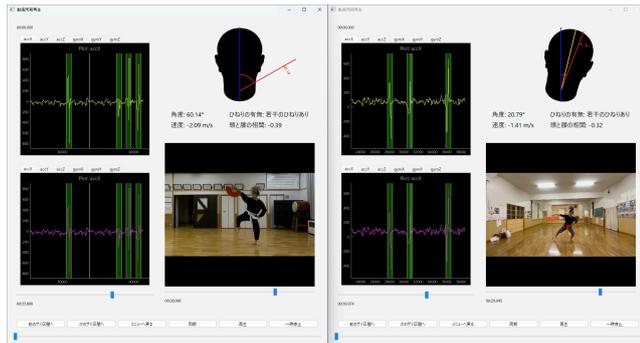


図 10: 二者間比較画面

## 5.1 性能評価

### 5.1.1 目的と手法

性能評価の目的は、本研究で実装したザイ区間検出機能の精度を検証することである。本実験では、ザイ区間検出機能について検出精度と最適な閾値条件を検証する。

実験手順について説明する。評価実験の準備として、2023年9月に鬼柳鬼剣舞、黒澤尻鬼剣舞に所属する10名の被験者からデータを収集した。今回は「一番庭」と呼ばれる基本的な演目の「早念仏」というパートのザイを切る動作のデータを収集した。「一番庭」には8種類ほどのパートが存在するが、今回は比較的ザイを切る箇所が多い「早念仏」のパートを選んだ。「早念仏」は40秒ほどの長さの踊りで、ザイを必ず切る場面が3箇所ある。被験者には頭頂部と背面腰部にセンサを装着してもらい、事前に録音した鬼剣舞の囃子に合わせて2回踊ってもらった。その様子を動画で撮影し、同時にシステムを用いて6軸慣性センサのデータをCSVファイルに記録した。まず、ザイを切る箇所の数をデータ収集の際に撮影した動画から目視で集計した。

次に、最適な閾値条件を決定するために、ザイ区間の候補となる全ての時間窓の合計変化量を1回目と2回目のデータに分けて集計した。合計変化量とは、accXとgyroYの正規化した変化量を足し合わせたものである。以降、1回目に取得したデータを「データ1」、2回目に取得したデータを「データ2」と呼ぶ。集計した合計変化量をザイ区間のものと非ザイ区間のものに分類し、それをもとに閾値条件を設定した。

データ2を用いて求めた閾値条件はデータ1に、データ1を用いて求めた閾値条件はデータ2に適用することで、ザイ区間の検出精度を求めた。

### 5.1.2 結果と考察

以下に実験の結果と考察を述べる。

まず、データ取得と同時に撮影した動画から目視でザイ区間を計数した。データ1とデータ2でそれぞれザイを切る回数を計数したが、全ての被験者においてデータ1とデータ2で同じ回数となった。ザイを切る回数の平均は5.9回、最少値が4、最多値が9であった。

閾値条件を決定するために、ザイ区間の最小の合計変化量をデータ1とデータ2に分けて踊り手ごとに調べた。また、その分布を示した箱ひげ図を図11に示す。データ1では、被験者4の0.218が最も小さい値となったが、主要な分布から外れていたため、この値は外れ値とした。次いで小さい値は被験者3の0.443であったため、1つ目の閾値条件は0.44とした。データ2では、被験者4の0.441が最も小さい値であったため、2つ目の閾値条件も0.44とした。

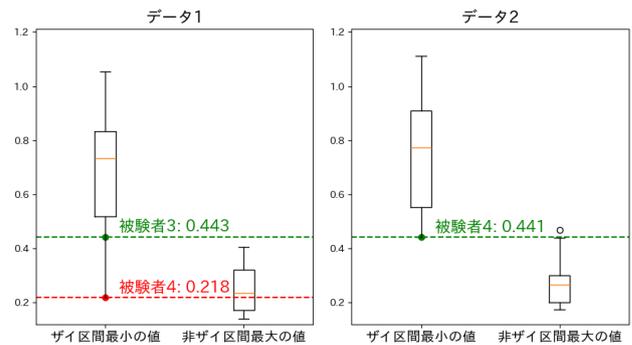


図 11: ザイ区間最小の合計変化量の分布

適合率と再現率、F値を表1に示す。

データ1では、適合率は100%、再現率は98.3%となり、F値は0.991だった。データ2では、適合率は98.3%、再現率は100%となり、F値は0.992だった。このように、両データ群に対して高い精度を達成した。これは閾値を0.44に設定した場合において、ザイ区間の自動検出が高い精度で可能であることを示している。

表 1: ザイ区間検出精度の結果

	適合率	再現率	F 値
データ 1	100%	98.3%	0.991
データ 2	98.3%	100%	0.992

しかし、今回設定した閾値条件は、「早念仏」という1つのパートに着目したデータを用いて導き出したものであるため、異なるパートのザイを切る動作においては正しくザイ区間を検出できない可能性がある。また、データ収集に協力していただいた「鬼柳鬼剣舞」と「黒澤尻鬼剣舞」の

踊り手はザイをはっきりと切る踊り手が多いため、単純な閾値設定の手法でザイを切る動作を検出することができたという可能性も考えられる。これらの問題に対応するために、他のパートのザイを切る動作や他の踊り手団体のデータも収集し、閾値条件の再検討や個人最適化などを検討していく。

## 5.2 印象評価

### 5.2.1 目的と手法

印象評価の目的は、本研究で実装したシステムの使いやすさ等を検証するためのものである。被験者は鬼柳鬼剣舞、黒澤尻鬼剣舞に所属する15名の踊り手で、平均鬼剣舞歴17年、年齢は10～50代、男性12名、女性3名であった。被験者は遠方に居住しているため、システム機能の動画をを用いて紹介したうえで、Google Formを用いて回答してもらった。評価の対象となる機能は以下の通りである。

- (1) ザイ区間強調表示機能
- (2) アニメーション機能
- (3) ザイ区間スキップ機能
- (4) 二者間比較機能

まず、各機能の説明を行う動画を見てもらい、個別の質問に5段階評価で答えてもらった。最後に、システム全体を通して、「ザイを切る動作の理解に役立つと思うか？」という質問に回答してもらった。また、各質問に自由記述欄を設け、理由等を記述させた。

### 5.2.2 結果と考察

評価の平均と標準偏差を表2に示す。まず、「ザイ区間強調表示機能」に関する評価では平均が3.9と比較的高かった。関連するコメントとして、「ザイを切る箇所はデータにするとわかりやすい」という意見があった。一方、「ザイを切る大体の箇所を全体で見たい」などの意見も見られた。そのため、ザイ区間強調をグラフ上に表示するのではなく、スライダー上などに表示し、踊り全体のどこでザイを切っているのかをフィードバックする必要があると考える。「アニメーション機能」に関する評価も平均3.9と比較的高かった。関連するコメントとして、「ザイを切る方向は分かりやすい」という意見があった。一方、「首の動きだけではなく、全身の一連の動きのアニメーションがある方が理解しやすい」という意見も見られた。そのため、頭に加え腰のデータも用いて、頭以外の動作の表示や3Dアニメーション化を実装も検討していく。一方、「ザイ区間スキップ機能」に関する評価では平均が3.5で標準偏差が1.19とやや意見が分かれる結果となった。関連するコメントとして、「ザイを切る一連の動きも見れるようにしてほしい」、「スロー映像があるとわかりやすい」という意見があった。この機能は反復練習の効率化を目指した機能であるが、ザイを切る瞬間しか見れず、常に等速再生されるた

め、効率化に結び付かないと感じた可能性がある。そのため、ザイを切る動作の一連の流れを把握するためにその前後の動きも含めて見れる機能や、細かい動作を把握するためにスローモーションで再生する機能も追加する必要があると考える。「二者間比較機能」に関する評価では、平均4.5と高い評価を受けている。「二者間比較機能」に関するコメントとして、「ザイを切るタイミングの違いが明確にわかる」という肯定的な意見がある一方で、「比較はよいが、踊る人の個性があるので参考にはなりにくい」、「お囃子やその時々により、踊りが変わるので単純比較はしないほうが良い」という意見も見られた。これは、ザイを切る動作が、踊り手の個性を表現する動作の一種であるためこのような意見が現れたのだと考える。そのため、単純比較ではなく、他の複数のデータと比較して、自分のザイを切る動作のどこにオリジナリティがあるのかを評価するような機能を実装する必要があると考える。また、二者のデータの囃子の速さが一致していない場合では現在のシステムでは比較することができない。そのため、囃子の速さに合わせて、動画の再生速度を調整して同期させる機能を追加する必要があると考える。

「システム全体」についての評価では、「ザイを切る動作の理解に役立つと思うか？」という質問では平均3.7、標準偏差が1.05となった。しかし、「システムを練習の中で利用してみたいと思うか？」という質問では、平均3.1、標準偏差1.33と意見が割れた。「システム全体」に関するコメントとして、「口伝以外の視覚的なツールとして有効だと思った」、「初心者にとっては有用であるが、高度な練習では難しいと感じた」という意見があった。これは、実際の練習の導入に関しては受け入れられていないことを示唆している。ザイを切る区間や動作を可視化しても、どのように練習に生かせばよいのか具体的なフィードバックがないため、このような結果になったのだと考えられる。そのため、抽出した速度や角度、ひねりについてより具体的なフィードバックをする必要があると考える。

今回行った印象評価は、各機能の説明を行う動画を提示しただけであり、実際にはシステムを使用してもらっておらず、提示したデータも被験者自身のデータではないため、実際の体験とは異なるものである。そのため、今後追加のユーザテストを行い、システムの有用性について再度検証したいと考えている。

## 6. まとめ

本報告では、鬼剣舞固有の「ザイを切る」動作について、M5Stack内蔵の6軸センサを用いて踊り手の頭頂部と背面腰部の加速度・角速度を取得し、ザイを切る動作区間を自動抽出した上で、その特徴を動画と合わせて可視化するシステムを構築した。さらに性能評価では、自動でザイ区間を抽出する場合では、実験で求めた閾値条件の場合、9

表 2: 評価の平均と標準偏差

機能	質問	平均	標準偏差
ザイ区間強調表示機能	ザイを切る動作区間を見つけやすかったか?	3.9	0.88
アニメーション機能	ザイを切る動作の特徴を表せているか?	3.9	0.80
ザイ区間スキップ機能	反復練習の効率化に役立つか?	3.5	1.19
二者間比較機能	2人のザイを切る動作の違いは分かりやすいか?	4.5	0.74
システム全体	ザイを切る動作の理解に役立つと思うか?	3.7	1.05
システム全体	このシステムを練習の中で利用してみたいと思うか?	3.1	1.33

割以上の精度でザイ区間を検出できることがわかった。また、ユーザ評価では、要素機能としては一定の有効性が認められたが、実験条件に多くの制約があったため、さらなる検証が必要であると考えられる。

今後の展望は主に3点が挙げられる。

1点目は、上級者のザイを切る動作の特徴分析である。このシステムを用いて可視化したデータについて、どのような特徴があるのかを若手の踊りと師匠の踊りを比較して特徴を分析したいと考えている。

2点目は、実際に被験者のデータを用いた追加のユーザテストである。今回行った印象評価では、被験者自身のデータに基づくフィードバックについては検証できていない。そのため、追加のユーザテストを行い、システムの有用性について再度検証する必要があると考える。

3点目は、今回実施した性能評価と印象評価の結果に基づくシステムの改良である。未知のデータに対応するザイ区間検出機能の改良や、UIの改良を考えたい。

## 参考文献

[1] 北上観光コンベンション協会: “鬼剣舞について”, <https://kitakami-kanko.jp/folkart/about-onikenbai/>, 2021-10-30.

[2] 松本千代栄, 相場了, 川口千代: 舞踏の比較研究-「舞楽」を中心として-, 日本女子体育連盟紀要, 1969, 1969(69-I), pp. 5-16.

[3] 池田宏子, 小島一成, 中村美奈子: 岩崎鬼剣舞の「ザイ」の動作特性-モーションキャプチャによる動作計測と舞踏の指導言語の分析を通して-, 情報処理学会, 人文科学とコンピュータ 研究報告, 2006, 2006-CH-71 (7), pp. 47-54.

[4] 川西真美, 土田修平: 伊藤貴之ダンスモーションの反復練習とその上達過程の可視化, 日本ソフトウェア科学会, WISS2021,2021,1-B04.

[5] Anbarsanti, N., & Prihatmanto, A.: Dance modelling, learning and recognition system of aceh traditional dance based on hidden markov model, *UTM Jurnal Teknologi*, 2015, vol.78, No. 2-2.

[6] 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 WISS2022 論文集, 2022, 08.

[7] 土田修平, MaoHaomin, 岡本秀明, 鈴木裕真, 金田麟太郎, 堀隆之, 寺田努, 塚本昌彦: ダンスをマスターした自身の映像を先に見ることによるダンス学習支援, 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), 2022, Vol. 6, pp. 1-8.

[8] Zhou, Z., Xu, A., & Yatani, K.: SyncUp: Vision-based

Practice Support for Synchronized Dancing, Association for Computing Machinery, *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable, and Ubiquitous Technology*, 2021, No.143, pp1-25.

[9] Dayrit, F. L., Kimura, R., Nakashima, Y., Blanco, A., Kawasaki, H., Ikeuchi, K., Sato, T., & Yokoya, N.: ReMagicMirror: Action Learning Using Human Reenactment with the Mirror Metaphor, *Springer Verlag, Proceedings - International Conference on Multimedia Modeling (MMM)*, 2017, pp303-315.

[10] 松山仁, 浦野健太, 廣井慧, 梶克彦, 米澤拓郎, 河口信夫: 社交ダンスの動作特性を考慮したマルチモーダルセンサによるダンスフィガー認識, 情報処理学会論文誌, 2020, Vol. 61, No.10, pp. 1591-1604.

[11] 土居将史, 塚田浩二: ダンスにおけるアイソレーション練習支援システム, 情報処理学会, インタラクシオン 2019, 2019, 3B-19.

[12] Villa, S., Niess, J., Eska, B., Schmidt, A., & Machulla, T.: Assisting Motor Skill Transfer for Dance Students Using Wearable Feedback, *Proceedings of the 2021 ACM International Symposium on Wearable Computers*, 2021, pp. 38-47.

[13] Chan, J. C., Leung, H., Tang, J. K., & Komura, K.: A Virtual Reality Dance Training System Using Motion Capture Technology, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2011, vol. 4, No. 2, pp. 187-195.