「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提案

近藤勝伍[1,a)]　塚田浩二[1]

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．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．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ことで，踊り手の技術向上を図る．

1. 背景と目的

1.1 鬼剣舞について

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．

1.2 鬼剣舞の特徴的な動作

鬼剣舞にはほかの舞踊にはあまり見られない特徴的な動作が存在する．その例として，「跳躍や屈伸」，「手指の動作」，「小道具を用いた動作」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（図 2）．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．

1.3 ザイを切る動作

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．

1.4 鬼剣舞の自己練習

踊り手である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．

1.5 本研究の目的

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

1 公立はこだて未来大学
a) g2122025@fun.ac.jp

図 1: ザイを切る様子

図 2: ザイの外観

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

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の事例」，「センサモジュールを用いたダンス研究の事例」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の事例

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．何ら [5] は，ダンス初級者を対象に，ダンス練習の動機付けを促進するためのシステムを開発した．このシステムではユーザのダンスに対して動きの判定機能を設けており，ダンスの良し悪しによってキャラクターからフィードバックを受けることができる．

2.2 センサモジュールを用いたダンス研究の事例

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．武川ら [6] はワイヤレスセンサモジュールを小道具に組み込んで用いる CG パフォーマンスシステムを開発した．このシステムは，小道具に仕込まれたセンサがダンサーの動きを計測し，スクリーンの CG とダンスを連動させる．松山ら [7] 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 [8] 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．

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

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，特

[*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た，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．

に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 3 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が，動画を撮影する場合は別途カメラを用意する．提案するシステムのワークフローを説明する．まず，ユーザはセンサデバイスを頭と背面腰部に装着して踊り，加速度・角速度データを Bluetooth 経由でホスト PC に送信したうえで，CSV ファイルに保存する．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．

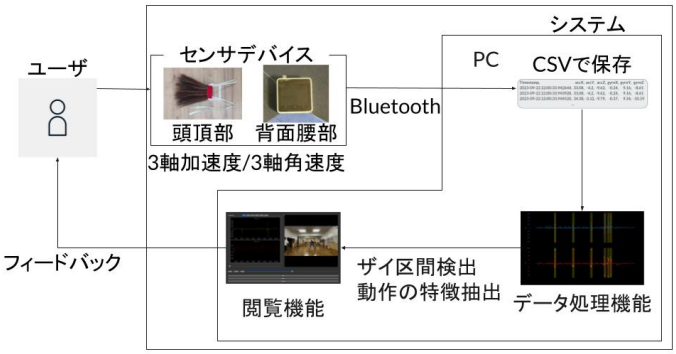

図 3: システム構成図

4.　実装

4.1　システム要件

まず，システム実装のための要件を説明する．

(1) データ保存機能
　(a) 2 つの 6 軸センサのデータを同時に取得し，保存する
(2) データ処理機能
　(a) 全体の踊りからザイ区間のみを抽出する
　(b) ザイを切る動作の速さや角度，頭と腰の連動を示すパラメータを抽出する
(3) データ閲覧機能
　(a) 記録した踊りのデータのグラフと動画を同期して再生する
　(b) ザイ区間のみに着目してデータを検索する

要件 1-a は，ユーザの踊りを定量的にデータ化するために設定した．

要件 2-a はザイ区間に着目したフィードバックをするために，要件 2-b はザイを切る動作の質を評価するために設定した．

要件 3-a は実際のザイを切る動作とデータがどのように関連しているかを確認するために，要件 3-b はザイ区間を飛ばし飛ばし見られるようにするために設定した．

4.2　センサデバイス

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 4）．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特徴があるためである．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，演目を通して使用している場合では途中でデータ取得が遮られてしまった．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．

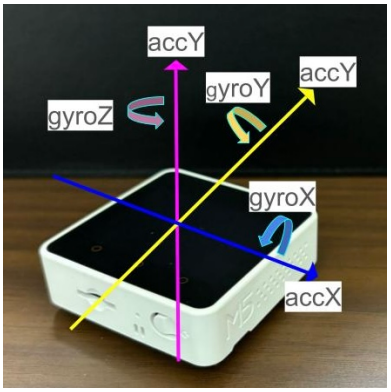

図 4: M5StackCore2 と 6 軸センサの対応

4.2.1　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 5）．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．

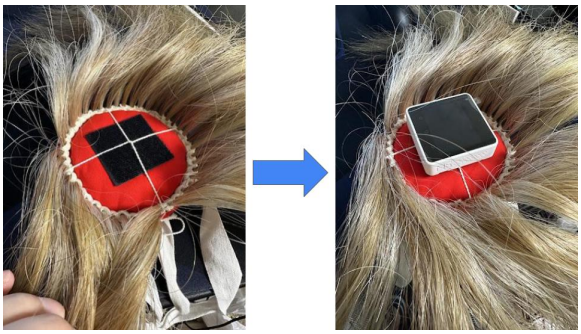

図 5: ザイへの M5Core2 取り付け手法

4.2.2　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 6）．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．

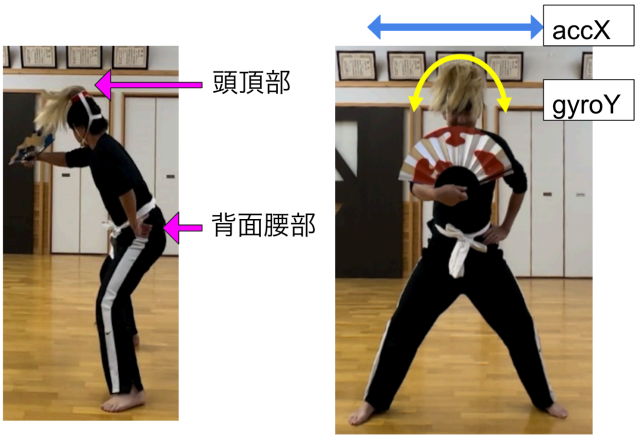

図 6: センサの装着位置と横方向の軸の対応

4.3　データの取得・保存

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．

4.3.1　データの取得

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[*2]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．

4.3.2　データの保存

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．

4.3.3　データの取得・保存の流れ

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，タッチパネルで操作し，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．

4.4　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，ザイ区間検出プログラムを作成した．このアルゴリズムは，滑り窓で頭頂部の accX と gyroY の変化率を求め，合計変化率が大きい順で上位のものをザイ区間として出力する．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 6 右）．

4.4.1　ザイ区間検出の流れ

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とザイ区間の数を指定する．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 の変化率を求め，各軸の変化率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．最後に，上位の時間窓から重複のないものを指定数だけザイ区間として出力する．

4.4.2　ザイ区間検出の出力

ザイ区間検出の出力結果を図 7 に示す．上のグラフは accX，下のグラフは gyroY 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．また，コマンドラインには検出されたザイ区間のタイムスタンプが出力される．図の例では，40 秒の

[*2] 加速度の単位は $\frac{1}{100}G$，角速度の単位は rad/s である．

踊りの中で 6 回ザイを切っているデータを入力し，ザイ区間の数を 6 に指定して出力を行った．その結果，正しいザイ区間を全て検出できた．

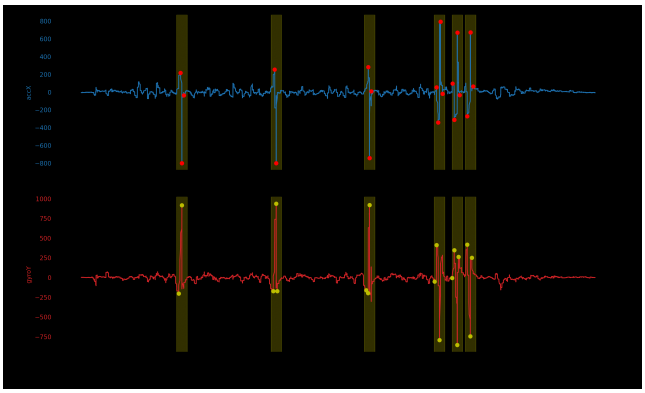

図 7: ザイ区間検出結果の一例

4.5　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．

4.5.1　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．今回は鬼剣舞の代表的な演目であり，最も基礎的でもある「一番庭」という演目を対象に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．

4.5.2　頭部の動き

ザイを切る際の頭部の動きを評価する指標として，「速さ」や「角度」，「ザイを切る方向」，「溜めの回数」などが挙げられる．「速さ」や「角度」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重要であると考える．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．

4.5.3　付随する全身動作

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．

4.5.4　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さと角度
(2) 頭と腰の各軸の相関値
(3) ザイ区間の accX と gyroY の極値

(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や大きさを抽出した．速さと角度は，それぞれ accX と gyroY の平常値から極値間の値を積分することで求めた．

(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．相関値の計算にはスピアマンの順位相関係数を用いた．頭と腰の各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できる．

(3) は，ザイを切る動作の力強さや安定性を評価するために極値を抽出した．極値は最大の加速度・角速度を示すため，ザイを切る動作の力強さを評価することができる．また，全ザイ区間の極値の標準偏差を求めることにより，ザイを切る動作の再現性や安定性を評価することができる．

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．

4.6　GUI の実装

データ閲覧機能では，データと動画を同期して再生する機能とザイ区間に再生位置をスキップする機能を実装した（図 8）．このプログラムは Python3.9 のライブラリである PyQt6 用いて作成した．

同期機能ではデータ保存プログラムで保存したデータとその際に撮影した動画を同期して再生することができる．表示されるグラフは，上が頭頂部のデータ，下が背面腰部のデータである．また，データと動画の再生位置はシークバーを使用して詳細に調整することが可能である．データと動画の同期は，ザイを切る最初の区間の開始点をグラフ上で指定し，動画でもシークバーで開始点を指定して行う．データについては頭と腰のそれぞれ対応した軸を同時に見ることができる．また，画面上部のタブで軸の表示を切り替えることができる．

ザイ区間に再生位置をスキップする機能では，UI 上の「次のザイ区間」「前のザイ区間」の二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．

ザイを切る動作のパラメータは，現時点では GUI 左上にテキストで表示されている．これは暫定的な仕様であり，より分かりやすい可視化手法の構築を進めている．

5.　まとめと今後の展望

本研究では，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．

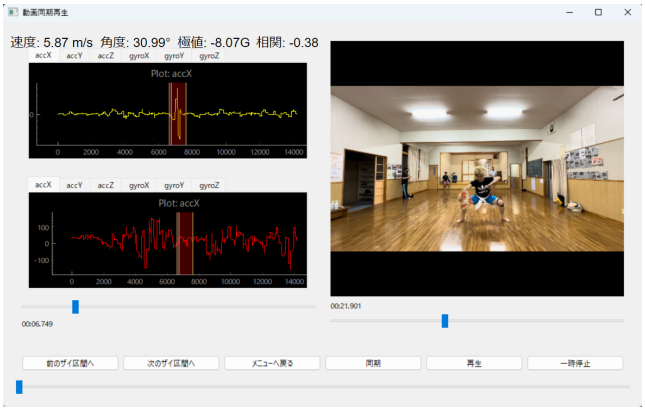

図 8: データ閲覧機能の GUI

今後の展望として，抽出したパラメータの可視化を含む GUI の改良とシステムの信頼性を検証する評価実験，練習支援システムとしての有用性を検証する評価実験を考えている．

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”，入手先 ⟨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(69-I)，pp5-16，1969.

[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踊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] 何毅・谷上明日華・鄭暁潔・彭以深・吉田匠吾・謝浩然・金井秀明・宮田一乗．FreeDnace: 適応型ダンス練習継続支援システム，情報処理学会，インタラクション 2021，2021，1A-12.

[6] 武川貴史・支倉孝光・寺内翼・古里春菜・細井一成・児玉幸子．小型ワイヤレスモーションセンサを小道具に組み込んだインタラクティブパフォーマンスシステムによるダンスパフォーマンスの構築，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2018 論文集，2018，pp.153-158.

[7] 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，2020，61，10，pp.1591-1604.

[8] 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，インタラクション 2019，2019，3B-19.