

## 相関による類似動作抽出に基づく舞踊動作の解析

川嶋 幸治 尺長 健

岡山大学 工学部 情報工学科

〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1

shaku@chino.it.okayama-u.ac.jp

あらまし: モーションキャプチャによって得られた舞踊動作データから振りを抽出する手法について述べる。舞踊動作データから振りを抽出することで、既存の舞踊の解析や新たな舞踊の創作が可能になると考えられる。本稿では、同一の振りが舞踊動作中に頻出することに着目し、舞踊動作データから得られる時系列相関行列上で類似姿勢・類似動作を抽出・解析することにより振りを抽出する手法を提案する。時系列相関行列を用いることで全ての類似姿勢の抽出が可能となり、類似姿勢の時系列である類似動作を基準とすることで汎用性の高い振り抽出を実現できる。実験結果により、性質の異なる2種類の舞踊(民族舞踊と競技ダンス)に対して提案手法が有効であることを示す。

### Dance Motion Analysis based on Furi Segment Extraction using Correlation

Koji KAWASHIMA, Takeshi SHAKUNAGA

Department of Information Technology, Faculty of Engineering, Okayama University

3-1-1 Tsushima-naka, Okayama, 700-8530, JAPAN

shaku@chino.it.okayama-u.ac.jp

**Abstract:** This paper discusses an analysis of dance motion when a sequence of 3d data is taken from a motion capture. The data sequence is segmented into Furi segments by a similarity analysis of normalized 3d vector data, where the normalization method and the similarity measure are proposed in this paper. Both of them are designed based on correlation between two sets of relative 3d vectors. Experimental results are also reported for a Japanese dance as well as for a ballroom dance.

## 1 はじめに

現在、コンピュータビジョン技術を利用した文化遺産コンテンツ化の研究が盛んに行われている。なかでも民族舞踊などの無形文化財は、後継者不足や模倣を通じた伝承 [1] など多くの問題を抱えており、そのコンテンツ化が急務である。

舞踊動作は、近年モーションキャプチャにより関節角度や3次元位置の時系列情報として容易に取得可能となった。なかでも光学式モーションキャプチャを用いることにより、被験者に負担が少なく、かつ動

きに制約が少ない自然な動作情報の計測が可能である。そこで、本稿では光学式モーションキャプチャによって計測された舞踊動作データを対象として、類似動作の解析法を提案し、その適用例を報告する。

一般に舞踊動作は「振り」と呼ばれる基本動作から構成されており、舞踊動作を振りに分解解析することで、舞踊動作の保存・編集などの応用が可能になると考えられる。これに対し、舞踊動作データを振りに分割する手法としては、従来、人体の静止状態を手がかりとして切り分ける方法 [2, 3] や、専門のオペレータが手動で切り分ける方法 [4] が取られて

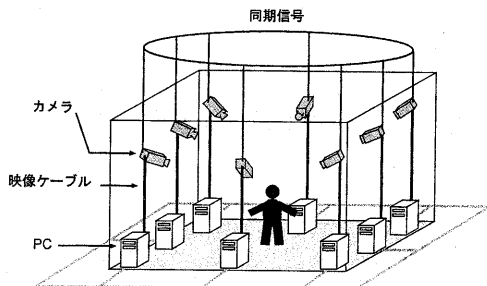


図 1: 多視点カメラシステム

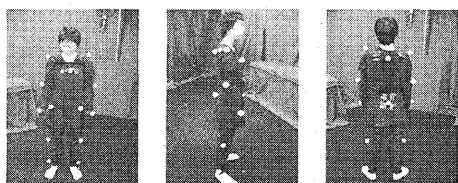


図 2: マーカ取り付け位置

きた。しかし、前者では、舞踊構造との関連性が低いという問題がある。また、後者には、解釈の安定しない舞踊動作を対象にするのが難しいという問題があり、自動化を目指す立場からは代替手段の確立が望まれる。そこで、本稿では専門のオペレータを必要とせず、舞踊動作中に存在する類似動作を自動的に抽出し、それを統合することで振りを抽出する手法について検討する。

## 2 舞踊動作データ

### 2.1 多視点カメラシステム

舞踊動作の撮影は、図 1 に示す多視点カメラシステムにより行う。各カメラは対象人物を取り囲むように設置し、あらかじめ校正されたものを用いる。各カメラで撮影された画像は PC に取り込まれ、PC クラスタ内で適宜情報を共有する。なお、カメラ間での撮影時刻の同期は、各カメラに共通の同期信号を入力することで実現している。

### 2.2 動作情報の計測

動作情報の計測は、図 2 のように 15 個のマーカを身体に取り付けた人物を多視点カメラシステムで撮影し、各マーカの 3 次元位置をステレオ法により復元することで行われる。身体的主要な動きを計測で

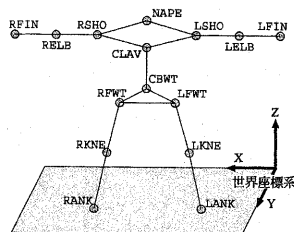


図 3: マーカの識別子

きるようにマーカは関節付近に取り付け、図 3 のように体節名に基づいた識別子が付けられている。以下、本稿では、ある時刻におけるマーカ 3 次元位置の集合を姿勢データと呼び、姿勢データの時系列を動作データと定義する。

計測に用いる座標系は、床面の垂直方向を Z 軸に持つ世界座標系とする。また、マーカ 3 次元位置復元で遮蔽などによる復元誤りが生じた場合については手動修正を施すことで対処した。

## 3 類似動作抽出に基づく舞踊動作解析

### 3.1 類似動作と振り

舞踊動作は振りを基本動作として構成されるため、その解析においては振りの抽出が前提となる [5]。ここで、振りとは演出の意味ではなく、舞踊中に含まれる数秒程度の全身動作を意味し、振りを並べることで舞踊を表現できる。従来、舞踊動作データからの振り抽出は、ヒューリスティックな基準に基づいて行われていた [2, 3]。しかし、これらの手法では十分な基準が得られていないため、専門家が手動で切り分けた振りとかげ離れた結果になるという問題点があった。

一方、舞踊動作においては、同じ振りがたびたび出現する傾向がある。本研究では、この点に着目し、舞踊動作中の異なる時刻に存在する類似した動作を振りとして抽出する。これによりあらかじめ動作データを切り分ける必要がなくなる。

類似した動作を抽出するためには、動作データ間の比較が必要となる。ここで、動作は姿勢の時系列であり、動作データの比較は、それを構成する姿勢データの比較に帰着できる。以下、2 つの姿勢データがどの程度類似しているかを示す尺度を姿勢類似度

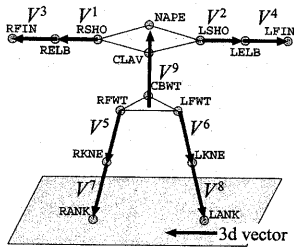


図 4: 体節ベクトルによる姿勢表現

と呼び、高い姿勢類似度を持つ姿勢を類似姿勢と呼ぶ。また、類似姿勢が一定時間以上持続する2つの動作を類似動作と呼ぶ。

以下、3.2節では姿勢データの正規化法を示し、3.3節では姿勢類似度を示す。また、3.4節では鏡像関係の取り扱いを示す。これらをもとにして、4章では類似動作解析と振りの抽出法を論じる。

## 3.2 姿勢データの正規化

### 3.2.1 姿勢データの相対化

2章で述べたモーションキャプチャシステムにより得られる動作情報は世界座標系で記述されているため、このままでは、姿勢データを比較することはできない。そのため、立ち位置や人体の向きに関する正規化が必要となる。また、マーカ3次元位置情報は、撮影の都合上決められたものであるため、人体構造を考慮した姿勢表現に変換することが望ましいと考えられる。

そこで、マーカ3次元位置情報を図4に示す体節を表す9つの3次元ベクトル（以下、体節ベクトルと呼ぶ）に変換する。この変換によりマーカ3次元位置情報を相対化された姿勢パラメータとして表現することができる。

また、人体の向きの違い（体節ベクトルに変換後のZ軸周りの回転）に対処するため、体節ベクトルに変換された姿勢データに対し向きの正規化を行う。

### 3.2.2 複素相関による向きの正規化

姿勢データの向きを合わせるために複素相関を用いる。複素相関を2次元形状解析に用いることにより、2つの形状の類似度と位相差を同時に得ることができる[6, 7]。この複素相関により姿勢データ間のZ

軸周りの位相差を算出し、2つの姿勢データの向きを合わせる。以下に、複素相関による位相差算出について述べる。

ある時刻の姿勢データを $V$ 、体節 $p$  ( $1 \leq p \leq 9$ )に対応する体節ベクトルを $V^p$ とし、以下で定義する。

$$V = [V^1 V^2 \dots V^p \dots V^9] \quad (1)$$

ここで、 $V^p$ は3次元ベクトルとする。

$$V^p = [V^{px} V^{py} V^{pz}]^T \quad (2)$$

$j$ を虚数単位とし、 $V^p$ のZ軸以外の2軸を用いた複素表現 $v^p$ を次式で定義する。

$$v^p = V^{px} + jV^{py} \quad (3)$$

また、 $v^p$ の複素共役を $v^{p*}$ で表す。

$$v^{p*} = V^{px} - jV^{py} \quad (4)$$

複素表現による2つの姿勢データ $v, v'$ が与えられた場合、複素相関は次式により求められる。

$$C_{v, v'} = \sum_{p=1}^9 w_p v^p v'^{p*} \quad (5)$$

$$= |C_{v, v'}| e^{j\theta} \quad (6)$$

ここで、 $\theta$ は姿勢データ間のZ軸周りの位相差であり次式で表される。

$$\theta = \arg C_{v, v'} \quad (7)$$

なお、 $w_p$ は舞踊毎に算出される体節 $p$ の重みとし、舞踊の特性を考慮するために用いる。

## 3.3 姿勢類似度

類似動作の抽出は、動作データを構成する各時刻の姿勢データ間で姿勢類似度を求めることにより行う。比較する2つの姿勢データ $V, V'$ は、3.2.2節で述べた向きの正規化が行われているものとする。このとき、姿勢類似度は、次式に示す体節ベクトルの正規化相関の重み付き和により定義できる。

$$d(V, V') = \sum_{p=1}^9 w_p \frac{V^{pT} V'^p}{\|V^p\| \|V'^p\|} \quad (8)$$

この姿勢類似度を用いることで姿勢の時系列として表される動作の比較が可能となる。

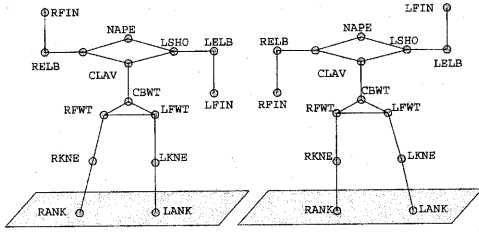


図 5: 鏡像関係

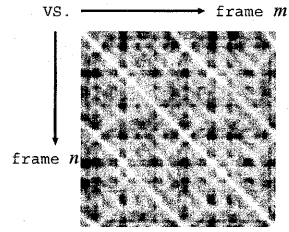


図 6: 時系列自己相関行列

### 3.4 鏡像関係の取り扱い

人体には強い対称性があり、図5に示す一方を左右反転して一致する関係(以下、鏡像関係と呼ぶ)が存在する。この鏡像関係に着目することにより、姿勢類似度の概念を拡張できる。以下、一方を左右反転した場合に一致する姿勢を鏡像姿勢と呼ぶ。鏡像姿勢もまた、複素相関を用いることにより容易に検出可能である[6]。

鏡像関係を取り扱うため、 $v^p$  および  $V^p$  に対しその反関数を次式で定義する。

$$\widehat{v}^p = v^{\bar{p}*} \quad (9)$$

$$\widehat{V}^p = [V^{\bar{p}x} \quad -V^{\bar{p}y} \quad V^{\bar{p}z}]^T \quad (10)$$

ここで、 $\bar{p}$  は  $p$  の人体において左右対称な体節とする(例えば  $V^{\bar{1}} = V^2$ )。

上記の定義より、式(5)、式(8)の代わりにそれぞれ式(11)、式(12)を用いることで鏡像姿勢の検出が可能となる。

$$C'_{v,v'} = \sum_{p=1}^9 w_p v^p \widehat{v'^{p*}} \quad (11)$$

$$d'(V, V') = \sum_{p=1}^9 w_p \frac{V^{pT} \widehat{V'^{p*}}}{\|V^p\| \| \widehat{V'^{p*}} \|} \quad (12)$$

なお、 $\arg C'_{v,v'}/2$  は対称軸の方向を示す[6]。

また、同一フレームが鏡像関係にある場合、自己鏡像姿勢であるという。

## 4 時系列相関行列による振り抽出

### 4.1 時系列相関行列

舞踊動作において振りとは、それを単位として動作データ中にたびたび出現する傾向にあり、類似動作として抽出が可能である。ここで、類似動作を抽出

するために、あらかじめ動作データを切り分けて比較したのでは、切り分けの基準に依存した類似動作しか得られない。動作データが姿勢データの時系列であるという定義に立ち返り、動作データ中の全ての時刻の組合せについて姿勢類似度を算出する。これにより、動作データ中から類似姿勢が一定時間以上持続する対応時刻を抽出でき、事前の切り分けを必要としない類似動作抽出を実現できる。以下に、具体的な方法を述べる。

まず、時系列相関行列の概念を導入し、2つの動作データ  $F, G$  の比較を考える。

$$F = [F_1 \ F_2 \ \cdots \ F_m \ \cdots \ F_M] \quad (13)$$

$$G = [G_1 \ G_2 \ \cdots \ G_n \ \cdots \ G_N] \quad (14)$$

ここで、 $M, N$  はフレーム数、 $F_m, G_n$  は第  $m, n$  フレームにおける9つの体節ベクトルからなる姿勢データとする。

時系列相関行列  $D$  は、2つの動作データ  $F, G$  間の全てのフレームの組合せについて姿勢類似度を算出することで得られ、次式により定義される。

$$D = \begin{bmatrix} d(F_1, G_1) & \cdots & d(F_1, G_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d(F_M, G_1) & \cdots & d(F_M, G_N) \end{bmatrix} \quad (15)$$

また、 $D$  の第  $(m, n)$  要素を  $D_{mn}$  とする。

振りを得るために、時系列相関行列において、 $F = G$  とした時系列自己相関行列上で類似動作抽出を行う。このとき、時系列自己相関行列は対称行列となり、対角項  $D_{mm}$  は常に1となる。

時系列自己相関行列を可視化した例を図6に示す。この図において、縦軸は第  $n$  フレーム、横軸は第  $m$  フレーム、輝度は相関値を表す。時系列自己相関行列を用いることにより全ての動作の組合せについてその類似性を知ることができ、この時系列自己相関行列を解析することで類似動作抽出を実現できる。

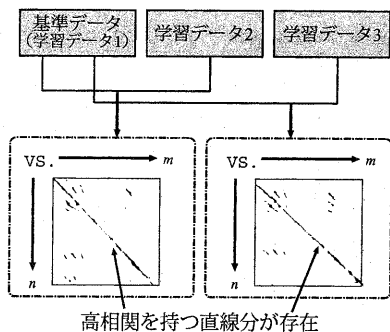


図 7: 時刻合わせのための指標

また、鏡像関係については、次式で定義される時系列鏡像相関行列  $D'$  を用いることにより、同様の議論を行える。

$$D' = \begin{bmatrix} d'(F_1, G_1) & \cdots & d'(F_1, G_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d'(F_M, G_1) & \cdots & d'(F_M, G_N) \end{bmatrix} \quad (16)$$

#### 4.2 舞踊の特性を考慮した重み $w_p$ の決定

舞踊には多様な種類が存在し、種類によって体節毎の動作の再現性が異なる。従って、時系列相関行列を算出する際には、舞踊の特性を考慮した姿勢類似度を求める必要がある。そこで、その舞踊の典型的な動作を撮影した学習データを複数用意し、各体節毎の再現性を調べることで重み  $w_p$  を決定する。

同一の典型的な動作を複数回撮影した学習データセットから重み  $w_p$  を算出するためには、まず、学習データセットの時刻合わせが必要となる。学習データセットの時刻合わせは、学習データセット中からあらかじめ基準データを1つ選択し、基準データとそれ以外の学習データとの間で対応時刻を算出することで実現される。

基準データと学習データの時刻合わせをするために、この2つの動作データから算出された時系列相関行列に注目する。舞踊動作が音楽に従い一定の舞踊速度を保持していると仮定すると、基準データと学習データから算出した時系列相関行列には、図7に示すような高相関を持つ直線分が  $m = n$  付近に出現する。この直線分が同一動作の対応時刻を表しており、時系列相関行列に対し直線フィッティングを行うことで検出できる。得られた直線分により時刻合わせを実現できる。なお、時刻合わせの時点では重み

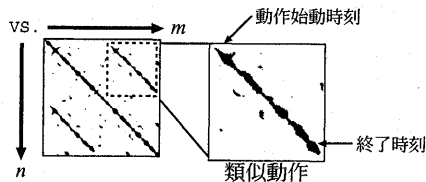


図 8: 時系列自己相関行列からの類似動作抽出

$w_p$  の学習前であるため、時系列相関行列算出における重み  $w_p$  は全て同一の値 (1/9) を持つものとする。時刻合わせを行った学習データセットから、重み  $w_p$  は次式により算出する。

$$w_p = \frac{1}{b_p} / \sum_{p=1}^9 \frac{1}{b_p} \quad (17)$$

ここで、 $b_p$  は同一動作における体節ベクトル  $V^p$  の分散の平均値とする。舞踊毎に重み  $w_p$  を求めることで、その舞踊の特性を考慮した姿勢類似度算出が実現できると考えられる。

#### 4.3 時系列相関行列からの類似動作抽出

動作データから振りを得るために、4.1節で述べた時系列相関行列から類似動作を抽出する方法を述べる。この方法は、時系列相関行列により全ての時刻の組合せについて姿勢類似度を算出できることに基づいている。ここでは、1つの動作データから時系列自己相関行列を算出し類似動作を得る方法について詳しく述べる。

類似動作は類似姿勢の時系列であり、人物動作が時間的に滑らかであると仮定すると、類似動作は時系列自己相関行列において高相関を持つ直線分領域 (図8) として検出される。従って、時系列自己相関行列からこの直線分を抽出することで、動作データにおける類似動作の対応 (時刻) が得られる。

具体的には、まず、時系列相関行列  $D$  に以下に示す閾値処理を施すことにより行列  $H$  (第  $(m, n)$  要素を  $H_{mn}$  とする) を得る。

$$H_{mn} = \begin{cases} 1 & D_{mn} > Th_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

ここで、 $Th_1$  は閾値であり、 $H_{mn} = 1$  である領域を高相関領域と呼ぶ。このとき、 $H$  内で高相関領域に対し直線フィッティングを行うことで、直線分の端点

位置から類似動作の対応する動作始動時刻および終了時刻、直線分の傾きから対応する動作の動作速度比が得られる。このようにして全ての類似動作の組合せを抽出できる。

なお、時系列鏡像相関行列を用いることにより、鏡像関係についても同様のことを実現でき、鏡像関係にある類似動作を検出できる。

#### 4.4 類似動作の統合

時系列自己相関行列は2つの姿勢間の姿勢類似度を示しているため、得られる類似動作の対応は1対1の関係でしかない。そのため、類似する動作が3個以上存在する場合、各対毎に別の類似動作として抽出されることになる。そこで、以下の手順により類似動作の統合を行う。

1. 時系列自己相関行列から得られた類似動作中で最も時間長が短いもの(時間長  $T_s$ ) をテンプレート動作として選択。
2. テンプレート動作と  $T_s \times Th_2$  以上の時間が重複する類似動作をテンプレート動作と同じ動作として記憶。
3. テンプレート動作を統合済みとし、1.における選択対象から除き、全ての類似動作が統合済みになるまで1.および2.を繰り返す。
4. 同じ動作として記憶された類似動作に同じラベルを付ける。

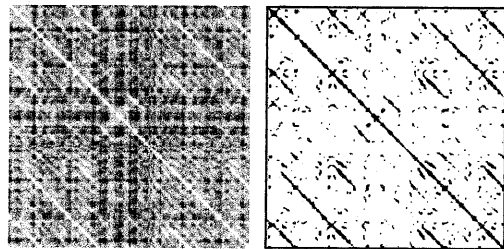
ここで、 $Th_2$  は閾値を示す。

以上の処理により類似動作の統合が実現でき、得られた動作は舞踊を構成する基本動作、つまり振りとみなされる。また、動作データ中で振りの存在しない時刻の動作は、その動作データ中で一度しか現れない特異な動作として定義する。

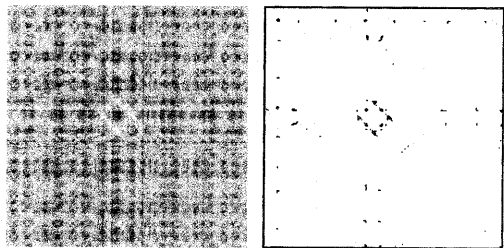
## 5 実験

### 5.1 実験環境

舞踊動作を計測、解析するために8台のカメラ(SONY製DXC-200A)と、それぞれのカメから映像を取り込むための8台のPC(AthlonXP-2200+)からなる多視点カメラシステムを構成した。本システムの観測範囲を部屋の中心付近の3m×3m×2mの空間とし、それを取り囲むようにカメラを設置した。各カメラで得られる画像は320×240pixel、RGB

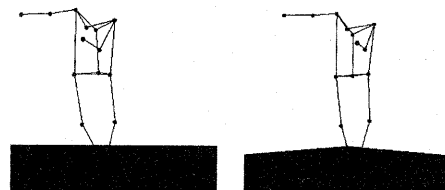


(a) 時系列自己相関行列 (b) (a) の高相関領域



(c) 時系列鏡像相関行列 (d) (c) の高相関領域

図9: 競技ダンスの時系列相関行列



第332フレーム 第1084フレーム

図10: 類似姿勢抽出結果の一例

各8ビットのカラー画像、秒間30フレームで撮影した。なお、マーカには蛍光塗料によって色付けされたピンポン玉を用いた。

### 5.2 競技ダンスへの適用

#### 5.2.1 振り抽出結果

競技ダンスを対象とし、提案手法による振り抽出性能を確認する実験を行った。競技ダンスには、専門用語で足型(ステップ)と呼ばれる振りに相当する概念が存在し、足型を順次演じることによってダンスが表現されている。この足型を正解とし、提案手法による振り抽出結果との比較を行う。競技ダンスは通常男女一組で踊る舞踊動作であるが、システムの都合上、撮影の対象人物を1人とする。そのた

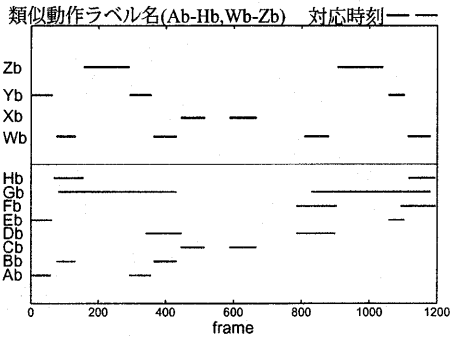


図 11: 競技ダンスの振り抽出結果（上：類似動作統合後，下：統合前）

め、競技種目には男女が離れて踊る傾向が強いラテンダンス・ルンバを選択し、男性のみで踊ったものを撮影した。実験データは、競技ダンス経験者である被験者（男性）が専用の音楽に従って踊ったものを使用した。

入力データのフレーム数は 1200 フレームであり、重み学習データとして入力データとは異なる同一動作データ（600 フレーム 3 セット）を用いた。

図 9(a)(b) に時系列自己相関行列と高相関領域（閾値  $Th_1 = 0.950$ ）を示す。また、高相関領域として得られた時刻の姿勢を切り出した結果の一例を図 10 に示す。これらの結果より、良好に類似姿勢・類似動作が得られることが分かる。

図 11 に高相関領域から得られた類似動作と、類似動作統合後の対応時刻を示す。横軸にフレーム番号、縦軸に類似動作のラベル名、図中の上部に統合後（ラベル名 Wb~Zb）、下部に統合前（ラベル名 Ab~Hb）の対応時刻を示す。なお、統合時に用いた閾値  $Th_2$  は 0.9 とした。この結果より、入力データが 4 つの振りと、それ以外の一度のみ出現する動作から構成されることが分かる。

図 9(c)(d) に時系列鏡像相関行列と高相関領域（閾値  $Th_1 = 0.925$ ）を示す。この題材においては鏡像姿勢がほとんど検出されなかったため、類似動作の検出もなかった。

### 5.2.2 足型および他の手法との比較

被験者に、動作データを競技ダンスの足型に切り分けてもらい、5.2.1 節で得られた振り（ラベル名 Wb~Zb）との比較を行った。図 12 に足型との比較結果

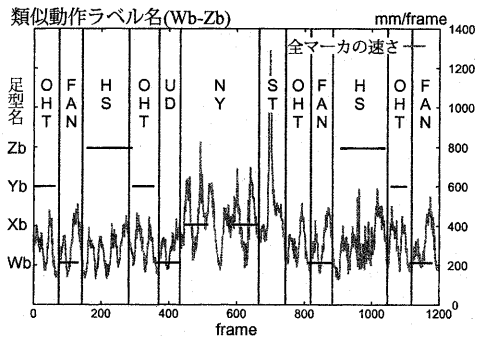


図 12: 振り抽出結果と足型および全身マーカの速さとの比較

表 1: 足型の名称

略記	正式名称
OHT	オープン・ヒップ・ツイスト
FAN	ファン
HS	ホッケー・スティック
NY	ニューヨーク
ST	スポット・ターン
UD	未定義（つなぎ動作）

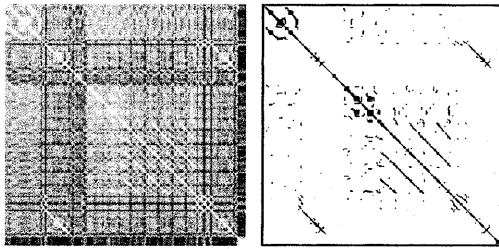
を示す。図中の OHT や ST などの記号が足型の略記（表 1 参照）を表す。提案手法により大部分の足型を正しく抽出できることが分かる。また、入力データ中に一度しか出現しなかった NY と ST は、類似動作が存在しないため、振りとして抽出されなかった。

次に、人体の動きの速さを基準に切り分ける方法 [2] と、提案手法との比較を行った。図 12 の折れ線グラフに全身マーカの（合計）速さを示す。文献 [2] の方法では、速さが閾値以下で、かつ極小値となる時刻により切り分けを行う。しかし、どのように閾値を設定しても、提案手法のような振りは抽出できないことが確かめられた。

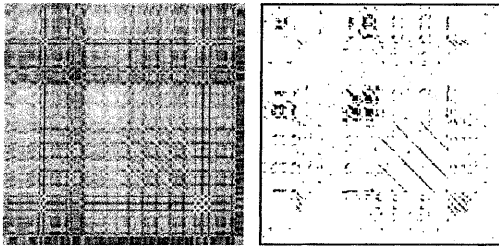
### 5.3 荒舞への適用

民族舞踊である荒舞に対して提案手法を適用した。実験データとして、プロの舞踊家である被験者（女性）が専用の音楽に従って踊ったものを使用した。

入力データのフレーム数は 1200 フレームであり、重み学習データとして入力データとは異なる同一動作データ（1200 フレーム 3 セット）を用いた。

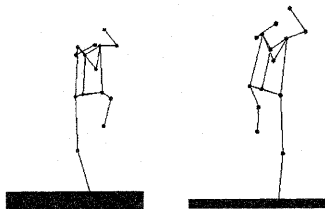


(a) 時系列自己相関行列 (b) (a) の高相関領域



(c) 時系列鏡像相関行列 (d) (c) の高相関領域

図 13: 荒舞の時系列相関行列



第 780 フレーム 第 846 フレーム

図 14: 鏡像姿勢抽出結果の一例

図 13(a)(b) に時系列自己相関行列と高相関領域 (閾値  $Th_1 = 0.950$ ) を示す. 一方, 図 13(c)(d) に, 時系列鏡像相関行列と高相関領域 (閾値  $Th_1 = 0.925$ ) を示す. また, 鏡像姿勢抽出結果の一例を図 14 に示す. 良好に鏡像姿勢が得られることが分かり, また, 鏡像関係にある動作も複数確認できた.

また, 図 15 に類似動作および振りを抽出した結果を示す. なお, 統合時に用いた閾値  $Th_2$  は 0.9 とした. この結果より, 入力データが 6 つの振りとそれ以外の一のみ出現する動作から構成されることが分かり, 競技ダンスと性質が異なる荒舞についても, 提案手法が適用可能であることが確かめられた. なお, 荒舞には振りは存在するが, 厳密な振りの名称は存在しないため正解との比較は行わなかった.

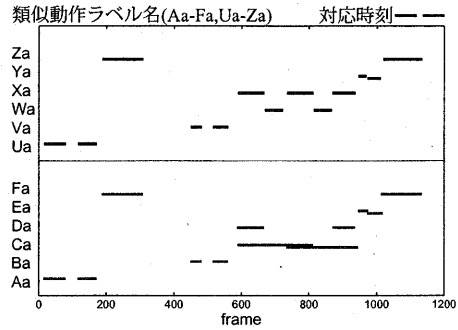


図 15: 荒舞の振り抽出結果 (上: 類似動作統合後, 下: 統合前)

## 6 まとめ

本稿では, 類似動作に着目した振り抽出について述べた. 実際に, 8 台のカメラおよび PC からなる多視点カメラシステムを構成し, 競技ダンスと荒舞の動作を計測した結果, 良好に類似動作抽出および振り抽出を行えることが確認できた.

今後の課題としては, 得られた振りの解析および振り抽出結果を用いた舞踊動作の加工・編集などが考えられる.

**謝辞** 日頃討論頂く向川康博博士に感謝する. 実験データの撮影に協力頂いた浜嘯歩氏 ((株) わらび座), 小村拓道氏 (岡山大学競技ダンス部) に感謝する. 本研究は, 科学技術振興事業団 CREST 池内プロジェクトの援助を受けて行った.

## 参考文献

- [1] 生田久美子, “「わざ」から知る”, 東京大学出版会, 1987.
- [2] 松本敏良, 八村広三郎, “モーションキャプチャデータからの基本身体動作の抽出”, 人文科学とコンピュータシンポジウム, pp.17-24, 2000.
- [3] 中岡慎一郎, 中澤篤志, 横井一仁, 池内克史, “舞踊動作を模倣するロボットの全身動作の生成”, SI 2002, vol. 1, pp.293-294, 2002.
- [4] 湯川崇, 海賀孝明, 長瀬一男, 玉本英夫, “舞踊符による身体動作記述システム”, 情処論, vol. 41, no. 10, pp.2873-2880, 2000.
- [5] 吉村ミツ, 酒井由美子, 甲斐民子, 吉村功, “日本舞踊の「振り」部分抽出とその特性の定量化の試み”, 信学論 D-II, vol. J84-D-II, no. 12, pp.2644-2653, 2001.
- [6] 尺長健, 金子博, “複素相関による 2 次元形状解析”, 信学論 D, vol. J71-D, no. 2, pp.350-361, 1988.
- [7] 尺長健, 金子博, “軸形状類似度による 2 次元形状マッチング”, 信学論 D, vol. J71-D, no. 2, pp.362-370, 1988.