

モーションキャプチャを利用した舞踊身体動作の類似検索とその評価

高橋 信晴[†] 八村 広三郎[†] 吉村 ミツ[‡]

[†]立命館大学 理工学研究科 [‡]立命館大学 COE 推進機構

概要 モーションキャプチャシステムによって得られる身体動作データは、無形文化財としての舞踊のデジタルアーカイブおよび舞踊の研究にも利用されるようになってきている。本報告では、舞踊の身体動作をモーションキャプチャによって計測したデータを対象として、類似している身体動作データを検索するための手法を提案し、主に日本舞踊の動作を対象とした実験の結果と評価について述べる。身体動作の類似性の定義、動作データの正規化の方法、全身での検索と身体の一部のみに注目した検索などについて検討し、実験により良好な結果が得られることが確認された。

Similarity Retrieval of Motion-captured Dance Motion Data

Nobuharu Takahashi[†], Kozaburo Hachimura[†], and Mitsu Yoshimura[‡]

[†]Department of Computer Science, Ritsumeikan University

[‡]Centre for Promotion of the COE, Ritsumeikan University

Abstract Motion capturing systems have been used for measuring and storing traditional dance body motion. This paper describes a method of similarity retrieval for motion captured dance motion data and some of the experimental results. The definition of similarity between body motions, the method of data normalization and a data retrieval method with the DP matching technique have been proposed. Some of the retrieval methods including the method by focusing to some parts of the body has been investigated, and experiments showed the promising results.

1 はじめに

モーションキャプチャシステムにより、身体運動を高精度でデジタル化することが可能になった。モーションキャプチャによって得られる身体動作データは、無形文化財としての舞踊のデジタルアーカイブおよび舞踊の研究にも利用されるようになってきている。

モーションキャプチャを用いた舞踊の研究としては、舞踊を特徴付ける特徴量の抽出、異なる舞踊間の比較、類似性の判定などがある [1, 2]。このためには、舞踊のなかで基本となる動作を探し出すこと、アーカイブの中から動作の類似した舞踊を検索することが要求される。

本研究は、モーションキャプチャによる舞踊の身体運動データの類似検索を行うことを目標とし、そのための手法と課題について考察する。特に舞踊における身体動作を対象とする場合に特有の留意点や課題について、実験により重点的に検討する。

2 身体モデルと動作データ

本研究では、光学式モーションキャプチャ Vicon 512 を利用する。本システムによって得られる身体動作データは C3D 形式と呼ばれるもので、各時点（フレーム）ごとのマーカ（図 1）の x, y, z 座標の値が羅列されている。

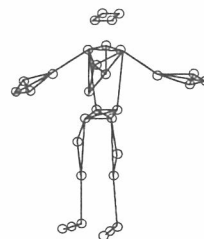


図 1: 計測時に使用するマーカ位置

これを、FiLMBOX というソフトウェアを用いて、

隠れたマーカによる軌跡の不連続の補完，ノイズの除去などを行う．また，体表面につけた実際のマーカ位置から骨格の関節位置を推定した位置データに変換できる．この推定関節位置は「仮想ジョイント」とも呼ばれる．仮想ジョイントの位置は TRC 形式データとして出力する．図 2 は本研究で用いた身体モデルと仮想ジョイントを示している．

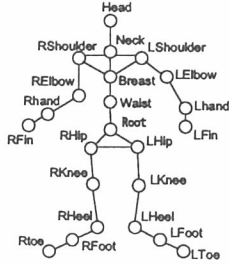


図 2: 仮想ジョイントによる身体モデル

3 身体動作の類似検索

類似検索のためには，身体動作データ間での類似度を求める必要がある．どのような基準で身体運動の類似性を定義するかについては考慮すべき点がある．たとえば，同じ「歩く」動作であっても，右足から踏み出す場合もあれば，左足から踏み出す場合もある．また，歩く速度にもばらつきがあり，立つ位置や向きもさまざまである．これらは同じ「歩く」という動作で，類似動作とみなすことができるが，モーションキャプチャのデータは全く異なったデータである．また，舞踊の表現には，全体的には同じ身体動作であっても，その一部分での動作速度が演技者により変化するようなものも見られるのが通例である．これらの差異や体型（サイズ）の差異を吸収した類似動作の検索を可能にする必要がある．

3.1 DP マッチング

本研究では，身体動作データのマッチングのために，音声認識で長さの異なるデータ系列間でのマッチングに広く用いられている DP マッチング法を使用する [3]．これで，動作速度の差異を吸収することができる．以下では，本研究で用いた DP マッチングの方法を述べる．

2つの時系列パターンをそれぞれ

$$Y = A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_I$$

$$R = B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_J$$

と表し， Y のパターンを R の部分パターンにマッチングさせることを考える．個々の A_i, B_j は，ベクトル，あるいは，身体運動データの場合は行列データとなる．ここで， I, J はそれぞれ， Y, R のデータ数である．

2つのデータ A_i と B_j 間の距離を $d(i, j)$ とするとき，DP マッチングでは， A_1, A_2, \dots, A_i と B_1, B_2, \dots, B_j の2つのデータ系列間の距離 $g(i, j)$ を以下のアルゴリズムによって求める．

$$g(i, j) = \min \begin{cases} g(i-1, j) + d(i, j) \\ g(i-1, j-1) + 2d(i, j) \\ g(i, j-1) + d(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

かつ，

$$\begin{cases} g(i, j) = g(i-1, j) \text{ のとき} \\ G(i, j) = G(i-1, j) \\ g(i, j) = g(i-1, j-1) + 2d(i, j) \text{ のとき} \\ G(i, j) = G(i-1, j-1) \\ g(i, j) = g(i, j-1) \text{ のとき} \\ G(i, j) = G(i, j-1) \end{cases} \quad (2)$$

$G(i, j)$ は， Y の部分パターン A_1, A_2, \dots, A_i が， R の B_j までと最もよく照合する R の照合開始位置を示している．

計算手順は以下のとおりである．

1. 初期条件 $g(0, 0) = 0, g(i, 0) = g(0, j) = \infty$
 $i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J$
2. $j = 1, \dots, J$ に関して，
 $g(1, j) = d(1, j), G(1, j) = j$ を実行
3. $i = 1, \dots, I$ に関して，
 $g(i, 1) = d(i, 1), G(i, 1) = 1$ を実行
4. $i = 1, \dots, I$ に関して式 (1)(2) を実行
5. $j = 1, \dots, J$ に関して式 (1)(2) を実行

上の計算を行って，求めた $g(i, j)$ の値が閾値よりも小さい時，パターン R の $G(i, j)$ 番目から i 番目の区間を，パターン Y との類似している区間とする．

3.2 身体動作の類似性

動作の類似性は，対応するジョイント間の距離を求めることで判定する．2つの身体姿勢が与えられたとき，対応するジョイント間の距離の総和で身体姿勢間の距離を定義する．一連の身体姿勢の系列，すなわち身体動作データ間については，フレーム数にわたる身

体姿勢間の距離の総和を求め、これを身体動作データ間の距離とする。

いま、二つの身体動作データ P と Q を考える。時刻 (フレーム) t における身体動作は、それぞれ、

$$P(t) = \{p_1(t), \dots, p_K(t)\}$$

$$Q(t) = \{q_1(t), \dots, q_K(t)\}$$

と表せる。ただし、 K はジョイントの総数を、 $p_j(t)$ 、 $q_j(t)$ は時刻 t におけるジョイント j の位置ベクトルを表している。

このとき、 $P(t)$ の身体姿勢と $Q(t')$ の身体姿勢との間の距離は、

$$d(P(t), Q(t')) = \sum_{j=1}^K \|p_j(t) - q_j(t')\|$$

と表すことができる (図3)。ただし、 $\| \cdot \|$ は位置ベクトル間の距離を表しており、通常はユークリッド距離を用いている。なお、 $d(P(t), Q(t'))$ は、前節での一般的な記述における $d(i, j)$ に相当する。

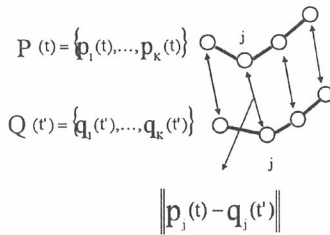


図3: 身体動作データ間の距離

3.3 身体の位置と方向についての正規化

本研究では、現在のところ、世界座標系における身体の方向、および、空間内の身体の移動については考慮しないことにしている。このため、DP マッチングを行なう前に、身体位置と方向についての正規化をおこなう。図4に示すように、両腰ジョイント RHip と LHip を結ぶ線分の中点が座標系の原点になるように身体各部を平行移動させ、その後、RHip から LHip へ向かうベクトルを XZ 平面に正射影したベクトルが Z 軸の正の方向を向くように、Y 軸まわりに回転させる。

また、対象人体のサイズに対しても、正規化を行う必要がある。これは、現在は、簡単のため、身体動作データ間の距離を身長で正規化することによって行なっている。

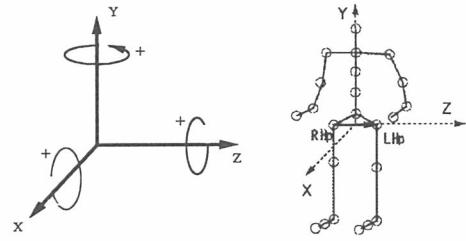


図4: 身体方向の正規化

後述するように、検索にあたっては全身のジョイントを対象にするだけでなく、身体の一部のジョイントのみを検索対象とすることもできる。このとき、たとえば、腕の動作のみを対象とする部分検索を行なう場合には、両肩のジョイントの中点の位置が座標系の原点になるように正規化している。

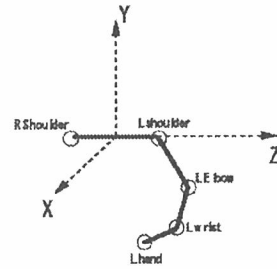


図5: 部分検索の際の正規化

3.4 検索システムの実装

以上で述べたような身体動作データ間の類似性に基づき、DP マッチングによる類似動作の検索を行うシステムを作成した。このシステムでは、まず、対象とする身体動作データと、その中から抽出すべき身体動作データ (以下、質問データと呼ぶ) を指定する。それぞれの身体動作は、表示ウィンドウで CG キャラクターモデルの動作として確認することができる。もちろん、検索によって得られた部分動作データも同様に表示することができる。

図6に、作成したシステムの操作画面 (a) と動作表示ウィンドウ (b) を示す。図6(a) において検索対象データ、質問データのファイルを指定し、さらに、いくつかの検索の際の条件を設定して検索を行なう。検索の結果は、同図の下部のウィンドウ内に検索対象データにおける該当箇所の開始フレーム番号、終了フレーム番号とそれに対する距離値が表示される。複数の結果

はない。本稿の以下のスナップショットの図においても同様である。

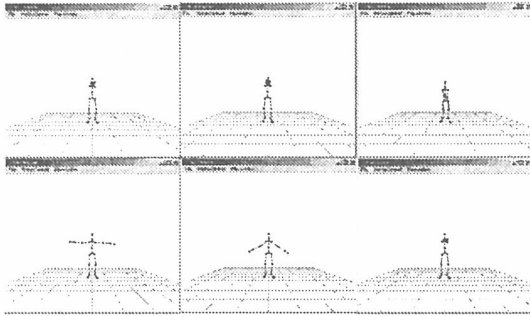


図 9: 質問データ (radio1)

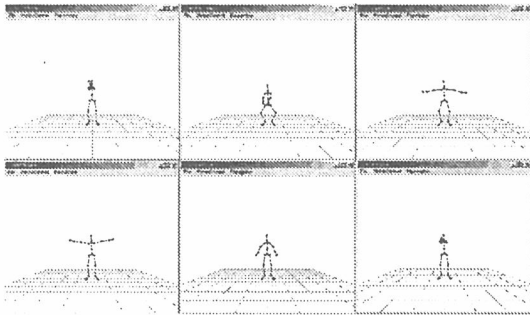


図 10: 検索結果 (radio2 の一部)

図 9, 図 10 の場合は, 体全体のジョイントを対象として検索を行なった。結果の確認のため, 肘ジョイント RElbow の x, y, z 座標値の変動のグラフを示したのが図 11 である。図 11(a) が, 図 9 の質問データの動作における RElbow の座標値のグラフであり, 図 11(b) の網掛け部分が, これに対応する検索結果の部分である。

また, 図 12 は, 図 7 の重み付けのパネルを利用して右指のジョイント (RFin) だけを対象として行なったラジオ体操の身体動作の検索結果における, RFin の座標のグラフである。

4.2 日本舞踊

次に実際の日本舞踊の動作データに対して実験を行なった。ここでは, 日本舞踊の基礎動作である「オクリ」の動作を対象とする。「オクリ」とは, 「進行方向の足を斜め前に出し, 次に逆の足を入れ込み, 再び進行方向の足を出して舞台の上手または下手に 3 歩歩く」

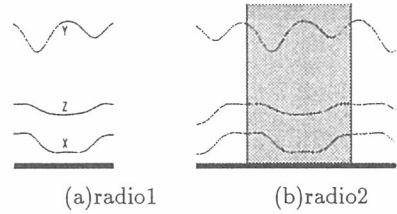


図 11: ラジオ体操での肘ジョイント RElbow の座標

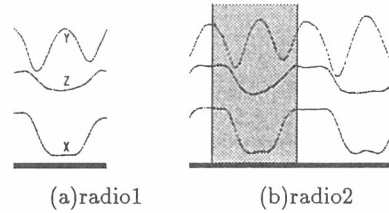


図 12: 指ジョイント RFin を用いた検索結果の座標

動作のことで, 胸や肩の動作を伴って, しっとりとした女性的な印象を表出する。

図 13 は, okuri48 と名づけられたオクリ動作データの中から一部を抽出したものである。これを用いて okuri48 とは異なる okuri48a のデータ (okuri48 に同じ動作とその前後の動作を含む動作に対して別にキャプチャしたデータ) を検索対象として検索を行なったときの結果のひとつが, 図 14 である。類似の動作が検索されているのが分かる。なお, この場合は全身のジョイントを対象として検索を行なっている。

また, 図 15 は, ラジオ体操の場合と同様に, 検索質問データと検索結果のデータの類似の度合いを確認するために, 図 13, 図 14 におけるジョイント RShoulder の座標値をグラフ表示したものである。

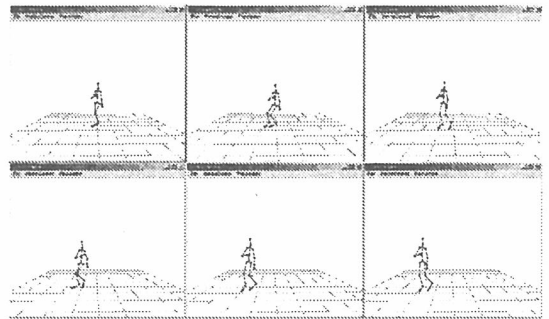


図 13: 質問データ (okuri48)

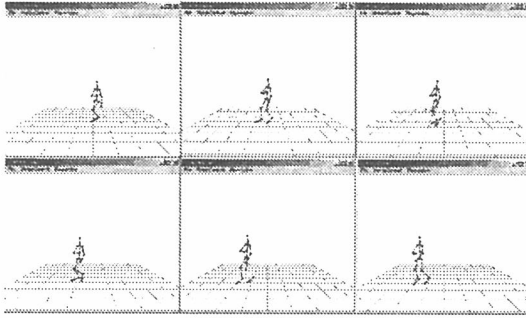


図 14: 検索結果 (okuri48a の 569-738 フレーム)

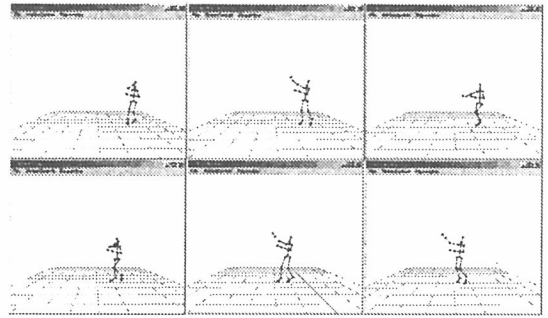
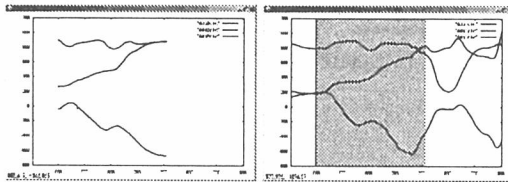


図 16: 両足 (Foot,Heel) だけで検索した結果



(a) 質問データ (okuri48) (b) 検索結果 (okuri48a)

図 15: RShoulder の座標値

4.3 部分検索

次に、身体の一部だけを指定して検索する、部分検索の結果について述べる。ここでも、動作データには日本舞踊の「オクリ」の動作を使用している。

図 13 に示した okuri48 を質問データ、okuri49 と名づけたデータを検索対象データとして検索を試みた。これらはいずれもオクリ動作に分類される動作であり、基本的に足の運びは同じ動作をする。しかし、上半身の動作は異なっており、okuri48 では、この振りの間両手は腰より下におろしたままであるのに対して、okuri49 では両手を肩より上にあげてオクリ動作を行っている。まず、これらのデータ間で、全身のジョイントを用いて検索を行ってみたところ、対応するオクリ動作の部分は検索することができないことがわかった。

オクリ動作では特に両足 (足首より先) の運びが特徴的である。したがって、ここでは、両足のジョイント R/LFoot と R/LHeel だけを対象として検索を試みた。図 16 がその結果である。

前述したようにオクリ動作に分類される動作は、足の動作に共通性があるが、腕や頭などの上半身の動きはそれぞれのオクリの「役割」によって異なっている。ここで実験に用いた okuri48 と okuri49 はそのような関係にある。したがって、上述したように、全身を用

いた検索結果では、全身の動作に紛れて、足の動作について類似した動作を見失う結果になった。一方、両足のジョイントだけを用いた結果 (図 16) では、質問データ (図 13) の足の動きによく類似したオクリの動作が得られている。このように身体の一部だけを利用した動作検索の有効性が確認できた。

4.4 全体動作が異なるデータ

検索により、よく似た動作データが得られるのは当然であるが、時折、一見異なる動作と感じられる動作が得られることがある。図 18、図 17 がその例である。図 18 は図 17 のデータを使って得られた検索結果である。

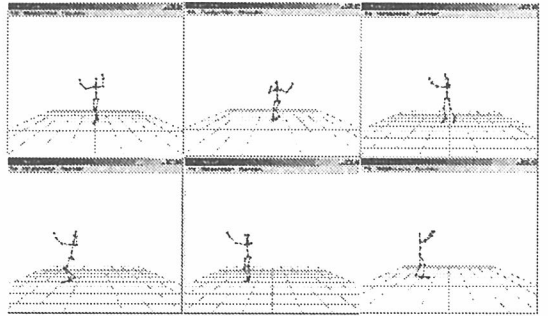


図 17: 質問データ (okuri49)

図 17 と図 18 から分かるように、最初のフレームではほぼ同じ姿勢をしているが、その後、図 17 では、体全体が演者から見て、左まわりに回転しているのに対して、図 18 では右回りに回転しているので異なる動作のように見える。しかし、この旋回動作の間、上半身および下半身はそれぞれのデータ間でほぼ同じ動作をしている。平面上での大きな旋回の違いは正規化に

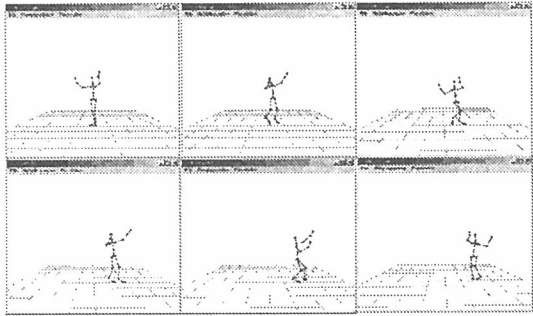


図 18: 検索結果 (okuri49a)

より吸収されるので、これらの2つの動作は類似動作として検索されることになる。

4.5 踊り手が異なる場合

以上で述べた実験では、検索対象のデータ、質問データとも、同一人物によるデータを用いていたが、次に、異なる人物による動作データ間の検索の実験を示す。

ここでは、動作データとして、舞踊の身体動作における感情表現の最小の表現単位とされる7つの舞踊動作(松本の7 motives[4])の中の、「寂しい(Lonely)」イメージを表す身体動作データを用いている。2人の演者SHとYSの動作データに対して、異なる演者TKによる動作データを質問データとして検索を行なった。

図19から図22に実験結果を示す。図19が質問に用いた演者TKによる動作データであり、演者SHの動作データから検索された2つの結果を図20と図21に示している。また、図22は演者YSのデータに対する検索結果である。図20から図22のどれも、質問データの図19によく似た動作が検索されており、踊り手の体型などの差異を吸収していることが分かる。なお、ここでは全身のジョイントを検索の対象としている。

図23、図24、図25は、それぞれ、図19、および、これによって得られた図20と図21の身体動作における右指RFinのジョイントの座標値の変化を、確認のため図示したものである。繰り返し動作もうまく検索されていることが分かる。

5 おわりに

舞踊における身体運動の類似検索手法として、正規化したモーションキャプチャデータに対するDPマッチング法の適用について検討した。今後、本システム

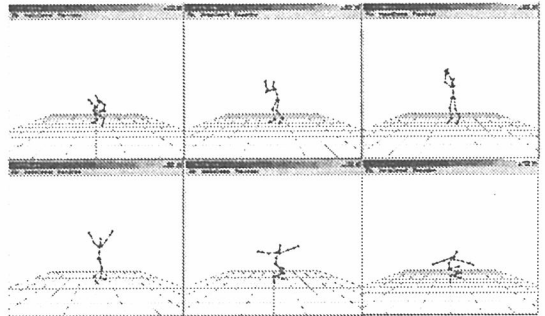


図 19: 質問データ (TK)

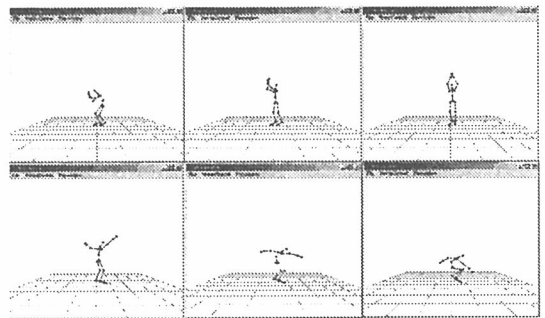


図 20: 検索結果 (SH その1)

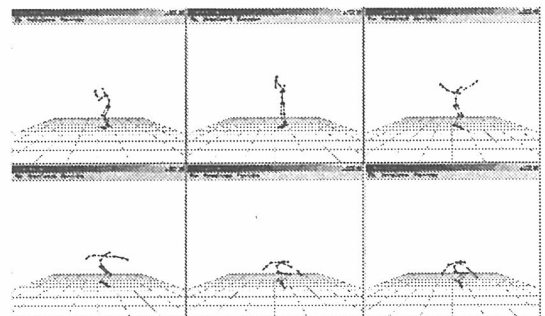


図 21: 検索結果 (SH その2)

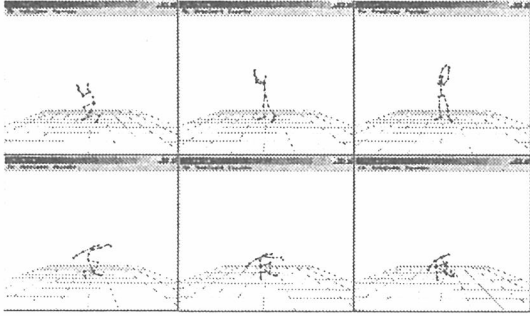


図 22: 検索結果 (YS)

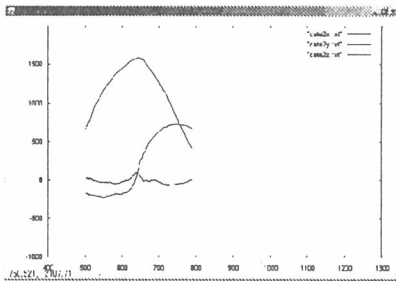


図 23: 質問データ (TK) の RFin の座標

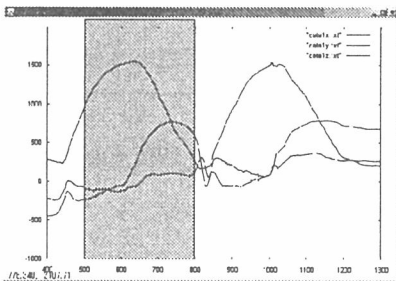


図 24: 検索結果 (SH その 1) の RFin の座標

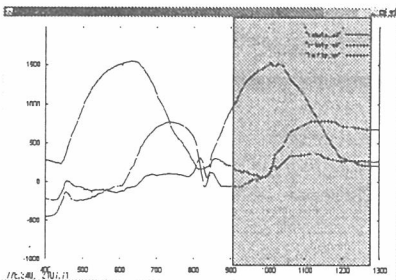


図 25: 検索結果 (SH その 2) の RFin の座標

を利用して、さらに十分な評価を行なうとともに、以下のような観点について詳しく検討する。

- DP マッチングにおける DP パス、閾値などの検討
- 体格差・年齢差や性差が検索結果へ及ぼす影響
- 身体動作の類似度定義についての検討
- 検索システムのユーザインタフェースの改良

現在のシステムは、ひとつの動作データファイルに対して、その中の部分動作を検索抽出するように作成されているが、データベース中の多くの動作データファイルを対象とし、これらの中から、指定した質問動作データと類似する動作を含む動作ファイルを検索する必要がある。このためには、検索のパフォーマンスを向上させるために、インデックスデータの利用などが必要であると考えている。また、空間内での移動のパターンなどを利用した動作検索についても、今後の検討課題としたい。

謝辞 日本舞踊の動作については、日本大学の丸茂美恵子先生にご教授いただき、また、実際にご自身の演技をキャプチャしてデータを利用させていただいた。ご指導ご協力について深く感謝する次第である。また、モーションキャプチャにあたっては、研究員の小島一成氏および大学院生の瀬藤義則氏にお世話になった。ここに記して感謝する。なお、本研究は文部科学省 21 世紀 COE プログラム「京都アート・エンタテインメント創成研究」の支援を得て行なわれた。

参考文献

- [1] 吉村ミツ, 甲斐民子, 黒宮明, 横山清子: 赤外線追跡装置による日本舞踊動作の解析, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2002), vol.II, pp.435-440, 2002.
- [2] 黒宮明, 吉村ミツ, 村里英樹: 骨格角度情報による日本舞踊動作の解析, 情報処理学会研究報告, 2003-CH-58, pp.65-71, 2003.
- [3] 中川聖一: パターン情報処理, 丸善, 1999.
- [4] 阪田真己子, 柴真理子, 米谷淳, 蓼沼真: 舞踊運動における身体メディア情報のモデル構築, ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.3, no.4, pp.259-268, 2001.