

骨格角度情報による日本舞踊動作の解析

黒宮 明* 吉村 ミツ** 村里英樹***

要約

本研究は、モーションキャプチャー装置から得られるマーカーの3次元位置情報を使って、日本舞踊の動作を客観的・定量的に解析・評価する手法について述べたものである。これは、動作を”振り”と呼ばれる部分動作に分けたのち、これらの動作の特徴を調べるもので、振りごとに師匠の技を模倣している程度を評価することが目標である。動作を定量的に表現する方法は、体の向きや姿勢に依存しない体中心の座標系を使った体各部位の位置情報を算出することおよび骨格を線分とみて、それらのなす角度や方向を算出することである。この座標系により得られた値を使って、数人の踊りデータから振り動作を抽出することができた。この動作特徴を表現する骨格角度を定義し、抽出されたこれらデータの有効性を検討してみた。

Analysis of Japanese Dance Movements using Angles and Direction Formed by Bone Segments

Akira KUROMIYA, Mitsu YOSHIMURA, and Hideki MURASATO

Abstract

In this paper, we propose a method of the objective and quantitative analysis of Japanese dance movements using 3D position data obtained by motion capturing system. We divided a story movement according to "FURI" ones that Japanese Dance consists of, and investigated characteristics of them, then tried to estimate difference between a teacher and a student. Positions of markers on body obtained by a coordinates independent of a orientation of a body, and angles and directions formed segments of which end points are marker represent characteristics of body movements quantitatively. We extracted "FURI" movements from a story movement in several students. Quantitative data of angles and direction in ones were showed and investigated.

1. まえがき

日本舞踊は、模倣を通して習得される。舞踊が“うまい”かどうかは、師匠の動作をどれほど模倣しているかによって判断されるが、これを客観的、定量的に表現することは、極めて難しい。これは、身体の動作は、剛体の運動と違って、それ自身が動きつつ、体の各部位が動くものであって、測定装置に固定された座標で計測されたマーカー位置情報では、これを記述することができないためである。さらに、身体の時

作を比較する場合、位置情報を使った方法では、体格や体形の違いと動作そのものの違いを区別する必要がある点も課題である。ここでは、腰に取り付けた3点のマーカーは、動作を行っても相対位置関係が変わらないという性質、および一直線上には存在しない空間中の3点により、座標軸が構成できるという点に着目し、身体に固有の座標を導入することにより、この問題を解決した。腰の位置を中心とするこの方法は、体格や体形もある程度補正できる。

さて、時間の経過に従って変化する身体の動作は、幾つかの部分動作にわけることが可能であると考えられる。一つの物語を歌と動作によって表現する日本舞踊は、“振り”という部分

* 名古屋市工業研究所

Nagoya Municipal Industrial Research Institute

** 立命館大学

Ritsumeikan University

*** 名古屋市立大学

Nagoya City University

が動作の連続として構成されていることが知られている [1]。ここでは、日本舞踊を解析する方法として、一連の舞踊動作を“振り動作”に分けて、これら動作の性質を調べる方法を適用した [2] [3]。振り動作抽出の方法は、師匠が“振り動作”のみを踊ったときのマーカー位置の時系列データをレファレンスとして、一連の踊り動作におけるマーカー時系列から DP マッチングにより、該当する“振り”動作を抽出するものである。ここで抽出される動作は、同じ“振り”であれば踊る人に関係なく抽出される。この研究の試みは、“振り”動作の個人差を解析することによって、上達の程度を評価しようとするものである。この個人差とは、振り動作の時間や振りのなかに存在する身体各部位の動作であると考えられる。

振り動作に存在する身体各部位の動作は、骨格を線分としてみたときの隣接する線分のなす角度や方向情報として評価した。これは、これらの情報が、体形や体格に依存しない情報であること、動作を教示する場合、マーカーの空間位置よりも骨格どうしのなす角やその方向という表現の方が、はるかにわかりやすいためである。骨格どうしのなす角度のみでは、隣接する骨格の関係は、不十分である。それは、関節での動きが自由度を持つため、隣接する2つの骨格は、なす角度を保ったまま回転するからである。また、骨格の方向は、マーカー位置のときと同様な問題、つまりからだの向きに依存しない方法で算出する必要がある。よって、ここでは、先と同様に腰の3点で得られる座標によって方向を記述する方法を適用した。隣接する骨格の角度は、この2つの骨格によって得られる平面の向きとこの2つの骨格のなす角度という形で算出することを試みた。この方式によって、両手、両足の骨格角度情報を定義している。ここでは、日本舞踊の解析に必要なと思われる身体各部位の骨格角度情報の幾つかを体系的に定義してみた。

2. 動作の定量化

2.1 モーションキャプチャーシステムによ

り得られるデータ

赤外線を反射するマーカーと照明装置により、身体各部位に取り付けられた31個のマーカーの3次元位置を一定周期で計測する。この周期ごとのデータをフレームと呼ぶ。図1に身体に取り付けるマーカーの位置を示している。マーカーには、番号が付けられており、少ないほうの番号が左手側である。32番は、右手に持つ扇子である。マーカーの時系列位置情報は、3次元座標値として(1)のようになっている。ここで、添え字の ti は、マーカーの時系列番号、つまり時刻を、添え字の j は、マーカー

$$\{(x_i^j, y_i^j, z_i^j); i = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, 32\} \quad (1)$$

$$m_n^k = \begin{pmatrix} x_n^k \\ y_n^k \\ z_n^k \end{pmatrix} \quad (2)$$

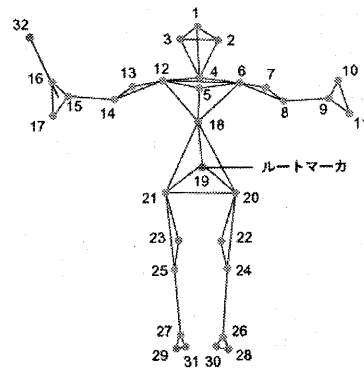


図1 身体に取り付けたマーカー

の番号を表現する。この位置座標値を座標原点からの位置ベクトルとして、 m_n^k と表現する(2)。測定装置の座標軸は、床面に x 軸と z 軸、床面と直交上向きに y 軸となっている右手系直交座標軸である。

2.2 身体座標の表現

モーションキャプチャー装置で得られる3次元位置情報は、装置に固定の座標軸で表現されている。このため、身体が踊りのように動きまわる場合、位置情報のずれは、動き回る軌跡が

ずれているのか、各部位の動作がずれているのか、体の向きがずれているのか判明しない。そこで、腰に取り付けた3点(19、20、21番のマーカ)からあらたに構成される座標軸を導入することにより、各部位のずれのみの情報を算出する。図2に示すように座標の原点をこの3点の重心に移動した後、この3点から、あらためて直交3軸(x軸、y軸、z軸)を算出し、この座標軸における位置を算出する。腰中心である新たな座標軸を表現する直交単位ベクトルを $e_{wx_{ii}}, e_{wy_{ii}}, e_{wz_{ii}}$ としてこれを(3)に示す。

ここで、これらベクトルは、測定装置座標によるマーカ位置で計算されること、および時刻に伴って変化することに注意する。ここで、マーカの位置ベクトルは、測定装置座標の原点からのものであるが、これを先の3点の重心位置 o_{gk}^i からの位置ベクトル mtr_n^k として

(6)(7)に示す。原点を o_{gk}^i に移動した装置座標をさきの直交単位ベクトルで構成される座標軸による座標へ変換する行列 T_{wii} は、(8)に

$$e_{wx_{ii}} = \frac{m_{ii}^{20} - m_{ii}^{21}}{\|m_{ii}^{20} - m_{ii}^{21}\|} \quad (3)$$

$$e_{wy_{ii}} = \frac{(m_{ii}^{20} - m_{ii}^{21}) \times (m_{ii}^{19} - m_{ii}^{21})}{\|(m_{ii}^{20} - m_{ii}^{21}) \times (m_{ii}^{19} - m_{ii}^{21})\|} \quad (4)$$

$$e_{wz_{ii}} = e_{wx_{ii}} \times e_{wy_{ii}} \quad (5)$$

$$mtr_{ii}^k = m_{ii}^k - o_{g_{ii}}^k \quad (6)$$

$$o_{g_{ii}}^k = \frac{(m_{ii}^{19} + m_{ii}^{20} + m_{ii}^{21})}{3} \quad (7)$$

$$T_{wii} = \begin{pmatrix} e'_{wx_{ii}} \\ e'_{wy_{ii}} \\ e'_{wz_{ii}} \end{pmatrix} (e_{sx} \ e_{sy} \ e_{sz}) \quad (8)$$

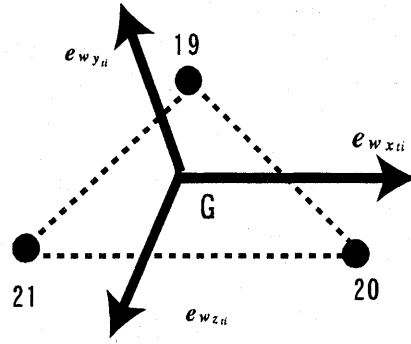


図2 腰の3点による座標軸

示されている。ここで、 e_{sx}, e_{sy}, e_{sz} は、測定装置座標における座標軸単位ベクトル、 $e'_{wx_{ii}}$ は、列ベクトルを転置した横ベクトルである。 T_w は、時間の推移とともに変化する行列で添え字に時刻 t_i をつけている。

2. 3 補正した身体座標

2. 2による変換において、腰の3点のマーカを用いているが、被験者ごとにマーカの取り付け位置のずれてしまう場合がよくある。よって、動作開始前に直立姿勢をとったとき、腰の3点の位置を計測し、さきの座標軸から直立姿勢の座標軸をあらためて構成する。あらたに構成される直交座標軸は、この姿勢においてy軸が床面に垂直、z軸が体の正面を向き、原点は、さきの重心位置である。これは、さきの3点の座標値を床面に投影し、この位置ベクトルから求める。時刻0において直立姿勢をとり、ここから動作を開始するものとする。(9)は、ベクトル m_{ii}^k から床面に投影したベクトル m_{ii}^k を算出するもので、これから、あらたに求められる座標軸として求められた直交単位ベクトル $e_{bx_0}, e_{by_0}, e_{bz_0}$ が、(10)(11)(12)である。

$e_{wx_0}, e_{wy_0}, e_{wz_0}$ で構成される座標軸による座標値から、 $e_{bx_0}, e_{by_0}, e_{bz_0}$ により構成される座標

軸による座標値への変換行列 T_{b_0} は、(13) に示されている。この変換行列は、腰の3点による座標軸に対する相対的変換であるので、

$$m_o^k = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} m_o^k \quad (9)$$

$$e_{b_{x_0}} = \frac{m_o^{j_{20}} - m_o^{j_{21}}}{\|m_o^{j_{20}} - m_o^{j_{21}}\|} \quad (10)$$

$$e_{b_{y_0}} = e_{s_y} \quad (11)$$

$$e_{b_{z_0}} = e_{b_{x_0}} \times e_{b_{y_0}} \quad (12)$$

$$T_{b_0} = \begin{pmatrix} e'_{b_{x_1}} \\ e'_{b_{y_1}} \\ e'_{b_{z_1}} \end{pmatrix} (e_{w_x}, e_{w_y}, e_{w_z}) \quad (13)$$

$$T_b = T_{b_0} = T_{b_n} \quad (14)$$

時間の推移によらず、一定であるので、 T_b とする(14)。ここでは、20番と21番を結ぶ直線が、体の正面向きに真横となっていることを前提としているが、直立姿勢において複数のマーカー位置から正面向きを算出することも可能であって、 $e_{b_{x_0}}, e_{b_{y_0}}, e_{b_{z_0}}$ が算出できれば上記におなじである。

2. 3 測定装置座標値から補正身体座標値への変換行列

測定装置座標値から補正身体座標値への変換は、同次行列を用いて表現される。同時座標によって、表現されたベクトルを \tilde{m}_n^k (15) に示す。ti 時刻の k 番目マーカーにおいて、腰の3点の重心に原点を移動した位置ベクトルを mtr_n^k 、身体座標によって表現された位置ベクトルを $mtrw_n^k$ 、補正人体座標で表現された位置ベクトルを $mtrwb_n^k$ 、それぞれを同次座標として表現したものを

$$\tilde{m}_n^k = \begin{pmatrix} x_n^k \\ y_n^k \\ z_n^k \\ 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$\tilde{T}_{o_{ti}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -O_{g_{x_{ti}}} \\ 0 & 1 & 0 & -O_{g_{y_{ti}}} \\ 0 & 0 & 1 & -O_{g_{z_{ti}}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$\tilde{T}_{w_{ti}} = \begin{pmatrix} T_{w_{ti}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix} \quad (17) \quad \tilde{T}_b = \begin{pmatrix} T_b & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$\widetilde{mtrwb}_n^k = \tilde{T}_b \tilde{T}_{w_{ti}} \tilde{T}_{o_{ti}} \tilde{m}_n^k \quad (19)$$

$$\tilde{T}_{b_{w_{o_{ti}}}} = \tilde{T}_b \tilde{T}_{w_{ti}} \tilde{T}_{o_{ti}} \quad (20)$$

$\widetilde{mtr}_n^k, \widetilde{mtrw}_n^k, \widetilde{mtrwb}_n^k$ とする。 \tilde{m}_n^k から \widetilde{mtr}_n^k への変換行列は、 $\tilde{T}_{o_{ti}}$ である。 \widetilde{mtr}_n^k から \widetilde{mtrw}_n^k への変換は、 $\tilde{T}_{w_{ti}}$ である。 \widetilde{mtrw}_n^k から \widetilde{mtrwb}_n^k への変換は、 \tilde{T}_b である。それぞれを(16)(17)(18)に示す。から \widetilde{mtrwb}_n^k への変換

$\tilde{T}_{b_{w_{o_{ti}}}}$ は、(19)(20)に示されている。

3. 振り動作抽出

振り動作は、以下のように抽出する。

- (1) 師匠に振り動作のみを踊ってもらいデータを入力する。
- (2) この動作データは、振りの開始時刻を t_s とし、以降のデータ(装置座標による位置データ)に $\tilde{T}_{b_{w_{o_{ti}}}}$ を適用し、補正身体座標におけるデータとしておく。
- (3) 被験者に踊り動作全体を踊ってもらいこのデータを入力する。
- (4) 着目マーカーをきめ、(3)のデータに対し、(1)をレファレンスとしてD_Pマッ

チングを行う。このとき、(3)のデータの動作開始時刻を t_{sdp} とし、これ以降に

$\tilde{T}_{DWO,tsdp}$ を適用し、補正身体座標のデータ $\tilde{t}_{DWO,tsdp}$ を DP マッチングさせる。

- (5) DP マッチングを (4) の動作開始時刻を変化させて適用しそれぞれの評価値を得る。
- (6) 最小評価値を与える時刻を抽出された振り動作の終了時刻とし、マッチングのパスを遡ることにより開始フレームを得る。この開始フレームと終了フレームの間が抽出された振り動作である。

4. 振り動作抽出結果

図3、図4に振り抽出の結果を示す。踊りは、2種類(ストーリー1とストーリー2)である。それぞれが3つの振りで構成されている。図は、抽出された最初の振りの開始位置をあわせて表示したものである。I氏は、踊りの師匠で、I氏が振りのみを踊ったデータがレファレンスである。A,B,C氏は、それぞれ2回同じ踊りを踊った。いずれも場合も、振りは、抽出できている。しかし、レファレンスの振りデータの長さ(動作時間)に比べ、抽出された振りは、これより短くなっている。また、抽出された振り動作と振り動作の間隔が、被験者ごとに異なっていることもわかる。これらの原因は、今後検討することにするが、振りが存在するか否かという問題と振りの開始と終了は、どこかという問題は、別々の方法で検証してもよさそうである。後に述べる姿勢のデータを使い、振りの開始と終了はどのような動作なのか、それがDPマッチングで適正に出力されたかどうか今後、確認することにする。振り動作の開始と終了を客観的に評価する手法は、今後の課題である。

5. 骨格角度の定義

5.1 マーカーによる骨格

動作における姿勢を客観的に評価する方法と

して、マーカーの取り付けられている位置を結ぶ線分を骨格とみなし、この方向や角度を算出する。方向は、座標軸に対する2つの角度によって表現するが、先の補正された身体座標を用いる場合がある。補正された身体座標による座標値は、各時刻ごとの変換行列を測定装置座標の座標値に適用して求める。つまり、つねに腰を

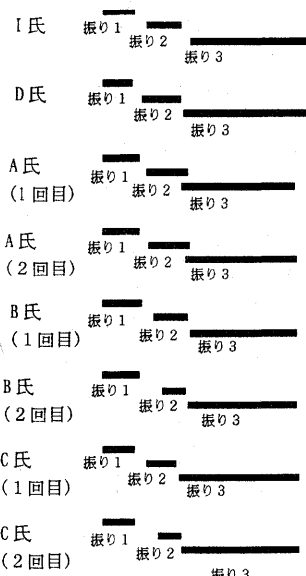


図3 ストーリー1における振り動作抽出結果

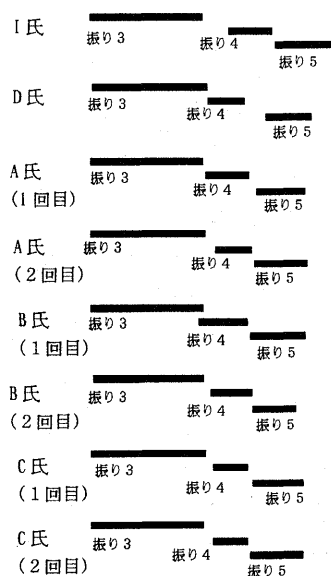


図4 ストーリー2における振り動作抽出結果

中心とした姿勢を算出する。

5. 2 方向の算出

マーカードウしを結んだ線分の方法は、以下のように算出する。図5に示すように、指定した座標の上において仰角と回転角を求める。この線分の方法は、19と6を結ぶ線分、すなわち背骨の方向や2と3と4でできる3角形の面の向き、つまり顔の向きなどに適用する。

5. 3 隣接した骨格の角度表現

両腕や両足は、骨格が自由度の大きい関節によって連結している。この場合、それぞれの骨格の方向を別々に求めるのではなく、隣接する骨格の角度を算出することとした。このとき、図6に示すように角度を保ったまま、回転するので、隣接する骨格で作られる平面(3角形)のなす方向を算出する。足と腕では、関節の自由度が異なるので、少し、異なった表現をする。

5. 4 両腕の角度表現

両腕は、関節の自由度が非常に大きい。両腕骨格を15-14-12-6-8-9を結ぶ線分とみなして、それぞれの線分の角度表現を行う。図7に示すように右側であると、15-14-12でできる三角形、14-12-6でできる三角形の面の方向を利用する。

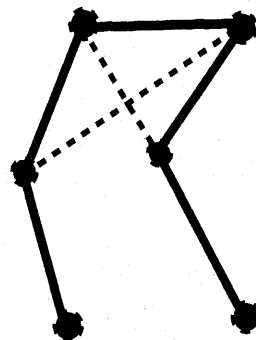
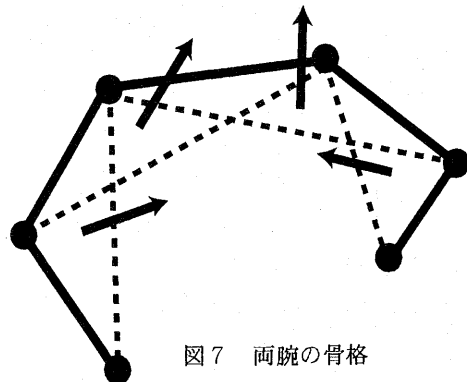
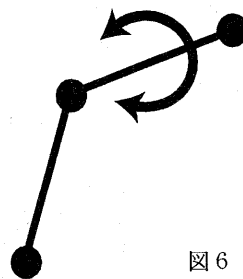
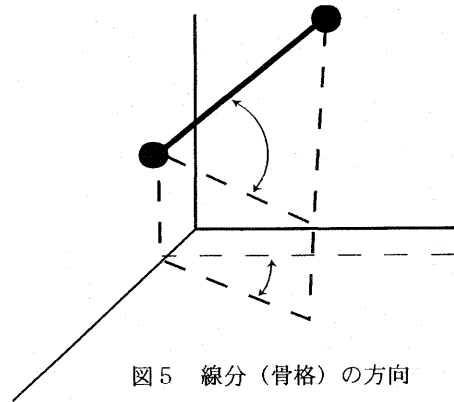
15-14-12でできる三角形の方向は、2種類の方法がある。補正身体座標により面の法線方向を求める方法と14-12-6でできる面の法線とのなす角度によって求める方法である。後者の方が、変数が少なく12-6の線分に相対的な姿勢となる。

5. 5 両足の角度表現

両足は、自由度が腕にくらべ少ない。ひざの回転は、折り曲げのみとし、大腿部分は、肩関節のような自由度を持つとする。よって、図8に示すように27-25-21-20-24-26を結ぶ線分のなかで、25-21-20と24-20-21でできる3角形の面の向きを利用する。この面の向きは、補正身体座標により求める。

5. 6 角度表現のまとめ

舞踊動作の解析に必要なと思われる角度表現を部位ごとにまとめた(表1)。



部位	角度、方向	方向の基準
頭部	三角形2-3-4の面の法線	補正身体座標
腕(15-14)	15-14と14-12のなす角	
	三角形15-14-12の面の法線	身体補正座標または、三角形14-12-6の法線とのな
腕(14-12)	14-12と12-6のなす角	
	三角形14-12-6の面の法線	補正身体座標
肩(12-6)	三角形12-6-18の面の法線	補正身体座標
足(27-25)	25-27と21-25のなす角	
足(25-21)	25-21と21-20のなす角	
	三角形25-21-20の面の法線	補正身体座標
かまえ(19-4)	19-4の方向	補正身体座標
内輪	三角形25-21-20の面の法線 と三角形24-20-21の面の法線 のなす角	

表1 部位ごとの角度、方向の定義

6. まとめと考察

動作の切りだしに用いた座標変換は、開始位置における補正身体座標である。よって、得られる座標値は、体の各部位の姿勢と体自体の動きとの両方の変化を表現している。動作を特徴づけるものは、体の姿勢と体全体の動きであるので、ここで述べた方法は、一つのマーカーであっても動作抽出が可能である。すでに、体自体の動きについては、移動量に関する指標を与えている[2][3]。一方、時刻ごとにその腰の位置における補正身体座標への変換を行った場合、体中心に対する姿勢のみの情報となるため、マーカーの変動が少ない。ここで述べた、角度による情報も同じであって、一つの部位のみでは、振り動作のなかで特徴が現れない場合がある。局所的な情報が集まって特徴をなしたとすると、角度の場合、隣接する一連の部位、例えば、腕の15-14-12-6-8-9や足の27-25-21-20-22-24-26をひとまりにしたときの特徴を抽出すべきであると考える。これは、多次元の時系列データの

特徴を解析することにはかならず、今後、是非解決したい課題である。

文献

- [1] 渡部保, "日本の舞踊", 岩波新書, 1991
- [2] 吉村ミツ, 酒井由美子, 甲斐民子, 吉村功, "舞踊の「振り」部分抽出とその特性の定量化の試み," 電子情報通信学会論文誌, J84-D II, No. 12, pp. 2644 - 2653, 2001
- [3] 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の動作解析," 画像の認識・理解シンポジウム