
モーションキャプチャシステムにより取得された 動作データの解析による舞踊演目の特徴抽出

工学資源学部電気電子工学科 三浦 武

1. はじめに

秋田県は重要無形民俗文化財に指定された数多くの民俗芸能を有する県であるが、近年では人口減少や高齢化という大きな問題も抱えている。それに付随して生じている民俗芸能の後継者不足は深刻な問題となっており、それらの保存や伝承が切実な課題となっている。

このような状況の中、秋田大学・ノースアジア大学と言った学術機関、(株)わらび座等の県内企業、さらに秋田県も加わった産学官連携の研究グループにより、民俗芸能に属する数多くの民俗舞踊の動作を記録・保存するシステムの研究が行われており、民俗舞踊の次世代への伝承に貢献する様々な技術の開発が期待されている⁽¹⁾。

筆者は、上記の研究の一環として総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度の支援を受けて2005年度～2007年度に行われた地域情報通信技術振興研究開発「モーションキャプチャを用いた地域伝統芸能のデジタルコンテンツ制作に関する研究」および2009年度から行われている地域ICT振興型研究開発「超高齢社会における技能継承のためのユビキタス手習所の研究開発」の一員として研究・開発を行っている。具体的には、3次元空間における人体動作を記録できるモーションキャプチャシステムによって取得された民俗舞踊の動作データを用いて、各々の舞踊演目の動作特徴を抽出する数値解析法を開発している^{(2)~(7)}。本稿では、これまでに開発された動作解析法の一部を紹介する。

2. 人体動作のモーションキャプチャデータ

モーションキャプチャシステムに用いられる動作測定用センサには種々の形式のものがあるが、筆者らの研究グループでは、各センサの3次元空間における位置とその回転角度を同時に計測することが可能である磁気式センサを用いたシステムにより人体動作を記録している。

モーションキャプチャシステムにおいて得られた人体動作のモーションキャプチャデータ（以下 Mocap データと呼ぶ）の記述形式にも様々なものがある。それらの記述法は、その使用目的によって使い分けられるが、筆者は、舞踊動作の特徴抽出において要求される下記の項目を基準として記述法を選択している⁽⁸⁾。

(1) データ取得時の被験者の体格差が影響しない。

(2) 動作測定用センサの取り付け位置の違いが影響しない。

結果として選択された記述法は、各関節を分割点として人体を各部位に分割し、それぞれの部位を剛体セグメントと見なして部位間関節の回転角度の時間変化によって動作を表すという骨格構造人体モデルを用いた方法である⁶⁾。

各関節の回転角度は関節の上側の剛体セグメントに対する下側のセグメントの相対姿勢によって表される。3次元空間における剛体姿勢の記述法には様々な形式があるが、筆者は、下記の項目を考慮して⁶⁾、exponential map⁸⁾と呼ばれる記述法を選択している。

- (1) 与えられた姿勢を記述する変数の数値解が一意に定まる。
- (2) 姿勢の変化が連続である場合には数値も連続的に変化する。
- (3) 変数群に対する拘束条件がなく、それぞれの変数を単独で変化させることができる。

exponential map の記述には3次元ベクトルが用いられる。このベクトルは、その方向によって回転軸の方向を、その大きさによって回転角度の大きさを示す。exponential map には、姿勢を表す数値の変化が不連続になる特異点が1点だけ存在するが、筆者は、特異点の位置を各関節の可動範囲外とすることによってその影響を排除することを考慮して、図1のような基準姿勢を有する骨格構造人体モデルを用いている⁶⁾。

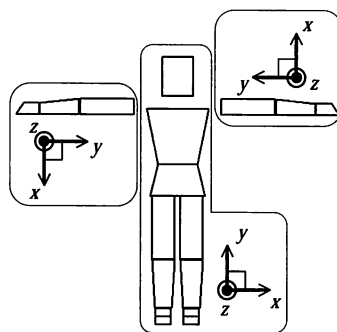


図1 骨格構造人体モデル

図中の座標軸は、各部位の姿勢の基準となる座標系を示しており、バイオメカニクスの視点から、それぞれの座標軸が人体動作の回転軸である前額軸⁹⁾、垂直軸⁹⁾および矢状軸⁹⁾と一致するように設定されている。このモデルは、15個の剛体セグメントとそれらを結ぶ14個の関節によって構成されている。各関節の回転角度は、exponential map ベクトルの3成分である3つの変数によって記述されるので、人体全体の動作は3変数×14関節=42次元ベクトル ($u = [u_1 \quad u_2 \quad \dots \quad u_{42}]^T$)の時系列データによって記述されることになる。

各々のサンプル時間におけるデータをその時刻におけるフレームと呼ぶ。フレーム番号を n で表すと、そのフレームにおける人体姿勢は $u(n) = [u_1(n) \quad u_2(n) \quad \dots \quad u_{42}(n)]^T$ で表されることになる。

3. 舞踊動作の特徴抽出のための解析法の導出

Mocap データの解析による種々の舞踊演目の特徴抽出の取り組みはいくつかの研究グループにおいて行われている^{(10)~(12)}。解析対象となっている舞踊の中でも、日本舞踊やクラシックバレエといった伝統芸能に属する舞踊に関しては、それぞれにおいて舞踊動作の様式が厳密に定義されている場合が多く、よって、実際に Mocap データを解析する場合にも、動作様式の情報を生かした形で舞踊動作に関する何らかの評価指標を設定している研究例が多い⁽¹⁰⁾。

他方で、秋田県に数多く存在する盆踊りのような民俗芸能に属する舞踊に関しては、必ずしも厳密な様式が定義されていないものが多いことから、それらの舞踊の Mocap データを解析する場合には、様式の情報に頼らない形で舞踊動作の評価指標を設定する必要が生じる。

筆者は、上記のような条件を満足する評価指標を導出するため、統計学の知識を活用している。現在まで統計演算に基づいた種々の解析手法を提案しているが、以下ではその中で最もシンプルな演算によって得られる評価指標を用いた解析法を紹介する⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

ある舞踊演目の総フレーム数が N であるとする、その Mocap データは $u(n) = [u_1(n) \quad u_2(n) \quad \dots \quad u_{42}(n)]^T$ ($n=1, 2, \dots, N$) で表されることになる。この時系列データに対して、統計学における最も基本的な統計量の 1 つとして知られる分散共分散行列を求めると次のようになる。

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{142} \\ s_{12} & s_{22} & \cdots & s_{242} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{142} & s_{242} & \cdots & s_{4242} \end{bmatrix}$$

ただし、

$$\bar{u}_j = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_j(n)$$

$$s_{jk} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{u_j(n) - \bar{u}_j\} \{u_k(n) - \bar{u}_k\}$$

である。この行列の対角成分は各変数の分散を表し、バイオメカニクスの視点から見れば、各関節における各方向への曲げ伸ばし動作(屈曲/伸展および内転/外転)およびひねり動作(回旋)の発生の度合いを示すことになる。非対角成分は共分散を表し、同様な視点から見れば、関節間の協応によって生じる 2 関節同時運動の発生の度合いを示すことになる。

各舞踊演目に関して分散共分散行列を求めることにより、どの関節の動作量が多いか、あるいはどの関節とどの関節が常に連携して動くのかといったその演目特有の動作特徴が抽出できる。また、その演算は、演目ごとの舞踊動作の様式の情報を用いずに実行可能である。さらに、総フレーム数が異なる複数の Mocap データに対しても、 42×42 行列という同一のフォーマットでそれぞれの動作特徴が与えられるので、舞踊演目間の特徴比較が容易になるという利点も得られることになる。

以下では、分散共分散行列によって与えられる舞踊動作の評価指標を用いた応用例を示す。

4. 舞踊演目の特徴抽出の解析事例

分散共分散行列によって表された舞踊動作の評価指標の応用例として、各舞踊演目の Mocap データから、「この踊りといえばこのポーズ」と連想できるような、その演目の振付を象徴する代表的なポーズを自動的に抽出する解析法を示す⁽⁴⁾。

M 個の演目の Mocap データで構成されるデータベースを考える。このとき、第 m 演目の Mocap データは ${}^m u(n) = [{}^m u_1(n) \quad {}^m u_2(n) \quad \dots \quad {}^m u_{42}(n)]^T$ ($n=1, 2, \dots, {}^m N$) で表され、その分散共分散行列も、

$${}^m S = \begin{bmatrix} {}^m s_{11} & {}^m s_{12} & \dots & {}^m s_{142} \\ {}^m s_{12} & {}^m s_{22} & \dots & {}^m s_{242} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}^m s_{142} & {}^m s_{242} & \dots & {}^m s_{4242} \end{bmatrix}$$

と表されることとする。このとき、分散共分散行列の各要素に関して、データベース全体を考慮した場合の中心的傾向と散布の度合いはそれぞれ次式によって評価できる。

$$\bar{s}_{jk} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M {}^m s_{jk}$$

$$\sigma_{jk}^2 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M ({}^m s_{jk} - \bar{s}_{jk})^2$$

これらの値を用いて、各演目の分散共分散行列の各要素を ${}^m s'_{jk} = ({}^m s_{jk} - \bar{s}_{jk}) / \sigma_{jk}$ として標準化すると、その値はデータベースの中心的傾向からのその演目のずれの度合いを与えることになり、結果としてその演目の動作特徴の「独自性」が示されることになる。

よって、第 m 演目の第 n フレームにおいて、分散共分散行列の各要素間の偏差積に対して次式のように上記の「独自性」の大きさ $|{}^m s'_{jk}|$ で与えられる重みを付けて全要素の偏差積和を計算すると、その値はこのフレームの姿勢において現れるその演目特有の「独自性」の度合いを示すことになる。

$${}^m d(n) = \sum_j \sum_{k(j \leq k)} \text{sgn}({}^m s_{jk}) |{}^m s'_{jk}| \{ {}^m u_j(n) - {}^m \bar{u}_j \} \{ {}^m u_k(n) - {}^m \bar{u}_k \}$$

結果として、上式の値が最大となるフレームが、第 m 演目が示すその動作の「独自性」を最もよく表した象徴的な姿勢を与えることになる。

図2に、秋田県の三大盆踊りの1つとして知られる鹿角市毛馬内の「毛馬内盆踊り」の「甚句踊り」の解析例を、図3には同県横手市増田町の「増田盆踊り」の解析例を示す。これらの Mocap データは、(株)わらび座の全身動作用モーションキャプチャシステム (MotionStar

Wireless™, Ascension Technology Corporation) および「モーションキャプチャを用いた地域伝統芸能のデジタルコンテンツ制作に関する研究」において開発された手指用モーションキャプチャシステム (LIBERTY™, Polhemus, 「毛馬内盆踊り」収録時のみ使用) を用いて取得されたものである。

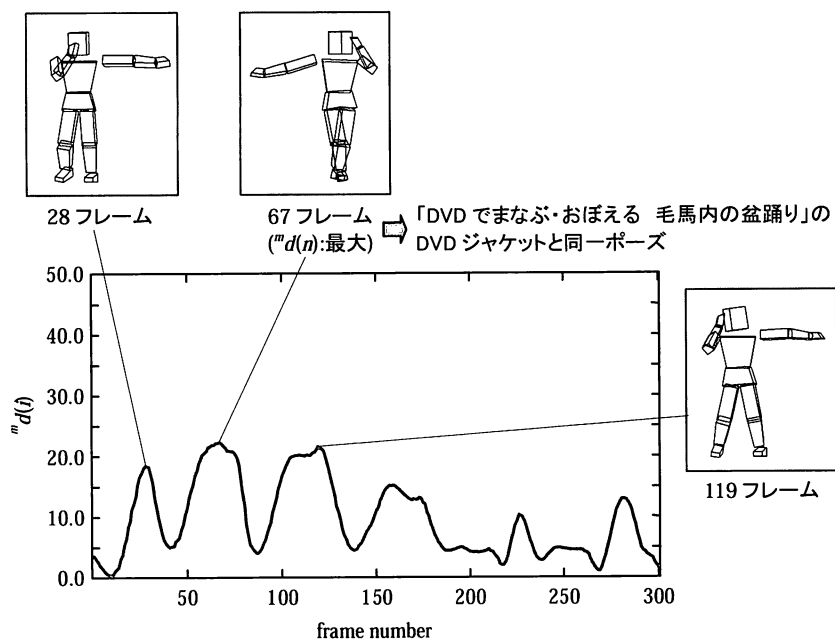


図 2 各演目の代表的ポーズの抽出例 1: 「毛馬内盆踊り」の「甚句踊り」

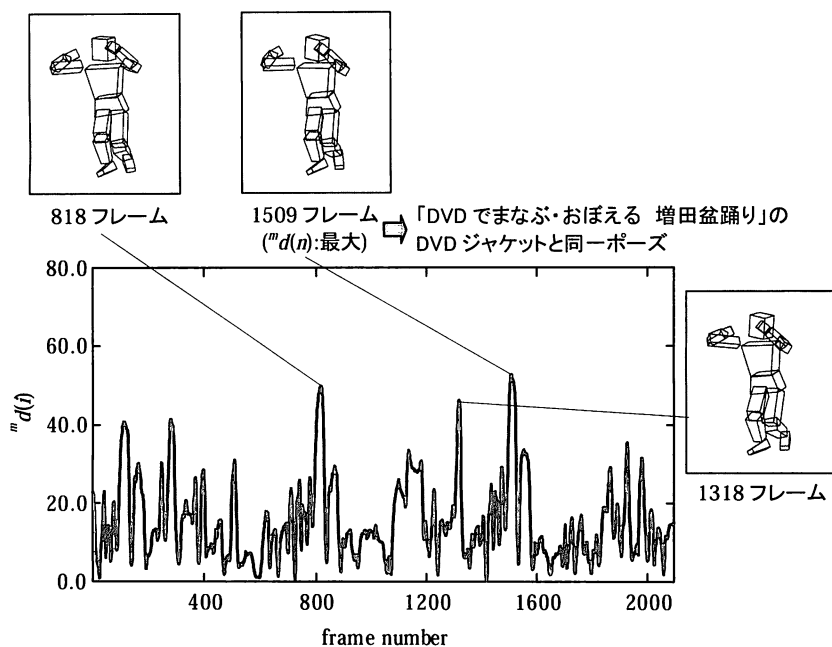


図 3 各演目の代表的ポーズの抽出例 2: 「増田盆踊り」

いずれの場合も、上式の最大値を与えるフレームの姿勢は、民俗芸能の教育用 DVD ソフト「DVD でまなぶ・おぼえる」シリーズ⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾のジャケット写真に使用されているポーズと同一な姿勢となっていることが確認されており、このことから、本手法を用いることにより、「この踊りといえばこのポーズ」と連想できる象徴的なポーズを自動抽出できることがある程度実証されたと言える。

分散共分散行列によって与えられる舞踊動作の評価指標の活用例としては、上記の解析法の他にも、多変量解析法の1つであるクラスター分析法と組み合わせることによって、舞踊演目を図4のような樹形図の形で自動的に分類する解析法等の開発事例もあげられる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。また、分散共分散行列を用いる手法の他にも、やはり多変量解析法の1つとして知られる因子分析法を用い、各関節動作の協応関係に基づいて基本動作を分割抽出する解析法も開発されている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁷⁾。

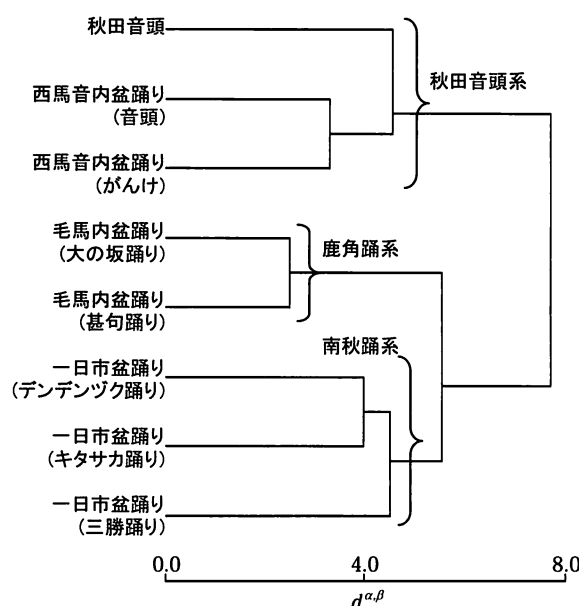


図4 クラスター分析による秋田三大盆踊りの自動分類

5. おわりに

上記のように、研究プロジェクトの現段階において既にいくつかの Mocap データの解析法が開発されている。ただし、実際の所、やっと発展途上の段階に到達したという状況であり、解決すべき問題も多々残っている。今後は、これまでに蓄積された解析技術をベースとして、それぞれの民俗舞踊の特徴抽出に貢献する実用的解析手法の更なる開発を行っていく予定である。

(1) 玉本英夫, 湯川崇, 海賀孝明, 水戸部一孝, 三浦武, 吉村昇: 産学官連携による民俗

-
- 芸能伝承のためのデジタルコンテンツ制作技術の開発, 電子情報通信学会誌, Vol. 91, No. 4, pp.303-308 (2008)
- (2) T. Miura K. Mitobe, T. Kaiga, T. Yukawa, T. Taniguchi and N. Yoshimura: Extraction of Characteristic Motion in Dancing by Factor Analysis, ACM SIGGRAPH 2006, Research Posters, Article No. 103, Boston, USA (2006)
- (3) T. Miura K. Mitobe, T. Kaiga, T. Yukawa, T. Taniguchi and N. Yoshimura: Evaluation of Similarity of Motion in Dancing Using information of Correlation Relationship in Motion Characteristics, ACM SIGGRAPH 2007, Posters, Article No. 81, San Diego, USA (2007)
- (4) T. Miura K. Mitobe, T. Kaiga, T. Yukawa, T. Taniguchi and H. Tamamoto: Extraction of Characteristic Postures in a Dance by Statistical Analysis of a Database of Motion Data, ACM SIGGRAPH 2009, Posters, Article No. 5, New Orleans, USA (2009)
- (5) 三浦 武, 水戸部一孝, 湯川 崇, 海賀孝明, 谷口敏幸, 吉村 昇: 骨格構造人体モデルの等価角軸変換データを用いた舞踊動作の特徴抽出, 人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, Vol. 2007, No. 15, pp.381-388 (2007)
- (6) 三浦 武, 湯川 崇, 海賀孝明, 谷口敏幸, 玉本英夫: 骨格構造人体モデルを用いた舞踊演技のクラスタリングと特徴抽出, 情報処理学会人文科学とコンピュータ研究報告, 2008-CH-80(5), pp.31-38 (2008)
- (7) 三浦 武, 水戸部一孝, 湯川 崇, 海賀孝明, 谷口敏幸, 吉村 昇: 舞踊動作データの因子分析による基本動作の抽出, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 9, pp.3302-3315 (2008)
- (8) F. S. Grassia: Practical Parameterization of Rotations Using the Exponential Map, J. Graphics Tools, Vol. 3, pp. 29-48 (1998)
- (9) R. Bartlett: Introduction to Sports Biomechanics, 2nd Edition, Routledge (2008)
- (10) 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, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D-II, No.12, pp.2644-2653 (2001)
- (11) 寺田賢治, 福原徹: 阿波踊りの動きの3次元解析の試み, 電気学会論文誌 C, Vol. 129, No. 5, pp.876-884 (2009)
- (12) 曾我麻佐子, 海野敏, 安田孝美: クラシックバレエの振付を支援する Web ベースのモーションアーカイブと 3DCG 振付シミュレーションシステム, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 2, pp.227-234 (2003)
- (13) 毛馬内盆踊保存会編: DVD でまなぶ・おぼえる 毛馬内の盆踊, DAF 07N02, 毛馬内
-

盆踊保存会 (2007)

- (14) 秋田県横手市監修：DVD でまなぶ・おぼえる 増田盆踊り, DAF 07N03, マザーズシステム・ジャパン (2007)