

動作の質評価指標と段階的評価法の提案

渡沼 玲史
日本大学芸術学部

入江 寿弘
日本大学理工学部

丸茂 美恵子
日本大学芸術学部

モーションキャプチャデータを用いて舞踊の評価指標を比較的簡単に算出できる物理量とその関係から作成し、作成された4評価指標を動作に適用した。使用したデータは同一人物による日本舞踊動作4種類とラジオ体操、歩行という動作の組と、ある日本舞踊動作の6人の演者による動作の組である。これらを動作の切れ目に従ってそれぞれ、320個、264個のセグメントに分割し、作成した評価指標に基づいてクラスタリングを行った。評価指標による分類と人間の観察による動作の分類とを比較した結果、評価指標による分類と人間の観察による分類は比較的高い確率で一致した。この結果は動作の大きな質を、質評価指標によってある程度評価できるということだと考えられる。この分類結果は、細かい質の分析の補助になると考えられる。

Methods for evaluating movement with indexes

Reishi Watanuma
College of Art,
Nihon University

Toshihiro Irie
College of Science
and Technology,
Nihon University

Mieko Marumo
College of Art,
Nihon University

In this research, we created four indexes to evaluate dance movement according to the physical quantities of movement which could be drawn with the motion captured data comparatively easily. Then we applied these four indexes to two sets of movements: One included four movements from Nihon Buyo plays, the radio gymnastics and walking movements and the other included movements of six dancers from Nihon Buyo plays. After separating these two sets of movements into 320 and 264 motional segments respectively, we applied the K-means clustering to these segments with these four indexes. When we compared the clusters derived from the above clustering process with types into which we classified the segments by observation, we found that quite a few clusters corresponded to the men-separated types. This result indicates that the four indexes can be adopted as a method to evaluate movement in some measure

1. はじめに

モーションキャプチャシステムによって人間の動作をデジタルデータとして記録できるようになり、データを利用した人間の動作の解析も行われている。この動作解析には、リハビリテーションやスポーツなど動作の目的に対して効率的な身体の使用方を解析するものと、コミュニケーションの媒体としての身体のあり様を探るものがある。本研究では後者、特に舞踊の動作を扱う。

舞踊の動作は多彩であり、受ける印象もまた多彩である。本研究では、多彩な印象を生み出す要素を動作の質と定義する。動作の質には、動作自体が違うことからくる大きな質の違いと、同じ動作であっても舞踊家Aと舞踊家Bでは、あるいは熟練者と非熟練者では質が違う、という場合のような細かい質の違いがある。こうした動作の質を捉えることは、舞踊のみならず人間の全身的/暗黙的コミュニケーションの分析に有用であると考えられる。また捉えた質を記号化することによって、動作に関する分析・議論を促進することができる。分析結果は将来的にはCGやロボットにおいて、美しい動作、

人に不安を与えない動作などに応用できると考えられる。

2. 先行研究

大きな質に関しては、汎用的な質評価基準を作成して動作を評価するやり方がある。汎用的な質評価基準を提示しているのは、中田[1]、高階等[2]の研究である。中田は人間の身体動作認識法を提案した論文の中で、コーエンの理論をもとに、人間の身体動作を分析している。また、高階等の研究においては、ラバン動作解析の定量化を試みている。これらの研究は人文科学にすでにある舞踊研究の指標を数値化するというところを行っており、人間の感性をもとにした指標を数値化することを試みているという点において困難が予想される。細かい質に関しては、研究課題特有の特徴抽出が行われる。細かい質の分析には同じ動作、あるいは同種の動作の中で身体の一部に注目して分析が行われることが多い[3]。

我々は[4]において、主に大きな質の記号化を目指し物理量をもとにした4つの動作の質評価指標を提案し、その有効性を検討した。その結

果、事前に分類した 8 動作種に分類できるものと分類できないものがあることが判明した[4]。提案した質評価指標の性質から静止動作の判別の成績が悪いこと、またセグメンテーションが適切でない場合に、動作の特徴をうまく捉えられないことが課題として判明したが、提案した指標によって動作の大きな質をある程度捉えられていることも分かった。

3. 研究目的と方法

本研究の目的は、我々の先行研究[4]で判明した課題を克服し、[4]で判別できなかった動作種も判別できるようにすることである。またこれまで独立していた大きな質の解析と細かい質の解析の連携ための方法を検討する。

研究の対象としたのは、二つの動作のグループである。第一のグループは、同一の舞踊家による日本舞踊動作 4 種類と歩行、ラジオ体操である。第二のグループは、6 人の演者による同じ日本舞踊動作(『歌舞伎踊』)である。

それらの動作を、動作の区切りで分解して、第一グループは 320 個のセグメントを抽出し、それらを動作の種類によって 8 種類に分類した。第二グループは、264 個のセグメントを抽出し、振りに応じて 16 種類に分類した。振りの種類は表 6 に示した。両グループにおいて、動作セグメントにおける 4 指標の値を算出し、それを用いてクラスター分析を行い、先の分類と比較することで指標の有効性を検討した。また、第二グループにおいては、大きな質の分類と質評価指標を、細かい質の分析に利用する可能性について検討した。

4. 計測手法

4.1 モーションキャプチャデータ取得法

モーションキャプチャ装置では、マーカと呼ばれる反射体の絶対位置座標が単位時間毎に記録される。本研究では、42 個のマーカを身体に取り付け、1 秒間に 60 フレームのサンプリングレートでデータを取得した。取り付け位置は図 1 の通りである。

取得した動作は歩行(約 4 秒)と日本舞踊動作 4 種類(約 2 分 8 秒~約 4 分 4 秒)、ラジオ体操(約 3 分 12 秒)である。身体各部分の重さの比率、またその部分に該当するマーカの番号は表 1 の通りである[5]。

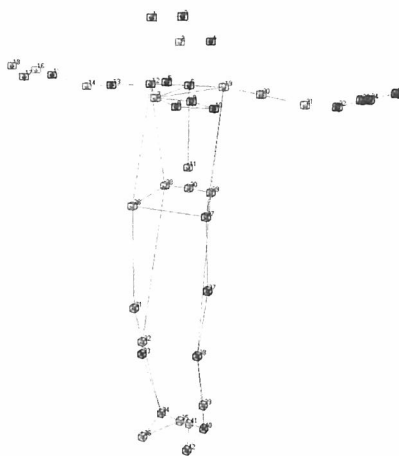


図 1 演者のマーカ取り付け図

表 1 身体各部分の重さの比率と該当するマーカ番号

身体部位番号 s	部位名	該当マーカ番号		体重 a [Kg]における 部位の重量 pm
		n	$m(1) \sim m(n)$	
1	頭部	5	1, 2, 3, 4, 5	$pm_1 = 0.0307a + 2.46$
2	首と胴体	6	6, 7, 8, 9, 10, 11	$pm_2 = 0.186a - 3.495$
3	右上腕	2	12, 14	$pm_3 = 0.0274a - 0.01$
4	右前腕	3	14, 16, 17	$pm_4 = 0.019805a - 0.0085$
5	右手	3	16, 17, 18	$pm_5 = 0.003495a - 0.0015$
6	左上腕	2	19, 21	$pm_6 = 0.0274a - 0.01$
7	左前腕	3	21, 23, 24	$pm_7 = 0.019805a - 0.0085$
8	左手	3	23, 24, 25	$pm_8 = 0.003495a - 0.0015$
9	腰	5	26, 27, 28, 29, 30	$pm_9 = 0.141a - 1.165$
10	右腿	2	26, 32	$pm_{10} = 0.1159a - 1.02$
11	右脛	2	32, 34	$pm_{11} = 0.0452a + 0.82$
12	右足	3	34, 35, 36	$pm_{12} = 0.0069a + 0.47$
13	左足	2	27, 38	$pm_{13} = 0.1159a - 1.02$
14	左脛	2	38, 40	$pm_{14} = 0.0452a + 0.82$
15	左足	3	40, 41, 42	$pm_{15} = 0.0069a + 0.47$

4. 2 指標に用いる物理量の計算方法

指標に用いる物理量は速度、運動量、加速度の絶対値、角速度である。フレーム k におけるマーカ番号 i の座標 $M_i(k)$ を式(1)とする。

$$M_i(k) = (x_i(k), y_i(k), z_i(k)) \quad (1)$$

上半身のマーカ位置 $Mu_i(k)$ (マーカ番号 1~30) に関して、腰を基準とした動きで扱うものとし、以下の式(2)を適応する。

$$Mu_i(k) = M_i(k) - Hip_i(k) \quad (2)$$

ただし、 $Hip_i(k)$ は腰の4点のマーカの中心点の座標を求める式(3)を用いる。

$$Hip_i(k) = \frac{\sum_{i=26}^{29} M_i(k)}{4} \quad (3)$$

これは、歩行などの移動の際に、すべてのマーカの位置が動くことにより、マーカの移動距離が必要以上に大きく出てしまうことを回避するための処理である。

フレーム k におけるマーカ番号 i の速度を $V_i(k)$ とする。

フレーム k における身体部位番号 s の速度 $W_s(k)$ は、式(4)のとおり該当マーカの速度の平均とした。

$$W_s(k) = \frac{\sum_{j=1}^n V_{m(j)}(k)}{n} \quad (4)$$

フレーム k における身体部位番号 s の運動量 $P_s(k)$ は、

$$P_s(k) = W_s(k) \times pm_s \quad (5)$$

である。運動量を求めるのは正確な物理量としての運動量を求めるためではなく、舞蹈の特徴をあらわす指標としての運動量を求めるため、被験者の体重 a はすべて 50kg として計算した。

フレーム k における身体部位番号 s の加速度の絶対値 $A_s(k)$ は、

$$A_s(k) = |W_s(k) - W_s(k-1)| \quad (6)$$

である。

表 2 関節部位と該当マーカ番号

関節番号/ mp(1)~mp(3)	該当部分	該当マーカ番号 mp(1)~mp(3)
1	首	1, 6, 10
2	右肩	9, 6, 12
3	右上腕	14, 12, 28
4	右前腕	16, 14, 17
5	右手	14, 16, 18
6	左肩	9, 6, 13
7	左上腕	29, 19, 21
8	左前腕	19, 21, 22
9	左手	21, 23, 25
10	背中	7, 11, 30
11	右腿	30, 28, 32
12	右脛	28, 32, 35
13	右足	32, 35, 36
14	左腿	29, 30, 28
15	左脛	29, 38, 41
16	左足	38, 41, 42

角速度は表2の各部分の角速度の総和である。フレーム間の角度の差分の絶対値を角速度とし、フレーム k における関節番号 s の角速度を $Ls(k)$ とし、角速度の総和 $La(k)$ を、

$$La(k) = \sum_{s=1}^{16} Ls(k) \quad (7)$$

とする。ただし関節番号 s のフレーム k の角度の算出には、次の2本のベクトル $\vec{A}_p(k)$, $\vec{B}_p(k)$ を用いる。

$$\vec{A}_p(k) = M_{mp(1)} - M_{mp(2)} \quad (8)$$

$$\vec{B}_p(k) = M_{mp(3)} - M_{mp(2)} \quad (9)$$

今回の分析には、身体各部分の速度の総和と身体各部分の運動量の総和、角速度の総和、加速度の絶対値の総和を使用した。但し、それぞれの値は、対象動作グループの全体の各物理量の平均が0、分散が1になるように正規化した値を用いた。本研究で使用し動作の組は、第一グループ「同じ演者による日本舞踊動作4種類と歩行とラジ体操のデータ」と第二グループ「6人の演者による日本舞踊動作『歌舞伎踊』」である。

フレーム k における身体各部分の速度の総和 $Wa(k)$ は、

$$Wa(k) = \sum_{s=1}^{15} W_{s(k)} \quad (10)$$

中 9 クラスターで 60% の判別精度だったが、本研究では 22 中 19 と約 86% に向上している。

[4] の結果及び、新セグメントに [4] の手法を用いたもの、[4] で用いたセグメントに新手法を用いたもので適合率を比較した結果を表 4 に示す。新手法では適合率が向上し、各セグメントがより適切にクラスターに分かれたといえる。また新しいセグメンテーションによって精度が向上したということもいえるだろう。

表 4 新旧手法の比較

	クラスター数	適合率
旧手法(旧セグメント)	15	56%
旧手法(新セグメント)	15	67%
新手法(旧セグメント)	27	67%
新手法(新セグメント)	22	74%

また各クラスターのレーダーグラフを見ることで、適合動作の特徴を把握することができる。適合動作が舞で適合率 50% 以上のクラスターに共通の舞の特徴はメリハリ度が低いことだと分かる(図 5)。同様に適合動作が仕草で適合率 50% 以上のクラスターを見ると速度の値が低くメリハリ度、複雑度が高くなっていることが分かる。

適合動作が体操で所属率が 50% 以上のクラスターはそれぞれ違う特徴を示している。これは体操が他の動作種より幅広い特徴をもつ動きの種類を含んでいて、特徴ベクトルがそれぞれの特徴を示しているためだと考えられる。

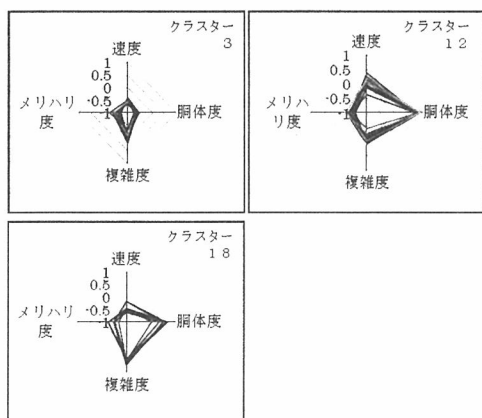


図 5 適合動作が舞のクラスター 3, 12, 18 のレーダーグラフ

7.2 第二グループ

各クラスターの適合動作と適合率を表 5 に示す。すべてのクラスターにおいて 50% 以上の所属率を示しており、比較的正確に分類できていることが分かる。また適合率が一番低いクラスター 21 に所

属するのは適合動作のほかに、「右手で腿をたたき、左手を顔の前に持ってきながら腰を沈める」という動作 4 個と「静止」動作 1 個であり、比較的似た動作が所属している。

また第二グループの動作種とそれぞれの適合率、第二グループ全体の適合率を表 6 に示す。動作種が 16 種類と第一グループに比べて多いにも関わらず、全体の適合率は 85% と高くなっている。また総数の多い動作種ほど適合率が高くなる傾向があった。

第一グループに比べ、第二グループは動作種が多く、より細かい分類になっているにもかかわらず適合率が高くなっていることから、質評価指標を用いたクラスタリングにおいては、同じ舞踊動作の集団を対象にした方がより詳細で正確な分類ができることが分かった。

7.3 同一クラスター内のセグメントの比較

同一クラスター内の動作は同じ振り、あるいは似た性質をもつ動作であることが多い。従ってクラスター内において細かい質を比較することが可能になると考える。本研究の手法では、質評価指標を求める際に、対象とした動作のグループのデータの中で正規化を行う。従って同じ動作が多い第二グループの方が細かな質の差が質評価指標に出やすくなっている。そこで、第二グループの第 17 クラスターで検討する。

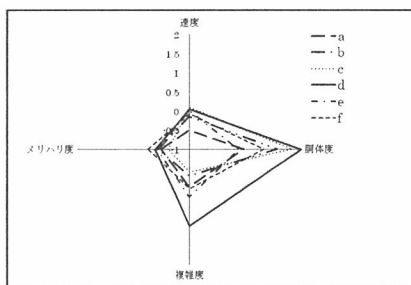


図 6 第二グループ第 17 クラスター内の「船を漕ぐ」動作のレーダーグラフ

第二グループの第 17 クラスターの適合動作は「船を漕ぐ」動作である。「船を漕ぐ」動作は櫂あるいは櫓で船を漕ぐ動作である。適合動作以外では「静止」動作と「右手で腿をたたき、左手を顔の前に持ってきながら腰を沈める」動作が各 1 所属している。第 17 クラスター内の「船を漕ぐ」動作のレーダーグラフを図 6 に示した。f はこの演目を指導した舞踊家のデータであり、他は生徒のデータである。

レーダーグラフを見ることによって各動作の個別の特徴が分かる。f を基準にしてみると、d は複雑度と胴体度が非常に高く、a は全般的に速度が遅い。この特徴を参考に、質評価指標のもとに

なった各物理量の時系列データをみることができる。各質評価指標のもとになった物理量から速度、運動量、角速度の時系列グラフを図7に示す。aは前半の速度が極端に低く、dは120, 180, 250, 310フレーム前後において角速度、運動量がかなり大きくなっている。モーションデータのスティックピクチャーを確認すると、aは前半で漕ぐための胴体の押し出しが弱く動きが小さいため速度が低くなっている。dは漕ぐために胴体を押し出すときに体をひねるために複雑度と胴体度が高くなっていることが分かる。

質評価指標のレーダーグラフと物理量の時系列データを段階的にみることによって動作の特徴を把握できたと考える。質評価指標のレーダーグラフによって時系列データの何に注目すればよいのかが分かり、各物理量の時系列データによって実際の動作のどこに注目すればよいか分かった。

8. まとめ

物理量とその関係からなる質評価指標を用いて動作を分類した。[4]の反省からセグメンテーションに基準を設けて細かく区切ること、並びに静止データを判別する処理を加えることによって動作の適合率を向上させることができた。

また、6人の演者による同じ舞踊を質評価指標によって分類した。第一グループより動作の種類が多いにもかかわらず適合率は高く、分類においては演者の差、動作の細かい質にとらわれずに分類できていた。この分類は大きな質による分類だと考えることができる。こうして分類された動作データの質評価指標のレーダーグラフによって動作の特徴をある程度とらえて物理量の時系列データの注目点を確認し、物理量の時系列データによって動作自体の注目点を確認し、スティックピクチャーによって動作の特徴を把握することができた。質評価指標、あるいは物理量の時系列データ、あるいはスティックピクチャーのどれか一つを見るだけでは把握しづらいことも、段階的にみていくことで動作の細かい質を把握することができた。

モーションキャプチャデータを用いて舞踊を解析する際には、適切な比較データが必要になることが多い。質評価指標を用いてクラスタリングを行うことで、適切な比較データと個別データのある程度の特徴をとらえることができると考える。その後の解析については目的に応じて別個手法を開発する必要があるが、質評価指標によって動作の特徴をある程度とらえておくことによって特徴の把握がしやすくなることが予想される。

今後は、より多くの例で検証を重ね、より良い質評価指標並びにそれによる特徴の把握手法の妥当性を検討していきたい。

表5 第二グループの各クラスターの適合動作と適合率

	所属率	適合動作
1	100%	体全体で回りながら左手を大きく回す
2	100%	静止
3	100%	静止
4	100%	首を振る
5	100%	左手を大きく体の右(左)側に振る
6	100%	左手を大きく体の右(左)側に振る
7	100%	手を広げる(手を重ねる)
8	100%	腰を落とす
9	100%	移動
10	100%	足を踏む
11	96%	右(左)に90度回転し、足を踏む
12	83%	左手を大きく体の右(左)側に振る
13	83%	右(左)に90度回転し、足を踏む
14	81%	右(左)に90度回転し、足を踏む
15	80%	右(左)に90度回転し、足を踏む
16	78%	静止
17	75%	船を漕ぐ振り
18	67%	足を揃えて、普通に立ち手を正面に向かって揃えて出す
19	59%	移動
20	57%	静止

表6 第二グループの動作種の所属数と適合率

動作種	総数	所属数	適合率
静止	24	21	87%
立ち上がる	6	0	0%
手を顔の前で重ねる(手を広げる)	12	11	91%
腰を落とす	12	9	75%
向こう側へ行って立つ(正面に歩いてきて腰を落とす)	24	24	100%
首を振る	6	4	66%
手を肩、腿に当ててから頭の上に構えて腰を落とす	6	0	0%
足を揃えて、普通に立ち手を正面に向かって揃えて出す	6	2	33%
左(右)に90度回転し、足を踏む	72	72	100%
振りをしながら右を向く	6	0	0%
船を漕ぐ、3回	6	6	100%
右手で腿をたたき、左手を顔の前に持ってきながら腰を沈める	6	0	0%
体全体で回りながら左手を大きく回す	6	6	100%
左手を大きく体の右側(左)に振る	60	60	100%
足を踏む	6	6	100%
両手を合わしつづ、左手を右手左足に振り、顔の上における	6	5	83%
合計	264	226	85%

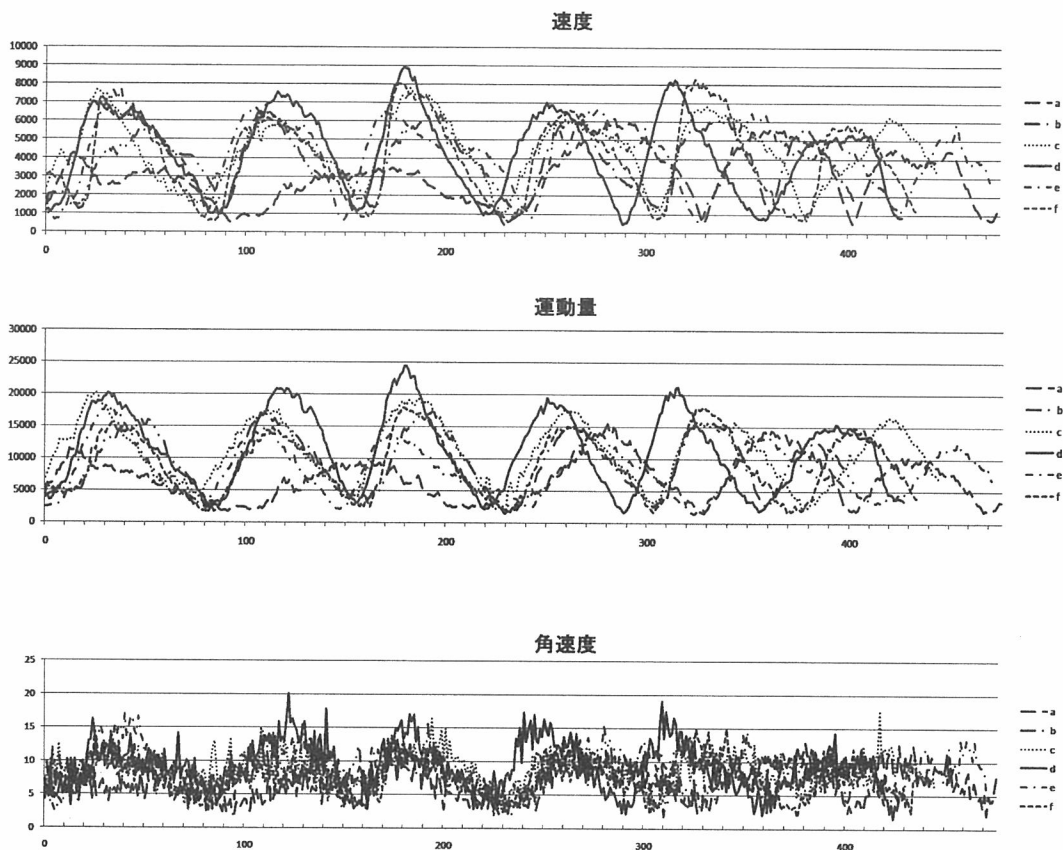


図7 「船を漕ぐ」動作の物理量

付記

本研究は、文部科学省オープン・リサーチ・センター整備事業日本大学芸術学部プロジェクト「日本舞踊の教育システムの文理融合型基盤研究並びにアジアの伝統舞踊との比較研究」及び文部科学省科研費（課題番号 20720043）によって行われた。

謝辞

研究にあたって日本大学芸術学部 ORC 研究員河端いずみ氏に多面にわたりご協力を頂いた。また被験者となられた舞踊家の方、日本大学芸術学部日本舞踊コース学生の方々、卒業生の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 中田：身体運動の認識：時間分節化による方法，<http://staff.aist.go.jp/toru-nakata/MChopDD/motionchopper.pdf>
- [2] 高階, 八村, 吉村：LMA に基づく舞踊動作の解析, 情報処理学会研究報告, 2005-CH-65, pp.9-16, 2005.
- [3] 神里, 山田, 玉城：舞踊動作における感性情報と上肢運動の解析, The 18th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2004
- [4] 渡沼, 入江, 丸茂: モーションキャプチャデータを用いた舞踊の質的評価の試み, 人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, 2007, pp297-304
- [5] Kreomer, K.H.E et al., Ergonomics: how to design for ease and efficiency, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1997