

## 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

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た舞踊の評価指標を、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評価指標によって動作を分類した。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、歩行である。これらを動作の切れ目に従って204個のセグメントに分割し、セグメント毎に評価を行った。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部分的に一致した。他方で評価指標によって分類された動作は、分類ごとに一定の特徴がみられたことから、評価指標によって動作の特徴が表せていると考えられる。

### A Method for Evaluating Dance Movement using Motion Capture Data

Reishi Watanuma  
College of Art,  
Nihon University

Toshihiro Irie  
College of Science  
and Technology,  
Nihon University

Mieko Marumo  
College of Art,  
Nihon University

We propose a method for analyzing dance movement using Motion Capture data. This method is aimed at creating new criteria for dance study in the humanities and consequently establishing a quantitative method for evaluating dance movement.

In this study, we take samples from three types of movements: traditional Japanese dance, walking and gymnastic exercise. These movements can be segmented into 204 segments in total which are classified into 8 types. We ascertain whether we can classify the sample movements into 8 types using the new criteria. The results demonstrate that the proposed method of analysis would be effective.

#### 1. はじめに

他の芸術分野と比べても芸術としての舞踊を、歴史や振付家ではなく舞踊そのものを研究することには困難がある。その理由は、第1に絵画などと違い舞踊が時間とともに消え去ることであり、第2に音楽と違い簡潔な記譜法が存在しないことである。汎用的な記譜法にラバノーテーションがあるが、楽譜に比べると複雑であり、楽譜の普及率からみれば広く普及しているとは言えない。こうした事から、芸術としての舞踊そのものに対する研究は立ち遅れてきた。こうした現状を解決する一手段としてモーションキャプチャ技術に期待が寄せられている。

他方でモーションキャプチャ技術とその研究の進展に伴い舞踊を取り扱う研究も増えている。舞踊研究者の視点から、直感的に理解しやすいのは、応用可能な汎用的な指標をもちいてモーションキャプチャデータを解析する舞踊研究 [1] [2] である。これらは既存の人文科学の指標をモーションキャプチャデータに応用したものである。我々は逆にモーションキャプチャデータから比較的簡単に取り出せる指標によって、舞踊の質的評価を行い、新たな舞踊評価指標を創り出すことを試みている。

#### 2. 先行研究

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、動作の質を6つに分類したコーエンの理論を元に、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、ラバン動作解析の一部を数量化して示している。これらの手法は、複雑かつ多量なデータを複数の特徴量として明示する事ができるために舞踊分析において有効なツールとなる事が期待される。また、質の評価に踏み込んではいないものの舞踊を分節化する Kahol 等の研究[3]は参考になる。Kahol 等の舞踊動作の分節法は、同じ舞踊を見せて振付家に分節させても、振付家によって切り分け方が違う点に着目している。そして振付家毎の切り分け方の特徴を捉える事で対象舞踊に対する有効な分節法を提唱した。この事は Kahol 等の研究によって振付家の個性がある程度表現できるという事を示していると考えられる。

#### 3. 芸術としての舞踊の特性

モーションキャプチャデータを用いた芸術としての舞踊、あるいは舞踊の芸術性を対象とする研究に特有の問題として、単に研究対象とし

ての身体動作を解析するだけではなく、その身体動作を見る人間が行う情報処理を同時に問題にしなければならないという点がある。ある動作がどのように評価されるかという問題は確定しづらい。従って本研究では、まず物理量をもとにした指標を作成し、それを元に舞踊の解析を行うことを試みている。

#### 4. 研究方法

本研究では、舞踊動作を評価するための指標として4種類の指標を定義し、それを用いて動作を評価して指標の有効性を検討する。研究の対象としたの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。それらを動作の区切りで分解し204個の動作セグメントを抽出した。そして、204のセグメントを動作の種類によって8種類に分類した。

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評価する。

#### 5. 計測手法

##### 5.1 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。

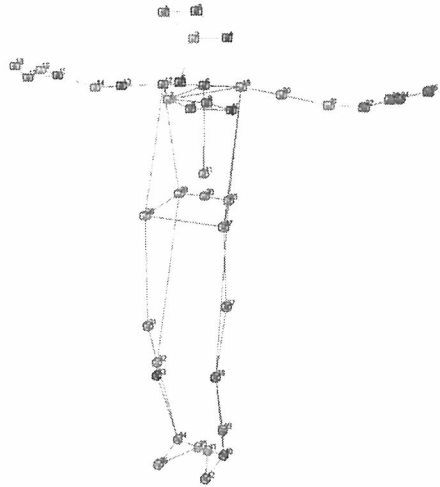


図1 演者のマーカ取り付け図

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は、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[3][4]。

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 $pm_s$
		$n$	$m(1) \sim m(n)$	
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	$pm_2 = 0.186a - 3495$
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	$pm_{15} = 0.0069a + 0.47$

## 5. 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  $V_i(k)$  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(5)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、舞踊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 $j$	該当部分	該当マーカ番号 $mp(1) \sim mp(3)$
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  $j$  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、身体の各部分の速度の総和と身体の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、母集団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。本研究で使用した母集団は「同じ演者による日本舞踊動作 4 種類と歩行とラジオ体操のデー

タ」(要素数  $h=6$ ) 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、

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

である。

フレームに  $k$  における身体各部分の運動量の総和  $Pa(k)$  は、

$$Pa(k) = \sum_{s=1}^{15} P_s(k) \quad (11)$$

である。

フレーム  $k$  における身体各部分の加速度の絶対値の総和  $Aa(k)$  は、

$$Aa(k) = \sum_{s=1}^{15} A_s(k) \quad (12)$$

である。

### 5.3 セグメンテーション

日本舞踊の動作の切り分けは、踊りを踊った舞踊家本人が行った。歌詞や表現の切れ目ではなく、運動の切れ目を意識してセグメンテーションを行った。「歩行」は1セグメント、『ラジオ体操第一』は一つの運動が1セグメントとなるようにした。全部で204個のセグメントが取り出された。1セグメントあたりのフレーム数は32~1146フレームとなり長さにはばらつきがあった。

### 5.4 4指標の定義

本研究では、速度、胴体度、メリハリ度、複雑度という4つの指標を用いてセグメントの特徴を評価する。

#### (1) 速度指標

セグメント  $r$  の1フレーム平均速度を  $Ws(r)$  を速度指標とする。

#### (2) 胴体度指標、メリハリ度指標、複雑度指標

セグメント  $r$  の1フレーム平均の運動量を  $Ps(r)$ 、1フレーム平均の加速度絶対値を  $As(r)$ 、1フレーム平均の角速度を  $Ls(r)$  とする。

セグメント  $r$  の胴体度指標  $B(r)$  は、図2に示すような速度  $Ws(r)$  における運動量  $Ps(r)$  の回帰直線からの残差の正規化された値とする。

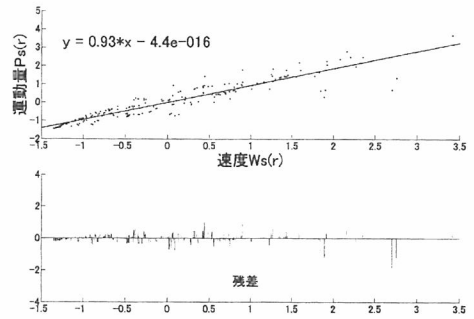


図2 速度と運動量の回帰直線と残差

同様に、セグメント  $r$  のメリハリ度  $Vs(r)$  は、図3に示すような速度  $Ws(r)$  における加速度絶対値  $As(r)$  の回帰直線からの残差の正規化された値とする。

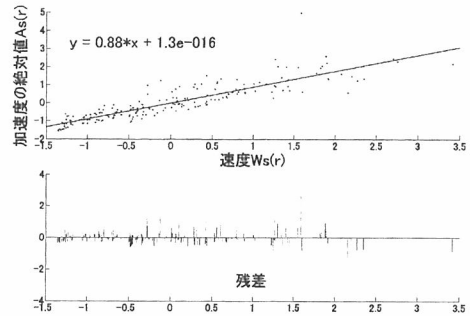


図3 速度と加速度の絶対値の回帰直線と残差

同様に、セグメント  $r$  の複雑度  $Cs(r)$  は、図4に示すような速度  $Ws(r)$  における角速度  $Ls(r)$  の回帰直線からの残差の正規化された値とする。

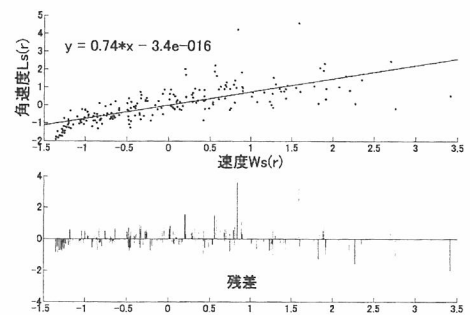


図4 速度と角速度の回帰直線と残差

胴体度指標が大きければ、より胴体部分が動

いている傾向があり、低ければ手など軽い部分だけが動いている傾向があると考えられる。メリハリ度指標が大きければ該当セグメント内の速度の変化が大きく、少なければ速度の変化が少ない傾向があると考えられる。複雑度指標が大きくなれば、より複雑になり、低ければ単純な動きになる傾向があると考えられる。セグメント  $r$  の動作特徴ベクトル  $\vec{S}(r)$  を、

$$\vec{S}(r) = (Ws(r), Bs(r), Cs(r), Vs(r)) \quad (13)$$

と定義する。

## 6. 動作の分類法

日本の舞踊は〈舞〉、〈踊り〉、〈振り〉から構成されると言われる。今回対象とした日本舞踊は『北州』出が〈舞〉、『娘道成寺』鈴太鼓が〈踊り〉、『娘道成寺』クドキが〈振り〉を中心に構成されている。『北州』と『娘道成寺』は素踊りと歌舞伎舞踊の修業課程の最終段階で習得する作品に位置付けられ、また『歌舞伎踊』は手ほどきという初心者が学ぶ演目である。「歩行」と『ラジオ体操第一』に含まれる動作も含めて、「静止」、「移動」、「踊り」、「舞」、「仕草」、「体操」、「体勢の転換」、「その他」の8通りに分類した。より一般性を持たせるために、日本舞踊の用語とは違うものを用いている。

表3 動作の観察による分類

動作の種類	数
静止	17
移動	9
踊り	51
舞	62
仕草	39
体操	13
体勢の転換	18
その他	3

「静止」は文字通り静止している状態である。「移動」は他のものに分類されない移動動作である。「踊り」はいわゆる〈踊り〉で律動的な動作である。「舞」は主に〈舞〉に含まれる動作で、本研究ではポーズからポーズへの移行する動作も含む。「仕草」は主に〈振り〉に含まれる動作で、身振りなど明確な意味や表現を持つ動きである。「体操」は「ラジオ体操」の動作である。「体勢の転換」は「座る」、「立ち

上がる」など他のものに分類されない体勢をかえる動作である。「その他」は上記に分類出来ない主に動作と動作の合間に入る準備動作などである。一つのセグメントが二つの要素を持つ場合があったため合計は212になる。

## 7. セグメントのクラスタリング

クラスタリングは Kmeans 法で、距離の測定にはコサイン距離を用いた。クラスター数を2からはじめ各クラスターに所属するセグメント同士の内積の値に負の値が含まれなくなるまでクラスター数を増やした。その結果クラスター数が15になった時点で条件を満たした。指標によって動きの特徴が表現できていれば、各クラスター毎に実際の動きに特徴があると考えた。

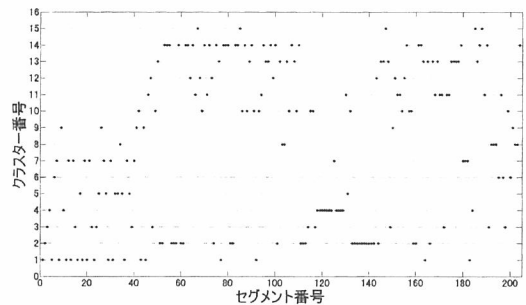


図5 セグメントのクラスターへの所属

ここで特に特徴のあるクラスターのレーダーグラフを提示し、解説する。各指標は正規化されているため、全て平均0、分散1になっている。

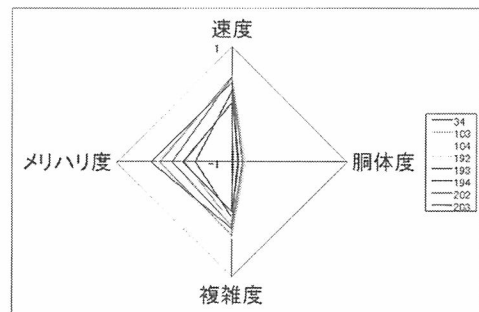


図6 クラスタ8の各指標

クラスター8は一見して分かるように、胴体度指標が極端に低く他の値はほぼ平均的である。ここにはラジオ体操の「腕を振ってあしをまげのぼす運動」、「腕を回す運動」、「胸をそらす運動」、「深呼吸の運動」等が所属している

[6]. いずれも胴体は殆ど使わず手を大きく動かす運動である。胴体を殆ど使わない一方で、手を大きく使うため、胴体度指標が極端に低くなっている。

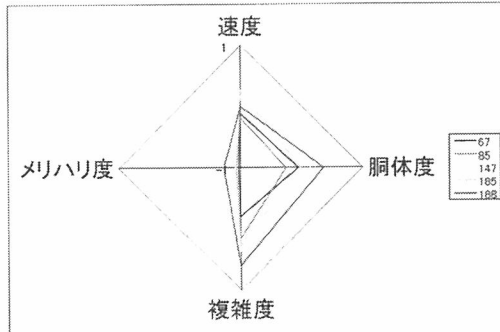


図7 クラスタ15の各指標

クラスタ15はメリハリ度指標が低く速度の変化に乏しい事が分かる。但し、この速度は各部位の速度の総和なので、ある部位の動きを他の部位が引き継いで行けば結果として、メリハリ度指標が低くなるということがある。このクラスタには同じペースで動き続けるセグメントと、動作を部位間で受け渡して行くことでメリハリ度が低くなっている動作がある。

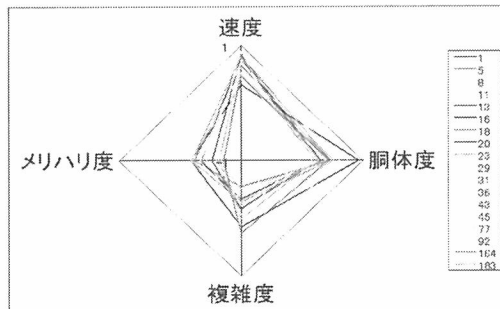


図8 クラスタ1の各指標

クラスタ1は速度が速く胴体度指標も高い。ここには全身を使った比較的速い運動が集まっている。特に回転やひねりを使った運動が所属している。

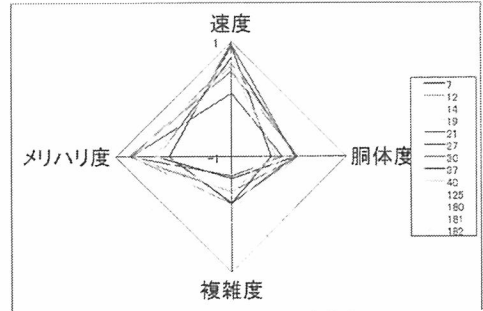


図9 クラスタ7の各指標

クラスタ7はクラスタ1と同じような動作が所属しているが、こちらは回転運動をしない。また両手を交互に動かすことなどを行っていることでメリハリ度指標が上がっていると考えられる。

こうして各クラスタに属するセグメントの動作を観察し、動作の特徴をまとめたのが表4である。クラスタ9以外は動作の特徴を見出す事が出来た。

表4 観察による動作特徴の抽出

クラスタ番号	動作の内容
1	素早い回転やひねりを含み手を細かく動かす
2	静止、片手だけをゆっくり動かす
3	胴体をあまり使わず手足を動かす
4	胴体を使わないかゆっくりと動かす手踊り
5	手だけを速く動かす
6	手を大きく動かし、それにつれて胴体が動く
7	1とほぼ同等の動きだが、両手を同期させずに交互に動かす
8	両手を同期させながら大きく動かす
9	共通する動きは見られず
10	上体の姿勢の変化が少なく移動、回転する動き
11	10に比べて速度が遅く、上体の変化が大きいもの
12	足を踏む動作と垂直方向への姿勢の上下変化
13	ゆっくりと体勢を変える動き
14	静止とゆっくりと体勢を変える動き
15	手の振りを交えながら姿勢をかえる動き

## 8. 結果と考察

### 8.1 結果

各クラスターで最多の動作種を適合動作とし、そのクラスター内の適合動作の割合を適合率とした。

表 5 クラスター毎の適合動作と適合率

クラスター番号	適合動作	適合率	セグメント数
1	踊り	72%	18
2	静止	34%	29
3	舞	33%	12
4	踊り	80%	14
5	踊り	75%	8
6	体操	75%	4
7	踊り	100%	13
8	体操	67%	8
9	踊り	33%	6
10	舞	75%	16
11	仕草	57%	14
12	なし	×	8
13	仕草	38%	20
14	舞	48%	29
15	舞	80%	5

「踊り」が適合動作となったのは5つのクラスターであり、そのうち4つのクラスターで70%以上の適合率となった。この3つのクラスターに分類されている「踊り」セグメントの数は43で「踊り」セグメント全体の約84%である。

また「体操」が適合動作となったクラスター6、クラスター8では、それぞれ67%と75%の適合率である。この2つのクラスターに所属する「体操」セグメントの数は8で、「体操」セグメント全体の約62%である。

「舞」が適合動作になったのはクラスター3とクラスター10であり、適合率はそれぞれ33%と75%である。適合率75%のクラスター10に所属する「舞」セグメント数は10であり、「舞」セグメント全体の約16%である。

「仕草」が適合動作になったのはクラスター11、13で、それぞれ57%と40%の適合率である。この二つのクラスターに所属する「仕草」セグメント数は16で、「仕草」セグメント全体の約41%である。

クラスター12は、「体勢の転換」、「舞」、「仕草」、「その他」がそれぞれ2で適合動作は無かった。

### 8.2 考察

「踊り」、「体操」動作には比較的良好な結果が得られた。「踊り」が適合動作となり適合率が60%以上になったのが、クラスター1、4、5、7である。それぞれのクラスターに指標の組み合わせに特徴があり、「踊り」の共通要素を見つけるのは難しい。むしろ、複数の特徴がある動きを「踊り」と総称していると考えられる。

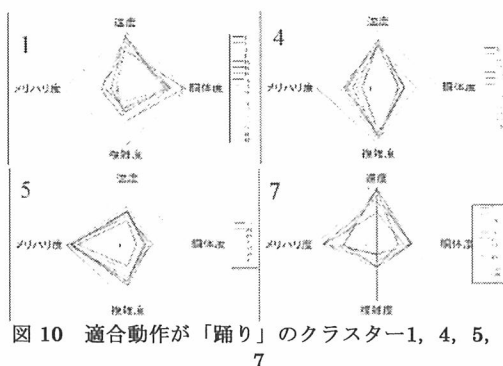


図 10 適合動作が「踊り」のクラスター1、4、5、7

「体操」が適合動作になったのはクラスター6、8である。同じ「体操」でも全く異なる特徴があることが分かる。



図 11 適合動作が「体操」のクラスター6、8

それ以外の動作種の結果は良くない。その原因は三つあると考える。第一に「静止」セグメントの特徴であり、第二に動作種のカテゴリ分けであり、第三に、セグメンテーションの方法である。以下、各原因について説明する。

#### (1) 「静止」セグメント

「静止」は一つのクラスターに所属することが期待されたが、複数のクラスターに分散してしまい、クラスターの適合率を下げている。

「静止」と言っても、人間の動きであるので速度が完全に0になるわけではなく、体が多少動くことによってマーカが動いてしまっていると考えられる。指標の算出方法の特性から、ある特定の部分だけが動く特徴として表れ易いため結果として、複数のクラスターに分散してしまったと考えられる。

## (2) 動作種の分類方法

今回用いた方法では、「仕草」、「舞」の判別が出来ていない。動作の分類と言うときに複数のレベルの分別があり、「踊り」を識別する分別と「舞」と「仕草」を識別する分別では、レベルが違うということが考えられる。脳科学の知見を、舞踊を見る経験に応用した研究に Hangendoorn [7] がある。Hangendoorn はダンスを見る経験において、脳の中で様々なレベルの情報処理が並行的に行われている事を示している。指標による動作の特徴評価は比較的低いレベルの情報処理であり、「舞」と「仕草」を分類する作業等は比較的高いレベルの情報処理であると考えられる。

この意味で、本研究の4指標を用いた動作の表現方法は低いレベルの情報処理に近く、と考えられる。また、日本舞踊における「仕草」が「仕草」と認識できるのは、歌詞や衣裳、日本舞踊に関する知識が影響している可能性がある。「仕草」の中にもモーションキャプチャデータから判別出来るものと、前後のセグメント、音楽などのコンテキストがあつてはじめて「仕草」と識別出来るものがあることが考えられる。

## (3) セグメンテーションの問題

セグメンテーションは被験者となった舞踊家本人が行った。結果としてセグメントのフレーム数が32~1146とセグメントによって長さが大きく異なった。フレーム数が少なすぎると、特徴が大きく出過ぎてしまう傾向があり、フレーム数が多すぎると動作同士が特徴を消しあう傾向がある。

## 9. まとめと課題

指標を使った動作セグメントの評価によって、複数の動作種の中から、「踊り」、「体操」は比較的高い確率で抽出できることが分かった。また指標によって分類されたセグメントのクラスター毎の動作特徴を観察によって導き出すこともほぼ可能であった。このことから指標とその関係によって動作の特徴がある程度表現できると考える。

今後は「静止」セグメントを判別できるようにすることと、セグメンテーションを明確な基準で行うことができるようにして、再度指標をテストしていきたい。

## 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」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。データ編集には日本大学理工学部卒業生大澤広輝氏にご協力を頂いた。ここに記して感謝申し上げます。

## 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]K..Kahol et al., "Automated Gesture Segmentation from Dance Sequences," Proc.. Sixth IEEE Int'l Conf.. Automatic Face and Gesture Recognition, IEEE CS Press, 2004, pp..838-888..
- [4] Kreomer, K..H..E et al., Ergonomics: how to design for ease and efficiency, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1997
- [5]渡沼：モーションキャプチャデータの傾向からみる舞踊の質評価指標の創出について,研究発表会・シンポジウム,日本大学芸術学部NANAプロジェクト,2007, pp. 134-145
- [6] NHK テレビ・ラジオ体操のHPの「ラジオ体操(第1・第2)」の図解による。<http://www.nhk.or.jp/event/taisou.html>
- [7] Ivan Hangendoorn, "Some speculative Hypotheses about the Nature and Perception of Dance and Choreography", Journal of Consciousness Studies, Vol. 11, No. 3-4, 2004