

踊りの「振り」部分抽出とその特性の定量化の試み

甲斐民子[†] 酒井由美子[†] 服部清[†] 吉村ミツ[†]
黒宮明^{††} 酒井雄二^{†††} 吉村功^{††††}
[†]名古屋市立大学芸術工学部 ^{††}名古屋市工業研究所
^{†††}信州大学工学部 ^{††††}東京理科大学工学部

概要：Eva社の動作解析システムで、日本舞踊「藤娘」を追跡した。得られた32マーカの3D時系列から、注目動作を抽出するアルゴリズムを考案した。2人の試行舞踊に対してアルゴリズムを適用したところ、期待通りに注目動作部分が抽出できた。「構え」「重心」「腰」「内輪」を定量的に定義し、抽出した「振り」の部分について安定度を計算した。熟達者はそれぞれの型が安定しているのに対し、初心者はそうでないことが数量的に把握できた。

キーワード：日本舞踊、藤娘、動作解析、部分動作抽出、DP マッチング

A Trial for Identifying and Characterizing Typical Parts of a Japanese Dancing

Tamiko Kai[†], Yumiko Sakai[†], Kiyoshi Hattori[†], Mitsu Yoshimura[†],
Akira Kuromiya^{††}, Yuji Sakai^{†††} and Isao Yoshimura^{††††}

[†] Nagoya City University ^{††} Shinshu University ^{†††} Science University of Tokyo
^{††††} Nagoya Municipal Industrial Research Institute

Summary: A part of the Japanese dancing “Fuji-Musume” was traced through the Eva-system for motion capture. An algorithm devised for extracting a target motion “FURI” from the acquired 3D-track data worked well for trials by two dancers. Certain four styles were formulated and measured on the extracted motion, the result of which provided evidences that they could be used to evaluate skillfulness of the dancing.

Keywords: Japanese dancing, Fuji-Musume, Motion analysis, Target part extraction, DP matching.

1 はじめに

人間の動作には個性がある。運動や踊りといったものに現れるその個性には、上手下手として評価される側面と、それとは違った、いかにもこの人らしいという個人的側面がある。前者については、運動なら勝負、踊りなら感情の表現という価値に基づく評価がなされ、動作者、演技者達にはその評価を高めるための研鑽が求められる。これに対して後者については、個人性や癖の把握が、鑑賞者の関心事となる。

従来はこれら個性の把握が、どちらかという和有能な動作者、演技者達の主観的評価で行われてきた。彼らの言葉による批評や助言が、技の研鑽の参考、振り所とされてきた。

これに対して近年、コンピュータ関連機器の開発が進み、このような個性についての研究が、機械装置を用いて行えるようになってきている。たとえば著者らの所属する大学にもあるような動作解析装置 (motion capture system) の利用がそれである。動作解析装置は、基本的に、センサーを用いて身体各部を追尾し、各部を3次元 (3D) 時系列 $\{(x(t), y(t), z(t)); t = 1, 2, \dots\}$ の集まりで表わすものである。

著者らの一部は、現在この動作解析装置を利用して、運動動作の個性把握の研究を行っている。たとえば、連続したテニス動作からボレーやサービスといった特定動作部分を抽出し、動作者のうまさや個人性を定量的に把握する研究を行っている。甲斐らの発表 [5] はその研究結果の一部である。

これに対して本研究は、動作対象を運動動作より微妙で評価が困難な、舞踊にとったものである。すなわち本研究では、日本舞踊における「振り」部分の抽出とそれに基づいた個性の定量的把握を試みた。以下にその研究結果を報告する。

2 日本舞踊動作のデータ

2.1 舞踊データの取得

本研究では、データ取得に Motion Capture 社の Eva システム [1] を用いる。すなわち、動作者の身体に、図 1 (左) に示すように、32 個の赤外線マーカを取り付ける。赤外線マーカは、赤外線を反射する直径 25mm の軽い球である。Eva システムは、図 1 (右) に示す、約 10m 四方のフィールドの上方 6 個所に設置されたカメラでマーカを追跡し、反射されてくる赤外線から各マーカの位置を計算する。マーカを番号で特定すれば、各番号ごとに 3D 時系列が得られる。例えば本研究では、次のように番号をつけている。

No.4: 首の後ろ、No.19: 腰椎の上部、Nos.20,21: 腰の両外側、Nos.24,25: 両膝の外側

サンプリングの時間間隔は最速で毎秒 240 個である。この各時点で得られるデータをフレームという単位で表そう。もし毎秒 240 個のサンプリングを行えば、フレーム番号は $\frac{1}{240}$ 秒を単位とした時間となる。Eva システムは 1 試行 (ラン) で約 5000 フレームまでしか入力できないので、 $\frac{1}{240}$ 秒単位では、20 秒しか動作追跡ができない。それでは日本舞踊を把握できないので、本研究では $\frac{1}{60}$ 秒を単位にした。以下では時間単位をフレーム番号で表すことにする。

こうして得られる解析対象データは、各マーカに対する 3D 時系列をマーカの数だけ得たものである。視覚的には、図 3 や図 5 などのように、アニメーションで表現できる。

2.2 日本舞踊における「振り」

広辞苑 [2] によると、踊りは、「音楽・歌曲にあわせて足を踏みならし、手振り・身振りをして舞うこと」である。舞うことあるいは踊ることは、人にある種の感動を与えるから、人はそれを見たくなくなったり、自分自身が舞ったり踊ったりしたくなる。そのスタイルには文化が反映されるから、文化と共に違った踊りが存在する。日本舞踊は日本文化に基盤を置く踊りである。

本研究では日本舞踊を対象にするが、著者らは舞踊家ではないので、舞踊家の協力と日

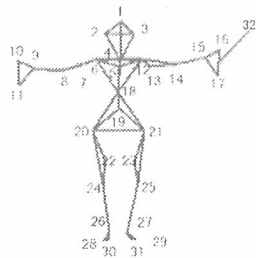


図 1: 被験者のマーカの位置 (左) と実験フィールド

本舞踊の評論家の労作を参考にして考えることにする。

日本舞踊評論家である渡辺 [3] によると、日本舞踊では「振り」が動作の主要部分を占めるようである。ただしその「振り」は、演出という意味ではなく、ある種の仕草を表す舞踊動作という意味でのものである。たとえば「音楽の歌詞を物真似によって説明する当て振り (アテブリ)」や「人形の真似をする人形振」「男が女の真似をする滑稽な悪身 (ワリミ)」などが「振り」である。そこで著者らは、非常に長い連続動作である日本舞踊を、間につなぐ動作を入れたところの、いろいろな「振り」のつながりと考えることにした。例えば「藤娘」という名前の舞踊は、そのストーリーを構成する「振り」を絶妙な接続動作で連続化したものと捉えるのである。

このように考えると、動作解析装置を使って日本舞踊を把握するには、まず、「振り」の部分抽出してその動作要素を定量化することが必要になる。これは、著者らが運動動作について必要とされたことと、原理的に同じである。したがって同じ視点で抽出技法を考案し、動作を解析することが考えられる。

2.3 空間的特性の計量化

日本舞踊評論家である西形 [4] によると、日本舞踊では「踊りの演技と表現」として、構え、重心、腰、内輪、歩み、が重要のようである。たとえば「構え」が安定した「振り」は、落ち着いた迫力のある印象を与える、というようなことである。個性を把握するには、これらの要素を定量化することが必要である。著者らはこれら (歩みを除く) を次のように把握することを考えた。以下ではマーカをその No. で呼ぶことにする。(図 2)。

1. 「構え」: 堂々と胸を張って顔を上げ背筋がシャンと伸びた姿勢が基本となる。そこで No.4 と No.19 を結んだ線と Y 軸の傾き (構え度) で、脊椎が床に対して垂直になっているかを調べる。
2. 「重心」: No.19 の Y 座標の変化で、腰をおとして大地に対してしっかり安定した状態を保っているか、重心が低く安定しているかを調べる。
3. 「腰」: 腰が床に対して平行に保たれていることが腰の構えの基本である。No.20 と No.21 を結んだ線と Y 軸との傾きで、骨盤の左右の尖った骨 (腸骨翼) を結んだ線が床に対して平行かどうかを調べる。
4. 「内輪」: 男と女の身体の構造の特徴をより一層際立たせるものが太股の廻りである。今回は動作者が女なので、両膝にある No.24 と No.25 の間隔の変化で、太腿の前部の筋肉を内転させ、内腿をぴったりと合わせ、膝頭を内に向けている様子を調べる。

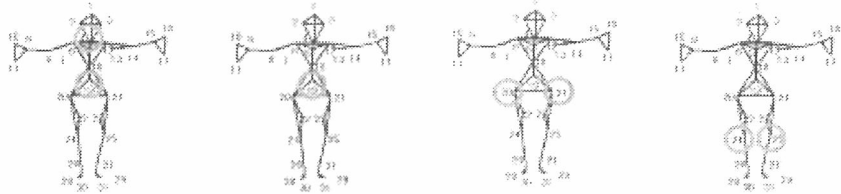


図 2: 左より「構え」「重心」「腰」「膝」で○を記されているところが測定の焦点

2.4 時間的特性の計量化

前項で考えた「構え」などは、動作の空間的な特徴である。動作には時間的な特徴もあるので、その計量化が必要である。著者らはひとつの試みとして、動作の運動エネルギーを測定することを考えた。運動エネルギーは、動作者の体重 M と速度 v とから、 $E = \frac{1}{2}Mv^2$ で計算できる。ここで速度 v は、各マーカに対してフレーム i と $i+1$ 位置の差からフレーム i における速度を求め、注目している時間帯で速度の 2 乗和を計算し、その平均値をとることとした。こうして得られた運動エネルギーはテンポが速いとき値が大きく、ゆったりしているとき値が小さくなる。

2.5 周波数特性

得られた時系列データにフーリエ変換を行いその振幅特性を解析し、それぞれの軸に対して周期的な動きがどの程度含まれるかを調べる。移動量の大きい軸は概して低周波を多く含むと思われる。

3 注目動作の抽出

ある動作データ（対象データ）について、前記のような個性の計量を行うには、まず対象データから注目動作部分を抽出しなければならない。注目動作について標準となる動作データ（参照データ）があるときには、基本的に、吉村ら [6] が署名照合について考案し、甲斐ら [5] が運動動作に適用したアルゴリズムが利用できる。その概要は次のとおりである。

対象データ T と参照データ R の時間軸（フレーム番号）をそれぞれ、 t, r とする。対象データの時間変数 t を歪み関数 $t(r)$ を用いて、参照データの時間軸に $t = t(r)$ と対応づける。この歪み関数を適切に選べば、注目動作について、参照データの始動時間と終了時間に対応する対象データの始動時間と終了時間が同定でき、注目動作部分を抽出できる。適切な歪み関数を得るには、対象データと参照データとの距離指標を用意し、距離指標がなるべく小さくなるように、歪み関数を定め、かつその歪み関数を用いて始動時間と終了時間を定めればよい。著者らは二つの動作の任意の位置 $(x_T(t), y_T(t), z_T(t))$ と $(x_R(r), y_R(r), z_R(r))$ の距離をユークリッド距離 $q(t, r)$ で測り、これを歪み関数にそって任意の時間対までの累積した値 $p(t, r)$ を距離指標とした。

関数 q から関数 p を求める漸化関係式では、まず、十分大きな定数 M を用いて時間対の境界での値を次のように定める。ただし、参照データの始動時間は $r = 1$ である。

$$p(1, r) = p(0, r) = M \quad (1)$$

$$p(t, 1) = 2q(t, 1) \quad (2)$$

$$p(t, 2) = \min \begin{cases} p(t-2, 1) + 2q(t-1, 2) + q(t, 2) \\ p(t-1, 1) + 2q(t, 2) \\ p(t, 1) + q(t, 2) \end{cases} \quad (3)$$

$$p(t, r) = \min \begin{cases} p(t-2, r-1) + 2q(t-1, r) + q(t, r) \\ p(t-1, r-1) + 2q(t, r) \\ p(t-1, r-2) + 2q(t, r-1) + q(t, r) \end{cases} \quad (4)$$

参照データの始動時間と終了時間 R_E の間で、二つの動作をある歪み関数で対応づけたとき、歪み関数の経路長 $c(t, r)$ は $p(t, r)$ を計算するアルゴリズムに対応して求められる。これを用いて対象データの任意の終了時間 t における歪み関数の評価量 $a(t)$ を次式で定義する。

$$a(t) = \frac{p(t, R_E)}{c(t, R_E)} \quad (5)$$

この評価量を最小にするように、歪み関数を定める。

以下ではこのアルゴリズムを吉村らに倣ってSDP法と呼ぶことにする。後の試行実験の結果から分かるように、「振り」動作の部分は、SDP法で抽出できる。しかし、「構え」などを測定するときには、「振り」の中から更に微少な、「部分動作」を抽出することが必要になる。その時は身体各部の腰からの相対的な「ねじれ」を考慮しなければならない。

そのために著者らは、部分動作の抽出において、ほぼ骨盤に相当する平面の重心を原点にしてSDP法を適用した。すなわち、次のような動座標を利用した。

1. No.19 (root), Nos.20, 21 (左右のヒップ) の3マーカの重心 Mg を原点とし、その3マーカの作る平面の法線を z 軸とする。
2. 原点から No.19 へ向かう直線を x 軸とする。
3. 右手系が成立するように y 軸を定める。

4 試行実験

採用した動作抽出法が妥当であり、かつ本研究が提案する定量化で何らかの個性把握ができることを確かめるために、一つの試行実験を行った。

実験方法 熟達した日本舞踊家が「藤娘」の最初の部分にある5通りの「振り」を独立して踊る。これから参照データを得る。同じ舞踊家が「振り」の第1～第3動作を含む約2分のストーリーを踊る。さらに、「振り」の第3～第5動作を含む約2分のストーリーを踊る。これらを対象データとする。初心者からも同様にデータを取り対象データとした。対象データから、SDP法を用いて、第1～第5の「振り」を抽出する。これが注目動作抽出実験である。

次に動座標を利用して、「振り」第1の中の基本動作部分をいくつか、部分動作として抽出した。ストーリー全体、抽出した「振り」部分、抽出した部分動作の各々に対して、「構え」「腰」「重心」「内輪」「運動エネルギー」を、可能な限り反復して測定した。このような計量化が他の踊りと日本舞踊の違いの定量的比較に使えるかどうかを調べるために太極拳[7]とバリ島の踊り[8]、西洋舞踊についての試行実験を追加し、測定を行った。

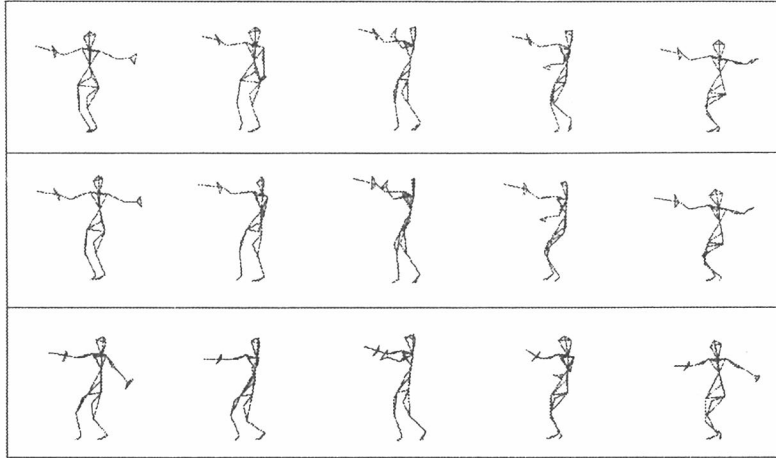


図 3: 抽出した部分動作のアニメによる表現。上段が参照データ、中段が熟達者の踊り、下段が初心者の踊りからの抽出結果。上中下の5つの動作はそれぞれ対応している。

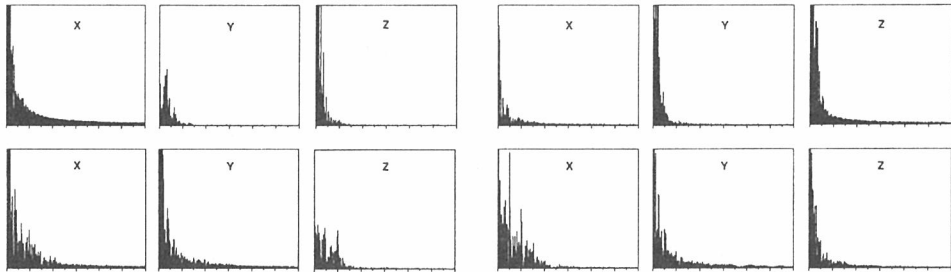


図 4: 周波数振幅データ。上段左に日本舞踊、右に太極拳。下段左にバリ島、右に西洋舞踊。

実験結果 注目動作抽出については、定量的に評価するのは難しいが、図3、図5に示すように、視覚的に見た限りでは満足すべき結果が得られている。

全フレームでみた定量化の結果を数値で示したのが表1である。

1. 構え：日本舞踊の熟達者（以下、師匠）の「振り1」「振り2」の構え度合いは、平均が2.5°以下である。ほとんど背骨を真っ直ぐにして「振り」を踊っていると言える。
2. 重心：師匠の「踊り」でのNo.19の高さは、参照値より低く重心を落としている。
3. 腰：師匠の「踊り」における腰の傾き度合いについては、腰を床に対して水平に保つという腰の構えが保たれていた。
4. 内輪：膝のNos.24,25の間隔の値は小さく、内腿を合わせていることがわかる。これは他の踊りに比べて顕著であった。
5. 運動エネルギー：師匠の「踊り1」「踊り2」はそれぞれ1055、1293であった。これはほぼ太極拳の1300に近かった。西洋舞踊が13000、バリ島の踊りが800であった。これらの数値はそれぞれの踊りのテンポを反映していた。

師匠はそれぞれの型が安定しているのに対し、初心者はたとえば構えは8.8より大きい、あるいは腰の構えは参照値より高い、重心の標準偏差は極めて大きいなど、不安定であっ

表 1: 定量化した「構え」などの測定値。上段が参照値、中段が平均（下段が標準偏差）

動作	日本舞踊 熟達者				初心者		太極拳	バリ島	西洋舞踊
	踊り 1	踊り 2	振り 1	振り 3	振り 1	振り 3			
構え (度)	1.5	5.5	1.7	2.5	8.8	10.6	2.3	5.4	6.3
	8.1	7.1	6.5	6.9	13.5	10.0	14.4	20.1	9.1
	(5.0)	(4.1)	(5.9)	(4.2)	(3.9)	(3.8)	(6.2)	5.3	(4.2)
重心 (mm)	894	891	759	762	1178	1169	947	998	886
	798	800	1152	1045	1136	1016	858	860	971
	(50)	(57)	(73)	(141)	(120.8)	(120.9)	(37)	(98)	(79)
腰 (度)	87.4	87.4	88.8	87.7	95.8	94.0	88.0	90.0	86.2
	87.1	86.3	86.6	86.7	96.2	95.4	87.6	92.5	87.8
	(2.7)	(2.5)	(1.3)	(2.0)	(0.9)	(1.8)	(6.3)	(3.1)	(14.2)
内輪 (mm)	234	227	194	197	212	217	375	250	404
	222	227	201	202	216	218	518	462	421
	(38)	(57)	(3.5)	(4.3)	(3.3)	(9.4)	(111)	(75)	(174)
運動 E	1055	1293	354	1338	248	1102	1330	830	13187

た。太極拳やバリ島の踊りは、師匠の構えと重心、腰の測定値に近く、西洋の踊りはいずれもそれらと大きく異なっていた。

周波数解析については、各踊りの No.19 に対する周波数解析の結果の例を図 4 に示す。1 目盛 0.5Hz を表す。全ての踊りで主に 1Hz から 3Hz の低周波領域で様々なピークが観測された。中には 6Hz 付近の高周波を含むものもあったが、エイリアシング誤差はなくレンジは十分であったといえる。特に日本舞踊の熟達者の踊りのいくつかの部位に、ある特定の周波数が含まれることがわかった。そのことから、より周期的な動きからより鋭いピークがあらわれるであろうと予想される。

5 考察

抽出手法の性能 各 2 分程度の 2 ストーリの日本舞踊での実験であるが、考案した注目動作抽出アルゴリズムは、期待通りの性能を示した。このアルゴリズムを使って、個人性の定量化を試みることは、研究の端緒として意味のあることであろう。

特性の定量化 「構え」などの着目点について日本舞踊の定量化を行った。その結果、安定した動作の状態が平均と標準偏差である程度評価できることがわかった。ここでは全フレームについて測定した。しかし、この種の量は部分動作に対して行われるべきであろう。どの部分動作で行われるべきか、今後の課題である。

他の踊りとの比較 他の踊りの測定値は、表 1 の右側に示してある。測定値で見ると、踊りの違いは明瞭である。比較のための計量化として役立つと考えられる。

今後の課題 「振り」のような注目動作、あるいはその基本となっている部分動作について「構え」「腰」「重心」「内輪」「運動 E」といった面を計量化したのであるが、この他に

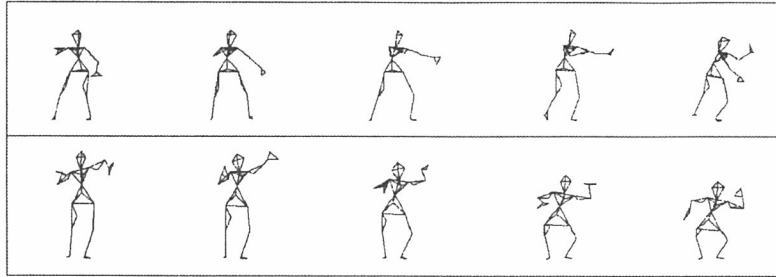


図 5: 上段は太極拳、下段はバリ島の踊りの3D時系列のアニメーションによる視覚的表現

も多くの特徴を計量化できるものと思われる。舞踊家の協力を得て、工夫を凝らしたい。著者らは、妥当な特性値を定義し、測定値を増やし、比較を進めることで、各種の踊りの特徴が把握できるのでないかと考えている。

もちろんこれだけで、踊りが醸し出す独特の雰囲気への把握が可能とは思えない。さらに何が必要なのかということも今後の研究課題である。日本舞踊は、非常に微妙な動きが感動の大きな要素になっている。本研究は、その微妙な動きの計量化のごく端緒的な試みにすぎない。注目した動作部分の抽出のアルゴリズムが、期待通りに働いたことは認められようが、个性的特徴が把握できたかどうかは、実験規模が小さいこともあって、まだ定かでない。実験規模をより大きくし、注目動作を部分に細分化し、微妙な動きを把握できているかどうかをより精密に検討することが必要である。

日本舞踊のストーリーは、本研究で使用した動作解析装置の能力を遙かに超えた長時間の連続動作からなっている。今回の研究は、そのごく一部のみを追跡し、さらにその部分パターンを抽出して特徴の計量化を試みたにすぎない。より長時間の追跡を行うには、装置の能力を高めたり、追跡部分を接続するといった工夫も必要であろう。

これらはすべて今後の課題である。

謝辞 本研究の遂行においては、日本舞踊家西川まさ子師匠の指導とご協力を得た。またその他のデータ提供者、バリ島の踊り（中村）、西洋舞踊（佐々バレー団）の関係各位に対してもここに記して感謝の意を表したい。本研究の一部は、学術振興会科学研究費補助金、基盤研究(C)(11680398)を用いて行われたものである。

参考文献

- [1] Motion Analysis: Reference Manual of Eva System. 1997.
- [2] 新村出編: 広辞苑、第5版. 岩波書店, 1998.
- [3] 渡辺保: 日本の舞踊. 岩波新書, 1991.
- [4] 西形節子: 日本舞踊の世界. 講談社, 1988.
- [5] 甲斐民子、吉村ミツ、吉村功: 赤外線追跡装置で観測した連続動作からの目標動作の切り出し. MIRU2000, Vol.I, pp. 493-498, 2000.
- [6] 吉村ミツ、吉村功: DP マッチング法の逐次適用による日本字署名のオフライン照合. 電子情報通信学会論文誌, J81-D-II, pp.2259-2266, 1998.
- [7] 笠尾恭二: 太極拳の楽しみ方、土屋書店, 1991.
- [8] ミゲル・コバルピアス: バリ島. 平凡社, 1991.