

「ソーラン節」の櫓漕ぎにおける 腰部動作の速度変化の数値化手法

郡未来[†]

松田浩一[†]

海賀孝明[‡]

長瀬一男[‡]

[†]岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科

[‡]株式会社わらび座 Digital Art Factory

地域伝統舞踊の櫓漕ぎ動作では、指導者は、「動作の意味の理解度」を腰部の速度変化の緩急の「分布」から、「表現力」を腰部の速度変化の緩急の「明確さ」から評価しているが、違いが曖昧であり、学習者への指導が困難である。そこで、「動作の意味の理解度」と「表現力」を数値的に評価可能なシステムの作成を目指す。筆者らは、加速度センサを腰部に設置し、センサから出力される3軸の加速度ベクトルの大きさから、舞者自身の動作タイミング（動作の区切れ）により動作を分割し、動作ごとに、相互相関係数の最も高いときの波形の位相差（サンプル数の差異）を「分布」の違い、相互相関係数の最も高いときの波形の重複部分の相関係数を「明確さ」の違いとして定義した。実験結果として、指導者と学習者の比較を行ったところ、加速度波形の主観評価と数値化結果が77%一致し、「分布」と「明確さ」の違いを数値評価ができる可能性が示唆された。

Numerical analysis method by acceleration for a traditional Japanese dance

Miki Kori[†]

Koichi Matsuda[†]

Takaaki Kaiga[‡]

Kazuo Nagase[‡]

[†]Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

[‡]Warabi-za Digital Art Factory

We propose a method for numerical analysis of two dancer's awareness about the center of the body. The 1st thing is whether a dancer understands a meaning of "Soranbushi". We defined this thing "BUNPU". "BUNPU" is related to a time when the dancer moves with little or strong changes in acceleration of the center of his body. The 2nd thing is whether the dancer dances expressively. We defined this thing "MEIKAKUSA". "MEIKAKUSA" is related to a difference between little changes and strong changes in acceleration. It's difficult for an instructor when he tries to transfer his "BUNPU" and "MEIKAKUSA" to his student by communicating sensuous words and showing real movements. Therefore we evaluate "BUNPU" and "MEIKAKUSA" by Cross correlation function and correlation coefficient so that the instructor can transfer "BUNPU" and "MEIKAKUSA" to the student by using our system easily. As a result, it got 77% accuracy answer for our proposal method.

1. はじめに

北海道の地域伝統舞踊「ソーラン節」の櫓漕ぎ動作の表現において、指導者は学習者の腰部の速度変化を見て巧拙を感覚的にとらえて指導する。指導内容は大別すると「動作の意味の理解度」と「表現力」であり、「動作の意味の理解度」を、腰部の速度変化の緩急の「分布」から、「表現力」を、腰部の速度変化の緩急の「明確さ」から評価している。

しかし、感覚的に捉えて指導しているため、巧拙の違いが曖昧であり、指導者は学習者に違いを示すことが困難である。そのため、学習者も違いを認識することが困難となることが多い。そこで本研究では、舞者の腰部動作の速度変化の緩急において、「分布」と「明確さ」を数値として明らかにすることで、従来の指導を補助することを目的とする。

関連研究として、一定のテンポでサンバを踊ったときの腰部動作の速度変化に関する緩急を評価する方法が提案されている[1]。しかし、ソーラン節の

櫓漕ぎ動作では、テンポが一定ではなく、舞者の動作時の感情で変化する、動作タイミングに意味があるため、2者の動作に対して、同時刻の単純な比較はできない。

そこで、筆者らは、腰部に3軸ワイヤレス加速度センサ(Wireless Technologies, Inc. Model WAA-001, 30Hzにて使用)を装着し、3軸加速度ベクトルの大きさを腰部の速度変化の緩急と定義し、指導者と学習者の同じ動作部分の波形を主観によって判断し、大きさや時間差を比較することで「分布」や「明確さ」を評価する研究[2]を行った。

本稿では、加速度波形の分割や比較を自動的にを行い、「分布」と「明確さ」について客観的に評価することを目指す。

2章では、加速度波形の主観評価の方法について述べ、3章では、主観評価の方法を基に数値化する方法を述べる。4章では、数値化結果を確かめるた

めの実験と結果について述べ、5章では考察を述べる。最後に6章では、結論について述べる。

2. 腰部の加速度波形の主観評価（分類）

本研究で対象としている、ソーラン節の櫓漕ぎ動作は、図1のように、「押し」動作4個と「引き」動作4個の合計8個の意味のある動作に分割され、「押し」動作と「引き」動作は「両足着地」という動作を含む。

舞踊者は、腰部に図2のように加速度センサを設置し、櫓漕ぎ動作を踊る。加速度センサのデータから、加速度の大きさ R （ X 、 Y 、 Z は図2に対応）を式(1)のように計算し、時系列波形を求める。腰部動作の緩急の「分布」と「明確さ」は、加速度の大きさの時系列波形から、以下のように主観的に分類することで、「分布」と「明確さ」を評価する。

$$R_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2} \quad (1)$$

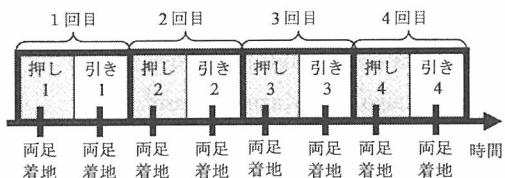


図1. 「ソーラン節」の櫓漕ぎ動作

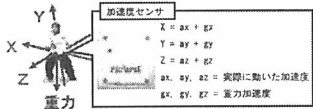


図2. 加速度センサの設置

● 「分布」の加速度波形の主観評価

指導者は、実際に舟で櫓を漕いでいるような動きを表現するために、「押し」と「引き」動作の両方において、「両足着地」の動作時に、腰部の急激な速度変化をし、他の動作時には、緩やかな速度変化をさせる。これに対し、櫓を漕ぐ動きを知らない舞踊者は、腰部速度の緩急の「分布」が指導者と異なることがある。このような舞踊者の動きの場合は、手や足の動きは同じでも、船で櫓を漕いでいるようには見えないので、舞踊の完成度は低い。そのため、動作中の速度変化の緩急の「分布」を見ることで、舞踊者の「櫓を漕ぐ」という「動作の意味の理解度」の良さがわかる。

速度を急激に変化させると、加速度の大きさは、図3の(a)のように高い値を示し、緩やかな変化であると、図3の(b)のように、1に近い正の値（低い値）を示す。このように、動作中の相対的に加速度波形の高い値と低い値の箇所を判断することで、加速度波形による「分布」の主観評価が可能である。

調査の結果、筆者らの加速度波形の「分布」の主観評価では、表1のように4つの分類に分割可能であった。また、指導者に、櫓漕ぎ動作の「理解度」の良さから、「分布」の良さを評価していただいたところ、表1(a)のようになった。

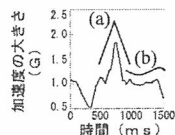


図3. 速度の緩急

表1. 加速度波形から分類した「分布」

分類	加速度波形からわかる緩急 (急激: Δ 緩やか: $-$)			良さ (a)
	動作開始	両足着地	動作終了	
1	-	Δ	-	良 ↑ 悪
2	-	Δ	Δ	
3	-	-	-	
4	Δ	-	-	

● 「明確さ」の加速度波形の主観評価

指導者は、腰部速度の急激な変化部分と、緩やかな変化部分が明確になるように動いている。これにより、櫓を漕ぐときの重さ（水の抵抗）が表現され、実際に船が海水上を進んでいるような動きになる。これに対し、腰部速度の緩急の「明確さ」が指導者よりも不明確である舞踊者がいる。このような舞踊者の動きの場合は、手や足の動きは同じでも、海上を進んでいるようには見えず、氷上や泥の中を進んでいるように見えたり、全く進んでいないように見えたりするため、舞踊の完成度は低い。そのため、動作中の速度変化の緩急の「明確さ」を見ることで、舞踊者の「海水上で櫓を漕いで進む」という「表現力」の良さがわかる。

速度変化が急激であるほど、加速度の大きさは、時間的に短く高い値になり、速度変化が緩やかであるほど、長い時間で変化に乏しい、なだらかな波形になる（図4）。そのため、表1に示した急激な変化部分と、緩やかな部分を見て、相対的に鋭さとなだらかさの違いを判断することで、加速度波形による「明確さ」の主観評価が可能である。

複数の加速度波形を見比べたところ、表2のように「明確さ」を4段階に分割し、舞踊者の波形が4段階のどれに分類されるかを判断することで、加速度波形の「明確さ」について、筆者らによる主観評価が可能である。また、指導者に、櫓漕ぎ動作の「表現力」の良さから、「明確さ」の良さを評価していただいたところ、表2(a)のようになった。

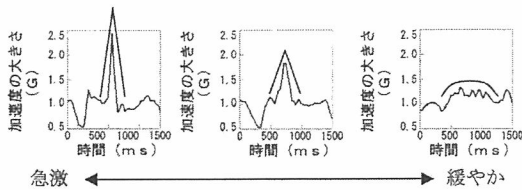


図4. 速度の緩急の変化

表2. 加速度波形から分類した「明確さ」

分類	加速度波形からわかる緩急	良さ (a)
1	緩急が明確	良
2	緩急が少し明確	↑
3	緩急が少し不明確	↓
4	緩急が不明確	悪

3. 提案手法

腰部の加速度データを自動的に4つの「押し」動作と4つの「引き」動作に分割し(手順1), 動作ごとに, 速度変化の緩急について「分布」と「明確さ」の違いを算出する(手順2).

手順1. 意味動作分割の候補点抽出

(i) 動きと腰部の加速度

槽漕ぎ動作は, 動作の分割点の直前に, 体重移動があり, その際に一瞬腰が浮く(無重力状態に近い)ことが実験からわかった. そこで, 図1のようにセンサを設置すると, 図2の gx, gy, gz が0に近づき, 式(1)のように加速度の大きさ R (X, Y, Z は図2に対応)を計算すると, 1より小さくなる. これにより, 動作の分割点は1未満の値から1以上の値になる時刻付近に存在することが分かった(図5-(a)).

(ii) 差分画像による候補の絞り込み

図5-(a)のような地点(図5-(b))は, 意味動作の分割点以外にも存在するため, 分割点を決定するために, 映像情報を用いる. 槽漕ぎ動作は, 分割点付近で小さくなることから, 全フレームのフレーム間差分値の総和を求め, 移動平均フィルタを用いて平滑化し, 極小値(図5-(c))を求める. この極小値に最も近い1未満の値から1以上の値になる点を分割点とする.

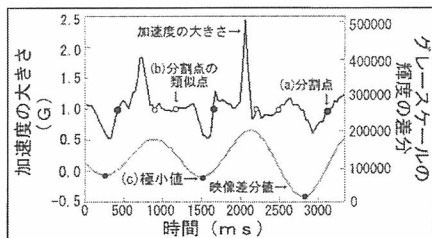


図5. 分割点候補の決定

手順2. 分割された意味動作ごとの比較

(i) 比較したいデータの最大類似度の算出

手順1により意味分割された加速度について, 区間ごとに相互相関係数 ($X * Y$)を算出する(式(2)). このとき, X は基準とする加速度データ, \bar{x} は X の平均値, Y は比較したい加速度データ, \bar{y} は Y の平均値, N はサンプル数, n は Y のデータ数のずれである. また, サンプル数 N は, X と Y で多いほうを用いた.

$$(X*Y)(\theta) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} \{(X[i]-\bar{x})(Y[i]-\bar{y})\} \quad (2)$$

(ii) 緩急の「分布」のずれの決定

(i)で得られた相互相関係数を最大とする n を「分布」のずれと定義.

(iii) 緩急の「明確さ」を決定

(ii)のときの X と Y の波形について, 相関係数 F を求めて「明確さ」と定義(式3).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (X[i]-\bar{x})(Y[i]-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X[i]-\bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y[i]-\bar{y})^2}} \quad (3)$$

4. 実験

実験で用いたデータは, 指導者データ2回分と学習3人のそれぞれ, 指導などを経て大きく変わった2回分のデータである. これらデータを, 加速度波形から, 腰部の「分布」と「明確さ」について, 筆者らの主観で分類すると, 表3ようになる. 以降の説明では, 表3に記されているIDを用いる.

4.1. では, 提案手法の手順(i)による, 動作分割の結果について述べる. また, 4.2. では, 「分布」と「明確さ」の数値化結果と, 表3との関係について述べる. このとき, 4.2.1. として, 指導者の最も巧いデータを基準としたときの他のデータとの比較について述べ, 4.2.2. では, 指導者の最も巧いデータを基準としたときの各被験者自身の比較について述べる. ここで, 指導者の最も巧いデータとは, 表3のS1を示す.

表3. 各被験者の加速度波形による評価(分類)

被験者	ID	加速度波形の緩急に関する分類			
		分布(表1)		明確さ(表2)	
		押し	引き	押し	引き
指導者 S	S1	1	1	1	1
	S2	1	1	2	2
学習者 A	A1	2	1	3	3
	A2	2	2	1	1
学習者 B	B1	1	1	3	3
	B2	1	4	2	1
学習者 C	C1	1	1	3	3
	C2	3	3	4	4

4.1. 意味動作分割結果

提案手法（手順 1）により分割された意味動作の分割点と、筆者らが映像を見て主観的に判断した分割点の時間差を算出した。このとき、ソーラン節の動作では、330ms 以上（半拍の時間に相当）の時間差は踊りとして異なる意味になる。このような箇所は全て、動作の 1 個目と 8 個目の分割点に存在することがわかった。これは、腰の静止状態が続く箇所であるため、分割点の定義に一致しにくい箇所である。そのため、エラーとして除外し、その他の分割点の時間差の平均値と、8 個の意味動作中のエラー個数を表 4 に示している。

表 4 を見ると、最大でも 79.9ms であり 2 サンプル程度である。この程度の時間差であれば、意味動作に分割した波形の大半を網羅して分割可能であると考えるため意味動作分割手法が有効であると考えられる。

表 4. 主観判断による動作分割と自動分割の時間差

被験者	ID	時間差の最大値 [ms (エラー個数)]
指導者 S	S1	0ms (0 / 8 個)
	S2	38.6ms (2 / 8 個)
学習者 A	A1	46.9ms (1 / 8 個)
	A2	44.7 ms(2 / 8 個)
学習者 B	B1	47.3 ms(0 / 8 個)
	B2	0 ms(0 / 8 個)
学習者 C	C1	79.9 ms(0 / 8 個)
	C2	76.4ms (0 / 8 個)

4.2. 「分布」と「明確さ」の数値化結果

4.2.1. では、他のデータと比較したときの、筆者らの加速度波形の評価（表 3）と、数値化結果との関係について、「押し」動作と「引き」動作に分けて検証する。

また、4.2.2. では、表 3 と数値化結果の関係について、各被験者自身の「押し」動作と「引き」動作に分けた変化を検証する。

4.2.1. 指導者の最も巧いデータを基準としたときの他のデータとの比較

S1 と他のデータについて、表 3 の筆者らによる加速度波形からの評価（分類）と、提案手法による数値化結果との対応について検証する。

● 「分布」の数値化結果

図 6 と図 7 は、各被験者の「押し」動作と「引き」動作それぞれについて、加速度波形の「分布」の分類（表 3）と、提案手法で算出した「分布」の数値化結果を動作ごとに平均した値の対応を記したグラフである。これにより、動作別に数値化結果の傾向を見ることが可能である。ここで、「押し」動作の 1 回目と「引き」動作の 4 回目は、4.1. でエラーとされた分割点によって分割されているため、除外して計算している。

図 6 と図 7 のグラフは、左下に向かうほど、最も巧いデータ（S1）と類似していることを示すため、「分布」が良いことを意味する（図中の実線矢印）。また、図中の四角の実線は、表 3 で同分類に属するデータの集合を示す。これにより、分類の集合で見ると、分類番号が小さいほど、左下に配置されている。数値化結果と主観評価による分類が一致したことになる。

このように、分類の集合で見ると、一致している部分もあるが、図 6 や図 7 の点線で囲んだ部分のように、数値化結果と分類が不一致（分類番号が大きいのにずれが小さい、または、分類番号が小さいのにずれが大きい）であるデータも存在していた。これら、配置の間違っている集合は、点線の矢印により表している。

不一致であるデータに関し、詳細に分析するため、「押し」動作の 2 回目から「引き」動作の 3 回目までの平均値ではなく、個別に数値化結果と波形の形からわかる「分布」の分類との関係を確認した。その結果、数値化結果が分類と合わないデータには、×印をつけている（数値化結果が分類と合わない理由については、5 章にて述べる）。

また、図 6 と図 7 中の×印の有無により、数値化結果が正しいデータは、「押し」動作では、全 7 データ（S1 は基準なので含まない）中 5 データであり、「引き」動作では、全 7 データ（S1 は基準なので含まない）中 6 データであることがわかった。

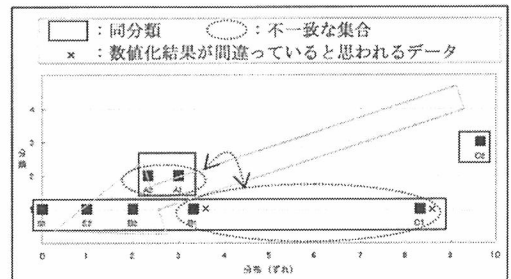


図 6. 「押し」の「分布」の分類と数値化結果

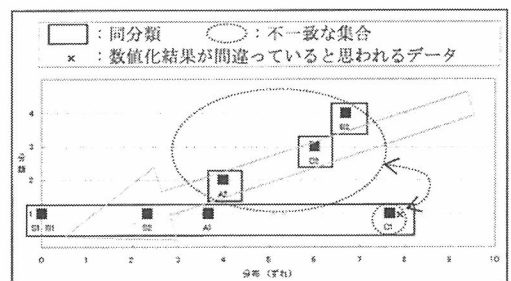


図 7. 「引き」の「分布」の分類と数値化結果

● 「明確さ」の数値化結果

図8と図9は、「分布」の数値化結果と同様に、各被験者の「押し」動作と「引き」動作それぞれについて、加速度波形の「明確さ」の分類(表3)と、提案手法で算出した「明確さ」の数値化結果を動作ごとに平均した値の対応(同分類の集合、不一致な集合、数値化結果と波形の「明確さ」の分類との関係)を記したグラフである。ただし、図6や図7とは異なり、右下に向かうほど、最も巧いデータ(S1)と類似していることを示すため、「明確さ」が良いことを意味する(図中の実線矢印)。

図8や図9中にも、「分布」と同様に、不一致の部分(点線で囲んだ部分)が存在するため、数値化結果と波形からわかる「明確さ」の分類が合わないデータは、×印をつけている(数値化結果と分類が合わない理由は5章にて述べる)。

また、図8と図9中の×印の有無により、数値化結果が正しいデータは「押し」動作では、全7データ中4データであり、「引き」動作では、全7データ中6データであることがわかった。

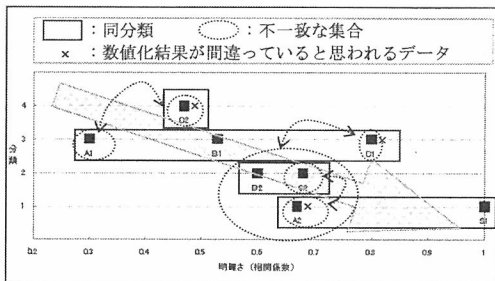


図8. 「押し」の「明確さ」の分類と数値化結果

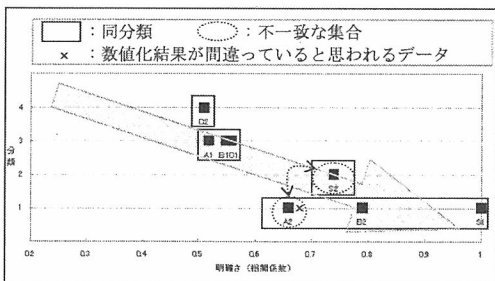


図9. 「引き」の「明確さ」の分類と数値化結果

4.2.2. 指導者の最も巧いデータを基準としたときの各被験者自身の比較

S1 と他のデータについて、各被験者自身が、回を経ると(日を経ると)の変化について比較する。

図10と図11は、提案手法を用いて算出した、「押し」動作2回目から4回目の評価値の平均値と、「引き」動作1回目から3回目についての評価値の平均値について、「明確さ」を横軸にし、「分布」を縦軸にして、各被験者の評価値をプロットしたグ

ラフである。これにより、被験者自身の回を重ねることによる変化について、「押し」動作と「引き」動作ごとに傾向を知ることが可能である。ここで、「押し」動作の1回目と「引き」動作の4回目は、4.1.でエラーとされた分割点によって分割されているため、除外して計算している。

図10と図11のグラフは、右下に向かうほど、最も巧いデータ(S1)と類似していることを示すため、腰部動作の速度変化が巧いことを意味する。また、グラフ中の矢印は、データ取得時の早いデータから遅いデータへの推移を示している。また、図中の実線矢印は、各データについて、図10と図11で示された分類(縦軸)と数値化結果(横軸)の対応の正しいことを示し、点線矢印は、誤りであることを示す。正誤に関しては、分布の変化の良し悪しと数値化結果の良し悪しが一致していれば正、不一致であれば誤として記載している。また、(a)は、筆者らによる波形の主観では、分布が同じであり、明確さが変化したと評価していたが、数値化結果では、分布が悪くなったと言える。同様に、(b)は、筆者らによる波形の主観では、分布が同じであり、明確さが変化したと評価していたが、数値化結果では、分布が良くなったと言える。

ソーラン節では、半拍の時間差は大きな時間差であると考えられているため、この半拍の時間差に相当する10サンプルに近ければ、大きな差異であると考えられる。このことを考慮すると、(a)、(b)に表れたずれは、最大でも2.3サンプルであるため、十分小さく、誤差であると考えられる。そのため、図10と図11では、正として扱っている。

図10を見ると、全ての被験者自身の「押し」動作の変化について、筆者らが加速度波形から評価した分類と、提案手法で算出した数値化結果の対応が一致している(正)ことがわかる。また、図11を見ると、学習者C以外の全ての被験者において、「引き」動作の変化が、筆者らが加速度波形から評価した分類と、提案手法で算出した数値化結果の対応が一致している(正)ことがわかる。

このことから、全8データ(項目)中7データ(項目)の数値化結果が正しいといえる。

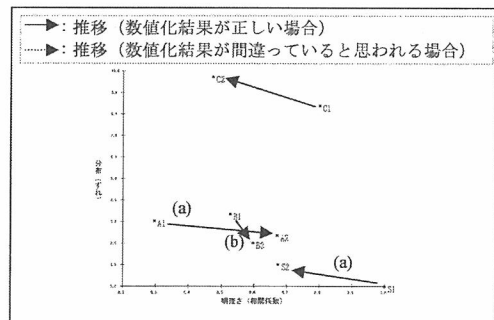


図10. S1と比較したときの「押し」動作の「明確さ」と「分布」の数値化結果の推移

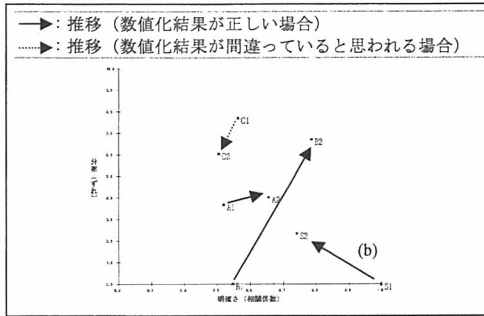


図 11. S1と比較したときの「引き」動作の「明確さ」と「分布」の数値化結果の推移

5. 考察

4.2 の結果について、5.1. では、加速度波形との関係における考察を行い、5.2. では、指導者の映像による主観評価との関係における考察を行う。

5.1. 加速度波形と数値化結果

4.2.1 と 4.2.2 において、提案手法による数値化結果が、77% (28/36 データ) 正しいことがわかった。23%のデータの数値化結果が間違っていると思われる理由は、以下の4つに分類できる。

・「分布」の問題点

(1-1) 分割した動作時間の差異による問題

(図 6-C1, 図 7-C1, 図 11-C)

提案手法の手順 2 (i) で相互相関係数を用いるために、サンプル数を多いほうに合わせている。これにより、基準と比較して、動作時間の差異が大きい被験者はずれが大きくなってしまいう可能性がある。そのため、分割された動作内のサンプル数が異なっても比較できるように改善が必要である。

(1-2) 全体的になだらかな加速度波形の問題

(図 6-B1, 図 6-C1, 図 7-C1, 図 11-C)

提案手法の手順 2 (ii) で相互相関係数の最大値の地点の位相差によって定義しているが、全体的になだらかな波形だと、最大になる地点が、求めたい地点であるとは限らない。そのため、急激な箇所や緩やかな箇所を特定して比較できるように改善することが必要である。

・「明確さ」の問題点

(2-1) 全体的になだらかな加速度波形の問題

(図 8-C1, 図 8-C2)

基準データ (S1) は、急激な変化部分は時間的に短く、その他大半の部分は緩やかであり、波形がなだらかなである。これにより、全体的になだらかな波形のデータは、類似している箇所が多いため、相関係数が高くなる。

本研究で対象としているソーラン節では、急激な部分が重要であるため、急激な部分の違いのみを比較できるように改善が必要である。

(2-2) 「分布」の分類 2 の場合の問題

(図 8-A2, 図 9-A2)

基準データ (S1) は、急激な変化部分が両足着地だけであるが、「分布」の分類 2 の被験者は、急激な変化部分が 2 箇所ある。そのため、基準データの緩やかな変化部分との一致度が低くなり、悪い結果になりやすい。

分割された動作は時間的に短いため、特に人間の感覚に関係するのは、最も急激な部分 1 つのみである。このことから、最も急激な変化の部分のみを評価できるように改善が必要である。

5.2. 数値化結果と指導者の主観

4.2 の結果の正しさについて、指導者に各被験者データの舞踊映像を見て主観評価していただいたところ、4.2.2. の同一被験者による変化については一致することがわかった。

しかし、4.2.1 の結果とは、一致しなかったケースも存在した。この原因として、他被験者同士を比較するときは、腰部速度の緩急のみの評価が困難であることがわかった。指導者が腰部速度の緩急について評価するときは、被験者の個人差 (体格や性別) を考慮して評価をしているために、一概に同一尺度で評価しにくいことがある。

しかし、従来の指導方法の補助として使用するときには、指導者の考えも同時に口伝可能であるため、本手法で得られた結果でも、試行錯誤する材料になると考える。

6. おわりに

腰部動作の速度変化の緩急の「分布」と「明確さ」を提案手法によって数値化した結果、筆者らの加速度波形の評価と数値化結果の一致から、数値化結果が 77%正しいことがわかった。23%の間違っていると思われる部分は、原因がわかっているため、今後改善することで、正答率を更に向上させることが可能であり、客観的評価の精度の向上が期待できると考える。

また、本手法により数値化した結果は、従来の指導を行う際の補助として、試行錯誤する材料になる可能性がある。

参考文献

[1] 藤波 努: 身体動作の時空間的分節化にもとづいた身体技能の習得支援方法の研究, 平成 17 年~19 年度 科学研究費補助金(基盤研究 C) 研究成果報告書, 2008.

[2] 郡末来, 松田浩一, 海賀孝明, 長瀬一男: 加速度を用いた地域伝統舞踊のためのリズム習得支援システム, 情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会, 2006-CG-125, pp. 49-54, 2006.11.