

三味線演奏の複数センサを用いた計測システムの提案

柴田 傑・小林 洋介（室蘭工業大学 しくみ情報系領域）

角 美弥子（北海道教育大学）

三味線は日本の芸能を支える楽器の一つである。本研究では、三味線演奏の特徴を解析するために、複数センサを用いた三味線演奏の計測システムを提案する。提案システムでは、モーションキャプチャ、慣性計測センサ、表面筋電位センサ、ピックアップマイクを用いて演奏を同時に計測する機能を提供する。実験では、三味線熟練者の“さくらさくら”と“津軽じょんがら節”の演奏を計測した。実験の結果から提案システムが複数センサを同期して計測できることを示した。また、計測した熟練者の“さくらさくら”のデータと“津軽じょんがら節”のデータから、演奏時の身体の使い方の違いを示した。

A Proposal of a Multi-sensor Shamisen Performance Measurement System

Takeshi Shibata / Yousuke Kobayashi (College of Information and Systems, Muroran Institute of Technology)

Miyako Sumi (Faculty of Information Science, Hokkaido University of Education)

The shamisen is a Japanese traditional musical instrument. In this study, we propose a multi-sensor shamisen performance measurement system to extract features of shamisen performance. Our proposed system consists of a magnetic motion capture, an inertial measurement unit, a surface electromyography, and a pickup microphone. In our experiment, we measured the performance of a shamisen expert playing “Sakura sakura” and “Tsugaru jongara bushi.” The results show that our proposed system can measure performance synchronously using multi-sensor data. We also present a difference between the expert data for “Sakura sakura” and “Tsugaru jongara bushi” using principal component analysis.

1. まえがき

日本には、地域の人々が生活の中で演じる芸能から専門家によって高い技術で演じられる芸能まで、様々な種類の芸能がある。これらの芸能の中には、地域の歴史と文化が反映されているもの、歴史の中で洗練されてきた様式や思想が反映されているものもあり、貴重な無形の文化的な財産であるといえる。

文化財保護法[1]などの法整備のもと、これらの財産を伝承し、地域の活性化に活用する試みも進められている。近年では、情報通信技術を用いてこれらの芸能の特徴を明らかにし、文化や技能の効果的な継承や地域活性化に活用する手法が検討されている[2, 3, 4]。

日本の芸能を支える楽器の一つに三味線がある。三味線は胴に棹が接続された構造で、胴から棹にかけて三本の弦が張られた撥弦楽器である。三味線は左手で弦を押さえて、右手に持つ撥で弦を弾いて演奏する。三味線の胴には皮が張られ、太鼓のようになっており、弦の音だけではなく胴から発する太鼓の音も組み合わせると多彩な表現が可能である。津軽や秋田の三味線では、弦を弾くと同時に撥を胴に打ちつけて、打楽器のように演奏する奏法に特徴があるといわれている。

弦と太鼓の音を奏でるためには、右手の撥さばきが重要となり、撥さばきに各流派の特徴が表れる。例えば、同じ秋田の三味線であっても睦実流と浅野流で撥さばきに違いがあることが報告されている[5]。そのため、三味線の撥さばきにおける身体の使い方を比較できれば、その流派の三味線演奏の技法を形成する文化的な背景の比較および三味線文化の伝承支援に寄与できると考える。

三味線演奏を解析する研究として、演奏された音を解析する研究[6,7]がある。また、演奏時の動きを解析する研究として、モーションキャプチャ (MoCap) を用いた撥さばきの学習支援システムがある[8]。一方で、楽器演奏技術の解析では、動き、音に加えて演奏者の力の入れ具合が重要であり、ピアノや和太鼓について、動き、音および演奏者の表面筋電位を総合的に評価する試みが進められている[9, 10]。

三味線の演奏においても、従来研究と同様に、撥の動きだけでなく、演奏者の力の入れ具合によって音色が変わると考えられる。そこで、撥の動き、力の入れ具合および音を総合的に解析する必要がある。そのためには、時間的に同期した動き、力の入れ具合、音のデータの計測が不可欠である。

本研究では、三味線演奏の撥さばきについて、動き、力の入れ具合および音を同時計測するシステムを提案し、総合的な解析に必要なデータの取得を実現する。

実験では、初心者向けの楽曲と上級者向けの楽曲の熟練者による演奏を計測する。さらに、主成分分析を用いて計測したデータを解析し、提案システムで計測することによって撥さばきにおける身体の使い方を比較できるか検討する。

2. 複数センサを用いた計測システム

2.1 ハードウェア

図1に提案システムで用いた計測装置を示す。本システムは、実物の三味線、撥、同図(a)から(d)に示す磁気式の MoCap (Polhemus 社 Liberty), 同図(e)に示すジェスチャ入力デバイス (GestureCtr : ThalmicMyo 社 Myo Armband), 同図(f)に示すピックアップマイク (Mic : SHADOW 社 SH711), 同図(g)に示す制御用のコンピュータ (制御用 PC : Dell Precision M3800) で構成される。

磁気式の MoCap はトランスミッタで発生する磁気をセンサに内蔵されたコイルで検知することによって、トランスミッタを原点とする各センサの位置(3自由度), 姿勢(3自由度)を計測できるシステムである。二つの MoCap センサを用いて三味線本体および撥の動きを計測する。MoCap のセンサは同図(c)の丸で示す撥の中央および同図(d)の丸で示す三味線の胴の横の二カ所に装着する。

GestureCtr は、表面筋電位センサ (EMG : 8ch) および慣性センサ (IMU : 加速度3自由度, 角速度3自由度) を内蔵したコントローラデバイスであり、演奏者の力の入れ具合を計測する。GestureCtr は演奏時に撥を持つ右腕の前腕に装着する。

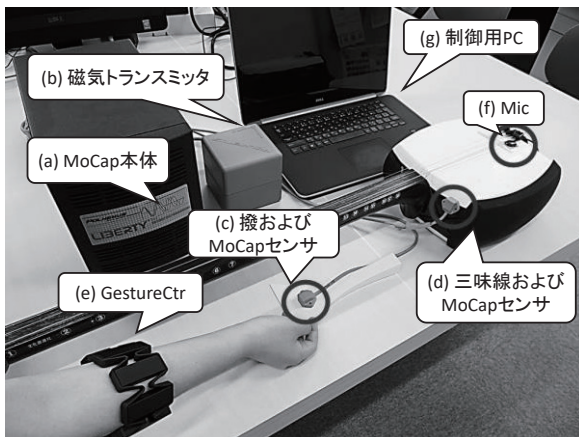


図1 計測装置
Figure 1 Measurement devices

Mic は楽器に張り付け可能な薄型のマイクであり、胴の振動(VOL : 1ch)を録音する。Mic は同図(f)の丸に示す胴の後ろ部分に装着する。

MoCap のセンサおよび Mic は三味線熟練者の指導に従い、三味線を構えたときに干渉しない位置を決定した。装着にはテープおよび3Dプリンタで作成した治具を用いた。

図2に開発したシステムのハードウェア構成を示す。磁気式 MoCap の本体は、専用ケーブルで磁気を発生させる磁気トランスミッタ、二つのセンサと接続される。MoCap 本体および Mic は USB ケーブルで制御用 PC に接続され、計測データを PC へ送信する。GestureCtr は Bluetooth による無線接続で制御用 PC に接続される。

2.2 ソフトウェア

本システムのソフトウェアは、VR アプリケーションの開発環境である Unity で開発した。本ソフトウェアはリプレイモード、リアルタイムモード、計測モードの三つのモードを提供する。本ソフトウェアの各モードを図3に示す。同図に示すように、キーボードの「S キー」, 「E キー」および「P キー」の押下によって、それぞれのモードへ移行する。

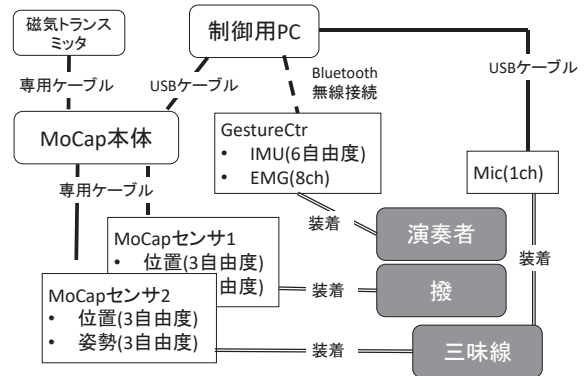


図2 ハードウェア構成
Figure 2 A hardware structure

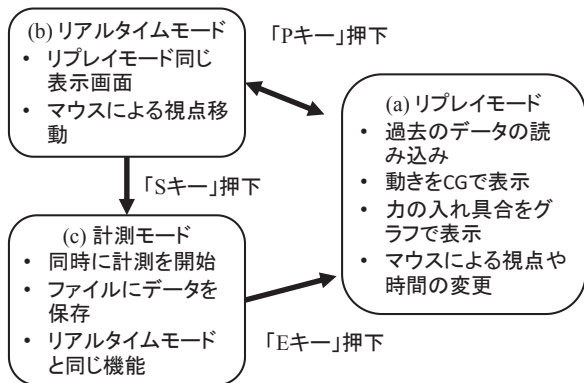


図3 ソフトウェアのモード
Figure 3 Software modes

図4にリプレイモードの実行時の画面を示す。リアルタイムモードでキーボードの「Pキー」が押下されるか、計測モードが終了すると、リプレイモードへ移行する。リプレイモードでは、画面上部のLOADボタンから計測済のデータを読み込み、動き、力の入れ具合、音を確認することができる。画面上部には同図(a)のように三味線のCG、同図(b)のように撥のCGおよび同図(c)のように基準となるトランスミッタのCGが表示される。また、マウス操作を用いて、視点を変えて観察することができる。画面上部のシークバーを操作するとデータの再生時刻を自由に変更できる。画面下部には、レーダーチャートが表示され、同図(d)のようにIMU、同図(e)のようにEMGの値が表示される。リプレイモードでキーボードの「Pキー」が押下されるとリアルタイムモードへ移行する。

リアルタイムモードは、リプレイモードと同じCGとレーダーチャートを用いて、リアルタイムに三味線と撥の動きと力の入れ具合を表示する。表示された動きは、マウス操作を用いて、視点を変えて観察することができる。リアルタイムモードで、キーボードの「Pキー」が押下されるとリプレイモード、キーボードの「Sキー」が押下されると、計測モードへ移行する。

計測モードでは、リアルタイムモードの表示を維持したまま、接続されたすべてのセンサが同時に計測を開始する。MoCapおよびGestureCtrはCSV形式、Micは44.1kHzのWAV形式で計測したデータをファイルに保存する。このとき、ファイル名は計測の開始日時となる。計測モード中にキーボードの「Eキー」が押下されると計測を終了し、リプレイモードへ移行する。

3. 実験

本実験では、津軽三味線の指導資格のある熟練者1名の演奏を計測した。計測時の様子を図5に示す。被験者はまず、右腕にGestureCtrを装着し、

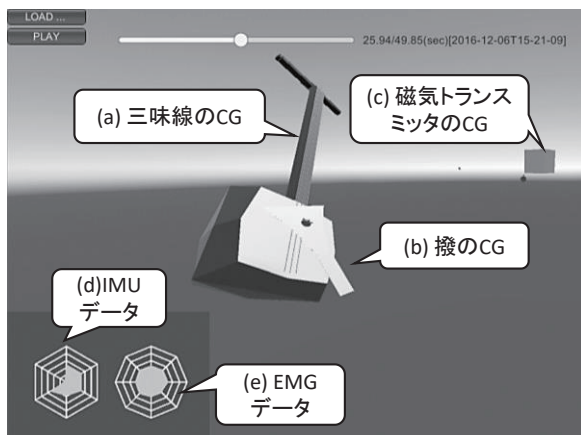


図4 リプレイモードの画面
Figure 4 A screenshot of a replay mode

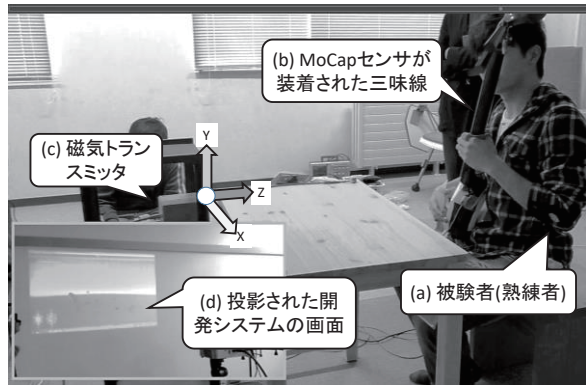


図5 計測の様子
Figure 5 A scene of measurement

キャリブレーション用のジェスチャを入力する。キャリブレーションは、GestureCtrに付属のソフトウェアを用いた。その後、同図(a)、(b)のようにMoCapが装着された三味線と撥を構え、演奏を開始する。MoCapの基準となるトランスミッタは同図(c)のように演奏者の正面の机に設置した。このとき、MoCapの各軸は、熟練者の左方向をX軸、上方向をY軸、後ろ方向をZ軸とした。

同図(d)に示すように、提案システムの実行時の画面を演奏者の正面にプロジェクタで投影した。これによって、演奏者は各モードの様子を確認しながら演奏することができる。実験の様子は、記録用のビデオカメラで撮影した。

実験では、基本的な撥さばきで演奏する初心者向けの楽曲および多彩な撥さばきが含まれる上級者向けの楽曲の演奏を計測した。初心者向けの楽曲は“さくらさくら”，上級者向けの楽曲“津軽じょんがら節”とし、それぞれを3回、合計6回の演奏を計測した。

計測した結果、MoCapおよびGestureCtrは平均41Hz(標準偏差4.4)のサンプリングレートで計測できた。計測後に提案システムのリプレイモードを用いて、計測したデータを再生してビデオカメラによる動画像と目視で比較したところ、動きと音に大きなずれは感じられなかった。

4. 結果と考察

4.1 計測データの比較

Micで計測したVOLのサンプリングレートは44.1kHz、MoCapおよびGestureCtrで計測したデータは約41Hzであり、サンプリングレートが大きく異なっている。そこで、複数センサが同期して計測できたか検証するために、VOLを一定区間毎に二乗平均平方(RMS)の対数を求めた。GestureCtrで計測したEMGの*i*番目のデータをEMG[*i*]、Micで計測したVOLの*i*番目のデータをVOL[*i*]で表すとする。図6に、VOLのRMS処理の範囲を示す。同図に示すように、EMG[*i-1*]とEMG[*i*]の中間の時刻から、EMG[*i*]とEMG[*i+1*]の中間の時刻までをVOL[*i*]のRMS処理の区間とする。

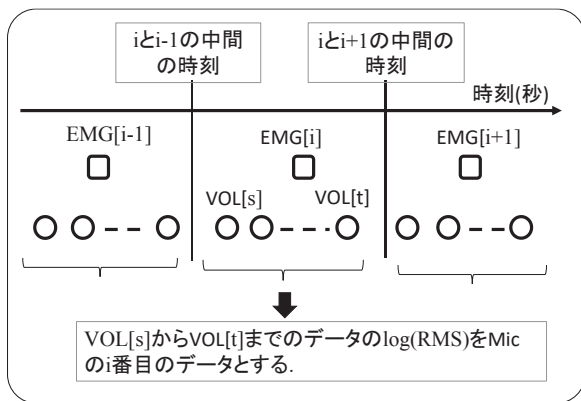


図 6 VOL の RMS 範囲
Figure 6 A RMS calculation range of VOL data

この区間に含まれる VOL のデータが VOL[s]から VOL[t]であるとき、EMG[i]に対応する音量データ v[i]は式(1)で求められる。

$$v[i] = \log \left(\sqrt{\frac{1}{t-s+1} \sum_{n=s}^t (VOL[n]^2)} \right) \quad (1)$$

EMG は正負に振動する値が計測される。また、ノイズに敏感であることが知られている。そこで、EMG は前後 0.5 秒の範囲で移動 RMS を求めた。図 7 に EMG[i]の RMS 処理の範囲を示す。EMG を RMS 処理するための範囲は実験的に定めた。RMS 処理を施した i 番目の筋電データ e[i]は式(2)で求められる。

$$e[i] = \sqrt{\frac{1}{41} \sum_{n=t-20}^{t+20} (EMG[n]^2)} \quad (2)$$

各センサのデータを比較するために、チャンネル毎に最大値 1、最小値が 0 になるように正規化した。ただし、EMG はノイズを増幅しないように、チャンネル毎ではなく計測装置の最大値である 128 で正規化した。さらに、提案システムのリ

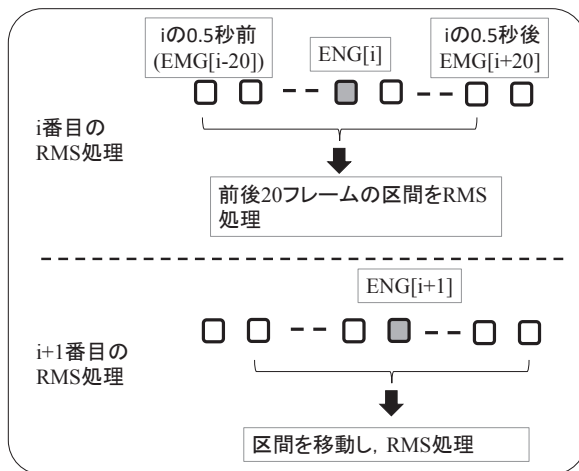


図 7 EMG[i]の RMS 範囲
Figure 7 A RMS calculation range of EMS data

プレイモードを用いて目視で確認しながら、三味線を構える動作など演奏以外のデータを除外し、演奏部分のデータを切り出した。なお、正規化したデータは表 1 に示すラベルで表記するものとした。

図 8 に“さくらさくら”の正規化された計測結果の一部を示す。横軸は時間(フレーム)、縦軸は正規化されたデータの値である。同図の点線の折れ線グラフは MoCap で計測した撥の高さ (posY[B])、同図の実線の折れ線グラフは IMU で計測した右腕の高さ方向の加速度 (accelY)、同図の破線の折れ線グラフは RMS 処理して log をとった音量 (vRMS) である。図中の垂直な実線は、音が発生した時刻であり、目安として歌詞を示した。

同図の丸で囲った部分に示すように、vRMS の正のピークに近い時刻で accelY の負のピークが観測できる。これは、打ち下ろす方向に力が加わったタイミングの付近で音が鳴っていることを意味する。また、posY[B]と比較すると、撥が一定の高さから下に移動し、完全に振り下ろされるまでの間で弦に触れて音が鳴っていることがわかる。

“さくらさくら”の take1 について、比較的腕の振りが大きい四分音符が連続するパターン(36カ所)において、vRMS と accelY のピークを手動で抽出し、時間差を求めた。時間差の平均は 0.95 フレームであり、最もズレが大きい箇所は二カ所で、4 フレームのズレがあった。vRMS と accelY のピークが完全に一致していない理由として、RMS を用いてサンプリングレートを合わせる処理を施している、計測用 PC の CG 表示などに伴う計算負荷などによってサンプリング間隔にバラつきがある、撥の動きは腕だけでなく手首の動きとの連携で実現しているなどが考えられる。しかしながら、時間差の平均は 1 フレーム以内であり、解析に用いる特徴が計測できていると考えられる。

以上の結果から、MoCap, GestureCtr, Mic で音になるタイミングが一致しており、同期してデータを計測できていると考えられる。

表 1 各チャンネルのラベル
Table 1 A label of each channel

デバイス	装着箇所	ラベル
MoCap	撥	位置 姿勢
	三味線	位置 姿勢
EMG	右腕	筋電 (RMS)
IMU	右腕	加速度
		角速度
Mic	三味線	音量 (log(RMS))
		vRMS

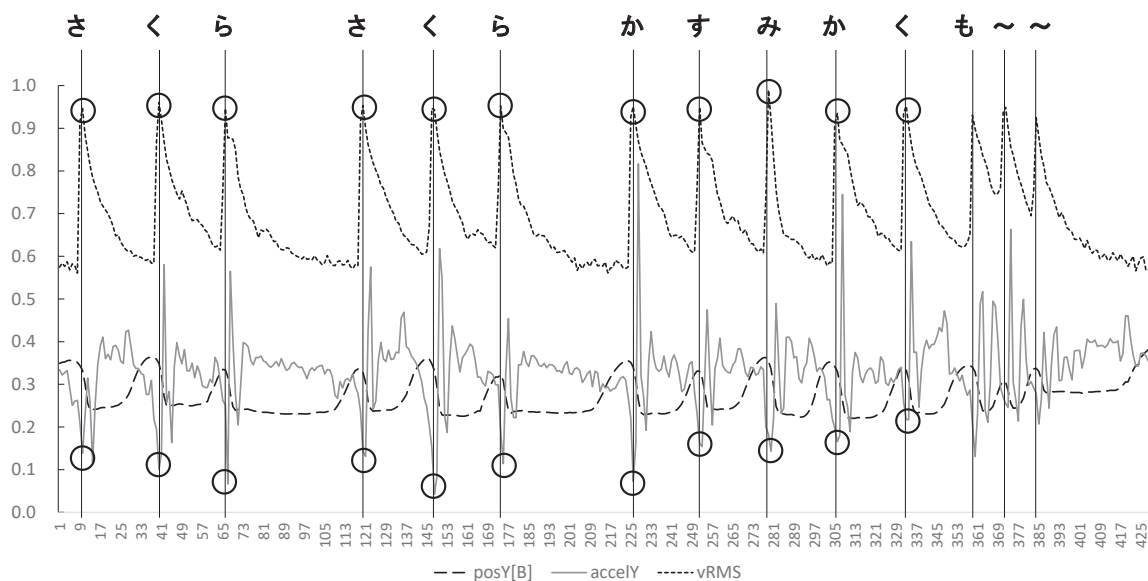


図 8 計測された「さくらさくら」のデータ
Figure 8 A measured data of “Sakura sakura” perfomance

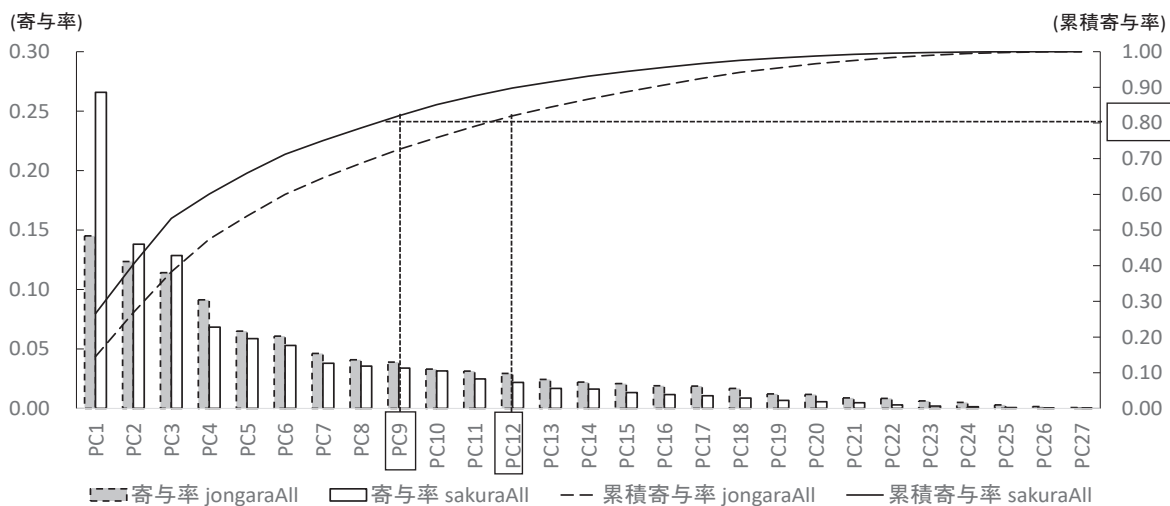


図 9 寄与率と累積寄与率
Figure 9 A contribution ratio cumclutive and contribution ratio

4.2 主成分分析

計測したデータを用いて、3回の“さくらさくら”の演奏区間を結合したデータ (sakuraAll)、および3回の“津軽じょんがら節”の演奏区間を結合したデータ (jongaraAll) を、分散共分散行列を用いた主成分分析で解析した。

図9に各成分の寄与率および累積寄与率を示す。同図の横軸が主成分、縦第一軸が表す棒グラフが寄与率、第二軸が表す折れ線グラフが累積寄与率である。寄与率は、計測データの中で、その成分が占める割合である。sakuraAllの第一主成分の寄与率は0.25程度、jongaraAllの0.15程度であり、第二主成分以降に大きな違いはなかった。

累積寄与率は各主成分の寄与率を累積した値でありその成分の組み合わせが計測したデータに占める割合である。同図の第二軸から、それぞれの演奏の8割を占めるためには、sakuraAllは9個の成分、jongaraAllは12個の成分が必要となることがわかる。

以上の結果から、sakuraAllはjongaraAllよりも少ない成分で動きの概要を捉えることができ、とくに第一主成分の影響が強いことがわかる。

図10に第一主成分の負荷量の絶対値(以後、影響度と呼ぶ)を示す。主成分負荷量は各成分とデータの相関であり、データが成分に与える影響の大きさを示す指標である。同図はsakuraAllとjongaraAllの影響度の差が0.4以上のチャンネル

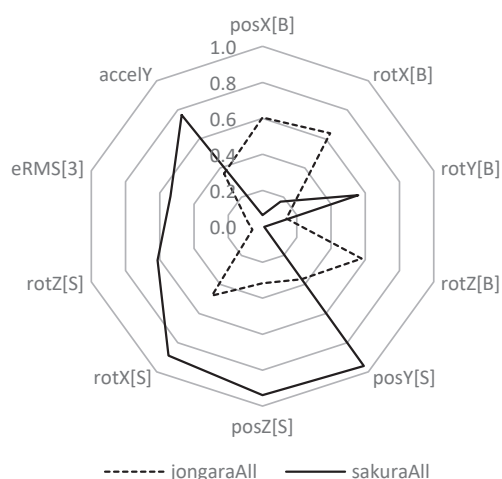


図 10 第一主成分負荷量
Figure 9 Principle loadings

である。同図から、sakuraAll は三味線の回転の影響度が高い傾向があり、jongaraAll は撥の回転の影響度が高い傾向がある。また、rotY[B] は sakuraAll の影響度が高いことから、“さくらさくら”は撥の1つの軸の回転と三味線の動きが含まれるのに対し、“津軽じょんがら節”は撥の位置や複数軸回りの回転の動きが含まれていると考えられる。

以上のことから、津軽三味線の熟練者一名の演奏について、提案手法を用いて三味線の演奏を複数センサで計測が可能であり、“さくらさくら”と“津軽じょんがら節”の身体の使い方を比較できたと考えられる。

5. あとがき

日本の民俗芸能や伝統芸能は、貴重な無形の文化的な財産であり、情報通信技術によって特徴を解析できれば、文化や技能の効果的な継承や地域活性化に活用できると考える。そこで、本研究では、日本の芸能を支える楽器の一つである三味線の撥さばきに着目し、動き、力の入れ具合および音を同時計測するシステムを提案した。

実験では、津軽三味線の熟練者一名の“さくらさくら”と“津軽じょんがら節”の演奏を計測した。計測結果から、MoCap, GestureCtr, Mic を同時に計測できることを示した。また、主成分分析を用いて、提案システムで計測したデータを解析した。解析の結果、少なくとも被験者となった熟練者について、“さくらさくら”と“津軽じょんがら節”の演奏時に身体の使い方に違いがあることが分かった。

以上のことから、提案システムを用いて複数のセンサを同時に計測し、その結果を解析できる可能性を示した。

今後の課題として、計測したデータの解析手法の検討があげられる。機械学習による特徴抽出など、動き、力の入れ具合および音の関係を明らかにし、特徴を抽出する必要がある。また、複数の熟練者および初心者の演奏を計測し、統計な比較および評価が必要である。

謝辞

本研究は公益財団法人電気通信普及財団の助成を受けて実施した。民俗芸能情報技術研究会の支援のもとに進めた。

参考文献

- 1) 電子政府総合窓口(e-Gov): 文化財保護法 (昭和二十五年五月三十日法律第二百十四号), <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S25/S25HO214.html>
- 2) 古賀崇朗, 田代雅美, 米満潔, 河道威, 永溪晃二, 梅崎卓哉, 中村隆敏, 角和博, 高崎光浩, 穂屋下茂: 地域の歴史や文化を保存・継承・発信する佐賀デジタルミュージアムの構築, 佐賀大学全学教育機構紀要 第4号, pp.165-173, (2016).
- 3) 曾我麻佐子, 芝公仁, 丹羽勇介, 岡田至弘: 練り供養のアーカイブと博物館における活用, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19, No.3, pp.405-412, (2014).
- 4) Miura, T., Kaiga, T., Katsura, H., Shibata, T., Tajim, K., Tamamoto, H.: Quantitative Analysis of Folk Customs and Mtoin Characteristics of Bon Odori Dance in Akita Prefecture, IPSJ Symposium Series, Vol.2016, No.2, pp.171-176, (2016).
- 5) 桂博章: 秋田県における民謡三味線の成立と流派間の奏法の違い, 秋田大学教育文化学部研究紀要, 文科学・社会科学部門, Vol.70, pp.1-7, (2015).
- 6) 小坂谷壽一, 小玉成人, 川守田礼子: 伝統音楽(津軽三味線) 保存用自動採譜装置に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告. 応用音響, Vol.108, No.491, pp.37-42, (2009).
- 7) 濱中敬人, 坂本大介, 五十嵐健夫: Aibiki 譜面の適応的自動スクロールによる三味線演奏支援, 研究報告エンタテインメントコンピューティング 2014, No.69, pp.1-6, (2014).
- 8) Shibata, T., Mitobe, K., Miura, T., Fujiwara, K., Saito, M., Tamamoto, H: Development of an Uchi Self-learning System for Mutsumi-ryu-style Shamisen Using VR Environment, International Conference on Intelligent Robotics and Applications 2016, pp.359-370, (2016).
- 9) 中村 あゆみ, 合田 竜志, 古屋 晋一, 長田 典子: モーションキャプチャと表面筋電図を用いたピアノ学習効果の評価, 計測自動制御学会論文集, Vol.50, No.2, pp.162-169, (2014).
- 10) 山口真紀, 藤原素子: 和太鼓の打動作における上肢の動作分析 上級者と初級者の比較, 奈良女子大学スポーツ科学研究, Vol.13, pp.1-11, (2011).