

腕時計型モーションセンサによる エレキギター演奏運動可視化システム

松下 宗一郎^{1,a)} 中島 瑛太¹ 有賀 皓哉¹ 趙 恒¹ 高山 晴希¹ 奥田 滉大¹ 内山 幸大¹
小澤 嶺斗¹ 加茂 文吉²

概要：小型軽量な腕時計型慣性運動センサデバイスによりエレクトリックギターにおける利き手側の演奏運動をリアルタイムにて可視化する情報処理システムを製作し、様々な演奏技量レベルにある被験者による評価を実施した。腕時計型デバイスに搭載された3軸加速度および3軸角速度センサにて捉えた運動信号からギター演奏における手首の対重力姿勢角度を推定することで、目視では分かりにくい演奏運動様態を3D-CGならびに手首ひねり角と前腕傾斜角にて表現される2次元平面上の運動軌道図としてPC画面上に描画している。さらには、利き手にて把持されるピックとギター弦との衝突を500Hz以上の運動信号サンプリングにて検出し、手首ひねり軸まわりの角速度を時間二階微分することで得られる角躍度信号からピッキングのタイミングと強さを推定することで、コードストローク奏法における演奏の鋭さと力強さをリアルタイムにて可視化することができた。ギター演奏レッスンにおける効果検証実験の結果、演奏フォームやピッキング技術といった習得に時間を要する技量習得に際し、演奏者の意識を演奏運動へと誘導する効果が生じていることが分かった。

1. はじめに

ギターという楽器は張力を作用させた細い糸状の弦を複数本配置し、これを手指やピック (plectrum) といった器具で弾くことで音響を生じさせる撥弦楽器の1つである。振動する弦の近くに配置した集音マイクロフォンの役割を果たすピックアップからの信号を電氣的に増幅し、スピーカーより出力するエレクトリックギター (以下エレキギター) は、小さな演奏運動から大きな音量を得られることや、エフェクターと呼ばれる機材による音響のダイナミックな変化により、ポピュラー音楽を中心とした幅広いジャンルの楽曲にて使用されている。ここで、エレキギター演奏にて生じる音響信号の特性は、非利き手側での押弦位置の違いによる音程選択と、利き手側による撥弦方法に大きく左右される。非利き手側の運動では個々の手指による押弦を正確に分離した計測が必要となることから、手首に装着する単一の慣性運動センサデバイスの適用は困難である。このため、従来の研究例ではギターの押弦部分に触覚センサを取り付ける手法や、カメラによる押弦位置認識が試みられている [1], [2]。ギター演奏における芸術性を光学式モーションキャプチャーにて分析した事例では、演奏運

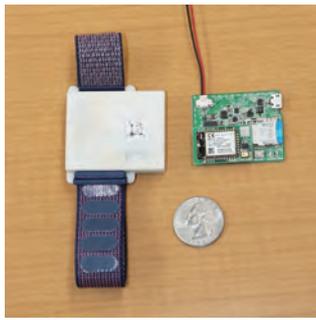
動の大きさが奏者の感情を反映していることが報告されている [3]。しかしながら、これらの方法ではギターそのものの改変や機材の準備といった視点から、いつでもどこでも気軽に利用できる状況とはなっていない。そこで、ギターから生じる音響信号のみを用いた演奏解析が試みられているが [4]、エレキギターの多くが搭載している強力なマグネットを用いた集音デバイス (ピックアップ) の音響特性により、演奏技量との関係性を正しく評価することは困難である。また、エレキギターから出力される音響信号を周波数ドメインで解析することで、複数の弦を同時に鳴らす奏法の実施タイミングを特殊な収音デバイス等を使用することなく推定する手法が報告されているが、計算量が大きくなることに加え、撥弦にて生じる音響の原因となった演奏運動の様態を逆推定することが依然として困難であるといった問題が残っている [5]。

一方、利き手側の手指にて保持されるピックによる撥弦 (ピッキング) が広く用いられているエレキギターの演奏では、前腕中心軸に沿った運動軸を有する親指と人差し指の運動がピッキング運動の主体をなしている。そして、利き手側手首における運動信号から、コードストローク奏法と呼ばれる複数弦を同時に弾く技法での演奏リズムやピッキング運動の鋭さといった音楽表現において重要な役割を果たすパラメータが見いだされている [6], [7], [8], [9], [10], [11]。

¹ 東京工科大学コンピュータサイエンス学部

² 日本工学院八王子専門学校

^{a)} matsushita@stf.teu.ac.jp



Size : 43.0 x 35.0 x 10.5 mm
w/o watch belt

Weight : 25 grams

Battery : 3.7 V, 150 mAh

Sensor range :
± 16G (1G = 9.8m/s²)
± 2000 dps (deg/sec)

Sampling : up to 1024 Hz

Storage : 32 GB (SDHC)

図 1 腕時計型モーションセンサデバイス

このような演奏運動の分析を用いる手法では、音響の原因となった身体運動の違いを反映する客観的な数値情報が得られることから、音響分析の手法と組み合わせることで、エレキギター演奏運動に関する知見を深め、より効果的な演奏レッスンや新しい音楽表現の追求へとつながっていくことが期待される [12]。ここで、演奏運動を分析するパラメータとしては、演奏リズムの速さと正確さ（タイミングのゆらぎ）、コードストローク奏法における演奏運動の鋭さといった数値を導出するアルゴリズムが提案されているが、それらは 2 ないし 4 小節での演奏といった一定の時間幅における統計的な値となっていた。このため、エレキギター演奏運動の評価はある時間範囲における平均的なパラメータにてなされており、個々の一瞬における音楽表現との対応関係については未解決の問題が残されていた。これに対し、Kamo らはエレキギター演奏におけるピッキングの違いにより、手首ひねり軸まわりの角速度を時間二階微分した角躍度（angular jerk）信号の振幅や波形に大きな差異が生じており、そのことが音楽表現に影響を与えていることを報告している [13]。このことは、ピッキングにおける撥弦運動の回転中心軸が利き手側の人差し指付近にあり、ピックがギター弦に鋭く衝突することで生じる回転角速度の急変が手首ひねり軸まわりの角躍度として現れることに起因していると考えられる。そして、Matsushita はこの考え方をを用いて撥弦運動が生じた時刻を詳細に分析することでコードストローク演奏運動の開始時刻と終了時刻を推定し、演奏の鋭さを数値化できることを報告している [14]。角躍度は時間ドメインのパラメータであり、瞬間的な事象を少ない計算量にて表現できることから、楽曲における 1 つ 1 つの音を反映した数値を小さな時間遅延にて得ることができる。そこで本論文ではエレキギター演奏における利き手側手首ひねり軸まわりの角躍度を用いた演奏運動評価方法を論じるとともに、コンピュータインタラクションのデザインと評価結果について報告する。

2. 腕時計型モーションセンサ

2.1 デバイスおよびシステムの構成

図 1 に本研究にて用いた腕時計型モーションセンサデバ

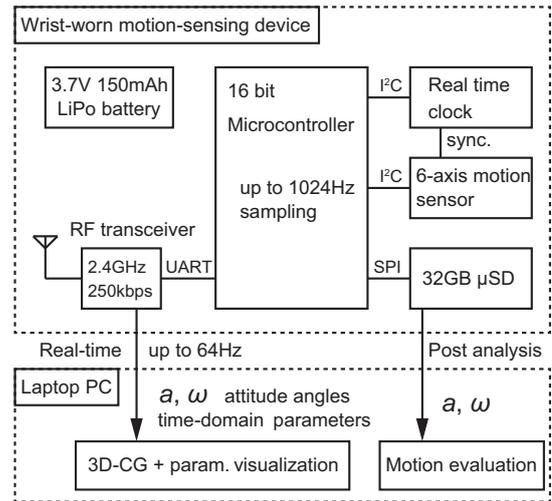


図 2 エレキギター演奏運動可視化システムの構成

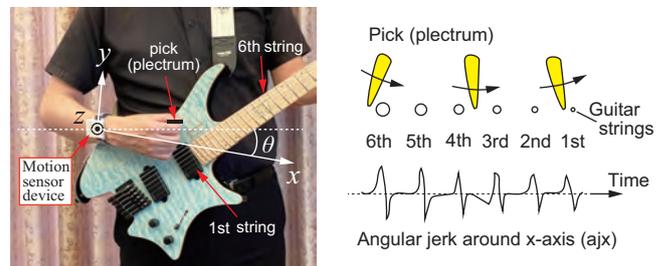


図 3 エレキギター演奏運動計測の様子

イスとその性能諸元を示す。腕時計ベルトや充電式バッテリーを含めたデバイスの総重量は 25 グラムと軽量であり、エレキギターの演奏運動に与える影響は非常に軽微であった。デバイスにはワイヤレスデータ通信モジュールが搭載されているが、伝送するための運動信号や分析パラメータの計算を行うと同時に、加速度および角速度の詳細なデータをマイクロ SD メモリカードに併せて記録することができる。このため、ワイヤレス通信における通信環境の悪化によるデータ伝送に欠損が生じていても、メモリカードを経由した正しい運動データから評価パラメータの計算を後から行うことができる。図 2 は腕時計型デバイスにて得られた数値データを入力として動作する表示デバイスとして、ノート型パソコンを用いたシステムの構成を示したものである。ここでは最高 64Hz でのワイヤレスデータ通信が腕時計型デバイスと表示デバイスとの間にて行われており、エレキギターを演奏しながらリアルタイムでのインタラクションを行うことができる。

2.2 エレキギター演奏運動の計測と分析

図 3 は腕時計型モーションセンサデバイスを用いたエレキギター演奏運動計測の様子を示したものである。ここで、エレキギターには上方より太い順に 6 本の弦が張られており、演奏者がピックにて 6 本の弦を順番に弾いていく際には個々の弦ごとに鋭い角躍度信号が手首ひねり軸 (x

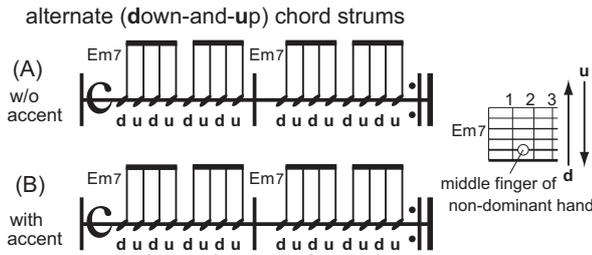


図 4 コードストローク奏法による演奏譜面

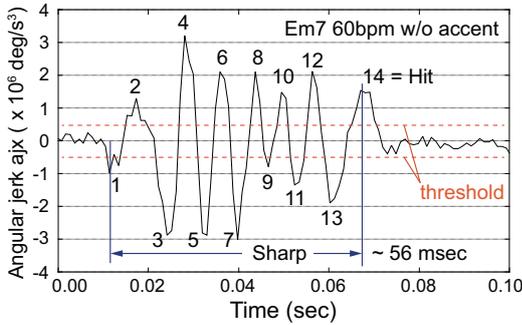


図 5 アクセントなしダウンストローク時の角躍度波形

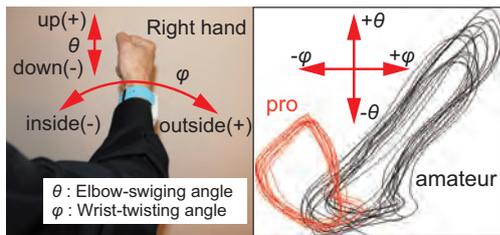


図 6 エレキギター演奏における利き手側軌道図

軸)まわりに生じる。次に図 4 は 6 本の弦を上方から下方へ弾き下ろした(ダウンストローク)後に下方から上方へ弾き上げる(アップストローク)運動を繰り返すオルタネート(往復)奏法によるコードストローク演奏の譜面例であり、非利き手側では指 1 本のみで押弦する Em7 コードを使用している。このとき、各小節にて 2 拍目と 4 拍目のダウンストロークを強く行うアクセント奏法と呼ばれる技法が知られており、利き手側親指の外側側面を急峻にギター弦に接触させるやや難易度の高い演奏運動技巧となっている。図 5 はエレキギター演奏経験者によるアクセントのついていないダウンストロークに対する手首ひねり回転軸まわりの角躍度波形の例である。ここでは 6 本のギター弦への衝突を中心とした利き手側手首ひねり角躍度の急峻な変化が周期的に観測されており、約 56 ミリ秒の間に 14 個のピーク波形が生じていた。このとき、コードストローク奏法におけるギター弦とピックとの衝突が弦ごとにほぼ同じ時間間隔にて発生したものとすれば、隣り合う弦と弦の間の通過時間はピーク波形の時間間隔である 4 ないし 5 ミリ秒程度と見積もることができる。そして、これらの波形ピークのタイミングを正確に捉えるためには少なくとも 200 ないし 250Hz 以上のサンプリング周波数が必要となる

ことが分かった。また、手首まわり角速度信号をフーリエ変換したところ、約 200Hz をやや上回る周波数にて振動成分が観測されていることから、概ね 400Hz 以上の速さで運動信号のサンプリングを行う必要があることが示唆された。そして、図 5 に示した角躍度の信号波形について、適切なしきい値を選んだ上でピーク点のタイミングを検出することで、ギター弦とピックが継続して衝突していた時間 Sharp (msec) をコードストローク演奏の鋭さを表す量として定義できる。また、ギター弦に対してピックが深く当たっているような演奏では衝突によるピークの個数が顕著に増加していたことから、検出されたピーク点の個数を求めることで演奏運動の様態を表現することも考えられる。

2.3 軌道図による演奏運動の表現

腕時計型モーションセンサデバイスでは、計測された加速度信号と角速度信号を組み合わせることで、デバイスが重力に対してなしている姿勢角度を精度良く推定できることが報告されている [11]。ここで、腕時計型デバイスの x 軸が重力に対してなす角度を肘中心回転姿勢角 θ とし、 x 軸を中心とする手首ひねり回転姿勢角を ϕ とすると、3次元空間における演奏者の利き手姿勢を 2次元の軌道図にて表現することができる [11]。図 6 は右利きの奏者における手首姿勢角度の符号定義とアクセントつきコードストローク奏法を実施した際の軌道図を、プロギタリスト(プロ奏者)と長期間にわたる演奏経験のあるアマチュア奏者(演奏経験者)について描いたものである。この図からはプロ奏者は比較的小さな姿勢角変化に演奏を行っており、とりわけ手首ひねり回転姿勢角 ϕ が正の方向に入っていないことが見て取れる。このことは演奏運動の目視や録画による動画像の確認でも観察することができるが、図 6 右側図のような軌道図を効率的に描くことは、機材設置における位置座標合わせといった課題が残る。一方、手首の重力に対する姿勢角を用いる本研究の手法では、軌道図にて演奏運動特徴を安定して評価できることが期待される。

3. コードストロークの鋭さと軌道図の性質

腕時計型モーションセンサによって得られるエレキギター演奏運動パラメータを定義したことに続き、これらの数値の性質を実験的に検討した。実験ではプロ奏者および演奏経験者に加え、演奏経験が 3 年以下の 15 名の奏者(演奏初学者)を被験者として、Em7 コードストローク演奏におけるパラメータの挙動を観測した。ここで、とりわけ演奏経験が全くなかった 12 名の初学者については演奏運動が安定しないケースが散見されたことから、4 小節(16 回のダウン・アップ往復コードストローク)以上の長さにて演奏した中から、最もリズムが安定していた 2 小節分の運動データに対してパラメータを算出することとした。

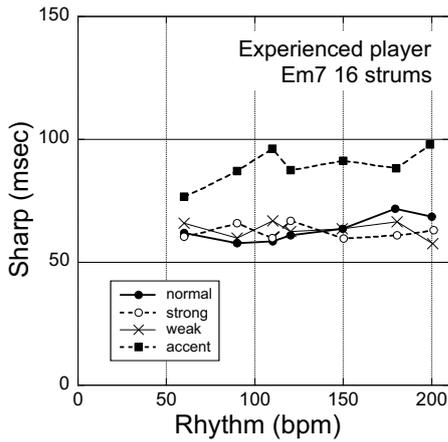


図 7 演奏リズムの速さとアクセントの有無による Sharp 値の変化

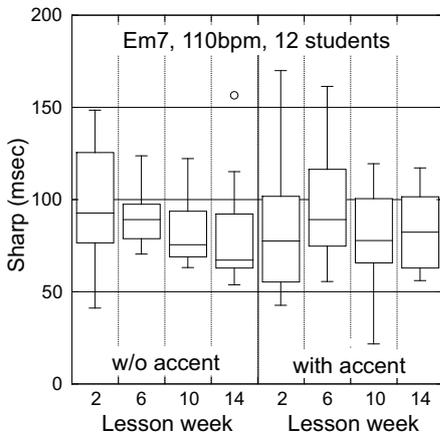


図 8 ギター演奏レッスンクラスにおける Sharp 値の変化

3.1 コードストローク演奏リズムの速さと鋭さ

Kamo らによれば、手首ひねり軸まわり角躍度の振幅密度時間遷移から計算したコードストローク奏法の鋭さ Sharp は 3 人のプロ奏者にて 50 ミリ秒付近に集中していることに加え、うち 1 人のプロギタリストについては演奏リズムの速さが変化しても Sharp の値は大きく変化しないことが報告されている [8]。このことはコードストローク奏法におけるギター弦とピックの衝突が継続する時間がリズムによらず一定であることを意味しており、ストロークごとに Sharp パラメータの値を評価することで演奏運動様態の変化を可視化できるものと考えられる。そこで、ライブ演奏を含めた 10 年以上の演奏経験者において、演奏リズムとアクセントの有無に加え、演奏の強さを变化させた際の Sharp 値を計測した結果を図 7 に示す。この結果、演奏リズムの変化に対して Sharp の値はプロギタリストと同様にあまり大きく変化しておらず、エレキギター演奏におけるコードストローク奏法運動の鋭さを数値にて安定して評価できることが分かった。一方、演奏経験が 1 年以下である 12 名の演奏初学者について、プロギタリストの指導のもとで 14 週間にわたる各回約 30 分の演奏レッスンを行った際の Sharp 値の変化を図 8 に示す。ここでは演奏リズム

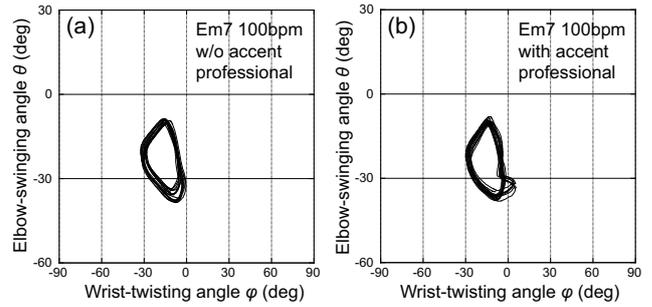


図 9 プロギタリストによるコードストローク奏法の軌道図

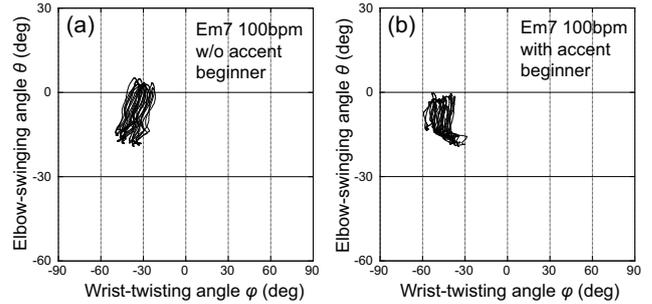


図 10 演奏初学者によるコードストローク奏法の軌道図

ムを比較的遅い 110bpm としているが、アクセントをつけないコードストロークではレッスンの 2 週目から最終週である 14 週目に向かって Sharp の値が小さくなっていったことが分かる。一方、難易度が高いアクセントつきコードストロークでは Sharp 値はあまり改善していなかった。

3.2 コードストローク演奏の軌道図

Matsushita らはエレキギターによるコードストローク奏法での演奏では、14 週間にわたるギターレッスン開発クラスにて演奏初学者の演奏リズム安定性が向上していく一方で、利き手側の演奏軌道図に大きな変化が現れなかったことを報告している [9]。図 9 は比較的低速な 100bpm での Em7 コードストローク演奏におけるプロ奏者の軌道図を示したものであるが、アクセントなし (a) とアクセントあり (b) の双方において利き手側手首の姿勢角変化が安定して生じていることが分かる。続いて、エレキギター演奏経験がほとんどなかった初学者がギターレッスン開発クラスの最終週にて行ったコードストローク演奏の軌道図を図 10 に示す。プロ奏者の軌道図との比較では、明らかに演奏初学者の手首姿勢角の変化が不安定になっていることが分かる。一方、プロ奏者と演奏初学者における演奏リズムはおおむね正しく維持されており、特にアクセントなしでのコードストローク奏法ではギターアンプとスピーカーを通したエレキギターの演奏音には顕著な差異は感じられなかった。一方で、アクセントつきでの演奏では聴感による音響の鋭さに明確な差異が生じており、演奏技量の上達に際してはプロ奏者に見られる正しい演奏フォームを会得する必要があることが示唆された。

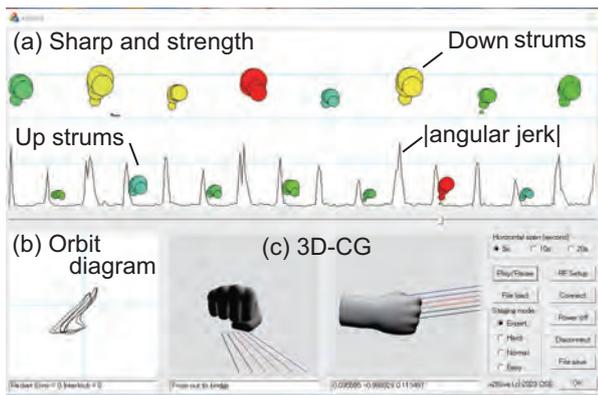


図 11 PC画面を用いたインタラクティブなギターレッスンシステムのスクリーンショット

表 1 演奏鋭さ Sharp と円への着色の対応関係

Sharp (msec)	Hue (deg)	Color
0 to 40	240	blue
40 to 70	240 to 210	blue to light blue
70 to 160	210 to 120	light blue to green
160 to 220	120 to 60	green to yellow
220 to 250	60 to 30	yellow to orange
≥ 250	30 to 0	orange to red

4. エレキギター演奏運動可視化システム

4.1 PC画面インタラクションシステムのデザイン

図 11 は腕時計型モーションセンサデバイスにて計算を行った手首ひねり角躍度 (angular jerk), 弦を弾く鋭さ (Sharp), 重力に対する手首ひねり姿勢角の情報をワイヤレスデータ通信にて受信し, PC画面にリアルタイムにて描画するシステムのスクリーンショットを示したものである. この画面の上半分 (a) には, 円の着色と半径にて鋭さ Sharp と演奏強さを反映する角躍度の大きさを表現している. また, コードストローク奏法の上下方向にて肘を中心とする前腕振り角速度の符号が反転することを利用し [13], ギター弦とピックとの衝突がダウン・アップのどちらのコードストローク動作にて生じたのかを画面への表示位置にて区別して表現した. ここでは, プロ奏者, 演奏経験者, ならびに演奏初学者の計測値から, 表 1 に示す円の着色と Sharp 値の対応関係を設定しており, HSB (Hue, Saturation, Brightness) 表色系にて Hue の値を Sharp 値から計算し, Saturation と Brightness を最大値として画面への描画を行った. ここで, Sharp 値の計算は図 5 に示した手首ひねり角躍度のピークの列が継続しなくなった時点にて確定することから, 図 11(a) に示した角躍度の絶対値波形よりも時間的に遅れて決定されることとなる. 一方, ワイヤレス通信では通信状況によるデータの欠損が生じることから, 毎秒 64 回にて行なっているデータ送出にて 5 回分にわたり同じ着色 (同じ Sharp 値) による円の描画を行うことで, 表示の欠落による影響を低減した. 続いて,

表 2 演奏評価システムの難易度設定

Difficulty level	Sharp modification	Remarks
Expert	Sharp x 2.0	
Hard	Sharp x 1.0	
Normal	Sharp x 0.8	Constant radius
Easy	Sharp x 0.5	Constant radius

表 3 演奏評価の難易度と Sharp 値採点結果に対するコメント

色が大きく変わりすぎると演奏状態がよく分からなくなった
Hard ではずっと青色になってしまった
色に変化する Expert の方が良かった
赤色ばかりになると, やる気が下がった
Easy では全て青色になり, 評価が正しくないように思えた
演奏の仕方でも適切に色に変化する難易度を選ぶべき
採点の基準と意味をはっきりさせるべきだと思った

表 4 演奏評価システム全体に対するコメント

多重に円が連なって表示される意味が分からなかった
エアギターではほとんど同じ表示が出ていた
アップとダウンに絞ったストローク評価を行ってほしい
速い単音ピッキングでは画面が狭く感じて見づらかった
衣服の袖がセンサに触れると Sharp の値が大きくなった
正しいアクセント奏法が行われたのかは分かりにくい
ストローク以外の様々な奏法でも応用できると思った
弾いていない箇所でも小さな丸が表示されていた
ピッキングにおける正しいピックの持ち方は分からない
自身とプロ奏者との軌道図の違いを修正する方法が分からない

図 11(b) には約 3 秒間分の手首姿勢角データを用いた軌道図を描画しており, 演奏運動の安定性やアクセント操作の正しさを視覚的に確認することができる. また, 軌道図に慣れていない奏者における理解度の向上や, レッスン教室にて教師が演奏運動の手本を生徒に示すこと等を目的として, 手首のモデルを使った 3D-CG の表示を行なっている.

4.2 PC画面によるインタラクションシステムの評価

インタラクションシステムの実効性を確かめるため, プロ奏者 1 名, 演奏経験者 1 名, 演奏初学者 12 名による評価実験を行った. まず最初に演奏経験者による実験を行ったところ, 図 7 に示したように演奏リズムを変化させても Sharp 値が大きく変化していないことを反映して, 大部分の演奏時間にて円の色がほとんど同じになってしまっていた. 一方, プロ奏者ならびに演奏経験者による実験では意図的に Sharp の値を変化させる奏法に対し, そのことを反映するような色の変化が起きることが確かめられた. 例えば, 手首ひねりを使わない直線的なピッキングが鋭いコードストローク奏法には適しているとされているが [15], 6本の弦を鳴らすコードストローク奏法には不向きとされる手首を意識的にひねる回転的なピッキングでは Sharp の値が顕著に大きくなっていった. また, 手首まわり角躍度についても, 折れ線グラフならびに円の半径への反映がダイナ

ミックに行われており、演奏表現の違いを確認する上で有益であるとのコメントが得られた。そこで、より幅広い演奏技量をもつ奏者への対応を考え、表 2 に示すような難易度を画面上にて選択できるシステムを作成した。そして、計 14 名の被験者において、各自にて自由に難易度設定を変更しながらエレキギター演奏を行なってもらい、最も自身に適していると考えられるレベルを回答させたところ、最高難易度の Expert (7 名) が最も多く、Hard (5 名) が続くという結果となった。一方、Normal および Easy を選択した被験者はおらず、どの難易度設定であっても自身には適していないという回答が 2 名よりあった。また、表 3 は自由記述によるコメントを列挙したものであるが、当初のデザインにおける難易度が Hard の設定だけでは不十分であることが見て取れる。ここでは色の変化しすぎることによって演奏評価が分かりにくくなったという意見があったが、多くの参加者は演奏の違いが色に反映されることについては好意的であった。一方、システム全般についての自由記述では表 4 に示すようなコメントが得られており、広い視点からの演奏運動への気づきが生じていることが分かった。

4.3 指導者から見た演奏運動可視化システムの効果

一般的なギターレッスンプラスでは、1 人の指導者が 10 人以上程度の学習者を同時に指導している。このような状況では、ギターからの音響や目視による演奏フォームの確認をきめ細かに行うことは困難である。そこで、本研究による可視化システムを 10 名の学習者が同時に演奏練習を行っている環境に適用したところ、各学習者が表示している PC 画面を通じて、個別に助言を行うべき対象者を短時間で特定することができた。

5. 結論および今後の展望

本研究では腕時計型モーションセンサデバイスによるエレキギター演奏運動の数値パラメータ化を行い、コードストローク奏法の演奏における手首姿勢の変化と演奏の鋭さを可視化することの有効性を見出した。また、ギター演奏レッスンを想定し、ワイヤレス通信にて腕時計型デバイスと接続された PC 画面によるインタラクションシステムをデザインすることで、様々な技量レベルにある演奏者による評価実験を行った。その結果、演奏による音響を用いた主観的なレッスンによる従来の楽器演奏教育手法に対し、身体の運動を客観的に数値することによる新たな手法を組み合わせることで、演奏運動データの分析ならびにリアルタイムにて動作するインタラクションシステムによる実験結果によって示すことができた。

今後はシンプルなコードストローク奏法に加え、単音ピッキングを含めた幅広いエレキギター演奏技法についての検討を行い、楽器演奏における身体運動分析の有効性を

検証していくとともに、実際の楽器演奏レッスンへの適用を試みることで、新しい視点からの音楽教育を実現していきたいと考えている。

参考文献

- [1] Marky, K., Weiß, A., Matviienko, A., Brandherm, F., Wolf, S., Schmitz, M., Krell, F., Müller, F., Mühlhäuser, M. and Kosch, T.: Let's Frets! Assisting Guitar Students During Practice via Capacitive Sensing, *Proc. of the 2021 Conference on Human Factors in Computer Systems (CHI'21)*, p. 12 (2021).
- [2] Shin, Y., Hwang, J., Park, J. and Seol, S.: Real-time Recognition of Guitar Performance Using Two Sensor Groups for Interactive Lesson, *Proc. of the 12th Int. Conf. on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI 2018)*, pp. 435–442 (2018).
- [3] 水戸勇氣: モーションキャプチャを用いた演奏動作計測, *日本音響学会誌*, Vol. 77, No. 9, pp. 580–586 (2021).
- [4] Lindroos, N., Penttinen, H. and Välimäki, V.: Parametric Electric Guitar Synthesis, *Computer Music Journal*, Vol. 35, No. 3, pp. 18–27 (2011).
- [5] Mounir, M., Karsmakers, P. and van Waterschoot, T.: Guitar note onset detection based on a spectral sparsity measure, *IEEE 24th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, pp. 978–982 (2016).
- [6] Matsushita, S. and Iwase, D.: Detecting Strumming Action While Playing Guitar, *17th Int. Symp. on Wearable Computers (ISWC'13)*, IEEE, pp. 145–146 (2013).
- [7] Yoshida, K. and Matsushita, S.: Visualizing Strumming Action of Electric Guitar with Wrist-worn Inertial Motion Sensors, *Proc. of IEEE Global Conf. on Consumer Electronics (GCCE2020)*, pp. 505–508 (2020).
- [8] Kamo, F. and Matsushita, S.: Evaluating Electric Guitar Strumming Form as Musically Correct Rhythm And Sharpness Using Wrist-Worn Inertial Motion-Tracking Device, *Proc. of IEEE Int. Conf. on Consumer Electronics (ICCE2022)*, pp. 881–886 (2022).
- [9] Matsushita, S. and Kamo, F.: Interactive Training System for Electric Guitar Strumming Form by Using Inertial Motion Sensors, *Proc. of IEEE Global Conf. on Consumer Electronics (GCCE2022)*, pp. 95–98 (2022).
- [10] 加茂文吉, 松下宗一郎: 腕時計型運動センサデバイスによるギターレッスンプラスの拡張, *信学会論文誌*, Vol. J106-D, No. 2, pp. 123–131 (2023).
- [11] 松下宗一郎, 小松叶芽, 田村 黎, 加茂文吉: 身体運動の日常的評価に向けたパーソナルモーションキャプチャーデバイス: エレキギター演奏の運動学的診断への応用, *情報処理学会論文誌*, Vol. 64, No. 6, pp. 1123–1133 (2023).
- [12] 加茂文吉, 松下宗一郎: 理系大学における幅広い学びへの気づきをもたらす STEAM 型ギターレッスン開発授業, *コンテンツ教育学会誌*, Vol. 4, No. 1, pp. 14–25 (2022).
- [13] Kamo, F. and Matsushita, S.: Interactive Diagnosis System for Electric Guitar Strumming Using Wrist-worn Real-time Wireless Motion Tracking Device, *Proc. of IEEE Global Conf. on Consumer Electronics (GCCE2021)*, pp. 698–701 (2021).
- [14] Matsushita, S.: Electric Guitar Strumming Sharpness Evaluation Based on Short-Term Collision Detection, *Proc. of IEEE Global Conf. on Consumer Electronics (GCCE2023)*, pp. 966–969 (2023).
- [15] 加茂フミヨシ: R.A.S. 式ピッキング 速弾き攻略のための究極メソッド, *リットーミュージック* (2013).