

和太鼓演奏における打力とリズムの客観的評価に向けた 腕時計型モーションセンサを用いたレッスンシステム

中島 瑛太^{†1} 高本 綺架^{†1} 松下 宗一郎^{†1}

概要：本研究では、和太鼓演奏運動を小型軽量の腕時計型モーションセンサを用いて打ち込みの強さを解析し、合奏練習を想定したリアルタイムレッスンシステムを制作した。複数人で和太鼓演奏をするような練習環境下では、演奏者間で誰が強く叩いたのか、誰が早く叩いてしまったのかを確認することは困難である。本研究では、音響と重力方向の加速度2階微分の積算値とその関係を分析した結果、相関係数0.98と非常に高い正の相関を示した。また、1/1024秒の精度で時刻同期した腕時計型モーションセンサを装着した状態で合奏練習を実施し、演奏者間の打ち込みタイミングを評価した。その結果、各演奏者の運動特性を客観的に可視化でき、演奏者自身の特徴を理解することができた。この結果を用いて、合奏練習を想定した視認性の高いレッスンシステムを制作した。本システムでは文字や数字を用いた言語情報と、線や円を用いた非言語情報を組み合わせた運動可視化を行った結果、打ち込みタイミングおよび打力の調節に関して、一定の改善が見込まれた。

1. はじめに

和太鼓とは、木製の胴に牛皮や馬皮を張り、これをバチと呼ばれる木材で作られた棒状の道具を打面に叩きつけることで音響を発生させる日本の伝統的な打楽器である。和太鼓は約2500年前から用いられており、その時代では主に時報や儀式のために使用される楽器であった。この太鼓を用いた演奏形態として、現在一般的に知られている「創作和太鼓」という形態は1950年以降に日本の舞台芸能として成立した比較的新しい演奏形態である。現在では、プロチームから小学生のチームまで幅広く存在しており、イベントだけではなく大会も開催されている。

和太鼓は木琴やティンパニーのような打楽器とは異なり、明確な音程を持たない打楽器であるため、音の強弱や演奏者同士の打ち込みの一致度が特に重要となる。川原は、創作和太鼓において打ち込みの強さ(打力)の調節が重要な技量の1つであると指摘している[1]。和太鼓に限らず、打楽器演奏における打力に関しては、これまで多くの研究が行われてきた。Dahlらは、ドラム演奏時にスティックや上肢にモーションキャプチャを装着し、打ち込み動作を計測している[2]。また、吉井らは3軸力センサを内蔵したドラムスティックを用いて、打ち込み時の力と演奏テンポの関係性を明らかにしている[3]。中塚らは打力に影響を与える要因として「脱力」に着目し、筋電位センサによる計測結果と指導者の主観評価を組み合わせた解析を行っている[4]。しかし、これらの研究手法は演奏機材にセンサを内蔵している点や身体に多数のセンサを装着する点から、本来の演奏動作を制限する可能性がある。そのため、日常的な練習環境への導入は容易ではない。

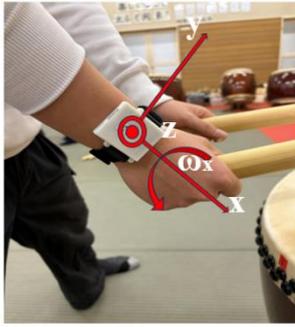
複数人で演奏を行う創作和太鼓の場合には、打ち込みの同期に加えて、演奏者同士の呼吸や表情の一体感も重要と

なる。和太鼓演奏熟練者へのインタビュー調査によると、打ち込みや表情、呼吸が統一されていることが、演奏を成立させる上で重要であると報告されている[5]。長胴太鼓だけではなく、小型で音の減衰が速い締太鼓やストラップによって身体に装着し斜めに構えて演奏する桶太鼓など、様々な太鼓が用いられる。これらは使用するバチや構え方、演奏姿勢が大きく異なる。創作和太鼓では、複数の演奏者が同時に打ち込むため、各演奏者がどの程度の強さで打ち込んでいるかを、聴覚や視覚情報のみから正確に把握することは指導者でも困難である。そのため、個々の打ち込みを客観的に評価できるシステムが求められる。

合奏における演奏者間の相互影響については、他楽器分野でも研究が行われている。山口らは吹奏楽の合奏を対象にスマートグラスを用いた音響フィードバックにより、姿勢や視線の自由度が高まり、主観評価で演奏のしやすさが向上したと指摘している[6]。藤原らはオーケストラ演奏において、椅子型センシングデバイスと音響データを比較することで、合奏を評価できる可能性を示している[7]。しかしながら、これらの研究手法は和太鼓演奏のような激しい打ち込みを伴う状況での使用が困難である。

本研究では以上のような問題を解決するため、手首に装着したモーションセンサの運動データと音響を比較し、その結果を使って和太鼓演奏における打力とリズムの改善を試みた。また、和太鼓演奏者に対し、正確に時刻同期された腕時計型モーションセンサデバイスを用いた合奏練習を実施し、演奏者間における打ち込みタイミングの一致度を評価する。また、これらの分析結果を基に和太鼓リアルタイムレッスンシステムを構築し、演奏支援システムとしての有用性について検討した。

^{†1} 東京工科大学



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
± 32G (1G=9.8m/s²)
± 4000 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

2. 和太鼓打ち込み解析

2.1 腕時計型モーションセンサデバイス

図 1 に本研究に用いた腕時計型モーションセンサデバイスとその主要諸元を示す。各センサの加速度、角速度およびサンプリング周波数は和太鼓演奏における打ち込み動作の計測を目的として選定，設計した。従来，スポーツ動作や打ち込み動作を対象とした研究では，投擲動作や走行時の動作を慣性計測ユニット（IMU）で捉える試みが多数報告されている[8][9]。これらの研究では投擲動作や衝突解析において有効である一方，デバイスのサイズやサンプリング周波数，電力消費の面で制約を受けやすく，演奏者が長時間装着して使用する実践的な練習下では装着性が課題となる場合がある。腕時計ベルトや充電式バッテリーを含めたセンサデバイスの総重量は 25 グラムと軽量であり，和太鼓演奏運動に与える影響は極めて小さい。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。また，本デバイスは 1/1024 秒の時間分解能でデバイス間の時刻同期を行うことが可能である。そのため，複数人が同時に演奏するような合奏練習のような状況においても，演奏者間の運動データを高精度に解析することができる。これらの特性により，本デバイスは和太鼓演奏時における打ち込み動作および合奏中の運動解析に適した設計環境となっている。

2.2 和太鼓運動計測

モーションセンサを用いて，和太鼓演奏における打力が検出可能であるかを目的として以下のような実験を実施した。実験では，和太鼓経験が 3 年以上の演奏者がウォーミングアップ後に打ち込みを実施した。和太鼓演奏時の打力

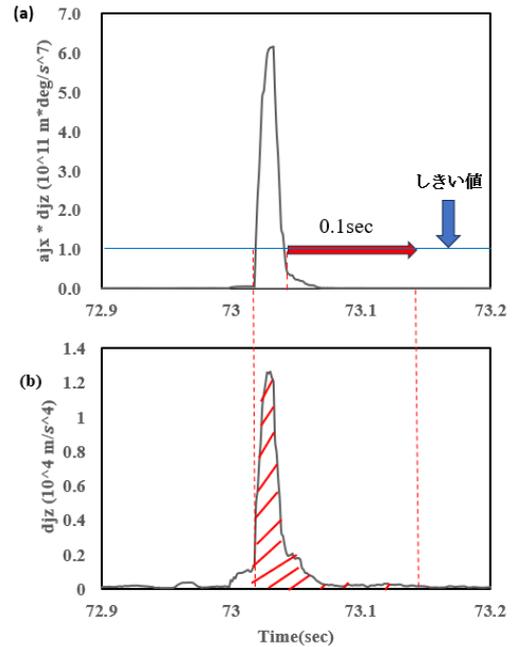


図 2 和太鼓演奏者による運動波形

を表す運動指標として，モーションセンサの運動データから取得した手首上面鉛直方向の加加速度時間差分（ djz ）に着目した。図 2(a)は， djz と，腕を左右に捻る角速度 2 階微分（ ajx ）の積の絶対値を示したものである。中島らは，和太鼓の打ち込みにおいて， ajx と djz の積である $ajx \cdot djz$ がリズムタイミングの検出に有効であることを報告しており，本研究でもこのパラメータを利用する[10]。

図 2(b)は演奏運動における $|djz|$ の波形を示す。図 2(a)に示したしきい値を超えた時点を打ち込み開始， $|djz|$ がしきい値を下回ってから 0.1 秒後を打ち込み終了とする。この $|djz|$ 積算値を，1 回の打力を表す運動指標として算出した。

2.3 打力と音響の分析

楽器演奏における音の強さは楽器から生じる音響を評価することが多いが，合奏練習では各演奏者がどの程度の音響を生じさせているかの特定は困難である。次に，和太鼓演奏時の音響強度を表す指標として，各打ち込みにおける音響信号の実効値を用いた。録音された音響信号から，打ち込み音区間における実効値 p を算出し，以下の式により音圧レベル相当量 L を求めた[11]。

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

ここで， $p_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ を基準音圧として使用した。本研究で用いる音圧レベルは，校正済み音響計測器による絶対値ではなく，録音条件下における音響強度を表す相対的指標として扱う。音圧レベルは対数尺度で定義される。人間の聴覚特性も刺激強度に対して対数的に応答する



図 3 演奏実験の様子

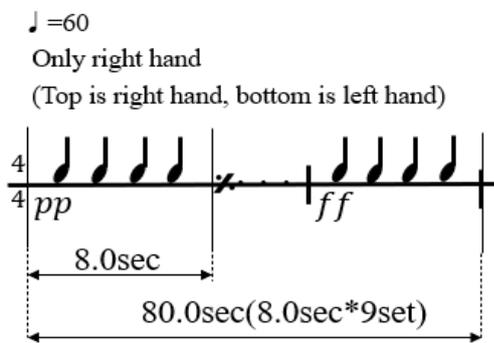


図 4 演奏実験の楽譜

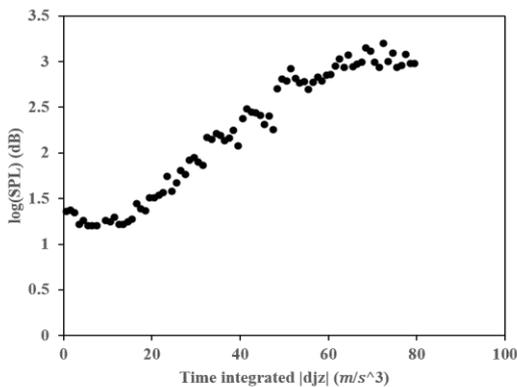


図 5 打力と音響の散布図

ことが知られている[12]. そのため、本研究では打力の運動指標 に対しても対数変換を施し、運動指標と音響指標との関係を同一スケール上でこれを基に分析した.

図 3 は和太鼓経験が 3 年以上の演奏者がウォーミングアップ後の状態で、打力を客観的に評価するために実施した演奏実験の様子である. 創作和太鼓において、右手は主に強弱をつける役割を果たすため、実験では図 3 のように右手首のみセンサを装着し、打ち込みを実施した. 実験では、1 尺 4 寸(鼓面 42cm)の長胴太鼓と 46cm の檜から作られたバチを使用した. また、マイクロフォンは太鼓から 15cm の



図 6 合奏練習の様子

位置に設置し、防音室内で実施した. 周囲には壁面反射や筒状構造がない環境であったため、管内での音圧増強に対する補正 (聴感補正) は不要と判断した. 図 4 は実験で使用した楽譜であり、2 小節ごとに打ち込みの強さを強くし、10 段階に分けて合計 80 秒間演奏を実施した. また、和太鼓を弱く叩く際には手首のスナップだけで打ち込む奏法で行い、徐々に身体全体で打ち込むような奏法に変化させるようにした.

図 5 は打力を 10 段階で変化させた実験における、打力指標と音圧レベルの関係を示した図である. 実験結果から、2 つの評価指標の相関係数は $r=0.98$ と非常に高い正の相関を示した. また、打ち込みが強くなると、ばらつきが大きくなるような傾向があったことがわかる.

3. 集団和太鼓基礎練習の運動解析

3.1 合奏練習における運動特性

創作和太鼓における合奏は、吹奏楽のように明確な指揮者が存在しない. そのため、演奏をする際には、事前に「どの演奏者にタイミングを合わせるか」を決めて合奏を行うことが一般的である. 川原は、強く打ち込もうとすると狙ったタイミングより早く打ち込んでしまう傾向があることを指摘している[1].

図 6 に、和太鼓演奏者が腕時計型モーションセンサを装着した状態で合奏練習を実施した様子である. 本研究では、合奏全体のリズム基準となる演奏者を「ベースキーパ」と定義する. ベースとなる一定のリズムを乱さずに打ち続ける演奏(地打ち)を対象とし、強弱の違いが打ち込みタイミングに与える影響について、モーションセンサが計測した運動データを用いて評価する. 表 1 は実験に参加した被験

表 1 合奏練習の担当

演奏者	担当	経験年数	詳細
A	長胴	2年	1列目真ん中
B	長胴	2年	1列目左
C	長胴	2年	2列目左から2番目
D	長胴	1年	2列目1番左
E	長胴	1年	3列目1番左
F	蓮	2年	2列目
G	蓮	1年	3列目

表 2 1回目の各打力の Δt 平均値

打力	A	B	C	D	E	F	G
強く	0.074	0.020	0.007	0.082	0.051	-0.019	0.018
やや強く	0.021	-0.016	-0.043	0.039	0.011	-0.102	-0.046
やや強く	-0.027	0.010	-0.019	-0.033	0.020	-0.058	-0.050
弱く	-0.012	-0.011	-0.021	0.075	0.032	-0.003	-0.004

*単位秒

表 3 2回目の各打力の Δt 平均値

打力	A	B	C	D	E	F	G
強く	0.062	0.053	0.029	0.089	0.015	-0.007	0.012
やや強く	0.084	0.039	0.049	0.102	0.069	-0.032	0.032
やや弱く	-0.051	-0.053	-0.049	-0.029	0.014	-0.081	-0.061
弱く	-0.030	-0.014	-0.002	0.030	0.046	-0.008	-0.003

*単位秒

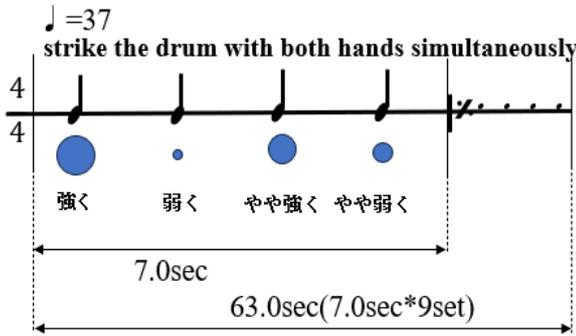


図 7 合奏練習の楽譜

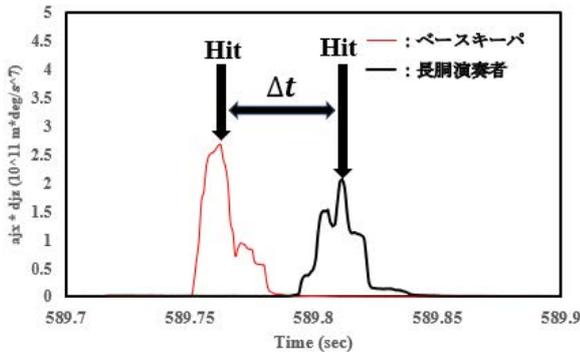


図 8 合奏練習の運動波形

者の詳細である。実験では、6名の長胴太鼓演奏者および8名の蓮太鼓(長胴太鼓を2台並列)演奏者にモーションセンサを装着した。被験者はいずれも高等学校の和太鼓部に所属する1年生及び2年生であり、入学時から和太鼓演奏を始めている。図7に、本実験で使用した演奏楽譜を示す。演奏形態は、最初の1小節はベースキーパのみが打ち込み、その後、ベースキーパ以外の演奏者が加わる構成となっている。本実験は両手で同時に打ち込むような演奏であり、演奏者の目線は常に正面を向いている。1回あたりの演奏は60秒間とし、同一条件下で2回の演奏実験を実施した。1回目の実験では、「ベースキーパにできるだけ合わせて打ち込んでください」と指示し、強弱については特に意識させずに演奏を実施した。続く2回目の実験では、「4段階の強弱を意識して打ち込んでください」を指示し、打力を意識させた状態で演奏を実施した。これら2つの実験結果を比較することで、打力の違いが合奏時の打ち込みタイミングに与える影響を検討する。

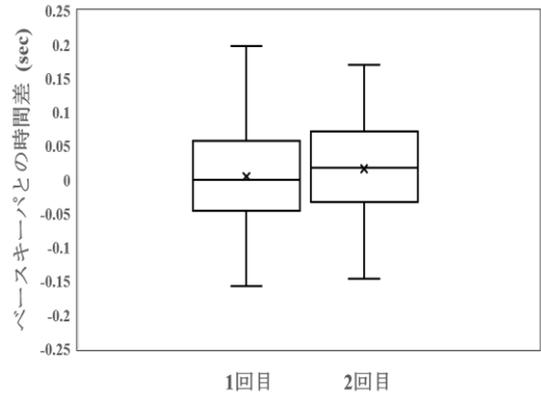


図 9 ベースキーパとの時間差推移

3.2 演奏運動パラメータの計測結果と考察

図8はベースキーパと長胴演奏者の $ax + djz$ 波形を示したものである。ベースキーパが打ち込んだ時刻との差を Δt として算出し、ベースキーパよりも早く打ち込んだ場合を正、遅れて打ち込んだ場合を負の値とする。表2は1回目の実験であり、ベースキーパに合わせて打ち込むことを意識した条件における、各打ち込み強に対する Δt の平均値を示している。表3は2回目の実験であり、強弱を意識した条件における、各打ち込みに対する Δt の平均値を示している。これらの結果から、演奏歴や担当パートの違いによって、ベースキーパとの打ち込みタイミングの傾向が異なることが確認できる。特に、蓮太鼓の演奏者であるFとGは2回の実験いずれにおいてもベースキーパより遅れて打ち込む傾向が見られた。これは、ベースキーパが視野内に位置しているため、視覚情報を優先してタイミングを合わせようとした結果、反応遅れが生じた可能性が考えられる。また、被験者Dは強く打ち込む際に平均して0.08秒以上早く打ち込んでいることを指摘できる。これは、被験者Dが強く打ち込む際、無意識的に早く打ち込んでしまう傾向があると考えられる。Raschは合奏において、数十ミリ秒音はずれると、演奏者間の同期ずれが知覚されやすくなることを報告している[13]。そのため、被験

表 4 実験結果に対する感想

1発目は全員がベースキープよりも早く叩いていた
連パートの演奏者は、周囲を意識しすぎて全体的に叩くタイミングが遅い
長胴の1年生は全体的にベースキープよりも早く
2回目の実験は演奏者全員が早く叩いている

表 5 アンケート内容

①リズムに自信はありますか
②本システムを使用してどこに目がいったか
③体験した感想
④本システムは有益であるか

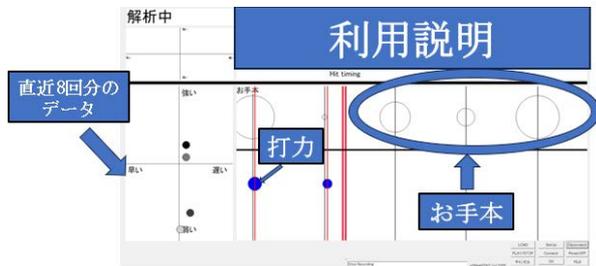


図 10 和太鼓レッスンシステム

者Dの打ち込みは、音楽的にも明確に「早い」と評価できる。図9は2回の実験における Δt の推移であり、強弱を意識した条件ではベースキープよりも早く打ち込む傾向が確認できる。また、実験結果を演奏者に提示し、記述式のアンケートを実施した。表4はアンケート結果の一部であり、実験結果について感想を求めたところ「強く叩こうとすると早くなってしまう」といった特徴に気づいていることが確認できた。これらの結果を基に、演奏者が自身の演奏傾向を直感的に理解できる演奏システムを作成した。

4. 合奏練習を想定したレッスンシステム

4.1 レッスンシステムの現状

合奏スキルを向上させるようなレッスンシステムとしては、音に合わせて叩くようなリズムゲームが一般的である。山下らによれば、リズムゲームにおいて「身体動作と音楽構造の同期」が大切であると指摘している[14]。そのため、音楽構造を反映した身体動作を適切に検出する手法は、レッスンシステムを構築する上で重要な要素であると考えられる。リズムゲームとしては音響を用いたレッスンシステムや接触型センサを用いたレッスンシステムの事例が挙げられる[15][16][17]。しかし、これらは実際の和太鼓を利用する点や太鼓に機材を装着する点から実現性や気軽に使用しにくいレッスンシステムである。また、Matsushitaらはギター演奏において腕時計型モーションセンサを用いた視覚的フィードバックにより、リズム精度や演奏フォームの改善が確認されたと報告している[18]。しかし、和太鼓演奏を対象として、リズムと打力の双方を正確に反映したレッスンシステムの有効性を検証した研究は、ほとんど事例がない。

4.2 レッスンシステムのデザイン

3.2の結果から、打力が強いと早く打ち込む傾向が示唆された。したがって、創作和太鼓におけるレッスンシステムには強さとタイミングを意識したシステムが必要とされる。これらを踏まえて、演奏運動パラメータを数値として計測し、それを演奏者にリアルタイムで結果を表示するようなレッスンシステムを検討した。事前の調査として演奏中に文字や数字のような言語情報を演奏者に見せるような方法では直感的な理解が困難であることが分かった。そこで、円や線のような直感的に理解しやすい非言語情報を用いたレッスンシステムを作成した。実際に作成したレッスンシステムを図10に示す。本システムは腕時計型モーションセンサとPCをワイヤレス通信で接続し、演奏者の運動データをリアルタイムで可視化するレッスンシステムである。演奏者は画面上を右から左へ流れてくる線およびPCから出力されるメトロノーム音に合わせて太鼓を打ち込む。その打ち込みに合わせて、画面上に線と円が描画され、打ち込み時刻および打力を直感的に確認できる。また、直近8回分の打ち込みデータを保持し、表示することで演奏者は意識変化に伴う運動の変化を視覚的に確認できる。画面左下に表示される円は、黒色であるほど直近の打撃を示し、時間の経過とともに白色へと変化する。演奏を終了すると、打ち込みタイミングおよび打力を総合的に評価した解析結果が画面左上に表示される。これにより、演奏開始時点から終了時点までの演奏結果を一度に確認することができる。

4.3 レッスンシステムに対する評価と考察

制作したシステムが演奏者にとって有益であるかを検証するために体験型の実験を実施した。レッスンシステムの使用直後は、基準となる打ち込みタイミングおよび打力との間にずれが見られた。しかし、約2分間の使用後には、被験者全員がタイミングおよび打力の改善が確認された。表5は本レッスンシステムを体験する前に配布した記述式のアンケート内容である。被験者は和太鼓部に所属する13名であり、全員がシステム体験後にアンケートへ回答した。まず、リズム感の有無を問う①の設問に対して、体験前は13名中7名が「はい」と回答し、6名が「いいえ」と回答した。これに対し、体験後は被験者13名中1名が「はい」と回答し、12名が「いいえ」と回答した。アンケートの記述内容からは、システム体験前にはリズムに自信があると

表6 レッスンシステムに対するコメント

直感的でわかりやすかった
解析の個所はもっと目立つようにしてほしい
表示されるずれは実際どれくらい影響するのか
叩いた時に表示される円をお手本と重ねてほしい
家に持って帰って練習したい
各打力に対する比較を表示してほしい

感じていたものの、システムを通じて自身の演奏がベースキープからずれていることを客観的に認識したという意見が多く見られた。②の設問については、全員が打ち込み時に表示される青い円および赤い線が描画される領域に最も注目したと回答した。これは、本システムにおいて、流れてくる黒い線およびメトロノーム音に打ち込みを合わせる構造となっているため、演奏者の視線が自然とその領域に集中した結果であると考えられる。次に、③の設問について、回答結果のコメントを表6に示す。レッスンシステムについて肯定的な意見が得られた一方で、打ち込みタイミングや打力が基準値からどの程度異なると演奏に支障が生じるのかが分かりにくいとの指摘もあった。そのため、演奏への影響度を直感的に理解できる表現方法が必要となる。最後に、本システムが有益であるかの質問については回答者13名全員が「はい」と回答した。以上の結果から、本システムが合奏練習において有益なシステムであることが示唆された。

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を用いて、和太鼓演奏運動を数値化することで打力を客観的に評価できる可能性が見られた。また、1/1024秒精度で時刻同期したセンサを実際の練習で使用し、打ち込んだタイミングの評価実験を実施した。その結果、和太鼓経験歴に関わらず強弱の意識が打ち込みタイミングに影響を与えていることが確認できた。さらに、分析結果を基に作成したリアルタイムレッスンシステムを利用した結果、打力やタイミングの改善が見込まれた。

今後は、打ち込む強度の原因側となる手首のスナップやバチの軌道といった、打ち込む前の技術的な要素を検討したい。また、プロ演奏者や流派が異なる演奏者と意見共有し、創作和太鼓で必要とされる技術はなにかを検討していきたい。

参考文献

- [1] 川原邦裕 (監修) “魅せる和太鼓 上達のコツ 音の響きとリズムを極める!”, メイツ出版, 東京, (2023).
- [2] S. Dahl, M. Grossbach, E. Altenmüller. ”Effect of dynamic level in drumming Measurement of striking velocity, force, and sound level”. *Proceedings of the Danish Acoustical Society*, (2011).
- [3] 大山友也, 堀正隆, 土肥哲司. “ダブルストローク時の指先力を計測可能な3軸力センサ内蔵ドラムスティックデバイス”. *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 講演論文集*, 1P2-N07, (2020).
- [4] 中塚智哉, 松田浩一, “和太鼓のインパクト時の「脱力」技能の定量化”, *人工知能学会第二種研究会資料*, (SKL-23), pp.02-, (2017).
- [5] 清源友香奈. “和太鼓演奏における合わせる体験について”. *臨床心理学研究報告* (京都文教大学), vol.4, pp.43-56, (2012).
- [6] 山口恭正, 川田拓, 長濱澄, 堀田龍也. “スマートグラスを用いた楽器演奏支援システムの開発と評価の試み 姿勢・視線・演奏の主観評価から”. *日本教育工学会論文誌*, 46 巻 Suppl, pp.185-188, (2022).
- [7] 藤原健, 伊藤雄一, 高嶋和毅, 續毅海, 増山昌樹, 尾上孝雄. “演奏者の重心移動を用いた演奏連携度の取得と演奏に対する評価”. *実験社会心理学研究*, 58(2):122-134, (2019).
- [8] Skejø, S. D., Liaghat, B., Jakobsen, C. C., Møller, M., Bencke, J., Papi, G., Kunwald, N. P., & Sørensen, H. “Quantifying throwing load in handball: a method for measuring the number of throws”. *Sports Biomechanics*, vol.23, no.10, pp.1540-1551, (2024).
- [9] Aristizábal Pla, G., Martini, D. N., Potter, M. V., & Hoogkamer, W. “Assessing the validity of the zero-velocity update method for sprinting speeds”. *PLoS ONE*, vol.19, no.2, e0288896, (2024).
- [10] 中島瑛太, 高本綺架, 松下宗一郎. “和太鼓演奏運動のリズム取得に向けたリアルタイム運動診断システム”. *インタラクティブセッション 2025*, 情報処理学会, pp. 966-967, (2025).
- [11] 日本音響学会 編: 基礎音響学, コロナ社, 東京, (2002).
- [12] S. S. Stevens, *Psychophysics: Introduction to Its Perceptual, Neural, and Social Prospects*, Wiley, New York, (1975).
- [13] R. A. Rasch, “Synchronization in performed ensemble music,” *Acustica*, vol. 43, pp. 121-131, (1979).
- [14] 山上揚平, “「音楽ゲーム」は何が音楽的なのか?”, *日本デジタルゲーム学会 年次大会 予稿集*, 第14回, セッション3-1, pp.45, (2024).
- [15] 小山内晴紀, 澤野弘明, 土屋健, 小柳恵一, “パラメトリックスピーカーを用いた音楽ゲーム Sound Shooting の提案”, *マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集*, pp.2141-2144, (2011).
- [16] 細谷美月, 中村聡史, 森勢将雅, 吉井和佳, “ドラム演奏の音量バランス習得に向けた音源分離を用いたリアルタイム叩打音量可視化システムの提案”, *情報処理学会 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC)*, Vol.2021-EC-59, No.27, pp.1-8, (2021).
- [17] K. Ng and P. Nesi. “Interactive multimedia systems for music education,” *IEEE Multimedia*, vol. 15, no. 3, pp. 46-61, (2008).
- [18] Matsushita, S., & Takamoto, A. “Interactive Electric Guitar Lesson System Based on Real Time Wrist Motion Analysis”. *2025 IEEE International Conference on Consumer Technology-Europe (ICCT-Europe)*, 2025. DOI:10.1109/ICCT-Europe63283. (2025).