

# 音の長さの変化によりドラム演奏のずれを 認識および誘導させるメトロノームシステムの提案

細谷美月<sup>†1</sup> 佐々木美香子<sup>†1</sup> 小松孝徳<sup>†1</sup> 中村聡史<sup>†1</sup>

**概要**：バンド演奏において、あらかじめ録音・打ち込みされた楽器や歌などの演奏を再生しながら行う同期演奏が盛んである。この同期演奏は、ドラム演奏者がイヤホンから流れる同期音源のテンポに合ったクリック音（メトロノーム）に合わせて演奏することによって実現している。この同期演奏において、同期音源とバンド演奏がずれてしまうというトラブルは少なくない。そこで本研究では、同期演奏においてリズムキープが求められるドラム演奏が、その同期に利用するクリック音とずれてしまったときに、クリック音を工夫することによって、クリック音からずれていることをドラム演奏者に認識させ、また正確なテンポに誘導させる手法を提案し、実験により検証する。実験では、ドラム経験者にクリック音と、ギターとベースの演奏音を聴きながらドラムを演奏してもらい、途中でギターとベースの演奏をテンポからずらすことでドラム演奏がずれてしまう環境を作り出す。その後、クリック音の高さを高く、かつ長さを変化させたものを提示する実験を行い、正確なテンポに誘導できるかを明らかにする。実験の結果、ドラム演奏がクリック音より遅くずれている場合は、音の長さが短い音をドラム演奏者に提示すると、ずれているドラム演奏を正確なテンポに誘導しやすく、また早くずれている場合は、音の長さを変えるだけでは正確なテンポへの誘導が難しいことが明らかになった。

**キーワード**：メトロノーム、クリック音、ドラム、テンポ、同期演奏、演奏支援

## 1. はじめに

アーティストやバンドのライブやコンサートにおいて、音色の幅を広げるために、生演奏にあわせてキーボードやギターなどを事前に録音・打ち込みした演奏を再生する同期演奏が広く普及している。こうした同期演奏では、再生する演奏と生楽器の演奏がずれないようにするため、一般的にはリズムを司るドラム演奏者が、耳に装着したイヤホンやヘッドホンで音源と同期しているテンポのクリック音（メトロノームの音）を聴き、そのテンポに合わせてドラムを演奏する。その際、他の演奏者がドラムを聴きながら演奏することで、音源と全体の演奏が同期するものになっている。

この同期演奏には、音色を追加できるだけでなく、ドラム演奏者が曲にあったテンポをイヤホンなどから聴きながら演奏できるため、テンポキープ（演奏のテンポを保つこと）をしやすいというメリットがある。一方、同期演奏には、再生する演奏と生楽器の演奏がずれてしまうトラブルが起りやすいというデメリットもある。プロのバンドやアーティストでも、このトラブルによって本番で演奏を中断した事例があり、このトラブルを解決することは重要であるといえる。

この演奏のずれによるトラブルの原因を調査するため、我々は同期演奏の経験者を対象とした事前調査を行った。詳細については3章で述べるが、調査の結果、機材の性能によってシステムが落ちてしまうという機械トラブル以外に、緊張や高揚感によってドラム演奏がずれてしまうことや、ドラム以外の演奏のテンポがずれ、それにつられるようにドラムの演奏がずれてしまうという回答が寄せられていた。また、ここではドラム以外の演奏の音量が大きく、ドラム演奏者が聴いているクリック音が聴き取りづらく、ドラム演奏者がクリ

ック音に合わせてられなくなることが原因としてあげられていた。本研究では、この同期演奏におけるトラブルの原因の中で、周りの楽器の演奏が同期演奏からずれていき、またドラム演奏者がクリック音を聴き取りづらくなってしまい、クリック音とドラム演奏がずれてしまう問題に着目する。こうした問題ではドラム演奏者はずれたことをしっかり意識できておらず、ずれを即座に修正できず、結果的に再生する演奏とバンド演奏がずれてしまう。

この同期演奏に使用されるクリック音は一般的に、音の高さや長さは演奏を通して不変なものである。このクリック音とドラム演奏がずれてしまう問題を解決するためには、ドラム演奏者に自然にずれを知覚させる必要がある。

ここで、様々な組み合わせや順番で、長さが異なる2音を交互に提示する実験によって、人は提示した2音の組み合わせをどのように知覚するかについて調査した森下[1]による研究がある。この実験の結果として、音の強さに変化のないリズムでもアクセント（音楽における「その音を強く」という意味）が知覚されること、同一テンポでもリズムの違いにより異なった速度に知覚される可能性があることを明らかにした。この研究のように、音の要素の違いによって人は異なった知覚をすることから、音の要素を変化させることが、ドラム演奏のテンポに影響を与える可能性があると考えた。ここでは、音の要素として、音の高さと長さに着目する。

そこで本研究では、クリック音とドラム演奏がずれた際に、クリック音の高さを高く、かつ長さを変化させることで、ドラム演奏者に、同期演奏とドラム演奏のテンポのずれを認識させ、ドラム演奏を正確なテンポに誘導する手法を提案する。この手法によって、ドラム演奏のテンポがクリック音からずれてしまった際に、すばやく正確なテンポに修正できるよう

<sup>†1</sup> 明治大学  
Meiji University

になり、同期音源と生楽器の演奏が大幅にずれてしまう問題を解決できると期待される。

この提案手法の有用性を調査するために、ドラム演奏がクリック音から早くずれている場合、遅くずれている場合それぞれにおいて、クリック音の高さや長さを変化させて提示する実験を行った。この実験により、クリック音から早くまたは遅くずれている状況において、クリック音の変化によってドラム演奏を正確なテンポに誘導することができるかどうかを調査する。

## 2. 関連研究

### 2.1 同期演奏に関する研究

同期演奏の一種として、人間の演奏に機械の演奏が追従する自動伴奏があり、このことに関する研究はこれまで様々行われてきた。中村ら[2]はピアノの自動伴奏において、弾き直しや弾き飛ばしをした場合にも、楽譜追跡を行うことで正しく伴奏が追従するシステムの検討を行っている。またRaphael[3]は、ソロの演奏の音響信号を入力として、それに対応する伴奏を確率論的モデリングにより構築するシステムを開発している。さらに、澤田ら[4]の研究ではテンポと演奏位置を追従することによる自動伴奏システムの提案を行っている。

このように、同期演奏の一種である自動伴奏に関する研究はこれまで多く行われている。一方、本研究で扱う同期演奏は、変化する生楽器の演奏のテンポに伴奏や音源が追従する自動伴奏ではなく、一定のテンポに生楽器の演奏が合わせることで音源と生楽器の演奏が同期するものである。本研究は、このような同期演奏において、音源と生楽器の演奏がずれてしまうというトラブルに着目し、そのトラブルの解決を目的としている。

### 2.2 打楽器の演奏支援に関する研究

ドラムのような打楽器の演奏支援に関する研究については、演奏時の動作やフォームに着目したものがいくつか行われている。辻ら[5]は、MIDIドラム楽器と簡易モーションキャプチャシステムを用いて演奏情報とフォーム情報の同時測定を行い、打楽器経験者と未経験者の動きの違いを明らかにすることで、打楽器のフォーム改善による学習支援を行った。栗井ら[6]は、譜面から手本となる演奏手順が反映された演奏動作のモーションデータを生成する手法を提案し、初心者への練習支援に貢献している。

このように、ドラムの演奏支援に関する研究は演奏動作に着目したものが多く、本研究のように聴覚を利用して打楽器の演奏支援にアプローチしたものは少ないといえる。

また、本研究と同様にリズムのずれを解決することを目的とした研究として、工藤ら[7]の研究が挙げられる。この研究では、和太鼓の練習において、正しい場合は白、遅い場合は青、早い場合は赤をモニタに提示することによって正しいリ

ズムからどれだけずれているかを提示するシステムを提案し、和太鼓の演奏における学習支援を行っている。しかし、この手法は演奏中にモニタを確認する必要があるため、ライブやコンサートなどの本番において重要な、演奏動作によるパフォーマンスを制限してしまう可能性がある。我々の研究で提案する手法は、クリック音を変化させるという聴覚を利用したものであるため、パフォーマンスを制限することなくそれを認識させることができると考える。

### 2.3 音楽と行動変容に関する研究

音楽が人の行動に影響を与えることを明らかにした研究は多く行われている。Sandroら[8]は、筋力トレーニング中に音楽を聴くことがトレーニングを続ける時間の長さを向上させることを明らかにしている。徳久ら[9]は、音楽を聴きながらプレゼンテーションを行うことによって、話し手の緊張を緩和することを明らかにしている。松井ら[10]は音楽を聴取することで脳波に変化が起きること、音楽の刺激が姿勢の制御に有効に作用することなどを明らかにしている。また、大坪ら[11]は、音楽による引き込み効果を用いて、歩行速度を目標の速度に変化することを可能にするアプリケーションの提案を行っている。Dipiyanら[12]は店内BGMの音量と選択される食べ物の関係について調査し、BGMの音量が低いほど健康食が選ばれやすいことを明らかにしている。また、音楽の印象に着目した研究も行われており、Iwanaga[13]は、音楽の激しさが心拍数や緊張感に影響を及ぼすこと、Krumhansl[14]は、聴いている曲の印象によって自律神経や血圧に影響を及ぼすことを明らかにしている。また、音楽の好みと行動変容に関する研究としてはHuangら[15]の研究が挙げられる。同著者らは、作業中に聴く音楽の好みによって、作業の集中度が変化することを調査した。結果として、「とても好き」「とても嫌い」と評価した楽曲では集中度が低下し、「好き」「どちらともいえない」「嫌い」と評価した楽曲では集中度が向上したことを明らかにしている。

テンポの差によって人に与える影響を調査した研究も多く、Ruiら[16]は、運転手が運転中にテンポが早い音楽を聴くと疲労が低減し、中ぐらいのテンポの曲を聴くと注意力を維持できることを実環境での運転実験により明らかにしている。また、Francescaら[17]による研究において、早いテンポであるロックは、遅いテンポであるクラシックよりCSR（皮膚コンダクタンス応答）が活性化することを明らかにしている。落合ら[18]は、西洋音楽の3要素であるテンポ、ハーモニー、メロディや曲の印象の違いによって、人が感じる時間経過に差が生まれるのかどうかを検証している。検証の結果、静かでスローテンポな曲は時間経過が短く、ダイナミックでアップテンポな曲は時間経過を長く感じさせることを明らかにしている。また、Thomasら[19]は、聴取する音楽のテンポが食事に及ぼす影響を調査し、音楽のテンポによって咀嚼の回数が増えることを明らかにしている。

これらの研究から、音楽や曲におけるテンポや印象などの

要素は、人の様々な行動に影響をもたらすことが明らかになっている。そのため、音楽と人の行動は関連性が強いことがわかる。

## 2.4 音の要素と行動変容に関する研究

音の要素には様々なものがある。例えば、2つの音の高さの隔たりを表す音程、音の高さを表す音高、音の大きさを表す音圧、音波の質の違いを表す音質などが挙げられる。前章で挙げた森下[1]の研究をはじめ、音そのものの要素の違いによって、人に影響を与えることについて調査している研究は多く存在する。楊ら[20]は、報知機能に関するサイン音が人に与える印象を調査した。具体的には音要素(高さ、長さ、大きさ)が生起させる印象について実験を行い、音が短ければ緊張感が強くなる傾向がみられ、音が大きければ威圧感が強いという傾向がみられることを明らかにしている。また、Komatsuら[21]は、機械の動作において操作時や警告時などに発するピープ音に着目し、ロボットから発せられるピープ音の抑揚を変化させることで、ロボットの態度の違いをユーザに伝達できることを明らかにしている。このKomatsuらの研究の結果は、クリック音の長さを変化させることでドラム演奏を正確なテンポに誘導させる、という本研究における提案手法の裏付けになると考えられる。

これらの研究から、音の要素を変化させることは人の行動に影響を及ぼすことが明らかになっており、楽器演奏においても影響をもたらすと考えられる。このことから、本研究では、メトロノームのクリック音の高さや長さの変化が、ドラム演奏に及ぼす影響を明らかにする。

## 3. 事前調査

### 3.1 調査概要

同期演奏において、同期音源とバンド演奏がずれてしまうトラブルが起きる原因として、様々なものが考えられる。そこで本研究ではまず、同期演奏において同期音源とバンド演奏がずれるトラブルの原因を調査するため、同期演奏でのバンド練習またはライブの経験がある楽器演奏者20名に、同期演奏に関するアンケート調査を行った。調査項目は以下の通りである。なお、Q2はQ1に対して「ある」と回答した人のみ、自由記述で回答してもらった。

Q1: 今まで同期演奏をしていて、音源とバンド演奏がずれてしまったという経験はありますか?

Q2: ずれてしまった原因は誰・何にあると思いますか? 理由も合わせて教えてください。

### 3.2 調査結果

アンケート結果を以下に述べる。

今まで同期演奏をしていて、音源とバンド演奏がずれてしまったという経験があるか(Q1)という質問に対して、20名

中15名が「ある」と回答した。この「ある」と回答した15名に対して、ずれてしまった原因は誰・何にあると思うか(Q2)という質問に回答してもらったところ、回答が多かった順に、ドラム演奏者がクリック音を聴き取りづらくなりドラム演奏とクリック音がずれてしまうことを原因とするもの(10件)、演奏者の技術や練習不足を原因とするもの(5件)、バグなどの機材が原因のもの(1件)、同期音源が聴き取りづらいこと(1件)が原因によるものが得られた。

### 3.3 考察

アンケート結果から、同期音源とバンド演奏がずれてしまう原因として考えられるのは、アンケートでも多くの回答が得られた同期音源とバンド演奏をつなげる仲介役となるドラム演奏者によるものである。ここで、ドラム演奏者が曲の構成や拍などを間違えてしまったことにより、同期音源とずれてしまうケースの場合は、練習することで改善できると考えられる。また、ドラム演奏者が緊張してしまったりテンションが上がってしまったことにより、テンポが早くなったり遅くなってしまい、ずれてしまうケースもある。これに関する対策として、ずれてしまったタイミングでドラム演奏のテンポをリアルタイム算出し、MIDIの再生速度をドラムの生演奏にシンクロさせるという浜中ら[22]による手法を用いて、同期演奏のテンポをドラム演奏のテンポにすり合わせることも考えられる。しかし、この手法を用いることは、間違っているテンポに全体の演奏を合わせることになるため、適切でない。また、アンケートで一番多くみられた意見として、ドラム演奏者がイヤホンで聴いているクリック音が、他の楽器の音などにかき消されて聴き取りづらく、クリック音にドラムのテンポが合わせられなくなったためずれるといったケースが挙げられた。このようにずれてしまった際に、ドラム演奏者はそのずれをしっかりと認識できていないため、段々とずれが大きくなり、修正を試みた時には手遅れであることが多い。

我々はこの、ドラム演奏者がイヤホンから聴いているクリック音が、他の楽器の音などにかき消されて聴き取りづらく、クリック音にドラムのテンポが合わせられなくなったため同期音源とバンド演奏がずれてしまう状況に着目する。また、そのような状況において、ドラム演奏者はずれをしっかりと認識できていないために、すぐ正確なテンポに演奏を修正できず、同期音源とバンド演奏がずれてしまうトラブルが起きてしまうと考えた。つまり、クリック音とドラム演奏がずれた際に、ドラム演奏者にずれをしっかりと認識させることによって、同期音源とバンド演奏がずれてしまうトラブルを解決できるのではないかと考えた。

## 4. 提案手法

本研究の目的は、同期音源とバンド演奏がずれてしまうトラブルの解決である。ここで、このトラブルが起こる原因として、ドラム演奏者がクリック音を聴き取りづらい状況に着

目し、同期音源とバンド演奏がずれてしまうトラブルを解決することを目指す。我々はこのずれてしまった状況において、ドラム演奏者はそのずれをしっかりと認識できていないと考えた。そこで本研究では、同期音源とドラム演奏がずれてしまった際に、クリック音の高さや長さを変化させて提示することにより、演奏者に正確なテンポからずれていることを認識させ、正確なテンポに演奏を誘導させる手法を提案する。

ここで、ドラム演奏がクリック音より早くずれている場合、正確なテンポに誘導するためには現在のテンポより遅いテンポに誘導する必要がある。一方、ドラム演奏がクリック音より遅くずれている場合は、正確なテンポに誘導するためには現在のテンポより早いテンポに誘導する必要がある。

そこで、我々は音の長さが長く、高さが低い音は、遅いテンポを想像させるのではないかと、また音の長さが短く、高さが高い音は、早いテンポを想像させるのではないかと考え、「ドラム演奏がクリック音より早くずれている場合は音の長さが長く、高さが低い音を、遅くずれている場合は音の長さが短く、高さが高い音をドラム演奏者に提示すると、ずれているドラム演奏を正確なテンポに誘導しやすい」という仮説を立て、予備実験を行った。この予備実験においては、クリック音を聴きながら実際にドラムを演奏してもらい、クリック音の音量をだんだんと下げるによりクリック音を聴こえづらくし、ドラム演奏がクリック音からずれる環境を作り出し、ずれた状況においてクリック音の高さや長さを変化させる実験を行った。しかし、低い音のクリック音は聴きとりづらく合わせづらいという結果がみられたため、クリック音をドラム演奏者に意識させるためには、音の高さを高くすることが妥当だと考えた。よって、予備実験においての仮説は棄却された。

そこで、我々は「ドラム演奏がクリック音より早くずれている場合は音の高さが高く、音の長さが長い音を、遅くずれている場合は音の高さが高く、音の長さが短い音をドラム演奏者に提示すると、ずれているドラム演奏を正確なテンポに誘導しやすい」という仮説を立てた。この仮説にもとづき、同期音源とドラム演奏がずれてしまった際に、早くずれている場合は音の高さが高く、音の長さが長い音を、遅くずれている場合は音の高さが高く、音の長さが短い音をドラム演奏者に提示することによって、演奏者に正確なテンポからずれていることを認識させ、正確なテンポに演奏を誘導させる手法を提案する。

本研究では、この仮説を実験によって検証していく。

## 5. 実験

ドラム演奏者にとって、クリック音が聴き取りづらくなり、ドラム演奏とクリック音がずれてしまった際に、システムがクリック音の高さや長さを変化させることで正確なテンポへ素早く誘導する、という提案手法の有用性を実験により検証

する。このとき、クリック音について高さを高くし、長さを変化させずにもう一度提示した際の結果との比較を行う。また、「ドラム演奏がクリック音より早くずれている場合は、音の長さが長い音を、遅くずれている場合は音の長さが短い音をドラム演奏者に提示すると、ずれているドラム演奏を正確なテンポに誘導しやすい」という仮説の検証も行う。

### 5.1 実験デザイン

ここで、実際のバンド演奏においてドラムの演奏がクリック音からずれることはあるが、こうした状況を実験環境で作り出すのは難しい。予備実験ではドラム演奏者が聴いているクリック音の音量をだんだんと下げることによってクリック音からドラム演奏をずらすという実験デザインを行ったが、実際の同期演奏の環境においてクリック音が聴き取りづらくなる原因は、ドラム以外の演奏音の音量が大きいことであるため適切でなかったと考える。

そこで本実験では、実験協力者にクリック音とギターとベースの演奏音を聴いてもらいつつ、実際にドラムを演奏してもらい、実験システムによってギターとベースの演奏音の音量をだんだんと上げ、その演奏速度も早くまたは遅くにずらすことによって、クリック音を聴こえづらくすると同時にずれる環境を作り出す。

### 5.2 実験で使用したクリック音

本実験で使用したクリック音、計3パターンそれぞれの特徴をまとめたものを表1に表す。

ここで表1より、クリック音変容後に提示したクリック音については基準となる①、比較手法となる音の高さのみ高く変化させたクリック音が②、次に提案手法である音の高さを高く、音の長さを短い・長いにそれぞれ変化させたクリック音が②・③である。

また、表中のC3、C4といった表記は、音のオクターブの違いを表すものであり、数字が大きくなるほど音が高いことを表している。例えば、ドの音であるCについてC4はC3より1オクターブ高いことを表している。

ここで、実験で使用したクリック音の楽譜を図1に示す。この楽譜は、4分音符を1拍とし、1小節を4拍とする4分の4拍子で示されている。この楽譜の見方として、本実験の基準となるクリック音(①)を例にとると、C4→C3とは、1小節において4分音符で4拍あるうちの最初の1拍がC4、その後の3拍はC3の音の高さに変化したということである。また、基準となるクリック音(①)をこの音の高さと長さに設定した理由としては、実際に販売されている、またアプリケーションとして存在するメトロノームの音の高さと長さに近いと主観で判断したためである。

表1 実験で使ったクリック音

番号	音の高さ	音の長さ
① 基準	基準 C4→C3	基準 16分音符
② 比較手法	やや高い C5→C4	基準 16分音符
③	やや高い C5→C4	短い 64分音符
④	やや高い C5→C4	長い 4分音符

### 5.3 実験手順

実験では、まず実験協力者に実験の説明を行った。説明の内容としては、ドラムをBPM120で8ビートを約4分間叩き続けてもらうこと、またそれを1セットとした時に、休憩を挟んで計4セット行うこと、さらに指示があるまでドラムを叩くのを中断しないことを併せて伝えた。ここで8ビートとは、8分音符をベースとしたリズムのことであり、ドラム演奏において基本となるものである。図2は、実験で叩いてもらった8ビートの楽譜である。

実験1セット分(約4分間、112小節)の流れは図3の通りであり、8ビートを約4分間叩き続けてもらう間に、ドラム演奏からクリック音がずれた際に、比較手法となる音の高さのみ高く変化させたクリック音①、提案手法である音の高さを高く、音の長さを短い・長いにそれぞれ変化させたクリック音②・③の3パターンを提示する実験を、早く・遅くにずれる環境を作り出した状況下で行う。この1セット分では、練習1パターン分を加えた7パターンについて、クリック音の実験を行う。また、クリック音1パターン(16小節)の流れを図4に示す。まず初めの1小節は演奏せずにメトロノームのクリック音だけを聴いてもらい、その後クリック音とギターとベースの演奏音を聴きながら8ビートの演奏を最後まで行ってもらう。その際、演奏を始めて4小節後に、4小節かけてギターとベースの演奏音の音量が上がっていき、またそのテンポが早くまたは遅く変化していく。その後クリック音の種類が変化し、4小節かけてギターとベースの演奏音は元のテンポにだんだんと戻り、さらに4小節経ったのち終了となる。途中で、ギターとベースの演奏音の音量を上げ、テンポをずらした理由としては、クリック音が周りの楽器によって聞き取りづらくなる状況を演出するとともに、テンポがずれる要因を意図的に作り出すためである。これにより、クリック音とドラム演奏のテンポがずれる状況を作り出し、その状況において音の長さを変化させたクリック音に切り替えた際に、ドラム演奏が正確なテンポへどれだけ素早く誘導されたかどうかを分析す

る。この分析を行うために、実験中の演奏を全て録音した。

また実験終了後に、実験や実験で提示したクリック音についての簡単なインタビューを行った。

実験協力者は、同期演奏またはクリック音に合わせてドラムを練習した経験がある19~24歳までの大学生4名(A~D/男性:4名)であった。そのうえで、正確なテンポから早くずれている、遅くずれているそれぞれの状況においてどの音の高さ・長さのクリック音を提示すれば正確なテンポに誘導しやすいかについて調査を行う。



図1 実験で使ったクリック音の楽譜

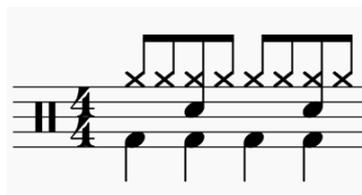


図2 実験で演奏してもらった8ビートの楽譜

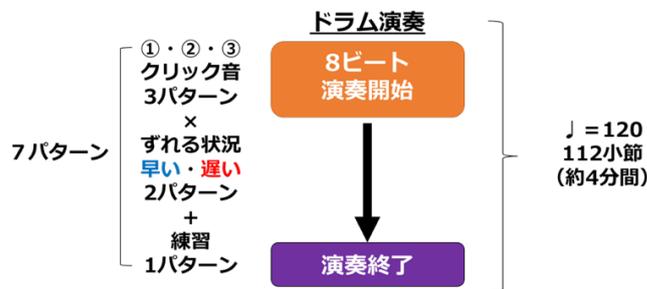


図3 1セットの流れ

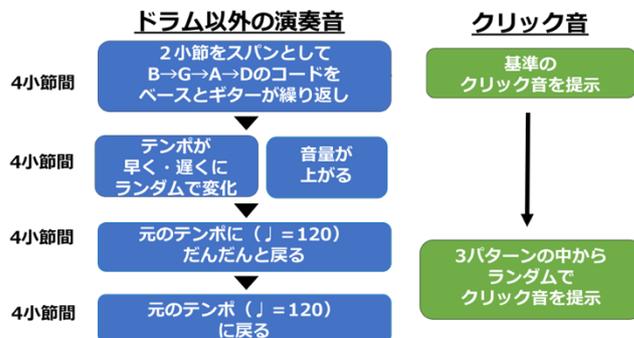


図4 クリック音1パターン分の流れ

## 6. 結果

### 6.1 結果の分類について

図5, 6は, ドラム演奏がずれる状況を作り出した後(9~12小節目)に, 種類が変化したクリック音を聴きながらドラム演奏を行った実験協力者の演奏が, 安定するまでにかかった拍数をまとめたものである。

ここでは, 正確なテンポであるかどうかを拍ごとに調査し, 正確なテンポの拍からのドラム演奏のずれが30ms以内であった拍を正確, 30msより前にずれている拍を早い, 後にずれている拍を遅いとした。基準をこの値に設定した理由は, 西堀ら[23]による研究において30ms以上の遅延があると, 人はずれを認知されることが明らかになっているためである。

また, ドラム演奏が早く, 遅くずれているかのどちらの状況であるかの判断基準については, ギターとベースの演奏音の音量を上げ, ずれさせる状況を作り出した5~8小節目のうち, 終盤の部分である8小節目について, 拍ごとに正確なタイミングからのずれを調査した。なお, 1小節に4拍あるうち早い拍が3拍以上みられたものを早くずれている状況, 遅い拍が3拍以上みられたものを遅くずれている状況とした。実験では, 早くずれている状況を30件, 遅くずれている状況を32件収集することができた。また, クリック音を変容させた後(9小節目~)にドラム演奏のテンポが安定したと判断した基準は, 9~12小節目までの4小節目間において, 正確と判断された拍が4拍(1小節分)以上続いたかとした。

以上のことを踏まえて, 本実験の結果について述べる。

### 6.2 結果

音の長さを変化させたクリック音(②・③)を提示した場合について, クリック音の種類が変容する前(8小節目)の状況ごとに結果を述べる。ここでは, クリック音を変容させた

後(9小節目以降)に演奏が安定するまでにかかった拍数をみる。

図5は, 実験協力者のドラム演奏が正確なテンポから遅くずれている場合に, クリック音を変容させてから演奏が安定するまでにかかった拍数の平均を, クリック音の種類ごとに表したグラフである。この結果より, クリック音を変容させてから演奏が安定するまでにかかった拍数の平均は, 比較手法である①のクリック音が6.4拍, 仮説において遅くずれている場合に正確なテンポに誘導しやすいとした短い音のクリック音(②)が3.1拍, また誘導しにくいとした長い音のクリック音(③)が9.5拍であることがわかった。

次に, 図6は実験協力者のドラム演奏が正確なテンポから早くずれている場合に, クリック音を変容させてから演奏が安定するまでにかかった拍数の平均を, クリック音の種類ごとに表したグラフである。この結果より, クリック音を変容させてから演奏が安定するまでにかかった拍数の平均は, 比較手法である①が12.6拍, また仮説において, 早くずれている場合に正確なテンポに誘導しにくいとした短い音のクリック音(②)が15.0拍, また, 仮説において誘導しやすいとした長い音のクリック音(③)が16.0拍であり, どれも安定しにくいことがわかった。

### 6.3 実験終了後のインタビュー

実験終了後のインタビューから, 「長い音は合わせづらい」「短い音はアクセントに感じられて合わせやすい」「クリック音によって叩きやすさに違いはなかった」「クリック音が変わるとリズム感も変わる」といったクリック音に対する意見が多く得られた。また, 「実験は疲れなかった」「実験は楽しく退屈しなかった」といった実験に対する好意的な意見も得られた。

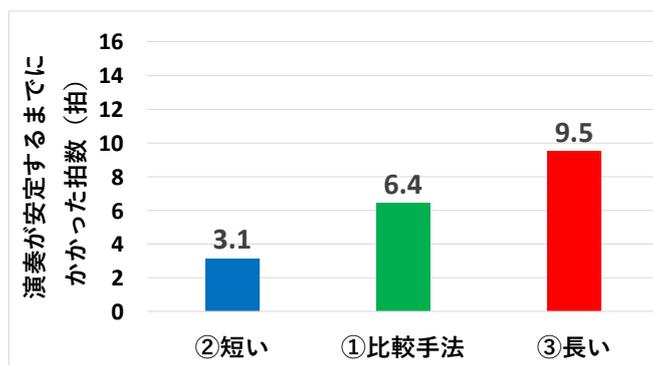


図5 遅くずれている場合に長さを変化させたクリック音を提示した場合の各実験協力者のドラム演奏の拍ごとのずれ

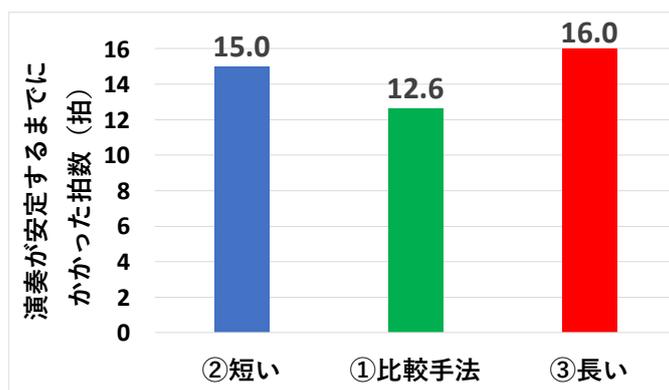


図6 早くずれている場合に長さを変化させたクリック音を提示した場合の各実験協力者のドラム演奏の拍ごとのずれ

## 7. 考察

図5より、ドラム演奏がクリック音より遅くずれている際に長さを変化させたクリック音を提示した場合に、演奏が安定するまでにかかった拍数の平均は、比較手法である①のクリック音が6.4拍、仮説において遅くずれている場合に正確なテンポに誘導しやすいとした短い音のクリック音(②)が3.1拍、また誘導しにくいとした長い音のクリック音(③)が9.5拍であった。この結果より、遅くずれている場合は、長い音より短いクリック音の方が正確なテンポに誘導しやすく、「ドラム演奏がクリック音より遅くずれている場合は、音の長さが短い音をドラム演奏者に提示すると、ずれているドラム演奏を正確なテンポに誘導しやすい」という仮説は成立した。

次に、ドラム演奏がクリック音より早くずれている場合について述べる。図6より、長さを変化させたクリック音を提示した場合に、演奏が安定するまでにかかった拍数の平均は、比較手法である①のクリック音が12.6拍、仮説において遅くずれている場合に正確なテンポに誘導しにくいとした短い音のクリック音(②)が15.0拍、また誘導しやすいとした長い音のクリック音(③)が16.0拍であった。この結果より、どの手法においても正確なテンポへの誘導が困難であることがわかり、「ドラム演奏がクリック音より早くずれている場合は、音の長さが長い音をドラム演奏者に提示すると、ずれているドラム演奏を正確なテンポに誘導しやすい」という仮説は棄却された。この理由については、ドラム演奏者はクリック音に合わせる際に遅れないようにドラムを叩いている可能性があり、早くずれている際に合わせようとすると、さらに演奏が早くなってしまったためにずれを修正しにくいのではないかと考えた。また、早くずれている場合は遅くずれている場合に比べて、ドラム演奏者に余裕がなく、クリック音に意識を向けることが難しかった可能性も考えられる。これらのことをふまえると、ドラム演奏が正確なテンポから早くずれている場合に、正確なテンポに誘導することは難しいということが

実験より明らかになり、今後解決すべき重要な課題であるといえる。

## 8. おわりに

本研究では、同期演奏において同期音源とバンド演奏がずれてしまうというトラブルを解決するために、ずれてしまう状況として、クリック音が聴き取りづらいがために、ドラム演奏がクリック音からずれてしまう場合に、またその原因としてドラム演奏者があるずれをしっかりと認識できていない場合に着目し、クリック音を変容させることで正確なテンポに誘導させる手法を提案した。

また本研究では、「ドラム演奏がクリック音より早くずれている場合は音の長さが長い音を、遅くずれている場合は音の長さが短い音をドラム演奏者に提示すると、ずれているドラム演奏を正確なテンポに誘導しやすい」ことを仮説として立て、実験協力者にクリック音を聴きながら実際のドラムを叩いてもらう実験を行った。また、自然にドラム演奏がクリック音とずれていくような実験をデザインし、ドラム演奏がクリック音から遅くまたは早くずれているというそれぞれの状況において、クリック音の長さがどのような状態であれば正確なテンポへの誘導に有効であるかについて調査した。

実験の結果より、ドラム演奏が正確なテンポから遅くずれている場合は、長い音より短いクリック音の方が正確なテンポに誘導しやすいものの、早くずれている場合は、どの手法においても正確なテンポへの誘導が困難であり、今後はドラム演奏が正確なテンポから早くずれている場合に、正確なテンポに演奏を誘導するために有用な手法を調査していく。例として、クリック音の音程(音の組み合わせ)を変化することを検討している。これについて、今回の実験ではC(ド)の音の完全8度(オクターブ)で音の高さを変化させたパターンのクリック音で実験を行っていた。

しかし、田中ら[24]の研究において連続する2音間の音程の差によって人は異なる感情を抱くことが明らかになっているため、今後は、Cのみの組み合わせでなく、F(ファ)からC(ド)、E(ミ)からB(シ)など様々な音程の差を用いたクリック音で実験をし、音程の差によって結果に影響が出るかどうかを調査していく。

本研究を実用化するうえでは、同期演奏においてドラム演奏が正確なテンポからずれてしまった際に、そのずれを検知する手法が必要となる。そのため、先行研究の汪ら[25]による音響、超音波、ジャイロ角速度センサなどを含んだマルチセンサにより演奏に関する音符情報とモーション情報をリアルタイムで抽出する手法を参考にして実装を行う予定である。また、曲やテンポ、ジャンルなどの違いによってずれの許容範囲には差があると考えられるため、曲ごとにずれの許容範囲を設定できるような機能の搭載を考えている。具体的には、クリック音からドラム演奏がどれだけずれているかを波形の位置によって確認できるUIの作成をする。また本研究の最終的な目標は、実際の同期演奏で使用するDTMソフトにこのようなシステムを搭載することである。

**謝辞** 本研究の一部は、JST ACCEL(グラント番号JPMJAC1602)の支援を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 森下修次. 音楽のリズムの知覚と音楽経験. 日本音響学会誌, 1995, Vol. 51, No. 2, p. 96-102.
- [2] 中村栄太, 武田晴登, 山本龍一, 齋藤康之, 酒向慎司, 嵯峨山茂樹. 任意箇所への弾き直し・弾き飛ばしを含む演奏に追従可能な楽譜追跡と自動伴奏. 情報処理学会論文誌, 2013, Vol. 54, No. 4, p. 1338-1349.
- [3] Raphael, C.. Music Plus One: A system for expressive and flexible musical accompaniment. Proc. ICMC, 2001, p. 159-162.
- [4] 澤田秀之, 磯貝昌幸, 橋本周司, 大照完. 音楽演奏に於ける人間と機械の協調動作について. 情報処理学会第44回全国大会公演論文集, 1992, p. 389-390.
- [5] 辻靖彦, 西方敦博. リズムと打拍フォームの同時測定に基づく打楽器の演奏分析. 電子情報通信学会論文誌, 2005, p. 99-107.
- [6] 粟井修司, 伊勢朋実, 小堀研一. ドラム演奏支援のための動作生成. 第74回全国大会講演論文集, 2012, p. 121-122.
- [7] 工藤喬也, 松田浩一. 和太鼓におけるリズムのズレ提示法による学習効果の違い. 人工知能学会 身体知研究会 第21回研究会, 2015, p. 16-23.
- [8] Sandro, B., Rocco, D.M. and Franco, M.. Effects of Self-Selected Music on Maximal bench press strength and strength endurance. Perceptual and Motor Skills, 2015, p. 1934-1938.
- [9] 徳久弘樹, 大野直紀, 中村聡史. プレゼンテーション中の発表者のみが聴取可能な音楽による緊張緩和手法の提案. 研究報告コンシューマ・デバイス&システム(CDS), 2019, p. 2188-8604.
- [10] 松井琴世, 河合淳子, 澤村貫太, 小原依子, 松本和雄. 音楽刺激による生体反応に関する生理・心理学的研究, 臨床教育心理学研究, 2003, Vol. 29, No. 1, p. 43-57.
- [11] 大坪敦, 諏訪博彦, 荒川豊, 安本慶一. 音楽の引き込み効果を用いた歩行ペース誘導アプリの検討. 2018年度 情報処理学会関西支部 支部大会講演論文集, 2018, p. 1884-197X.
- [12] Dipayan, B., Kaisa, L. and Courtney, S.. Sounds like a healthy retail atmospheric strategy: Effects of ambient music and background noise on food sales. Journal of the Academy of Marketing Science, 2019, Vol. 47, No. 1, p. 37-55.
- [13] Iwanaga, M.. Heart rate variability with repetitive exposure to music. Biological Psychology, 2005, Vol. 70, No. 1, p. 61-66.
- [14] Krumhansl, C. L.. An exploratory study of musical emotions and psychophysiology. Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale, 1997, Vol. 51, No. 4, p. 336-353.
- [15] Huang, R. H. and Shih, Y. N.. Effects of background music on concentration of workers, Work, 2011, Vol. 38, No. 4, p. 383-387.
- [16] Rui, L., Yingjie, V. C. and Linghao, Z.. Effect of Music Tempo on Long-Distance Driving: Which Tempo Is the Most Effective at Reducing Fatigue?. i-Perception, 2019, Vol. 10, No. 4.
- [17] Francesca, R. D. C., and Robert, F. P.. Effects of Music on Physiological Arousal: Explorations into Tempo and Genre. Media Psychology, 2007, Vol. 10, No. 3, p. 339-363.
- [18] 落合太郎, 大嶺葉未. 音楽が時間経過に及ぼす影響—仮説的研究—. 日本デザイン学会研究発表大会概要集, 2015, Vol. 62, No. 0, p. 83.
- [19] Thomas, C. R., Colleen, M., Richard, R. R., Michelle, L. S., Peter, J. S., Marie, A. W. and Elizabeth, B. G.. The effect of music on eating behavior. Bulletin of the Psychonomic Society, 1985, Vol. 23, No. 3, p. 221-222.
- [20] 楊炫叡, 堀田明裕. 報知機能を想定した音に関する印象評価実験. デザイン学研究, 2005, Vol. 52, No. 4, p. 29-36.
- [21] Komatsu, T. and Yamada, S.. How Do Robotic Agents Appearance Affect People's Interpretation of the Agents' Attitudes? in Extended Abstract (Work in Progress) of the ACM-CHI 2007 (CHI2007), 2007, p. 2519-2525.
- [22] 浜中雅俊, 築根秀男. ドラムスの生演奏にMIDI音源の再生音をリアルタイムでシンクロさせるシステムの開発. 情報処理学会研究報告 MUS[音楽情報科学], 1998, Vol. 26, p. 53-60.
- [23] 西堀佑, 多田幸生, 曾根卓朗. 遅延のある演奏系での遅延の認知に関する実験とその考察. 情報処理学会研究報告[音楽情報科学], 2003, Vol. 53, p. 37-42.
- [24] 田中一丸, 宮川真道, 木村和寛, 塩谷俊起, 佐藤 弘喜. 連続する2音間の音程の違いにおける感情推定. 日本デザイン学会研究発表大会概要集, 2014, Vol. 61, No. 0, p. 268.
- [25] 汪増福, 金森務, 片寄晴弘, 佐藤宏介, 井口征士. Virtual Performer: Virtual Musicianの音響・モーションセンサ. 全国大会講演論文集 第46回(ソフトウェア工学), 1993, p. 143-144.