

バイオリン演奏音源データを対象とした リズム特徴自動抽出によるリズム正確性可視化方式の実現

桃澤 未唯[†] 岡田 龍太郎[‡] 峰松 彩子[‡] 中西 崇文[‡]

[†] [‡] 武蔵野大学データサイエンス学部データサイエンス学科 〒135-8181 東京都江東区有明 3-3-3

E-mail: [†] s2122094@stu.musashino-u.ac.jp,

[‡] { ryotaro.okada, ayako.minematsu, takafumi.nakanishi }@ds.musashino-u.ac.jp

あらまし 本稿では、演奏音源データを対象としたリズム特徴自動抽出によるリズム正確性可視化方式について示す。本方式は入力された 2 つの音源データの各自己相関テンポグラムから特徴を求め、Dynamic Time Warping(DTW)における各 warp path における最小距離を用いて、リズムの違いを表すグラフを自動生成する。本方式により、自身の演奏と先生・手本の演奏とのリズムのズレをグラフを用いて客観的に表現することが可能になる。演奏において、リズムが機械的に正確であることは重要であり、この場合、メトロノームなどを用いた練習が一般的に行われる。一方、演奏において、音楽的なリズムの揺れも表現として重要である。本方式は、自身の演奏と先生・手本の差異から音楽的な揺れの違いも可視化できると考えられる。本稿ではバイオリン演奏にこの技術を適用して有効性を検証した。

キーワード バイオリン、リズム、自己相関テンポグラム、DTW

1. はじめに

本研究では、バイオリン演奏の学習効率を向上させるシステムの作成を目指した。バイオリン初学者が最初に練習することは、右手の弓の弾き方と左手の弦を押さえるポジションである。この 2 つの練習は、先行研究でそれぞれ練習効率向上を目指したシステムの提案が行われている。伊藤[1]は、「豊かな音楽表現を実現するには全弓は不可欠である」と述べ、集団学習の場でどのように指導するのが効果的か実験を行った。また、熊木ら[2]は、「特に初心者にとって、譜面上の音符および運指を見て、音符から指板上のポジショニングをイメージし、指示された運指で弾くという一連のプロセスは最初に立ち上がる難関で、このプロセスに対する労力や精神的負荷の軽減が、楽器演奏を楽しく、長続きさせる秘訣であるといえる。」と述べ、MIDI バイオリンを用いた左手のポジション練習システムを提案した。

また、楽器を演奏する上では適切な音を鳴らすだけでなく、適切なリズムで演奏をすることも重要である。和太鼓演奏においてリズム学習のためのシステムが 2 つ提案されている。工藤ら[3]は、「学習者が自己評価で良いと判断しているが、指導者が悪いと判断しているという、自身の欠点を認識できていない問題である。」と述べ、基準音と基準音を聞きながら長胴太鼓を叩いた音データを用いて、リズムのズレの推移グラフをフィードバックし、ズレの推移を演奏者が認識することができるシステムを提案した。また、工藤ら[4]は、「リズム技能は時間的な技能のため、自身を撮影した映像を用いても問題点を自身で認識するのが難しくなっ

ている。」と述べ、色や形状を用いたズレの提示を演奏中に演奏者へフィードバックし、演奏中にリズムの修正を行う、効率的なリズム学習システムの提案が行われた。

しかし、一定のテンポ、決まったリズムを演奏することが必ずしも良い音楽とは言えない。リーゼル[5]は、バイオリンの魅力が音の抑揚やリズムを自由に表現できるところであり、バイオリン音楽の表現力は重要視されており、今でも影響力を与えていると述べた。

私たちは、音楽のリズムのノリを学び身につけるためには、等間隔のリズムを身につけたり、基準音に合わせて練習するだけでは身につけることができないと考える。そこで本研究では、お手本になる先生や指導者のリズムのノリを学ぶため、先生の演奏した音源から局所的なテンポの特徴を抽出し、バイオリン初学者が自身の録音した音源と比較することで、以前の自主練習と比べて、効率的なリズム学習を可能にすることを旨とする。

本稿は次の通り構成される。2 節では、関連研究について示す。3 節では、本方式であるバイオリン演奏音源データを対象としたリズム特徴自動抽出によるリズム正確性可視化方式について示す。4 節では、実際に構成したシステムを用いて練習を行い、5 節で本稿をまとめる。

2. 関連研究

本節では、本方式に関連する研究について挙げる。

2.1. バイオリン演奏学習に関する研究

伊藤ら[1]は、バイオリン初学者を対象に右手奏法の学習システムの提案を行っている。本研究では授業の

実践記録から正規の弓の持ち方や、肩と肘の関節の使い分けなどが重要になっていることに着目している。この研究では、弓の速さや弓と弦の交わり方を意識した上で、肩の関節を使い上腕・前腕を意識して腕を動かすことが困難であると述べている。

熊木ら[2]は、バイオリン初学者を対象としたポジション学習のシステムの提案を行っている。熊木らは、正しいポジション位置を演奏者に提示するとともに、虚偽情報および曖昧情報も与えることで、効率よくバイオリン演奏学習が行える可能性を提示した。

カレンら[6]は、ボルノフ・メソッドや、プロの教師が使用している技法を用いて、右手の演奏技術の効率化について述べている。カレンらはバイオリンのアプローチの方法について、初学者は左手のテクニックを重要視するよりも、右手のスキルアップが効果的であると述べている。この考えに基づき、この研究では、右手のスキルアップに着目したシステムの提案がされている。

2.2. リズム学習支援システムに関する研究

工藤ら[3]は、和太鼓の演奏者を対象に実験を行った。演奏者は和太鼓の基準の音を聞いてから、16音同じ速さで叩き、演奏の自己評価とグラフを用いたリズムのズレの結果のフィードバックを受け、その後もう一度演奏した。実験の結果は、9名中4名が自己評価とズレの推移グラフの結果に違いがあった。また、経験年数が1年目や2年目の場合、2回目の演奏では推移グラフの影響を受けたのではないと思われる結果になった。

工藤ら[4]も先ほどの研究と同様、基準音を聞きながら和太鼓の演奏を行った。しかし、前の実験とは異なり、演奏者は目の前の画面の色も見ながら演奏を行う。リアルタイムでリズムのズレを確認できるシステムが提案された。

竹川ら[7]は、リズムの情報を可視化することにより、演奏者に対してリズム情報の直感的な理解が可能になるシステムを提案している。この研究では、演奏情報をリアルタイムで取得し、音符の長さがどのくらいなのかを楽譜の譜面上に横棒で表示することで、ピアノ演奏者にリズムの情報を提供している。竹川らは、この手法をピアノロール譜およびリズム支援学習なしと比較して、演奏ミスが少なくなったことから、リズムを可視化し支援することの効果を提示した。また、竹川らが提案した手法を鍵盤初心者が用いることで、30分の訓練で、打鍵ミスやリズムミスがほとんどなく演奏できるようになっており、効率的に学習できる可能性を提示した。

2.3. 本研究の位置付け

本研究では、バイオリン演奏学習において、リズム

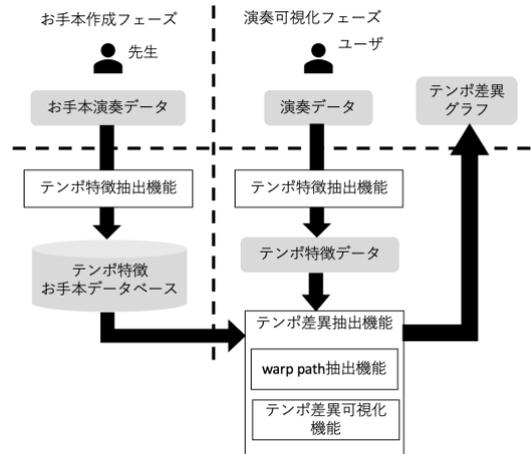


図1 全体図

に着目したアプローチの方法を提案する。バイオリンの演奏技術向上に着目した既存の研究では、2.1節で示したような、左手のポジションや右手の弓の動かし方を重視したものが多く見られた。しかし、レベルの高い演奏を行うためにはリズムへの考慮も必要である。

また、リズム学習に着目した既存の研究では、基準の音や楽譜の音符と同じリズムで演奏できているかという評価方法であった。しかし、我々は音楽のノリは一定のリズムで表現できるものではないと考える。例えば、緊張感を表すために実際のテンポよりも早くした後に落ち着いた印象を与えるためにゆっくりなテンポにして数小節トータルで辻褄が合っている微妙なテンポのことを指す。そこで、本研究では先生の演奏した音源から局所的なテンポの特徴を抽出し音楽のノリをグラフで可視化することを目指す。本研究では、全体のリズムを抽出するのではなく、局所的にテンポを抽出することで、テンポの微妙な変化を捉えることが可能になり、バイオリンを練習している人の音源と比較することができ練習効率が上がるのではないかと考える。

3. バイオリン演奏音源データを対象としたリズム特徴自動抽出によるリズム正確性可視化方式の実現

本節では、バイオリン演奏音源データを対象としたリズム特徴自動抽出によるリズム正確性可視化方式について述べる。

節の構成について述べる。3.1節では、本研究の全体像について述べる。3.2節では、お手本生成フェーズについて述べる。3.3節では、演奏データ可視化フェーズについて述べる。

3.1. 全体像

本方式の全体図を図1に示す。本システムは、お手本生成フェーズと演奏データ可視化フェーズの2つの

フェーズからなり、テンポ特徴抽出機能、テンポ差異抽出機能、warp path 抽出機能、テンポ差異可視化機能、演奏データ、お手本演奏データで構成される。

3.2. お手本生成フェーズ

本研究では、先生の演奏と生徒の演奏の音源を用いて、リズムの比較を行う。したがって、それぞれの音源からリズムの特徴を抽出する必要がある。お手本生成フェーズでは、先生の音源からリズムの特徴を抽出する。音源は、mp3 や wav などの音声ファイルとして入力する。

3.2.1. テンポ特徴抽出機能

本節では、演奏音源からテンポ特徴を抽出する機能について述べる。

テンポ特徴抽出機能では、入力した音源からリズムの特徴を抽出する。本機能では、先生の演奏音源からリズムの速い、遅いという特徴を抽出する。一定のテンポで弾くだけではなく、あえて音を短く切る、あるいは音を伸ばすなどのリズムの特徴を抽出する。本研究では、テンポ特徴の抽出にテンポグラム[5]を用いる。テンポグラムは、図 2 に示した例の通り、局所的なテンポの特徴の抽出を行うものである。テンポグラムによって導き出されるテンポはリズムによって決まるため、テンポグラムを用いてリズムのムラを表現することが可能となる。したがって、以降はテンポ特徴で統一する。

テンポグラムはある時間において、どのくらいのテンポであるか推測を行うものである。また、フーリエテンポグラムと自己相関テンポグラムの 2 つの求め方が有名である。フーリエテンポグラムでは、オンセットエンベロープを用いて短時間フーリエ変換を行った結果を求める。オンセットエンベロープとは、発音タイミングを抽出した信号である。自己相関テンポグラムでは、オンセットエンベロープを用いて自己相関を計量した結果を求める。

本方式では、自己相関テンポグラムを用いる。本機能では、各時間で最も大きな値をとったテンポのみ抽出を行い、1次元配列のデータを作成する。

3.3. 演奏データ可視化フェーズ

本研究では、バイオリン初学者が演奏した音源を入力データとして想定している。

本機能では、生徒がお手本となる演奏と比較して正確にリズムを再現できているかを、リズムの特徴を抽出して確認を行う。音源は、mp3 や wav などの音声ファイルとして入力する。

3.3.1. テンポ特徴抽出機能

本節では、演奏音源からテンポ特徴抽出する機能について述べる。

3.2.1 節と同様に、2つのテンポグラムそれぞれでテ

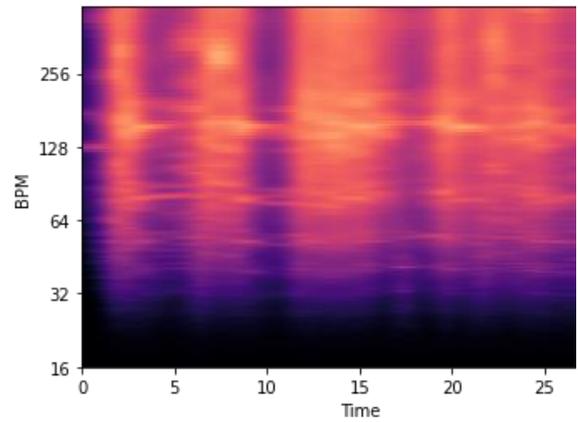


図 2 テンポグラム出力例
(横軸：時間，縦軸：BPM)

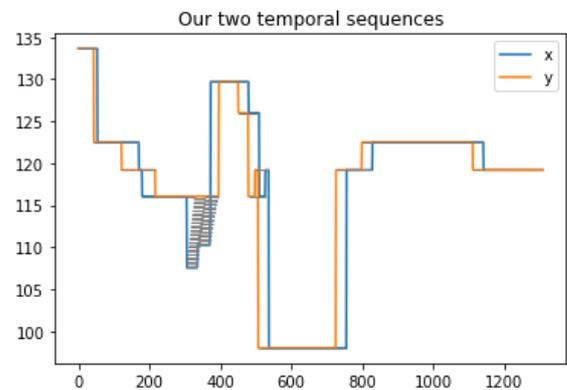


図 3 warp path の出力例
(横軸：時間，縦軸：BPM)

ンポの抽出を行い、各時間で最も大きな値をとったテンポから、1次元配列のデータを作成する。

3.3.2. テンポ差異抽出機能

本節では、抽出したテンポ特徴からお手本データとのテンポ差異を抽出し、折れ線グラフとして可視化する機能について述べる。本機能では、テンポ差異として DTW の warp path を用いる。本機能は、warp path 抽出機能とテンポ差異可視化機能によって構成される。

3.3.2.1. warp path 抽出機能

本機能では、3.2.1 節で求めた先生の演奏音源データと 3.3.1 節で求めた生徒の演奏音源データの距離を測る。本機能では DTW[6]の warp path 用いて、2つのデータの比較を行う。2つのデータを比較する際に、先生のデータはデータベースに保存されているため、生徒は先生のデータを選択する。

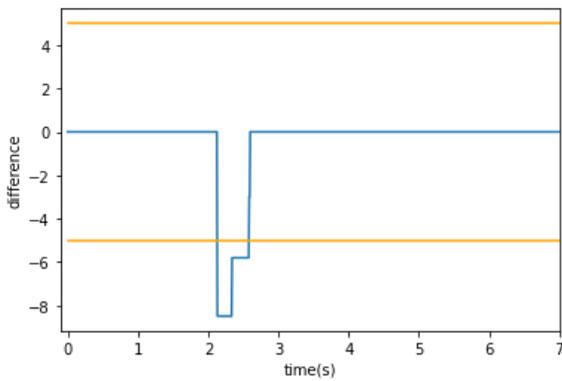


図4 特徴可視化機能出力例
(横軸：時間，縦軸：お手本と生徒の BPM の差)

DTW とは、時系列データ同士の距離を測る際に用いられる手法である。warp path とは、2つの時系列データにおける最小の距離を持つ時点のデータの組み合わせである。1つの時系列データから、ある時間のデータを抽出したとき、もう1つの時系列データから似ているデータを複数抽出し、複数のデータのうち一番距離が近いデータを求める。DTW における warp path の出力例を図3に示す。図3の時、warp path はグレーの線のことを指す。本方式で扱っている特徴量は時系列データであるため、DTW の warp path を用いる。

3.3.2.2. テンポ差異可視化機能

本節では、抽出したテンポ差異を可視化する機能について述べる。

warp path 抽出機能では、ある時点における一番距離が近いデータを求めている。したがって、一つの値に対して複数のデータが当てはまる場合がある。具体的には、お手本のデータ x の a という値に対応するデータが y のデータ内で複数存在する場合がある。そこで、本機能では複数のデータが当てはまった場合、お手本のデータ x を基準にして当てはまった y のデータの中からさらに、一番距離の小さいデータを採用する。

本機能では、抽出したテンポ差異を折れ線グラフとして可視化する。

ユーザにテンポの差異を可視化し提示する実用的なシステムを考えた場合、グラフ表示だけでなく、楽譜上などにハイライトすることが考えられる。その場合は、リズムのズレを判定するための閾値を設定し、それを越えたものについて表示する方式を取ることが考えられる。閾値の数値は生徒の技術に合わせて設定する。なぜなら、生徒に合わない数値の設定を行うと、練習の効率化につながらないこと、生徒自身のモチベーションの減少に繋がることが考えられるからである。適切な閾値の設定方式や、楽譜上への可視化方式は今後の課題とする。

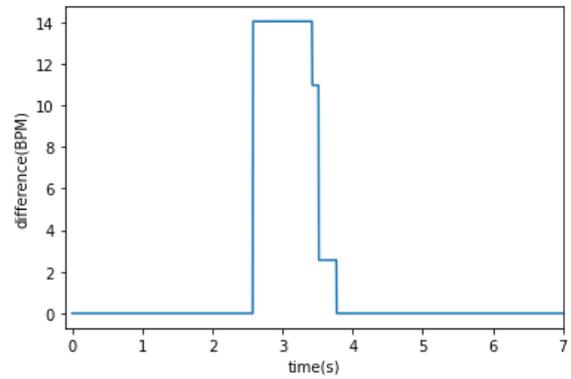


図5 データを削除する数を 8000 個
(約 0.36 秒間) 削除した結果
(横軸：時間，縦軸：お手本と生徒の BPM の差)

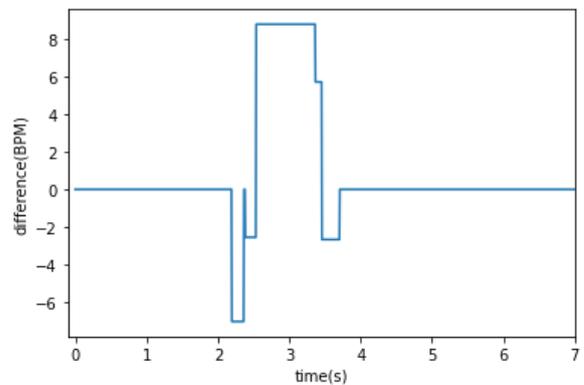


図6 データデータを削除する数を 1000 個
(約 0.045 秒間) 削除した結果
(横軸：時間，縦軸：お手本と生徒の BPM の差)

先行研究から、リズム情報を可視化することで、演奏学習の効率化が可能であることが証明された。したがって、本研究ではデータの比較結果を生徒へフィードバックする際に、どのくらいテンポがズレていたのかどうかを図4のようにグラフで可視化する。横軸には時間、縦軸には特徴同士の距離をとった。また、横棒は閾値を表示している。

4. 実験

本節では、本手法の実験内容と結果、考察について述べる。

4.1 節では、実験環境について述べる。4.2 節では、実験1について述べる。4.3 節では、実験2について述べる。4.4 節では、総合的な考察を行う。

4.1. 実験概要

本節では、リズム特徴自動抽出可視化方式の実験概要について述べる。

実験では、本方式を用いて、テンポ特徴の自動抽出を行い、テンポの差異を可視化する際の、適切なパラ

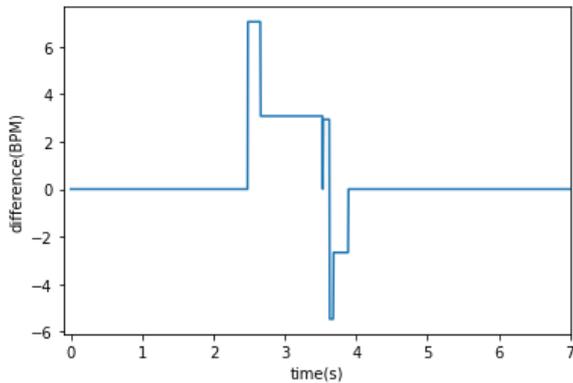


図7 データを削除する数を1000個
(約0.90秒間)削除した結果
(横軸：時間，縦軸：お手本と生徒のBPMの差)

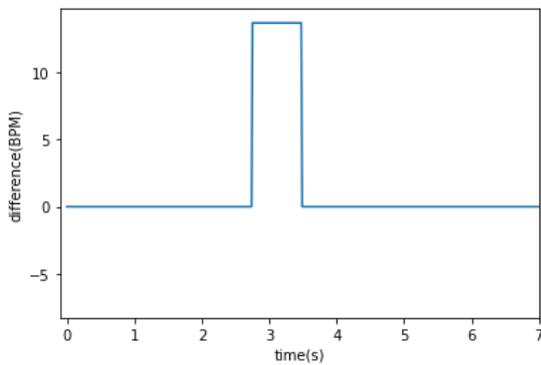


図8 ホップレングスを600にした結果
(横軸：時間，縦軸：お手本と生徒のBPMの差)

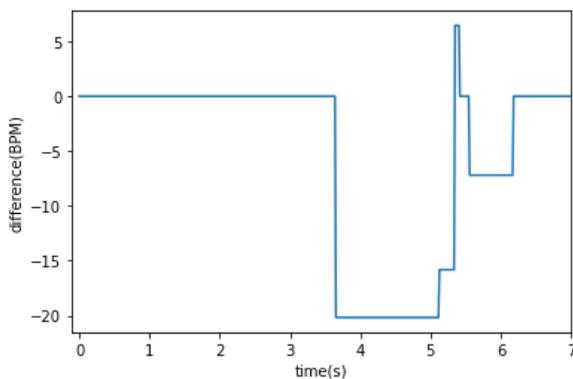


図9 編集した時点を5秒に変更して
ホップレングスを600にした結果
(横軸：時間，縦軸：お手本と生徒のBPMの差)

メータについて検証する。

本システムを用いてテンポ特徴の抽出ができるか、予備実験を行ったところ、テンポの抽出を適切に行えないケースがあった。例えば楽曲によっては、同一テンポで演奏しているのにも関わらず、音符の並び次第で半分のテンポとして判断されてしまうことがあった。

こうしたケースから、楽曲のテンポを抽出する機能は楽曲そのものにも依存してしまう事が分かった。ここから考察した事として、例えば4分音符や8分音符にあたる長さをカットした場合、テンポのズレではなく楽曲自体が別物として解釈される可能性があると考えられる。こうした条件において現状では本システムは対応することは難しい。

そのため本実験では、テンポの差異を抽出することが比較的容易な条件の中で、適切なパラメータ設定を探索することによって、システムが有効に働く条件を調査し、今後のシステムの改善につなげていく方針とした。

実験では、テンポを抽出する際のパラメータの設定を3段階で行い、テンポ抽出を行う際に最も適切なパラメータを求める。1段階目はお手本データからリズムのズレた音源データを作る際に削除するデータの数(時間に対応する)について、リズムのズレが検出しやすいデータを設定する。2段階目はテンポグラムを出力する際に、どれだけの幅をまとめて一つのテンポを抽出するのかに相当するホップレングスの長さを設定する。最後に削除を開始する時点を変更して、設定したパラメータとは違う条件でも上手く機能するかを確認する。

本実験では、バイオリンの音源をスマートフォンで録音しその後mp3に変換した。曲は「かえるの合唱」を演奏した。録音した音源をお手本の音源とする。生徒のデータは、お手本の音源から一部の区間の時間のデータを消して間を詰めたものを用いる。こうして作られた音源をリズムがズレた演奏の音源として扱う。

本実験では音源のサンプリングレートを22,050Hzとする。

本実験では自己相関テンポグラムを用いて行う。

4.2. 実験1

本節では、適切なデータの削除する数を求める実験を行う際の実験環境について述べる。

本実験では、どのくらいデータを削除すると適切なグラフが表示されるのか求めた。ホップレングスを256、削除を始めた時点を3秒と設定した。削除するデータの数はいくつから20000(約0.90秒間)まで1000毎ずつ増やした。

4.2.1. 実験結果

本節では、実験結果について述べる。

始めにうまく行った例を説明する。実験結果の具体例として、データを削除する数を8000個(約0.36秒間)削除した例を図5に示す。グラフの3秒付近でテンポの揺れがあることがわかった。作成した生徒の演奏データに適したグラフが出力された。

次にあまりうまく行かなかった例を説明する。実験

結果の具体例として、データを削除する数を 1000 個（約 0.045 秒間）削除した場合を図 6 に、データを削除する数を 20000 個（約 0.90 秒間）削除した例を図 7 に示す。削除した時点は 3 秒以降であるがそれ以外の時点でもテンポの差があると見られた。また、データを削除する数が少なすぎても多すぎてもうまく行かないことがわかった。

4.3. 実験 2

本節では、適切なホップレングスの長さを求める実験を行う際の実験環境について述べる。

本実験では、ホップレングスの長さをどのくらいにすると適切なグラフが表示されるのか求めた。データを削除する数を 8000 個（約 0.36 秒間）、削除を始めた時点と 3 秒と設定した。ホップレングスは 50 から 1000 まで 50 毎ずつ増やした。

4.3.1. 実験結果

本節では、実験結果について述べる。

どの結果も実験 1 と同様、3 秒よりも手前で表示された。ホップレングスの幅が 600 以上のとき、適切なグラフが出力されることが多くなった。ホップレングスの幅を 600 にした時の出力結果を図 8 に示す。ホップレングスの幅が 600 未満の時、3 秒以外のところでもテンポのズレがあるという結果になった。

4.4. 実験 3

本節では、実験 1 と実験 2 で行った結果をもとに、どの時点を変更しても良い結果で抽出することが可能か実験を行う際の実験環境について述べる。削除を始めた時点と 5 秒、データを削除する数を 8000 個（約 0.36 秒間）、ホップレングスを 200, 350, 600, 800, 850, 1000 の時で行った。ホップレングスの幅は実験 2 でうまく行った場合である。

4.4.1. 実験結果

本節では、実験結果について述べる。

編集を始める時点を変更した結果、どの場合においても 5 秒より前の時点でテンポの揺れが見られた。出力結果を図 9 に示す。

4.5. 考察

本節では、実験の結果を踏まえて考察を行う。

パラメータを変更してグラフで可視化した結果、ホップレングスの幅を大きくするとテンポのずれを抽出することができた。今回実験で用いた楽曲は、1 音 1 音の長さが長い楽譜である。したがって、ホップレングスの幅が大きくなると抽出がうまくいきやすくなったのではないかと考えられる。このことから、楽曲によって適切なホップレングスの幅が変わると考えられるため、適切なホップレングスの幅を自動で求めることができるシステムも必要であると考えられる。また、編集を始める時間を変更するとグラフは、編集した時点以

外のところにも変化が見られた。上記から、本システムによってリズムの差異を抽出し可視化することは現状では限定的に可能ではあるが、汎用的なシステムにしていくためには、システムの設計の見直しとパラメータの設定が必要であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、バイオリン学習効率化を可能にする、2 つのバイオリン演奏音源を用いたリズム特徴自動可視化方式について述べた。本方式では、2 つのバイオリンの音源から、それぞれテンポの特徴を抽出し、2 つのテンポの特徴の比較を行い、グラフに可視化することで、生徒のバイオリンの自主練習の効率化を行うシステムの実現を目指した。本研究では、お手本となる音源と意図的にタイミングをずらした音源を作成し、比較することで、本システムでリズムのズレが可視化できることの可能性を示した。

本方式の実用化については、楽曲によって適切なホップレングスの幅が変わると考えられるため、ホップレングスの幅を自動で求めるシステムも必要である。また、実際にバイオリンの音源を用いて実験を行った際に、音源だけでは気づけなかったリズムのズレを、グラフを用いることで補完することが可能かどうか、効率的にリズム学習を行うことが可能かどうか検証する必要があると考える。また、利便性を考慮したとき、リアルタイムでフィードバックが行えるとさらに効率的にリズム学習が行えるのではないかと考えられるため、リアルタイムでお手本とテンポのズレが比較できるようにシステムを修正する必要がある。

参考文献

- [1] 伊藤誠, "ヴァイオリン演奏における「全弓」奏法の大切さ", 埼玉大学紀要. 教育学部, 2017.
- [2] 熊木万莉母, 竹川佳成, 平田圭二" 虚偽情報および曖昧情報教示機能をもつバイオリン学習支援システムの提案", エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2015), 2015.
- [3] 工藤喬也, 松田浩一, 中里利則, "ズレの可視化による和太鼓基本リズムの習得支援システム", 情報処理学会第 75 回全国大会, 2013.
- [4] 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", 人工知能学会第二種研究会資料, 2015
- [5] Liesel Higgins, "WIENIAWSKI'S CONTRIBUTION TO THE CULTURE OF EXPRESSION", University of Sydney, 2016.
- [6] L.Karen Ann, "Exploration of Right-Hand Technique Development and the Bornoff Method", University of Miami, 2020
- [7] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, "リズム学習を考慮したピアノ演奏学習支援システムの設計と実装", 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.4, 1383-1392, 2013