

# 本番演奏における演奏テンポ制御のための 心拍情報提示システムの構築

鈴木 大互<sup>1</sup> 竹川 佳成<sup>2</sup> 寺田 努<sup>1,3</sup> 塚本 昌彦<sup>1</sup>

概要：演奏者にとって本番環境で、普段の実力を発揮することは大きな目標の1つである。本番環境においては、普段の環境との違いなどにより演奏者は緊張や興奮してしまい、これが打鍵・運指ミスなど演奏のクオリティ低下につながる。しかし、セミプロフェッショナルやアマチュアなどの演奏者にとって、本番で緊張や興奮を正しく自覚し、制御することは難しい。特に、本番演奏におけるテンポが普段のテンポと異なることは、普段ミスしない箇所での打鍵ミスや運指ミスなどの原因となり、本番での演奏テンポは重要な要素であるといえる。そこで本研究では、演奏テンポに注目し、緊張状態や興奮状態にある演奏者の演奏テンポを制御する手法を提案する。一般に、演奏者が緊張・興奮状態に陥った状態を平常の状態に回復させることは難しいため、本研究では、演奏者の緊張・興奮状態を示す指標である心拍データを提示する。それによって演奏者に現状の緊張・興奮状態を知覚させ、テンポ制御の必要性を促すことで演奏テンポを平常時のテンポに近づける。提案手法の有用性を評価するために、提案手法と平常時のテンポを本番演奏直前に聞かせるという比較手法およびテンポ制御を行わないテンポ非制御手法を比較した。その結果、提案手法は比較手法やテンポ非制御手法と比べて演奏テンポを制御できていたということがわかった。

## 1. はじめに

演奏者にとって、聴衆から喝采を浴びることは演奏の醍醐味である一方、舞台上において普段の実力を発揮することは大きな目標の1つである。舞台上で演奏する環境と自宅や稽古場で演奏する環境では、聴衆の存在や音響設備が異なる。また、この環境の違いにより、演奏者は緊張や興奮してしまう [1], [2]。プロフェッショナルな演奏者は、舞台を何度も経験することによって、緊張状態や興奮状態にあっても意図した演奏を行える。しかし、舞台上での演奏を何度も経験していないセミプロフェッショナルやアマチュア演奏者は緊張・興奮により、本番のテンポが平常時のテンポより速くなってしまふ。このテンポの加速は、普段ミスしない箇所での打鍵ミスや運指ミスなど演奏のクオリティ低下につながる。

そこで、本研究では演奏者が本番環境において普段の実力を発揮するための第一段階として演奏テンポに注目し、緊張・興奮状態にある演奏者の演奏テンポを制御する手法

を提案する。一般に、本番中、演奏者が緊張状態や興奮状態に陥った状態を平常の状態に戻すことは難しいため、提案システムは、演奏者に緊張・興奮状態を示す指標である心拍データを提示する。それによって現状の状態を知覚させ、テンポ制御の必要性を意識させることで、演奏テンポを平常時のテンポに近づける。本番演奏前に演奏者にメトロノームのクリック音を聴かせて正解テンポを知覚させる方法も考えられるが、緊張や興奮している状態で演奏者が冷静に正解テンポを把握することは難しい。また、演奏中、クリック音を演奏者に提示することも考えられるが、演奏は画一的になってしまう。

以下、2章では関連研究について述べ、3章で提案システムの設計について説明する。4章でシステムの実装について述べ、5章では、提案システムの評価と考察を行う。最後に6章で本論文のまとめを行う。

## 2. 関連研究

文献 [3], [4], [5] では、身体の代謝と時間評価（体内時計）との関連について述べている。体内時計は、身体の代謝と連動しており、身体の活動が激しい状態では体内時計が速く進み、逆に、身体の活動が低迷している状態ではゆっくり進む。これは、本番において興奮・緊張状態で身体の代謝が高まっている演奏者は時間を長く感じ、演奏者自身は

<sup>1</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University

<sup>2</sup> 公立はこだて未来大学システム情報科学部  
Faculty of Systems Information Science, Future University  
Hakodate

<sup>3</sup> 科学技術振興機構さきかけ  
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

普段と同じ速さのテンポで演奏しているつもりでも、本番における演奏テンポが平常状態の演奏テンポよりも速くなってしまふことを示唆している。

本番演奏における緊張・興奮状態を緩和する手法として、一般的に、深呼吸、筋肉マッサージ、瞑想、読書などがある [6], [7]。これらは演奏者が個人レベルで効果を検証している段階で、有効性に関する定量的な評価はなされていない。

緊張・興奮を制御するための科学的なアプローチとして、 $\alpha$ -アドレナリン・ブロッカーなどの薬物の利用や、認知行動療法やリラクゼーションといったストレス・マネジメントに基づく心理療法がある。

前者の薬物を利用することで、心拍増進や過呼吸といった交感神経の活性化を緩和できる [3]。しかし、これは心臓血管系疾患の治療のために開発された薬品であり、演奏者に用いた場合の有効性に関しては検証されていない [8], [9], [10], [11]。

また、後者のストレス・マネジメントに基づく心理療法として、バイオフィードバックトレーニングがある。これは、脳波計や血圧計といった生体センサによって検出した生体状態を視覚情報や聴覚情報として提示する。これによりユーザは自身の状態を理解し、訓練により生体状態を制御できるようになる [12]。バイオフィードバックトレーニングを適用した例として、筋電図・皮膚温のフィードバックによる頭痛の緩和、血圧のフィードバックによる高血圧症の緩和、アルファ波のフィードバックによる精神的なリラクスの獲得などがある [13]。バイオフィードバックトレーニングを演奏者に適用した研究 [14], [15], [16] として、演奏を阻害するレベルのチック症や筋緊張をもつ木管楽器演奏者に対して、筋電図によるフィードバックトレーニングを適用した研究がある。長期的にこの訓練を行うことで、筋緊張が減り、演奏のクオリティが向上したという結果が得られている。文献 [15], [16] においても、バイオリン奏者、ピオラ奏者およびクラリネット奏者を対象に筋電図フィードバックトレーニングを適用することで、演奏パフォーマンスを阻害することなく筋緊張を減らす結果が得られている。これらの研究は重度の患者を対象とし、生体状態を制御するためには長期的な訓練を必要とする。本研究では、身体的に特別な障害のない演奏者を対象とし、特別な訓練なく本番前に即時に利用できることを目指しており、これらの研究とは対象者や要求が異なる。

### 3. 設計

#### 3.1 要求仕様

本研究では、セミプロフェッショナルな演奏者やアマチュア演奏者に多くみられるような、本番演奏時に緊張や興奮により演奏テンポを制御できない者を対象とする。また、聴衆の前で演奏を披露する状況を想定し、緊張・興奮

状態でありながらも普段の練習通りの演奏テンポで演奏できるようなテンポ制御システムの構築を目指す。そのために、システム設計における要件として下記の 4 点を挙げる。

#### (1) 客観性

心臓の鼓動がいつもより速く感じられる、体が熱く感じられるなど、演奏者は本番において身体の感覚から自身の緊張・興奮状態を自覚できるが、舞台の大きさや観客数、楽曲の仕上がり具合などによって、本番における緊張・興奮状態の程度は異なったり、また体調にも依存する。したがって、本番環境が変わったときに、その環境における緊張・興奮状態を正しく自覚することが必要であると考えられる。このために、主観的ではなく、客観的に緊張・興奮状態を判断できる仕組みが求められる。

#### (2) 即時利用性

プロフェッショナルな演奏者と比べて、セミプロフェッショナルや学生などの演奏者は演奏する楽曲に対しての理解や演奏技術が乏しい。また、本番演奏当日はリハーサルやスタッフとの打ち合わせを行ったりすることがあり、出番までにまとまった練習時間を設けられないことが考えられる。さらに舞台では、演奏以外にも楽器のチューニングや聴衆に対する曲紹介などを行う場合がある。そのため、なるべく短い時間でシステムを利用できる仕組みが求められる。

#### (3) 即効性

上記で述べたように、演奏前は想定外の出来事が起こる可能性が高く、十分な時間をとることができない場合が多い。したがって、できるだけ短い時間で効果が現れる仕組みが求められる。

#### (4) 汎用性

本番ではさまざまなトラブルや例外が生じるため、これらに影響されない仕組みが求められる。一般的に緊張・興奮状態を演奏者自身が制御することは難しく、2章で述べたように、生体情報を制御する事例もあるが特殊な訓練を長期間行う必要があると同時に、イレギュラーな出来事に対応しにくい。

### 3.2 提案手法

提案する本番演奏における演奏テンポ制御手法の流れについて図 1 および図 2 を用いて説明する。本研究では、演奏テンポの制御手法として心拍に着目した。これは、2章で述べたように緊張・興奮に比例して演奏テンポが速くなり、心拍情報は緊張・興奮状態を表す有用な指標であるためである。

図 1(a) に示すように、あらかじめ稽古場での訓練など、平常状態における演奏者の心拍データを取得しておく。次に、図 1(b) に示すように、本番演奏直前に心拍データを取得し、演奏直前に演奏者に対して心拍データを 2, 3 秒

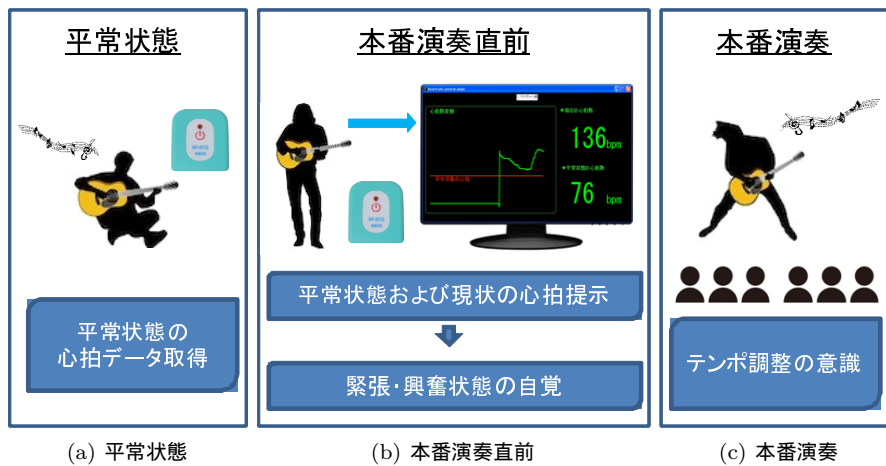


図 1: 提案手法の流れ

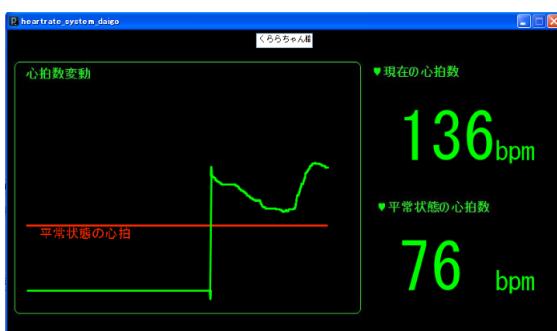


図 2: 提示画面

間提示する。図 2 を用いて演奏者に提示する情報を説明する。図 2 の赤線は、図 2 右下部に示す平常状態の平均心拍数を表し、緑線は、図 2 右上部に示す現状の心拍数を表している。これにより、演奏者は平常状態の心拍数と現状の心拍数との違いを直観的に理解できると同時に、図 1(c) に示すように、現状の心拍数が平常状態よりも高い場合は平常状態より遅めの演奏テンポで、現状の心拍数が平常状態よりも低い場合は平常状態より速めの演奏テンポで演奏することを意識できる。

心拍情報を用いることで客観的に自身の状態を知覚でき、要件 (1) を満たす。また、心拍情報は本番演奏直前でも確認でき、その心拍情報により自身の演奏テンポの調整を意識するだけで良く簡便で即時利用性や即効性が高い。これにより要件 (2) および要件 (3) を満たす。さらに、本手法は、緊張や興奮状態であることを前提とし、時間評価が普段と異なることを意識させることに注目しているため、さまざまな状況に柔軟に対応できる。これにより、要件 (4) を満たす。

#### 4. 実装

3 章で述べた、本番演奏におけるテンポ制御のための心拍情報提示システムのプロトタイプを実装した。演奏者の心拍数の取得には、GM3 社の RF-ECG を用いた。表 1 に

表 1: RF-ECG 製品仕様

機能, その他	仕様
サイズ, 形状	幅 40 mm 長さ 35 mm 厚み 7.2 mm (± 2mm)
素材	A B S 樹脂 (プラスチック)
転送レート	1Mbps
通信距離	約 15m
連続使用時間	約 120 時間 25
ゲイン	60dB ~ 80dB 可変
サンプリングレート	204Hz, 102Hz 切替可

製品仕様と図 3 にその外観を示す。RF-ECG は小型かつワイヤレス接続であるため、胸に直接つけるだけで心電を計測できる。RF-ECG によって得られる基本心電図を図 4 に示す。R 波とは電圧が最も高い波であり、R-R 間隔は、ある R 波のピーク値から次の R 波のピーク値までの時間的な間隔を意味する。本研究では、式 (1) を用いて心拍数を算出する。

$$\text{現在の心拍数 (BPM)} = \frac{60 \text{ (秒)}}{\text{最新 30 個の R-R 間隔の平均 (秒)}} \quad (1)$$

#### 5. 評価

提案手法の有用性を検証するために、本番環境を用意し、提案手法、電子メトロノームを本番直前に聞いてもらう比較手法、テンポ制御を適用しないテンポ非制御手法の場合の 3 つをそれぞれ適用した場合について、心拍データおよび演奏テンポの違いを比較した。

##### 実験方法

本実験では、平常状態および本番環境での演奏における演奏テンポと心拍数を取得した。平常状態とは、聴衆がいないなど普段練習している状態で演奏することである。平常状態のデータは、被験者が十分課題曲を訓練し、本番と同等の習熟度合いで演奏できるようになった状態で採取した。データ採取時は、被験者に心拍センサをつけてもらい、

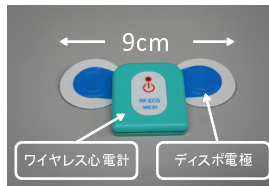


図 3: RF-ECG 外観

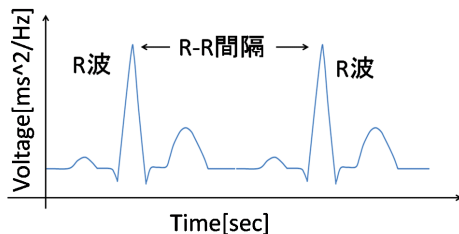


図 4: 基本心電図

楽曲練習中の心拍数を計測する。また、演奏テンポを計測するために演奏を録音する。実験で採取したテンポを解析するためのアプリケーションを Processing で実装した。これは、キータッピングの間隔によって、テンポを計測・記録するものであり、拍子に合わせて Enter キーを叩き続けることで、現在のテンポをプログラムが算出する。演奏テンポの計測は各楽曲に対して 3 回行い、その平均を算出した。算出された平均演奏テンポを平常状態の演奏テンポとする。

本実験では表 2 に示す環境を本番環境として用意した。ここで、どの実験においても、観客は主に大学生および大学院生である。また、環境 3、環境 4 および環境 5 では同じ講義室を使い、観客はほぼ同じ学生である。

電子メトロノームを用いて本番前に平常状態のテンポを被験者にイヤホンで聞いてもらう手法を比較手法とした。このとき、テンポの提示には METRONOME STAR[17] を用いた。テンポ非制御手法においては、被験者に対して何もしない状態で、本番演奏を行なってもらった。

#### 被験者

被験者は、音楽経験者の大学生および大学院生による 4 名であり、それぞれドラム歴 9 年の被験者 A、ドラム歴 1 年の被験者 B、ギター歴 5 年の被験者 C、ギター歴 3 年の被験者 D である。被験者 A、被験者 C および被験者 D については、ソロ演奏のデータのみを取得し、被験者 B については、ソロ演奏のデータのみでなく、バンド演奏のデータも合わせて取得した。なお、バンド演奏は、被験者 B に被験者 C、被験者 D およびボーカル歴 3 年の学生を加えて行なった。

#### 課題曲

課題曲として使用した楽曲は 2 曲で、「轍 わだち」

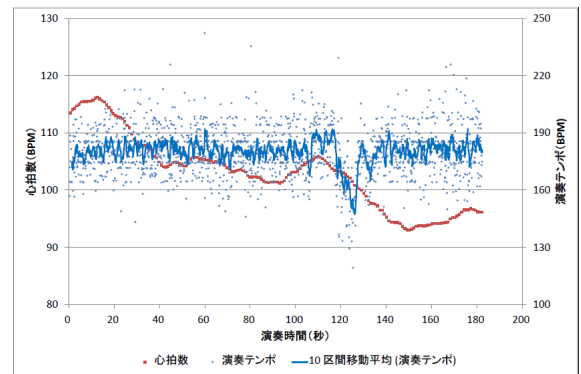


図 5: 被験者 B (単) の平常状態における曲 A 演奏時の心拍数と演奏テンポ

(小淵健太郎作詞, 作曲), 「日曜日よりの使者」(甲本ヒロト作詞, 作曲) である。ギターパートおよびドラムパートの演奏難易度が低いこの 2 曲を選定した。いずれの被験者もこれらの曲は十分に弾きこなせる。なお、これらの曲は以降それぞれ「曲 A」、「曲 B」と呼ぶ。両楽曲のギターパートには、基本的に伴奏が割り当てられているが、曲 A のブリッジ部分においてはギターのみでメロディラインを演奏する箇所があり、また、曲 B のブリッジ部分においてはギターとドラムによってメロディラインを演奏する箇所がある。

$$\text{増減比} = \frac{\text{演奏テンポの差分 (BPM)}}{\text{心拍数の差分 (BPM)}} \quad (2)$$

なお、被験者 A に対しては課題曲を用意せず、被験者本人に一定のテンポでのアドリブのドラムソロ演奏曲を用意してもらい、どの手法においてもその楽曲を演奏してもらった。

各被験者と適用させた本番環境を表 3 に示す。本番環境における課題曲の演奏時間も合わせて示す。ここで、表 3 中の「(単)」とは被験者がソロ演奏を行なった場合を示し、「(複)」とは被験者がバンド演奏を行なった場合を示し、本文中においても以降この記号を用いる。

#### 実験結果と考察

被験者 B (単) における提案手法適用時の心拍数および演奏テンポの時系列データを図 5 に示す。演奏中のテンポの推移をより大局的に見るために、各手法において演奏を 10 秒ごとに区切った区間における演奏テンポの平均を図 6 から図 9 に示す。

演奏テンポは、経験的に演奏開始直後に影響されるため、各手法において演奏開始 10 秒間のテンポおよび心拍数の平均値を本番演奏および平常状態についてそれぞれ求め、式 (2) で示されるような、本番演奏および平常状態の平均の差、演奏テンポの差を心拍数の差で割った値を表 4 に示す。これを増減比と呼ぶことにする。なお、演奏開始直後を採用した理由は、上記で述べた以外に、演奏全体における心拍数と演奏テンポに相関がなかったためである。こ

表 2: 本番環境の詳細

本番環境	日時	場所	観客
環境 1	2011 年 11 月 22 日	大学の講義室	およそ 200 名
環境 2	2011 年 12 月 12 日	大学構内の路上	通行人を含めおよそ 30 ~ 40 名
環境 3	2011 年 12 月 13 日	大学の講義室	およそ 100 名
環境 4	2012 年 1 月 10 日	大学の講義室	およそ 100 名
環境 5	2012 年 1 月 17 日	大学の講義室	およそ 100 名
環境 6	2012 年 1 月 31 日	大学のスタジオ	およそ 10 名
環境 7	2012 年 2 月 9 日	大学の会議室	およそ 40 名

表 3: 各被験者に適用した本番環境

	テンポ非制御手法			提案手法			比較手法		
	本番環境	課題曲	演奏時間	本番環境	課題曲	演奏時間	本番環境	課題曲	演奏時間
被験者 A	環境 3	アドリブ	0:52	環境 1	アドリブ	0:49	環境 4	アドリブ	0:49
被験者 B (単)	環境 2	曲 B	1:59	環境 1	曲 A	2:58	環境 4	曲 B	1:37
被験者 C	環境 5	曲 A	1:04	環境 1	曲 A	1:51	環境 7	曲 A	0:30
被験者 D	環境 6	曲 B	3:10	環境 6	曲 A	3:06	環境 5	曲 A	3:12
被験者 B (複)	環境 2	曲 B	2:18	環境 1	曲 A	3:03	環境 6	曲 A	2:49

表 4: 本番演奏開始直後の演奏テンポおよび心拍数の差分 (演奏テンポおよび心拍数の単位は BPM)

	テンポ非制御手法適用時			提案手法適用時			比較手法適用時		
	心拍数	テンポ	増減比	心拍数	テンポ	増減比	心拍数	テンポ	増減比
被験者 A	+27.4	+8.0	0.29	+49.5	-0.3	0.01	+7.1	+2.9	0.41
被験者 B (単)	+36.8	+8.3	0.23	+28.5	+2.8	0.10	+53.4	+9.0	0.17
被験者 C	+8.0	-13.8	1.73	+25.9	-2.4	0.09	+17.4	-4.7	0.27
被験者 D	+56.6	+2.9	0.05	+51.4	-4.4	0.09	+51.1	-7.0	0.14
被験者 B (複)	+11.0	+1.3	0.11	+31.8	-6.3	0.20	+28.0	+2.8	0.10
平均	+28.0	+1.3	0.48	+37.4	-2.1	0.10	+31.4	+0.6	0.22
標準偏差	17.8	8.1	0.63	10.8	3.2	0.06	18.3	5.8	0.11

れは、リズムパターンが切り替わる箇所や、伴奏からメロディラインの演奏に切り替わる箇所などにおいては、演奏テンポが変動し、適応した手法以外に楽曲の特性による要因が関わっているためである。

表 4 より、被験者 A、被験者 C、被験者 D および被験者 B (複) において、提案手法適用時、本番環境における心拍数が平常状態よりも増加している一方、演奏テンポが平常状態から低くなった。比較手法適用時において同様の結果が、被験者 C および被験者 D について見られた。テンポ非制御手法適用時にはいずれの被験者においても見られなかった。また、各手法の増減比の平均において t 検定を適用した p 値を表 5 に示す。t 検定の結果、どの組み合わせにおいても有意差が観測されなかった。

#### 被験者 A

被験者 A においては、増減比の小さい順に提案手法適用時、テンポ非制御手法適用時、比較手法適用時となった。被験者 4 名のうち、提案手法の効果最も大きく見られた。また、被験者 A は、図 6 に示すように、被験者 B (単) および被験者 D に比べて、全体的に演奏中の演奏テンポ変動が小さく、本番演奏におけるミスが見られなかった。これは、ドラム演奏歴がほかの被験者と比べて長いこと、被験者が弾き慣れてきたアドリブドラムソロでの演奏であった

ことのほかに、演奏に用いる楽器による特性であることも考えられる。すなわち、被験者 A が使用した楽器はドラムであり、ドラムは、楽曲におけるリズムづくりの基準となる楽器であるので、全体的に演奏中の演奏テンポ変動が小さかったと考えられる。

#### 被験者 B (単)

被験者 B (単) においては、増減比の小さい順に提案手法適用時、比較手法適用時、テンポ非制御手法適用時となった。被験者 B は「比較手法においては、普段から聞いたテンポで演奏する練習をしていなかったため、本番で聞いたテンポで演奏するのが難しかったが、提案手法適用時においては、テンポをいつもより低くすることだけ意識すればよく、テンポ調整がうまくできた。」と提案手法に対して肯定的なコメントをしていた。被験者 B (単) は、テンポ非制御手法適用時および比較手法適用時において、演奏中盤のメロディラインを演奏する箇所で運指ミスを起こしていた。また、提案手法適用時においても、メロディラインの弾き始めで運指ミスを起こし、平常状態とは異なるオリジナルのメロディラインを弾くというミスが見られた。平常状態では見られなかったこういったミスが見られたのは、被験者が緊張・興奮していたためであるか、もしくは緊張・興奮によって該当箇所における演奏テンポが平常状

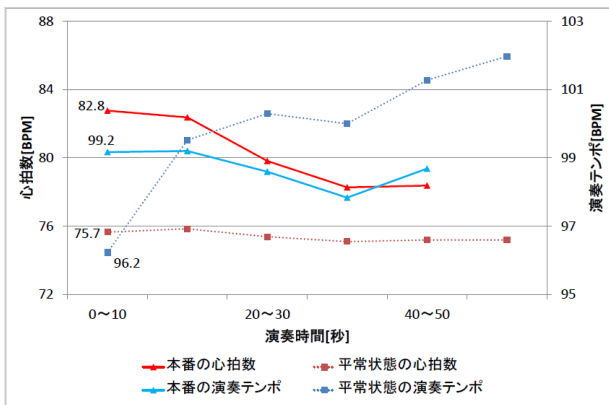


図 6: 被験者 A の比較手法適用時における心拍数と演奏テンポ

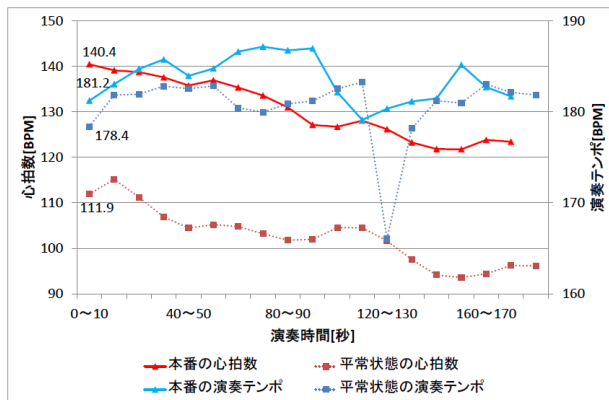


図 7: 被験者 B (単) の提案手法適用時における心拍数と演奏テンポ

態よりも速くなり運指が追いつけなかったためであると考えられる。また、被験者 B (単) は、適用手法にかかわらず、図 7 に示すように、楽曲中においてギターパートが伴奏からメロディラインに切り替わる箇所（平常状態の 110 秒付近、本番の 90 秒付近）においてそれまでの演奏テンポからの加速が見られ、再び伴奏へ戻る箇所（平常状態の 120 秒付近、本番の 100 秒付近）で演奏テンポの減速が見られた。さらに、音数の少ない伴奏から音数の多い伴奏に切り替わる箇所（平常状態の 130 秒付近、本番の 110 秒付近）においても演奏テンポの加速が見られた。これは、音数が変わることで音と音の間隔が変わるため、それまで刻んでいたテンポの感覚が変わるためではないかと考えられる。例えば、伴奏からメロディラインに切り替わる箇所では音数が増えるため、それまでの演奏テンポで演奏しようとした場合、音の間隔が必要以上につまってしまう、結果として加速することが考えられる。

#### 被験者 C

被験者 C においては、増減比の小さい順に提案手法適用時、比較手法適用時、テンポ非制御手法適用時となった。提案手法適用時および比較手法適用時において平常状態と比べて心拍数が高くなっている一方、演奏テンポは低くなっている。これは、提案手法や比較手法によってテンポ調整の意識が働きすぎたためであると考えられる。被験者 C は、図 8 に示すように、被験者 A に比べて、演奏中の演

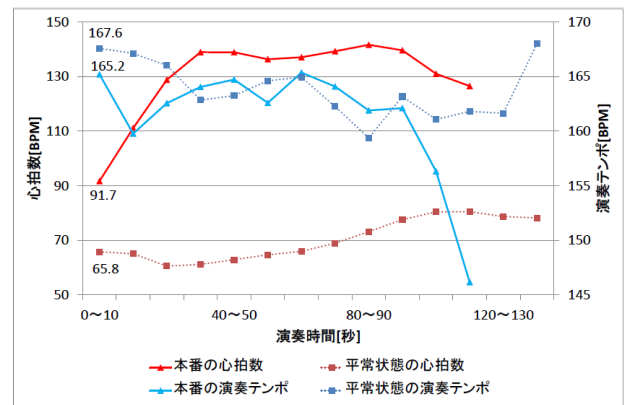


図 8: 被験者 C の提案手法適用時における心拍数と演奏テンポ

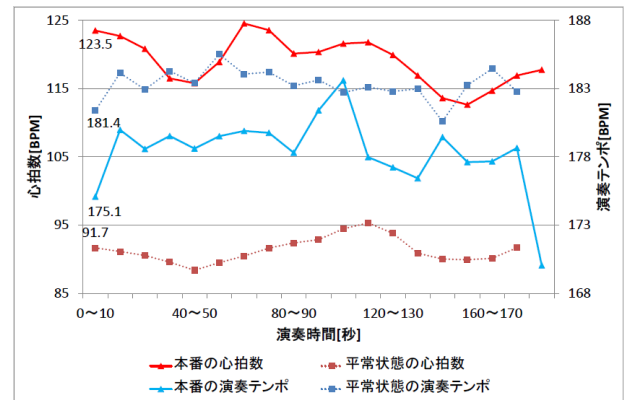


図 9: 被験者 B (複) の提案手法適用時における心拍数と演奏テンポ

表 5: 増減比に t 検定を適用したときの p 値

非制御手法－提案手法	比較手法－提案手法	非制御手法－比較手法
0.15	0.21	0.10

奏テンポの変動が目立ったが、これは、ドラム演奏歴が 1 年であり演奏技術が未熟であることによると考えられる。被験者 D

被験者 D においては、増減比の小さい順にテンポ非制御手法適用時、提案手法適用時、比較手法適用時となった。提案手法適用時および比較手法適用時において、平常状態と比べて、心拍数が高くなっている一方演奏テンポは低くなる結果が得られた。表 4 の結果からは、テンポ非制御手法適用時に最もテンポ制御を行っていたと考えられる。しかし、増減比の絶対値ではテンポ非制御手法適用時がもっとも低い値であるが、手法適用時は、心拍数が平常状態よりも増加した一方、演奏テンポが平常状態よりも低くなった。これは、提案手法適用時および比較手法適用時において、テンポを制御しようという意識が強く働きすぎたためであると考えられる。

#### 被験者 B (複)

被験者 B (複) においては、増減比の小さい順に比較手法適用時、テンポ非制御手法適用時、提案手法適用時となった。また、被験者 4 名のうち、比較手法の効果が最も大きく見られたが、提案手法の効果は最も小さかった。ま

た、被験者 B (複) においても、図 9 に示すように、メロディラインから伴奏へ戻る箇所 (本番の 100 秒付近) における演奏テンポの減速や、音数の少ない伴奏から音数の多い伴奏に切り替わる箇所 (本番の 110 秒付近) における演奏テンポの加速が見られたが、これらは被験者 B (単) の場合の理由と同じであると考えられる。ただ、図 9 に示すように、平常状態において曲 A を演奏した場合にはこういったテンポ変動は目立たなかった。これは、バンド演奏においてドラムが演奏に加わることでギター演奏におけるテンポ維持が容易になるからであると考えられる。このことは、図 7 および図 9 より、バンド演奏においては、ソロ演奏時に見られていた演奏箇所によるテンポ変動が目立たなくなっていたことからいえる。

以上より、ソロ演奏時においては、被験者 4 名のうち 3 名について、演奏テンポ制御における効果が提案手法適用時に最も高かったことや、提案手法適用時における増減比の平均が最も小さかったことから、本番演奏におけるテンポ制御の手法として、提案手法が有用である可能性が示された。しかし、提案手法によって平常状態の演奏テンポよりも低くなってしまいう結果が被験者 C および被験者 D において得られたため、より正しく平常状態の演奏テンポに近づけることが求められる。

## 6. おわりに

本研究では、本番演奏における演奏テンポの制御のための心拍情報提示手法の提案および評価を行った。提案手法は、平常状態および本番時の心拍情報を提示するというシンプルな手法であるが、演奏者が緊張・興奮状態にあっても、その緊張・興奮状態の程度に応じたテンポ調整の意識が働き、本番演奏時の演奏テンポを制御できる。提案手法の有用性を評価するために、本番環境を用意し、平常状態のテンポを本番演奏直前に聞かせるという比較手法、提案手法、テンポ制御を行わない手法を演奏テンポおよび心拍数から比較した。その結果、提案手法は比較手法やテンポ非制御手法と比べて演奏テンポを制御できていた。

今後の課題としては、これまで述べたもの以外に、クラシック音楽など、よりテンポに忠実なジャンルの演奏者に対する応用を行う予定である。また、運動後など心拍数が増加しているときにおけるテンポ変動の調査を行う予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (さきがけ) および文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A) (20240009) によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] M. Haider and E. Groll-Knapp: Psychophysiological Investigations into the Stress Experienced by Musicians in a Symphony Orchestra. In M. Piperek (Ed.) *Stress and Music: Medical, Psychological, Sociological, and Legal Strain Factors in a Symphony Orchestra Musician's Profession*, pp. 15–34. Wilhelm Braumuller, Vienna (1981).
- [2] D. Mulcahy, J. Keegan, A. Fingret, C. Wright, A. Park, J. Sparrow, D. Curcher, and K. M. Fox: Circadian Variation of Heart Rate is Affected by Environment: a Study of Continuous Electrocardiographic Monitoring in Members of a Symphony Orchestra, *British Heart Journal*, Vol. 64, pp. 388–392 (1990).
- [3] P. N. Juslin and J. A. Sloboda: Music and Emotion: Theory and Research (Series in Affective Science), *Oxford University Press*, (2001).
- [4] 藤沢健太, 青山拓央, 鎌田祥仁, 松野浩嗣, 井上慎一, 一川誠, 森野正弘, 石田成則, 辻 正二: 時間学概論, 恒星社厚生閣 (2008).
- [5] R. G. Foster and L. Kreitzman: Rhythms of Life, *Profile Books*, (2004).
- [6] M. L. Wolfe: Correlates of Adaptive and Maladaptive Musical Performance Anxiety, *Medical Problems of Performing Artists*, Vol. 4, No. 1, p. 49 (1989).
- [7] A. Steptoe: Stress, Coping and Stage Fright in Professional Musicians, *Psychology of Music*, Vol. 17, No. 1, pp. 3–11 (1989).
- [8] M. Fishbein, S. E. Middlestadt, V. Ottati, S. Straus, and A. Ellis: Medical Problems among ICSSOM Musicians: Overview of a National Survey, *Medical Problems of Performing Artists*, Vol. 3, No. 1, p. 1 (1988).
- [9] S. Liden and C. G. Gottfries: Beta-blocking Agents in the Treatment of Catecholamine-induced Symptoms in Musicians, *The Lancet*, Vol. 304, Issue 7879, p. 529 (1974).
- [10] I. James and I. Savage: Beneficial Effect of Nadolol on Anxiety-induced Disturbances of Performance in Musicians: a Comparison with Diazepam and Placebo, *American Heart Journal*, Vol. 108, Issue 4, pp. 1150–1155 (1984).
- [11] K. A. Neftel, R. H. Adler, L. Kappeli, M. Rossi, M. Dolder, H. E. Kaser, H. H. Bruggesser, and H. Vorkauf: Stage Fright in Musicians: a Model Illustrating the Effect of Beta Blockers, *Psychosomatic Medicine*, Vol. 44, Issue 5, pp. 461–469 (1982).
- [12] 南雲仁一, 西村千秋: バイオフィードバック, 電気学会誌, Vol. 101, No. 6, pp. 37–40 (1981).
- [13] 荒木 学, 屋井鉄雄, 平田輝満: バイオフィードバックによる居眠り運転防止方法の評価, 土木計画学研究講演集, Vol. 29, CD-ROM (2004).
- [14] J. R. Levee, M. J. Cohen, and W. H. Rickles: Electromyographic Biofeedback for Relief of Tension in the Facial and Throat Muscles of a Woodwind Musician, *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, Vol. 1, No. 1, pp. 113–120 (1976).
- [15] R. L. Morasky, C. Reynolds, and L. E. Sowell: Generalization of Lowered EMG Levels during Musical Performance following Biofeedback Training, *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, Vol. 8, No. 2, pp. 207–216 (1983).
- [16] W. R. LeVine and J. K. Irvine: In vivo EMG Biofeedback in Violin and Viola Pedagogy, *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, Vol. 9, No. 2, pp. 161–168 (1984).
- [17] METRONOME STAR, <http://itunes.apple.com/>

[jp/app/metronome-star/id365846943?mt=8](http://jp/app/metronome-star/id365846943?mt=8).