

# 触覚提示を用いたフレーズ内在化に基づく 打楽器学習支援システム

菅家浩之<sup>1,a)</sup> 寺田 努<sup>1,2,b)</sup> 塚本昌彦<sup>1,c)</sup>

概要：打楽器演奏では、正しい叩打順序や叩打強弱で演奏することが重要である。演奏技術を向上させる上では、フレーズや強弱パターンが身体に身に付き、その演奏情報が学習者の内面に取り込まれた状態（内在化した状態）になることが重要である。しかし、従来の電子譜面等や音楽ゲームなどの学習方法では学習者は実際に打楽器を叩く動作をしながら情報提示を受けるため、複雑な演奏動作を行う打楽器演奏においては演奏情報の提示に注力できず、フレーズを内在化させることが難しい。そこで本研究では、学習者が演奏情報を正しく取り込むために、学習過程において情報提示を受けフレーズを内在化させるフェーズと叩打動作を実際に行うフェーズを分離する学習方法を提案する。提案手法では演奏情報の提示を受けることに注力させる学習を予め行うことで、フレーズを正しく演奏する感覚を身体に内在化させる。本稿では、触覚、視覚および聴覚による情報提示を用いたフレーズの内在化による打楽器学習支援システムを提案し、プロトタイプシステムを構築した。また、プロトタイプシステムを用いて提案手法の有用性の検証を行った。評価実験の結果より、提案手法を用いて課題フレーズを学習した場合、従来の学習方法に比べ学習時間を短縮できることが示された。

## A Percussion Learning System Based on Phrase Internalization with Haptic Indications

HIROYUKI KANKE<sup>1,a)</sup> TSUTOMU TERADA<sup>1,2,b)</sup> MASAHIKO TSUKAMOTO<sup>1,c)</sup>

**Abstract:** Mastering the correct stroking order and stroking strength when playing percussion is important. To play percussion well, it is important for learner that they internalize performance information of learning phrase. Percussion learning systems using haptic and visual indications have been developed. However, because learners using previous learning method are stimulated by the indications of percussion performance information while stroking, perceiving these indications is not easy. Therefore, we propose a learning method that presents the two phases separately so that learner can internalize percussion performance. One of them is a phase where the learners receive the indications of performance information, and the other is a phase where they actually practice stroking. Learners first internalize a phrase through the indications of performance information. This paper describes a percussion learning system using phrase internalization with haptic, visual, and auditory indications and the design of the prototype system. We also present our evaluation of the prototype system's effectiveness. The results of an experiment demonstrated that our method enabled reductions in the learning time, as compared with previous learning method.

### 1. はじめに

打楽器演奏はピアノやギターといったメロディを生成する楽器と異なり、正しい叩打順序および叩打強弱で演奏することが重要とされている。例えば、図1に示すように、異なる2つフレーズにおいて叩打する左右の腕を動作させ

<sup>1</sup> 神戸大学  
Kobe University  
<sup>2</sup> 科学技術振興機構さきがけ  
PRESTO, Japan Science and Technology Agency  
a) kanke@stu.kobe-u.ac.jp  
b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp  
c) tuka@kobe-u.ac.jp

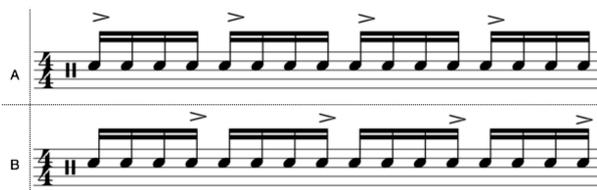


図 1 打楽器演奏フレーズ

るタイミングが同じであっても、それぞれのフレーズのアクセントの位置によってリズムパターンは異なる。このように、打楽器演奏では単に演奏フレーズの叩打タイミングを暗譜するだけでは様々なフレーズの演奏には対応できず、抑揚をつけた演奏技術を身につけることが求められている。一方、打楽器初学者は正しい叩打順序や叩打強弱で演奏を行うことに慣れていない。

打楽器演奏の学習方法としては、習熟者の演奏動画を見ながら、繰り返しフレーズを訓練する方法や音楽ゲーム [1], [2] のようにフレーズに同期した電子譜面を用いて練習する方法などがある。また、学習者に実際に演奏している感覚を与えるために、振動刺激による触覚提示を用いて直接学習者の身体に手本となるフレーズの叩打の順序や強弱といった演奏情報を伝える打楽器学習支援システム [3] も提案されてきた。しかし、これらの学習支援システムでは学習者は実際に打楽器を叩きながら、電子譜面や振動刺激といった情報提示を受けている。こうした学習方法においては、学習者は提示される演奏情報を知覚することと実際に身体を動かすことの 2 つのタスクを同時に行うため、フレーズを正しく演奏する感覚を取り込みにくい。また、これらはシステムが提示する演奏情報に叩打動作を合わせるといった受動的な学習スタイルであるため、自発的に演奏が行えるようになるための支援は行えない。

本研究では、外部から与えられるフレーズの演奏情報を学習者の内面に取り込む必要性に着目した。これを本研究ではフレーズの内在化と定義する。課題フレーズを内在化することによって学習者は正しく演奏する感覚を身に付け、演奏技術を向上させると考える。従来の打楽器学習では演奏情報を受けるフェーズと叩打動作を行うフェーズが同時に行われていたため、フレーズの内在化が難しかった。一方、本研究で提案する学習支援では、学習者が課題フレーズの内在化を行うために、演奏情報の提示を受けるフェーズと叩打動作を行うフェーズを分離する。実際に叩打動作を伴った学習を始める前に、電子譜面による視覚提示、フレーズの音声提示および叩打順序、強弱に同期した触覚提示を受ける学習を予め行うことで、最初に自分自身が正しく演奏している感覚を身体に内在化させる。このように学習することで正しく演奏する感覚が身体に取り込まれ、叩打動作を伴った学習段階では効率的に練習が行えると考えられる。

したがって、本研究では、触覚、視覚および聴覚による情報提示を用いたフレーズ内在化による学習支援システムを構築する。提案システムでは、アプリケーション上でユーザは目標とするフレーズに対し、叩打順序や強弱に関する情報を設定する。ユーザは触覚提示デバイスを両人差し指に装着し、設定したフレーズの演奏情報に同期して触覚提示を受ける。同時にユーザは電子譜面による視覚提示および音声による聴覚提示を受ける。また、プロトタイプシステムを用いて提案手法の有用性を検証する。

以下、2章で関連研究について説明し、3章で設計について述べる。4章で実装について説明し、5章で評価実験とその考察について述べる。最後に6章でまとめを述べる。

## 2. 関連研究

打楽器演奏において、これまでにさまざまな演奏情報の提示による学習支援システムが提案されてきた。YAMAHA社の SongBeats[4] はドラムの演奏情報をアニメーションを用いて演奏者に提示する練習アプリケーションである。Roland社のドラム練習アプリケーション V-drums FriendJam[5] では、演奏者はプロドラマーの演奏映像と電子譜面を見ながらフレーズを学習できる。しかし、こうしたアプリケーションでは、高速に叩打動作を行うドラム演奏において両手それぞれの動きを理解することは難しい。また、映像を用いた学習方法ではどのタイミングでアクセントをつけていたのか理解しづらく、実際に叩打動作するイメージを掴みにくい。このため、演奏者は手足を別々に動作させる感覚を掴むまでに時間を要する。また、楽器演奏の指導においては最初に演奏フレーズを聞いてイメージトレーニングを行った後で演奏動作に移す学習方法も行われているが、振動刺激など直接身体に与えながらイメージトレーニングをする手法は行われていない。

視覚や聴覚による学習支援だけでなく、触覚提示を用いた学習方法もこれまでに提案されてきた。Chafe[6] は触覚提示による学習支援は楽器演奏において有効であると述べている。打楽器学習支援として Hollandら [3] は Haptic Drum Kit を提案している。Hapkit Drum Kit では学習者は両手両足それぞれに振動モータを内蔵したバンドを装着し、課題フレーズに同期して動作する振動デバイスの情報を利用することでドラム学習の効率化を図っている。しかし、このシステムは学習者が振動デバイスの動作するタイミングに合わせて演奏することを想定しているため、受動的な学習となり演奏情報を知覚しにくい。Grindlay[7] は HAGUS と呼ばれるアクチュエータデバイスを用いて、叩打タイミングを提示するシステムを開発しているが、叩打タイミングに合わせて演奏者の腕を強制的に動作させるため、自発的に叩打動作を行うことを支援していない。同様に、Lewiston[8], Huangら [9], Hayes[10], Youngら [11] および三浦ら [12] は触覚提示を用いた楽器演奏支援システムを

開発してきた。これらのシステムは演奏情報の提示を受けながら演奏動作の練習を行うことを想定しているため、学習者がフレーズを内在化することを目的としていない。このように情報提示を受けるフェーズと楽器を演奏する動作を行うフェーズを別々に行う学習方法はこれまでに行われていない。

Phillips-Silver ら [13] は身体を動かすことや刺激を受けることとリズム知覚の相関性について調査した。この研究における検証実験では生後 7 ヶ月の乳幼児に最初にアクセントのないリズムを聞かせながら、そのリズムテンポに合わせて乳幼児を一定のアクセントをもつリズムで身体を支えた状態で上下に揺らした。その後、身体を揺らした場合と同じアクセントをもつリズムとアクセントが異なるリズムの 2 種類のリズムを聴かせた場合、乳幼児は身体を揺らした場合と同じアクセントをもつリズムの方を長く聴く傾向にあったと述べている。このように直接身体でリズムを知覚することは演奏情報を理解する上で有用であると考えられる。同様に成人でも相関性があることを述べている [14]。これら実験では最初に情報提示のみを受けるフェーズを設定しているが、被験者はリズム提示を無意識に受け続けるプロセスしか行っておらず、本研究のようにリズムの内在化のために提示情報の知覚に注力させることを目的としていない。

また、小川ら [15] は触覚提示を用いた単語暗記支援システムを提案し、キーボード上で単語をタイピングする感覚を身体に取り込むことで、自力で単語を想起させることを支援している。このシステムでは演奏支援は想定していないが、著者らは外部から情報刺激を内在化することが楽器演奏の学習にも適用できると考えた。本研究では、触覚、視覚および聴覚の情報提示を用いて学習者に正しく演奏する感覚を内在化させる学習方法を構築する。

### 3. システムの設計

#### 3.1 システムの方針

本研究は打楽器演奏初学者が正しい叩打順序およびアクセント技術を習得するために提案システムを用いることを想定している。また、本稿では打楽器演奏において基本となるシングルストロークでの演奏技術を向上させる学習支援を提案する。本システムでは触覚、視覚および聴覚による情報提示を用いて叩打順序および強弱の演奏情報を学習者に提示する。提案システムの概要を図 2 に示す。打楽器演奏において学習の効率化を行うために、以下の 2 つの方針をもとに提案システムを設計した。

- (1) フレーズの内在化
- (2) 学習フェーズと演奏フェーズの分離

はじめにフレーズの内在化について述べる。これまでに

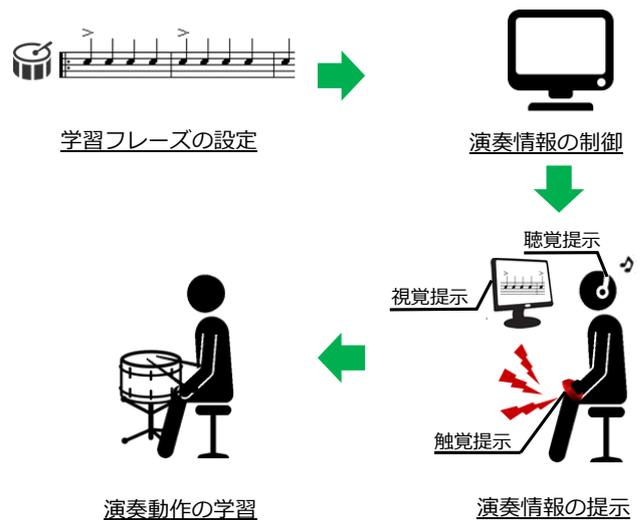


図 2 システム概要

楽器演奏において電子譜面や振動刺激などによる演奏情報の提示を用いた学習支援が提案されてきた。このように外部から演奏情報を与え、学習者が内面に取り込むことは演奏学習において有用であると考えられる。本研究では、このように学習者が本来備えていないフレーズを正しく演奏する感覚を自身に身に付けて技術を習得するプロセスをフレーズの内在化と定義する。内在化されている状態を表す例として、絶対音感があげられる。絶対音感は先天的にもつ能力ではなく、外部から与えられる音とその音高情報を繰り返し知覚することで習得できるといわれている [16]。絶対音感の場合、正しい音高情報を学習者が内面に取り込んでいることが内在化されている状態といえる。本稿で述べるフレーズの内在化とは与えられるフレーズとその演奏動作を繰り返し知覚し、フレーズごとの演奏方法を習得している状態を表す。特に、実際の打楽器演奏においては短い小節単位のフレーズを繰り返し演奏する 경우가多く、楽曲全体を学習するピアノ演奏などとは異なり、短いフレーズを正確に演奏する技術が重要である。また、打楽器演奏の場合、叩打するタイミングだけでなく正しい叩打順序と叩打強弱で演奏する感覚を内在化する必要がある。

次に学習フェーズと演奏フェーズの分離について説明する。図 3 は提案システムの利用方法を示している。図 3 の上側で示すようにこれまで演奏情報の提示を用いた学習方法では、触覚、視覚および聴覚による情報提示の知覚と叩打動作による学習を同時に行ってきた。この学習では、学習者は提示される演奏情報に動作を合わせることに注力したり、叩打動作を行うことで演奏情報を知覚することを忘れるため、正しく演奏する感覚を取り入れにくく、フレーズの内在化が難しい。一方で、図 3 の下側で示すように提案手法では触覚および視覚、聴覚の提示を受けている間は叩打動作は行わず、システムによる視覚、聴覚および触覚による情報提示だけを受けて課題フレーズの学習を行う。

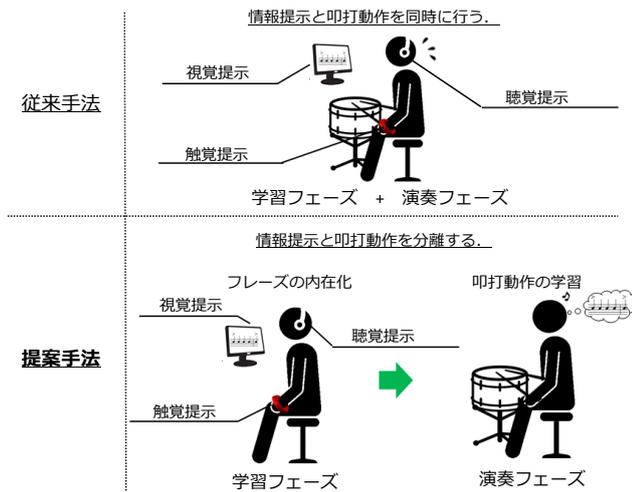


図 3 学習フェーズと演奏フェーズの分離

このように本研究では、学習過程において演奏情報の提示を受けるフェーズ(学習フェーズ)と叩打動作を行うフェーズ(演奏フェーズ)を分離する。各フェーズは学習フェーズ、演奏フェーズの順で行う。学習フェーズを予め行うことで、学習者は提示情報を知覚することに注力できるため、正しく演奏する感覚を身体に内在化させる。この学習過程にしたがって提案システムを利用することでより効率的に学習が行えると考えられる。また、学習者が演奏フェーズで演奏動作の誤りを認識できるように、この学習過程(学習フェーズ→演奏フェーズ)を繰り返してフレーズの演奏技術を向上させることを想定している。

### 3.2 演奏情報の提示

提案システムは学習者が正しい叩打順序および強弱でフレーズを演奏するための支援を行う。1章で述べたように打楽器演奏において初学者は単純なフレーズに対しては叩打タイミングは理解しやすいが、叩打強弱を付けた演奏動作を行うことには慣れていない。本研究では、学習者が打楽器学習を行う上で身に付けておくべき技術として、正しい叩打順序および叩打強弱を習得するシステムを提案する。

学習者が叩打強弱を付けた演奏動作を行う感覚を身に付けるために、本システムでは振動刺激による情報提示を行う。ユーザは打楽器演奏において、実際の演奏において手で打楽器を叩打する場合に最も早く触覚のフィードバックを受ける箇所として、両手の人差し指の先に振動デバイスを装着する。本システムでは、初学者に強弱の違いを知覚させるため、2段階の強さで振動刺激の提示を行う。また、フレーズに同期した電子譜面による視覚提示およびフレーズの音声再生される聴覚提示を行うソフトウェアを構築する。触覚、視覚および聴覚による全ての演奏情報は同期して提示される。



図 4 プロトタイプシステム

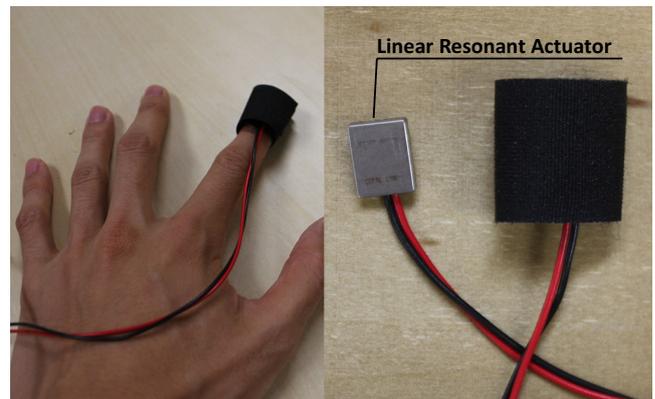


図 5 触覚提示デバイス

## 4. 実装

提案システムのプロトタイプシステムを実装した。図4に示すようにプロトタイプシステムはハードウェアとして振動刺激を行う触覚提示デバイスと振動刺激の制御、電子譜面の表示、フレーズの設定を行うソフトウェアおよび音声出力を行うMIDI音源モジュールで構成される。触覚提示デバイスはマイコンボードを含むメインモジュールと脱着可能な2個の振動バンドで構成されている。メインモジュールのマイコンボードはArduino Nano 3.1を使用し、メインPCとUSB接続され、ソフトウェアで設定した課題フレーズに同期して振動バンドの駆動制御を行っている。図5の左側は振動子が内蔵された指装着型の振動バンドを示し、ユーザは人差し指に装着する。触覚提示デバイスは、振動刺激を電子譜面およびフレーズの音声と同期して動作させるために、応答性が高く、振幅の大きい振動子である日本電産コパル社のリニアパイプレータ(LRA) LD14-002を採用した。図5の右側は振動バンドの内部を示す。振動子が1回の振動刺激で駆動する時間は40msに設定した。

PC上のソフトウェアの開発はWindows 8上でMicrosoft Visual C++ 2012を使用した。図6はプロト

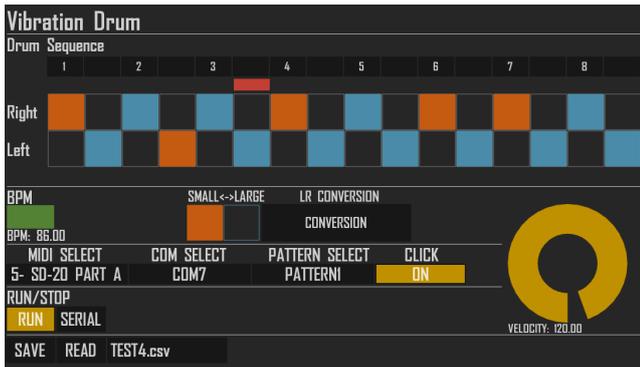


図 6 アプリケーション画面

タイプのアプリケーションのスクリーンショットを示す。ユーザはアプリケーション上でフレーズの設定、保存および読み出しや演奏テンポの制御が行える。また、アプリケーション画面の上部は課題フレーズの譜面を示し、赤色のセルは演奏タイミングを示すインジケータであり、テンポに同期して譜面上を移動する。オレンジ色のセルは強く叩打する箇所、青色のセルは弱く叩打する箇所であり、ユーザは手動で課題フレーズを設定できる。譜面上部のセル列は右手の叩打情報を示し、下部は左手の叩打情報を示している。音声提示で用いる出力音源は Roland 社の MIDI 音源モジュール SD-20 を使用した。

## 5. 評価

提案手法の有用性を検証するためにプロトタイプシステムを用いて評価実験を行った。

### 評価内容

評価実験では、被験者が課題フレーズに対して従来手法および提案手法を用いて打楽器演奏の学習を行い、各手法を適用した場合の学習時間を調査した。各手法において被験者が行う学習方法は下記の通りである。

**従来手法** 情報提示を受けながら叩打動作を行って学習する。

**提案手法** 情報提示を受ける学習と叩打動作を行う学習を別々に行う。

また、各手法を用いた学習では触覚提示を用いることによる有用性を検証するために学習者は下記の各条件で情報提示を受ける。

触覚提示なし 聴覚 (音声) + 視覚 (譜面)

触覚提示あり 聴覚 (音声) + 視覚 (譜面) + 触覚 (振動)

評価実験は「学習ステップ」と「テストステップ」の2つの実験ステップで構成されている。学習ステップでは各手法で課題フレーズを5分間学習する。5分間の学習後、テストステップに移り確認テストを行う。確認テストにお



図 7 学習ステップの様子

いて被験者が正しく演奏できていれば実験は終了し、正しく演奏できていなければ再度学習ステップに戻り、確認テストを行い、正しく演奏できるまで2つの実験ステップを繰り返し行う。次に学習ステップおよびテストステップの詳細を示す。

### 学習ステップ

図7に被験者が学習ステップにおいて各条件で課題フレーズを学習している様子を示す。学習ステップでは被験者はヘッドフォンをして、周囲の音声が聞こえないようにする。学習中は課題フレーズがループ再生され、被験者はシステムを停止することができず、常に演奏情報の提示を受ける。従来手法を用いた学習では、情報提示を受けながら叩打動作の学習が行えるが、提案手法では演奏感覚を内在化させることに集中させるため、叩打動作の練習は行わず、被験者が机や自分の太ももなどをタップしながら演奏することを禁止している。ただし、イメージトレーニングのように課題フレーズを口ずさんだり、空中で指をタップする動作は許可している。

### テストステップ

図8にテストステップの様子を示す。テストステップでは学習ステップで訓練した課題フレーズの演奏の確認テストを行う。確認テスト中、被験者はシステムの電子譜面の利用はできるが、聴覚、触覚による情報提示は受けられず、自力で演奏しなければならない。確認テストにおいて被験者は電子パッドを用いて課題フレーズを演奏し、評価者はDAW(デジタルオーディオワークステーション)ソフトウェアを用いて演奏内容を記録し、正しく演奏できているか確認を行う。また、被験者は正確なテンポで演奏する必要はなく、正しい叩打順序と叩打強弱で演奏ができているか演奏内容を確認する。確認テストは3分間実施し、課



図 8 テストステップの様子

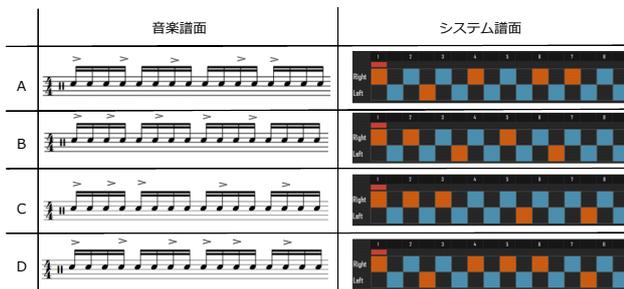


図 9 課題フレーズ

題フレーズを繰り返し 4 回連続で演奏できた場合、学習終了とする。テスト開始から 3 分以内であれば、演奏途中で失敗した場合でも、再度演奏をやり直すことができる。

#### 学習時間

本実験では学習ステップおよびテストステップで要した時間の合計を学習時間とする。学習時間は 30 秒単位で計測した。例えば、学習ステップを 3 回行い、3 回目のテストステップの 1 分 30 秒後にフレーズを正しく演奏できた場合、学習ステップの総時間は 15 分 (5 分 × 3 回)、テストステップの総時間は 7 分 30 秒 (3 分 × 2 回 + 1 分 30 秒) であるため、学習時間は 22 分 30 秒となる。

#### 課題フレーズ

評価実験において被験者は図 9 に示す 4 つの異なる課題フレーズを学習する。従来手法を用いた学習ではフレーズ A およびフレーズ B を学習し、提案手法ではフレーズ C およびフレーズ D を学習する。課題フレーズは 1 小節で構成され、スネアドラムを 16 分音符のタイミングで左右交互にアクセントに従って叩打するリズムパターンである。図 9 の譜面で示す通り、フレーズごとにアクセントの位置が異なる。実験中に被験者が使用する譜面は図 9 の右側に示す提案システムのソフトウェアアプリケーションの電子譜面である。また、課題フレーズの提示テンポとして BPM は 60 に設定した。

表 1 学習手順 (従来手法/提案手法)

被験者	1 回目		2 回目	
	フレーズ	触覚提示	フレーズ	触覚提示
I, II	B/D	あり	A/C	なし
III, IV	A/C	あり	B/D	なし
V, VI	B/D	なし	A/C	あり
VII, VIII	A/C	なし	B/D	あり

#### 被験者および学習手順

被験者は楽器演奏が未経験である大学生および大学院生の 8 名である。被験者は全員右利きであった。被験者 8 名を 2 名ずつ 4 つの実験条件のグループに分けた。全ての被験者は最初に従来手法を用いて学習を行い、次に提案手法を用いて学習を行った。学習回数による演奏の慣れの影響を軽減するために提案手法を用いた学習は 1 週間後に行った。各手法における被験者ごとの学習手順を表 1 に示す。例えば、被験者 V, VI は B(触覚提示なし)→A(触覚提示あり)→D(触覚提示なし)→C(触覚提示あり)の順で学習を行った。被験者は本実験を行う前に、打楽器演奏やシステムの利用に慣れてもらうため、30 分間の予備学習を行った。予備学習を行った後、被験者はこの学習順序に従って学習を行った。また実験終了後に被験者のアンケート調査を行った。アンケート調査では被験者が主観的に難しいと感じたフレーズおよび評価実験の感想を自由記述欄に回答してもらった。

#### 結果と考察

表 2 は各被験者の各実験条件ごとの学習時間を分単位で示す。下段は各学習順ごとの平均値および各手法ごとにおける平均値を示している。

分散分析の結果によると、適用手法間の主効果 ( $F_{(1,24)} = 12.54, p < .05$ ) および触覚提示の利用条件における主効果 ( $F_{(1,24)} = 4.42, p < .01$ ) に有意差がみられた。また、実験後のアンケート調査において被験者の主観的に最も難しいと感じたフレーズは 2 名の被験者がフレーズ B と回答し、残りの 6 名は各フレーズにレベル差を感じなかったと回答した。したがって、設定した課題フレーズにおいて主観的な難易度に大きな差がなかったことが確認された。

表 2 で示すように、各学習順における学習時間の平均値は異なった。しかし、学習順における主効果および学習順と関連する全ての交互作用で有意差がみられなかった。したがって、本実験においては学習順が学習時間に与える影響はないといえる。

適用手法と学習時間における相関性について分析する。表 2 で示すように、提案手法を用いた場合、従来手法を用いた場合に比べ、約 7 分早く学習できた。したがって、分散分析の結果より、適用手法における主効果に有意差がみられたことから、本実験において提案手法による学習が従来手法に対して有用であることを確認した。

表 2 学習時間 [分]

適用手法	従来手法								提案手法								
	1 回目				2 回目				1 回目				2 回目				
	なし		あり		なし		あり		なし		あり		なし		あり		
フレーズ	A	B	A	B	A	B	A	B	C	D	C	D	C	D	C	D	
被験者	I	-	-	-	8.00	14.0	-	-	-	-	-	-	6.00	7.00	-	-	-
	II	-	-	-	14.5	14.0	-	-	-	-	-	-	5.50	8.00	-	-	-
	III	-	-	16.0	-	-	25.0	-	-	-	-	8.00	-	-	7.00	-	-
	IV	-	-	6.50	-	-	16.0	-	-	-	-	6.50	-	-	6.50	-	-
	V	-	22.5	-	-	-	-	6.50	-	-	14.0	-	-	-	-	6.50	-
	VI	-	30.5	-	-	-	-	8.00	-	-	8.00	-	-	-	-	7.00	-
	VII	6.00	-	-	-	-	-	-	22.5	6.50	-	-	-	-	-	-	7.00
	VIII	14.0	-	-	-	-	-	-	7.50	6.50	-	-	-	-	-	-	6.00
学習順の平均	14.8				14.2				7.63				6.88				
手法の平均	14.5								7.25								

表 3 触覚提示の利用条件における学習時間 [分]

触覚提示	なし		あり	
	従来手法	提案手法	従来手法	提案手法
適用手法	17.8	7.94	11.2	6.56
平均時間	12.8		8.88	

次に触覚提示の利用における学習時間の分析を行う。表 3 は各条件ごとの学習時間の平均値を示している。表 3 で示すように、触覚提示を用いた場合、触覚提示を利用しない場合に比べ、約 4 分早く学習できた。分散分析の結果より、触覚提示の利用条件における主効果に有意差がみられたことから、触覚提示を用いた学習が有用であることが分かった。

また、適用手法と触覚提示の利用条件における学習時間の相関性について分析する。表 3 で示すように、提案手法および触覚提示を利用した場合に最も早く学習できたが、分散分析の結果では、適用手法と触覚提示の利用における交互作用に有意差はみられなかった。したがって、提案手法を用いた学習方法は触覚提示を用いた場合のみ有用であるのではなく、視覚および聴覚のみを用いた情報提示を用いた学習においても有用であることを確認できた。

被験者ごとの各条件の学習時間をみると、被験者 VII 以外の被験者は触覚提示の利用条件に関わらず、提案手法を用いた場合で学習時間の短縮がみられた。このことから、学習フェーズにおいて触覚提示を用いることで提示する情報量を増やした場合においても提案手法が有用な傾向にあると考えられる。また、被験者 VII は触覚提示なしの場合には適用手法によって学習時間に大きな差はみられなかったが、触覚提示ありの場合では提案手法で学習時間が短縮された。実験後に行ったアンケート調査では被験者 VII は情報提示と叩打動作を同時に行って学習する場合よりも、別々に行った場合の方が演奏する感覚を掴むことに集中で

きたと回答している。このように複数の情報提示を受ける場合、提案手法のように学習フェーズと演奏フェーズの分離がフレーズの演奏情報の内在化を支援できることが分かった。

一方で、アンケート調査では情報提示がループ再生で行われる場合、フレーズの小節の頭が分からなくなる事が多かったという回答がみられた。したがって、打楽器演奏学習のようにフレーズを繰り返し学習するシステムでは小節の頭をフレーズと異なる音声で提示することや、異なる強さの振動刺激で触覚提示する必要がある。また、提案手法での学習ステップでは自分がどれくらい演奏できているのか確認しづらかったというコメントが得られた。これは学習ステップの時間を短くし、学習ステップを行う回数を増やすことで自分の演奏を確認できる回数を増やすという方法が改善点としてあげられる。今後の検証として、学習ステップの時間を調整することによる学習時間の影響を調査した場合、学習ステップの設定時間と学習時間に相関性が確認できるのではないかと予測される。

以上より、提案手法では打楽器演奏において課題フレーズの学習時間を短縮できる傾向があるという結果が得られた。さらに、評価結果の客観性を高めるために、より複雑なフレーズの学習および、被験者を増やした実験を行う。また、長期的な学習を行った場合における演奏技術の検証など、情報提示を受ける時間の調整によって学習時間が変化するか調査する必要がある。

## 6. まとめ

本研究では、触覚、視覚および聴覚の情報提示を用いたフレーズの内在化による打楽器学習支援システムを提案し、プロトタイプシステムを構築した。提案システムでは、学習者は電子譜面による視覚提示、音声による聴覚提示に

加え、指に装着した触覚デバイスを用いて叩打順序や強弱といった演奏情報に同期した振動による触覚提示を受けながら学習を行った。また、提案システムは演奏情報の提示を受ける学習フェーズと演奏動作を行う演奏フェーズを分離した学習過程を行うことで、学習者がフレーズを内在化することで学習の効率化を支援する。提案手法の有用性を検証するために、課題フレーズを用いて学習時間の評価を行った。評価結果より、提案手法を用いて課題フレーズを学習した場合、従来手法に比べ学習時間が約7分短縮できることが分かった。また、触覚提示を利用する学習の方が触覚提示を利用しない場合に比べ、学習時間を短縮できることが確認できた。

今後の課題としては、より複雑なフレーズにおける学習での提案システムの有用性の検証および、被験者を増やした実験の実施があげられる。さらに提案システムを長期的に使用した場合における、有用性の評価や情報提示を行うタイミングのずれおよび提示時間を制御することでより効果的な学習支援が行えないか検討する。また、打楽器学習支援としての有用性を高めるためにダブルストロークや他のルーディメンツなど様々な奏法への適用や打楽器ごとの演奏動作を考慮した提示方法の解明を行う。

## 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)(23240010)によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] Rock Band:  
<http://www.harmonixmusic.com/games/rock-band/>.
- [2] Guitar Hero:  
<https://www.guitarhero.com/>.
- [3] S. Holland, A. J. Bouwer, M. Dalglish, and T. M. Hurting: Feeling the beat where it counts: fostering multi-limb rhythm skills with the haptic drum kit, *Proc. of the*

- International Conference on Tangible, embedded, and embodied Interaction (TEI 2010)*, pp. 21–28 (2010).
- [4] YAMAHA Song Beats:  
[http://jp.yamaha.com/products/apps/song\\\_beats/](http://jp.yamaha.com/products/apps/song\_beats/).
- [5] Roland V-Drums Friend Jam:  
<http://www.roland.com/jp/FriendJam/V-Drums/>.
- [6] C. Chafe: Tactile audio feedback, *Proc. of the International Computer Music Conference (ICMC 1993)*, pp. 76–79 (1993).
- [7] G. Grindlay: Haptic Guidance Benefits Musical Motor Learning, *Proc. of the Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 397–404 (2008).
- [8] C. Lewiston: MaGKeyS: A Haptic Guidance Keyboard System for Facilitating Sensorimotor Training and Rehabilitation, *PhD Thesis. MIT Media Laboratory*, (2008).
- [9] K. Huang, T. Starner, E. Do, and G. Weinberg: Mobile Music Touch: Mobile Tactile Stimulation For Passing Learning, *Proc. of the International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2010)*, pp. 791–800 (2010).
- [10] L. Hayes: Vibrotactile Feedback-Assisted Performance, *Proc. of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 2011)*, pp. 72–75 (2011).
- [11] G. Young, D. Murphy, and J. Weeter: AUDIO TACTILE GLOVE, *Proc. of the International Conference on Digital Audio Effects*, pp. 1–5 (2013).
- [12] S. Miura, and M. Sugimoto: Supporting Children’s Rhythm Learning Using Vibration Devices, *Proc. of the International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2006)*, pp. 1127–1132 (2006).
- [13] J. Phillips-Silver, L. J. Trainor: Feeling the beat: Movement Influences Infant Rhythm Perception, *Science*, Vol. 308, p. 1430 (2005).
- [14] J. Phillips-Silver, L. J. Trainor: Hearing what the body feels: Auditory encoding of rhythmic movement, *Cognition*, Vol. 105, pp. 534–546 (2007).
- [15] D. Ogawa, S. Ikeno, R. Okazaki, T. Hachisu, H. Kajimoto: Tactile Cue Presentation for Vocabulary Learning with Keyboard, *Proc. of the International Conference on User Interface Software and Technology (UIST 2014)*, pp. 73–74 (2014).
- [16] 榎原彩子: 絶対音感習得プロセスに関する縦断的研究, *教育心理学研究*, Vol. 47, No. 1, pp. 19–25 (1999).