

フレーズ内在化のための学習フェーズ分離による 打楽器学習支援手法

菅家 浩之^{1,a)} 寺田 努^{1,2,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

受付日 2017年2月2日, 採録日 2017年10月3日

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、フレーズや強弱のパターンを知覚し、その演奏情報が学習者の内部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、従来の電子譜面や音楽ゲームなどを用いた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、その動作がフレーズの内在化を妨げている可能性がある。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あらかじめ行うことで、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、フレーズ内在化のための打楽器学習支援手法を提案し、視覚、聴覚および触覚による情報提示を行う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。

キーワード: 学習支援, 打楽器, 内在化, 触覚提示

A Percussion Learning Method Using Separation of Learning Phase for Phrase Internalization

HIROYUKI KANKE^{1,a)} TSUTOMU TERADA^{1,2,b)} MASAHICO TSUKAMOTO^{1,c)}

Received: February 2, 2017, Accepted: October 3, 2017

Abstract: Mastering the correct stroking order and stroking strength when playing percussion is important. To play percussion well, it is important for the 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 method using phrase internalization with visual, auditory and haptic indications and the design of the prototype system. We also present our evaluation of the proposed method. The results of an experiment demonstrated that our method enabled reductions in the learning time, as compared with previous learning method.

Keywords: learning support, percussion, internalization, haptic indication

¹ 神戸大学
Kobe University, Kobe, Hyogo 567-8501, Japan
² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency, Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan

a) kanke@stu.kobe-u.ac.jp
b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp
c) tuka@kobe-u.ac.jp

1. はじめに

打楽器演奏では、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。図 1 は異なる 2 つのフレーズであり、音符上部にある記号は強く叩打する位置を示している。叩打する左右の腕を動作させ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、打楽器演奏では単純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。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。従来の学習方法ではこのように「身体を動かしながら学ぶ」ことがよいという前提の元で学習システムが一般的に構築されている。七澤ら [4] は、小学生がリズム提示を受けながらスキップのリズムによる歩行跳躍動作、片手を使ったボールのドリブルといった運動の学習を行うと、リズムを提示しない場合に比べて能力が向上したと述べている。しかし、七澤らの行った実験において、スキップしながらボールを投げ、キャッチするなど複数の動作を組み合わせた運動においてはリズム提示を用いた学習が有効でなかったと述べており、学習する動作によっては身体を動かしながら情報提示を受ける学習が最適でない場合があると考えられる。同様に、打楽器演奏は両手を異なるタイミングで別々に動作させ、叩打の強さを変えるなど複数の動作を行うため、動作を習得するために時間を要する場合、情報提示と身体運動を同時に学習する方法においては、それぞれのタスクを効率的に学習できないのではないかと本研究は仮説として提案する。

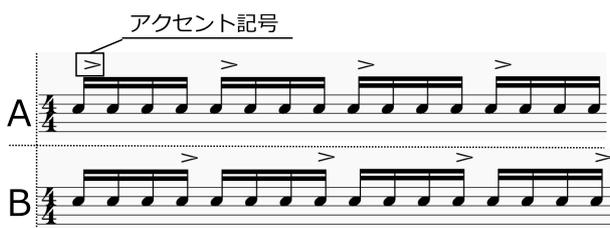


図 1 打楽器演奏フレーズ
Fig. 1 Percussion phrases.

したがって、打楽器演奏において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部に取り込む（以降、内在化と呼ぶ）には、情報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して学習することが、効果的であると考えた。本研究で提案する学習支援では、実際に叩打動作をともなった学習を始める前に、電子譜面による視覚提示、フレーズの楽音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だけを行い、最初に学習者自身が正しく演奏している感覚を知覚させる。情報提示によって正しく演奏する感覚を身につけた後に、叩打動作を行う学習に移ることで、身体を動かしながら情報提示を受ける場合に比べ、効率的に練習が行えると考えられる。

本研究ではフレーズ内在化のための打楽器学習支援手法を提案し、情報提示を行うシステムを構築する。システムでは、アプリケーション上でユーザは自力で演奏することを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。ユーザは設定したフレーズの演奏情報に同期した視覚、聴覚および触覚による情報提示を受ける。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、これまでに様々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。音楽ゲームや YAMAHA 社の SongBeats [5] や Roland 社のドラム練習アプリケーション V-drums FriendJam [6] では、学習者は電子譜面を見ながらフレーズを学習する。こうしたシステムは正しい演奏情報を提示するという点で有用であるが、斎藤ら [7] は音楽ゲームのプレイヤーの脳活動を計測したところ、自ら思考しようとする脳の活動量はカーレースやマージャンといった他のジャンルのゲームのプレイ中に比べて低かったと述べており、楽器演奏において新しいフレーズを学習するという点において、フレーズを内在化させる行為には至らず同じフレーズを再現するために注力する作業が行えていないのではないかと考えられる。

直接身体に振動刺激を与える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 [8] は触覚提示を用いた学習支援は楽器演奏において有効であると述べており、本研究では視覚提示や聴覚提示に合わせ、触覚提示を用いたシステムの利用を想定している。打楽器学習支援として Holland ら [3] は Haptic Drum Kit を提案している。Haptic 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して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 [9] 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 [10]、Huang ら [11]、Hayes [12] および Young ら [13] 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。また、楽器演奏の指導の現場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。

Phillips-Silver ら [14] 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カ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持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持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持つリズムの方を長く聴く傾向にあったと述べている。同様に成人でも相関性があることを述べている [15]。このように音声による情報提示だけでなく、直接身体でリズムを知覚することは与えられた情報を理解する上で有用であると考えられる。本研究では、最初に情報提示のみを受けるフェーズを設定することが、提示される情報の知覚を増加させ、情報提示を用いた学習支援にも適用できるのではないかと考えた。

また、これまでの脳科学分野において人間の脊髄には歩行リズムを生成する神経回路である Central Pattern Generator (CPG) が存在すると研究されてきた [16]。CPG は脳からのリズム刺激に関係なく、脊髄レベルで歩行リズムを形成するといわれ、ヒトは先天的に歩行におけるリズムを持っていると述べられてきた。人間が歩行リズムを形成する上でこの CPG は不可欠な神経回路ではあるが、本研究で提案する学習は外部からの刺激に反射したリズムを出力することが目的ではなく、絶対音感などのように後天的に情報を身体に取り入れることを目的としている。

3. 設計

3.1 学習支援手法の方針

本研究は打楽器演奏初学者が正しい叩打順序および叩打

強弱を習得するために提案手法を利用して学習することを想定している。提案手法は木琴やスチールパンなどメロディを演奏する打楽器ではなく、ボンゴやコンガといったアクセントによってリズムを生成する打楽器における利用を想定する。また、ドラムセットの演奏では複数の打面を四肢を用いて叩打を行うなど、ボンゴなどよりも複数の動作を行うため、演奏が複雑であるが、ドラム教則本 [17] で述べられるように手足のコンビネーションを学習する前に、手だけの演奏で基礎的なアクセントを持つフレーズを学習する方法を行っている場合があり、提案手法はそういったドラム学習の初歩段階において必要とされるアクセントの習得支援としても適用を想定している。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（1回の腕の振りでの打面を1度叩く動作）での演奏技術を向上させる学習支援を提案する。提案する学習支援では視覚、聴覚および触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。提案手法の概要を図2の下側に示す。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手法を設計した。

(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、学習者が内部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身に付け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持つ能力ではなく、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 [18]。絶対音感の場合、正し

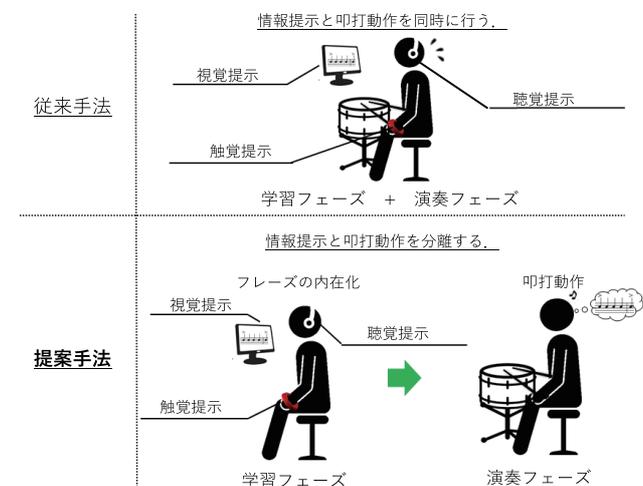


図2 学習支援手法の概要

Fig. 2 Outline of the proposed method.

い音高情報を学習者が内部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、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2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、視覚、聴覚および触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、フレーズの内在化を行うことが難しいのではないかと考えた。一方で、提案する学習手法では図2の下側で示すように、視覚、聴覚および触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最初に行う。情報提示によって正しく演奏する感覚を身につけた後に、叩打動作を行う学習に移る。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。学習フェーズをあらかじめ行うことで、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られると考えた。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）を繰り返す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、叩打強弱をつ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うえで身につ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学習支援手法を提案する。

学習者が正しい演奏を行う感覚を身に付けるために、本研究では視覚、聴覚および触覚提示を用いて演奏情報の提示を行う。学習者は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楽音が再生される聴覚提示を受ける。また、学習者は直接身体でフレーズの演奏情報を知覚するために、両手の人差し指の先に振動デバイスを装着し触覚提示を受ける。人差し指の先に振動デバイスを装着す

る理由は、打楽器演奏において叩打後の振動フィードバックを最初に知覚する身体の部位が指先であるためである。また、Weinstein [19] によって述べられているように、手首に比べ指先は振動刺激の知覚が強く、デバイスの振動刺激を強く与えるために装着位置を選定した。触覚提示では叩打の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。視覚、聴覚および触覚によるすべての演奏情報は同期して提示される。

4. 実装

提案する学習支援を行うためにプロトタイプシステムを実装した。図3に示すようにプロトタイプシステムは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アプリケーションおよび楽音出力を行う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と接続され、アプリケーション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3の右上部は振動子が内蔵された指装着型の振動バンドを示し、ユーザは両方の人差し指に1つずつ装着する。触覚提示デバイスの振動子は日本電産コパル社のリニアバイブレータ (LRA) LD14-002を採用した。採用したLRAの遅延は20ms以下である[20]。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。BPMが240（アプリケーションのBPM設定の最大値）のフレーズで16分音符を連続で叩打する時間間隔は62.5msである。ユーザに1回の振動刺激を正しく知覚させるため、この駆動時間に設定した。

PC上のアプリケーションの開発はWindows 8上でMicrosoft Visual C++ 2012を使用して行った。図4は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



図3 プロトタイプシステム
Fig. 3 Prototype system.

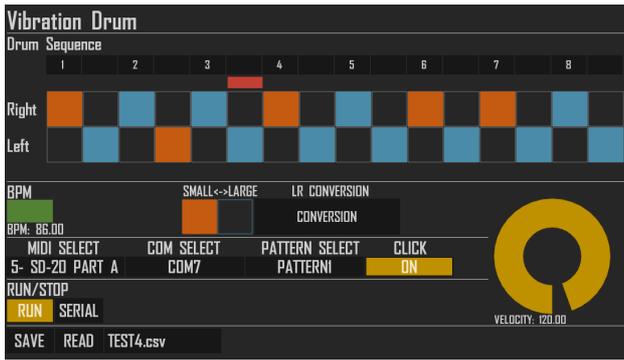


図 4 アプリケーション画面

Fig. 4 Screenshot of an application.

演奏テンポの制御が行える。また、画面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。聴覚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。評価実験では2つの実験を行い、課題フレーズに対して各条件における打楽器演奏の学習時間を調査した。本実験ではまず情報提示を用いた学習において必要となる提示情報を調査する必要がある。特に、本研究では情報提示において振動刺激を行う独自のハードウェアを使用している。したがって、最初に実験1では触覚提示を含む情報提示が打楽器学習において有用であるか従来手法と提案手法を用いた場合のそれぞれの条件で調査した。次に、実験2では実際に触覚提示を用いた場合に、提案手法による学習方法が従来手法に比べ有用であるか被験者数を増やし、手法の適用順序の影響も含め詳細な評価を行った。

5.1 実験1：触覚提示の影響の評価

5.1.1 評価内容

本実験では触覚提示の利用有無による課題フレーズの学習時間の比較を行った。実験において被験者は下記の2つの条件で情報提示を受ける。

触覚提示なし 聴覚 (楽音) + 視覚 (譜面)

触覚提示あり 聴覚 (楽音) + 視覚 (譜面) + 触覚 (振動)

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における触覚提示の有用性を検証した。各手法において被験者が行う学習方法は下記のとおりである。

従来手法 情報提示を受けながら叩打動作を行って学習



図 5 学習ステップの様子

Fig. 5 Photographs of learning step.

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。

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、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。学習ステップおよびテストステップの詳細を以下に示す。

学習ステップ 図5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。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、つねに演奏情報の提示を受ける。従来手法を用いた学習では、叩打動作を行いながら情報提示を受ける。提案手法では正しい演奏情報を内在化することに集中させるため、被験者が実際に打面を叩打した場合、打面からの振動フィードバックによってシステムの振動刺激による情報提示に対しての知覚が小さくなると考えられ、被験者は机や自分の太ももなどをタップしながら演奏するといった叩打動作を行ったり、フレーズを口ずさむことは行わず、情報提示のみを受ける学習を行う。学習ステップにおいて評価者はこれらの動作を行っていないか確認する。このように、提案手法の学習では叩打動作をせずに情報提示を受ける学習を行った後に、次のテストステップで習熟度の確認のために叩打動作を行う。また、学習ステップにおいてシステムの情報提示の知覚に注力するためにリズムゲームのように被験



図 6 テストステップの様子
Fig. 6 Photograph of test step.

者が叩打した結果を判定し、フィードバックすることは行っていない。

テストステップ 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、図 6 に示すように被験者はシステムの電子譜面の利用ができるが、聴覚および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課題フレーズを電子パッドを用いて演奏し、DAW（デジタルオーディオワークステーション）ソフトウェアによる MIDI 情報の記録とカメラによる演奏動作の記録を行い、正しく演奏できているかを確認する。被験者は課題フレーズに BPM のクリックに合わせて演奏し、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。また、手による電子パッドの叩打が実際の打楽器の演奏と同様に、電子音の発音のレイテンシに対して違和感がなく演奏できるかアンケート調査を行った。アンケート調査では被験者 16 名が最初に実際の打楽器の一例としてボンゴを叩打し、その後実験で使用する電子パッドを手で叩打したとき、ボンゴを叩打した場合に比べて発音に遅延を感じなかったか、ボンゴの叩打を基準として 5 段階で採点をしてもらった。両者に遅延の差異をまったく感じなかった場合のスコアを 5、電子パッドの演奏で遅延を感じた場合を 1 とし、主観的評価を行った。調査より 16 名の採点の平均値は 4.75 であり、電子パッドの叩打が実際の打楽器の叩打と同様に利用できることを確認している。

確認テストは 3 分間実施し、課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。確認テストでは最初に打楽器演奏歴 15 年の評価者 A が被験者の演奏内容を判定した。また、DAW ソフトウェアで記録した演奏内容より、叩打した場合の MIDI 情報のベ

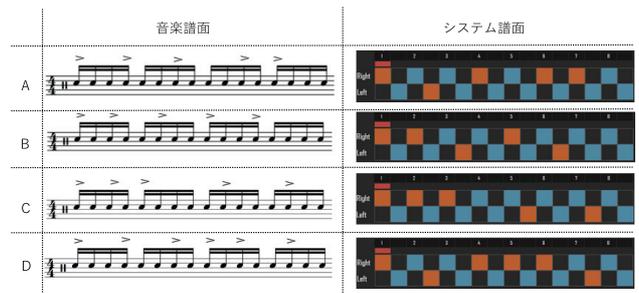


図 7 課題フレーズ
Fig. 7 Trial phrases.

ロシティが課題フレーズと同じように相対的に変化しているか確認を行う。さらに判定の信頼性を確保するために、打楽器演奏歴 10 年の異なる評価者 B が評価者 A の判定を被験者の演奏データを用いて確認し、最終的に評価者 2 名の合意により演奏内容の判定を行った。

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。たとえば、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。

評価実験において被験者は図 7 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、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 7 の譜面で示すとおり、フレーズごとで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 7 の右側に示す提案システムのソフトウェアの電子譜面である。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。

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。すべ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。各手法におけるグループごとの学習順を表 1 に示す。たとえば、グループ III は最初に従来手法を用いてフレーズ B (触覚提示なし) → フレーズ A (触覚提示あり) を学習し、次に提案手法を用いてフレーズ D (触覚提示なし) → フレーズ 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、予備学習を 30 分間行った。予備学習では打楽器演奏やシステムの利用に慣れてもらうため、提案システムを用いて実際に電子パッドを叩く練習を

表 1 学習順 (従来手法/提案手法)

Table 1 Learning process.

グループ	1 回目		2 回目	
	フレーズ	触覚提示	フレーズ	触覚提示
I	B/D	あり	A/C	なし
II	A/C	あり	B/D	なし
III	B/D	なし	A/C	あり
IV	A/C	なし	B/D	あり

表 2 学習順

Table 2 Learning process.

グループ	1 回目		2 回目	
	フレーズ	適用手法	フレーズ	適用手法
I	A	従来手法	B	提案手法
II	B	従来手法	A	提案手法
III	A	提案手法	B	従来手法
IV	B	提案手法	A	従来手法

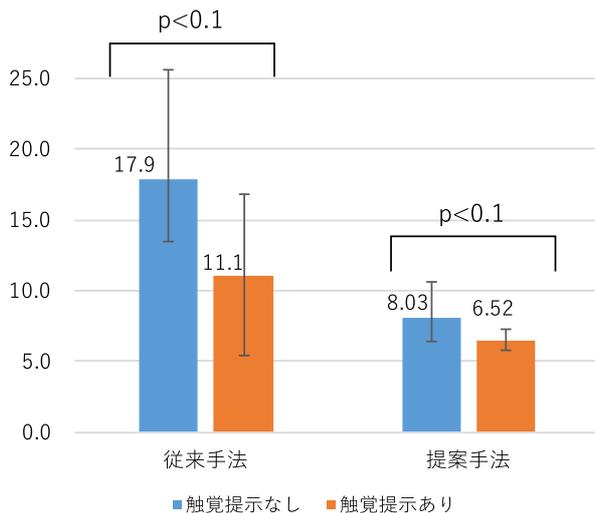


図 8 触覚提示の利用条件における学習時間 [分]

Fig. 8 Learning time in each indication [minutes].

行ってもらった。予備学習を行った後、被験者は学習順に従って学習を行った。

5.1.2 結果と考察

触覚提示の利用における学習時間の分析を行う。図 8 は各条件の被験者の学習時間の平均値と標準偏差を分単位で示している。図 8 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、従来手法では約 7 分早く、提案手法においては約 1 分 30 秒早く学習できた。ここでこれらの結果に対し、分散分析 (3 要因参加者間計画) を行う。ここでの要因の種類は触覚提示の有無、学習手法および学習フレーズの 3 種類である。各要因における水準数はすべて 2 である。また、学習ステップの時間は 5 分単位で固定しているが、テストステップの時間は被験者ごとに異なるため、これらを合わせた学習時間は間隔尺度とみなし分散分析を行った。この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 (従来手法: $F_{(1,8)} = 5.27, p < .1$, 提案手法: $F_{(1,8)} = 3.65, p < .1$) に有意差がみられた。上記の F 値の 2 つの自由度は水準数が 2、データ数が 16 であるため、1 ($= 2 - 1$) および 8 ($= 16 - 2 \times 2 \times 2$) となる。

これらの結果より、どちらの適用手法の場合においても触覚提示を用いた学習は触覚提示を利用しない場合に比べ有用であることを確認した。また、実験後のヒアリングよ

り触覚提示において遅延を感じた被験者はおらず、本実験の演奏テンポにおいて提案システムの振動刺激を利用できることを確認した。本実験の結果をふまえて、次に提案手法の有用性の検証を行う。

5.2 実験 2: 提案手法の影響の評価

5.2.1 評価内容

本実験では触覚提示を用いて従来手法および提案手法によって学習した場合の学習時間の比較を行った。実験 2 は実験 1 と同様の実験構成である。実験 1 と実験 2 を別々に行う理由は被験者の試行回数を減らすためである。実験 1 のみで触覚提示の有用性および提案手法の有用性の 2 つを検証する場合、学習順や課題フレーズを適用して学習する条件の組合せによって、さらに試行回数を増やす必要がある。被験者の試行回数を増やす場合、試行ごとで演奏の慣れや学習における集中度の差が生じ、学習時間に影響する可能性がある。実験 2 では適用手法を利用する順番および課題フレーズによる学習時間の影響を考慮した検証を行う。したがって、実験 1 ではまず触覚提示の利用有無による有用性を検証し、触覚提示の有用性が確認されたため、実験 2 においては触覚提示ありの条件で提案手法の有用性を検証する。

実験手順および学習時間は実験 1 と同様の方法であり、被験者は実験において「学習ステップ」および「テストステップ」を繰り返し行い、学習時間の計測を行う。

本実験では被験者は実験 1 で使用した図 7 に示す 2 つの課題フレーズ A および B を学習する。

本実験の被験者は実験 1 とは異なる楽器演奏が未経験である大学生および大学院生の 16 名である。被験者 16 名を 4 名ずつ 4 つの実験条件のグループに分けた。各手法におけるグループごとの学習順を表 2 に示す。たとえば、グループ III は最初に従来手法でフレーズ A を学習し、次に提案手法でフレーズ B を学習した。また、実験 1 と同様に予備学習を行った。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。

5.2.2 結果と考察

表 3 は各被験者の各実験条件の学習時間の平均値と標準

表 3 学習時間 [分]

Table 3 Learning time [minutes].

学習順	1 回目				2 回目			
	従来手法		提案手法		従来手法		提案手法	
フレーズ (グループ)	A (I)	B (II)	A (III)	B (IV)	A (IV)	B (III)	A (II)	B (I)
平均値	14.9	15.9	10.5	12.4	12.2	18.2	8.38	10.5
標準偏差	5.75	13.2	4.96	7.27	7.02	8.20	4.51	6.46
平均値	15.5		11.4		15.2		9.44	
標準偏差	9.42		5.89		7.76		4.31	
平均値	13.5				12.3			
標準偏差	7.86				6.76			

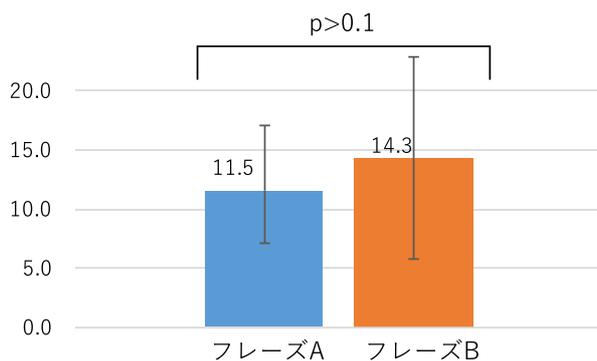


図 9 各フレーズにおける学習時間 [分]

Fig. 9 Learning time in each phrase [minutes].

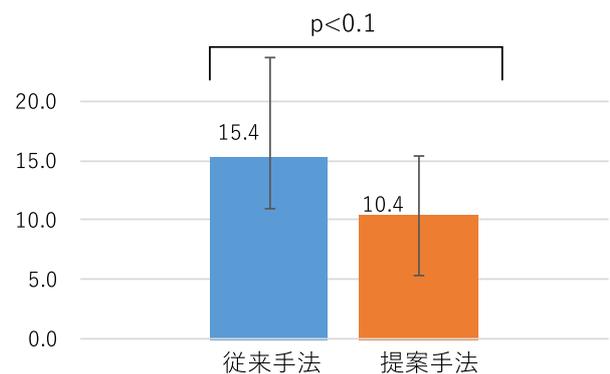


図 10 各適用手法における学習時間 [分]

Fig. 10 Learning time in each learning method [minutes].

偏差を分単位で示している。分散分析の結果によると、適用手法間の主効果 ($F_{(1,24)} = 3.50, p < .1$) に有意差がみられた。

はじめに学習順が学習時間に影響を与えなかったか分析する。表 3 で示すように、各学習順における学習時間の平均値は約 1 分異なった。しかし、学習順における主効果および学習順と関連するすべての交互作用 (学習順 × フレーズ, 学習順 × 適用手法, 学習順 × フレーズ × 適用手法) 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。

また、フレーズによる学習時間の影響を分析する。図 9 はフレーズごとの学習時間の平均値と標準偏差を示す。フレーズ B の学習時間はフレーズ A に比べ 2.8 分長かった。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難しいと感じたフレーズは 4 名の被験者がフレーズ A と回答し、8 名はフレーズ B と回答し、4 名は各フレーズにレベル差を感じなかったと回答した。しかし、フレーズにおける主効果およびフレーズと関連するすべての交互作用 (フレーズ × 学習順, フレーズ × 適用手法, フレーズ × 学習順 × 適用手法) で有意差がみられなかったため、設定した 2 つの課題フレーズにおいて難易度に大きな差がなかったことが確認された。

次に、適用手法と学習時間における相関性について分析する。図 10 は適用手法ごとの学習時間の平均値と標準偏差を示す。提案手法を用いた場合、従来手法を用いた場合

に比べ、5 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、本実験において学習順および課題フレーズにかかわらず、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 3 よりグループごとの各条件の学習時間をみると、グループ IV においては従来手法に比べ提案手法による学習時間が長かった。分散分析の結果より、グループ IV の適用手法間における有意差がみられなかったため、適用手法による影響は低かったと考えられる。また、グループ IV で 2 名の被験者は 1 回目の学習に比べ 2 回目の学習の方が打楽器演奏に慣れていたとアンケート調査で回答しているため、提案手法を最初に用いた場合において学習時間が長くなったと考えられる。

さらに、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こと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楽音で提示することや、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。また、触覚提示に用いる振動が弱かったと回答した被験者がいたことから、さらに強い振動刺激を提示するためにプロトタイプシステムの改良が必要である。

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システムの改良を行い、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。今後、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。また、本実験では学習において叩打の判定を被験者にフィードバックしない条件において有用性の検証を行ったが、フィードバックを利用した場合における調査を行う必要がある。

6. まとめ

本研究では、視覚、聴覚および触覚の情報提示を用いたフレーズ内在化を行うための打楽器学習支援手法を提案し、プロトタイプシステムを構築した。プロトタイプシステムでは、学習者は電子譜面による視覚提示、楽音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。本研究ではプロトタイプシステムを用いて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い、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学習方法を提案した。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、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。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平均5分短縮できることが分かった。本実験では学習ステップの時間を5分に固定した場合における評価を行ったが、今後は学習ステップの時間の調整による学習時間の影響を調査する必要がある。また、より複雑なフレーズの学習における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必要である。さらに叩打判定のフィードバックの有無における有用性の比較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、JST CREST および JST さきがけの支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Rock Band, available from (<http://www.harmonixmusic.com/games/rock-band/>).
- [2] Guitar Hero, available from (<https://www.guitarhero.com/>).
- [3] Holland, S., Bouwer, A.J., Dalglish, M. and Hurtig, T.M.: Feeling the beat where it counts: fostering multi-limb rhythm skills with the haptic drum kit, *Proc. International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI 2010)*, pp.21–28 (2010).
- [4] 七澤朱音, 本田拓二: 運動のリズムを重視した体育学習がもたらす効果に関する研究—低学年における「多様な動きをつくる運動遊び」を通して, *体育科教育研究*, Vol.30, No.2, pp.1–11 (2014).
- [5] YAMAHA Song Beats, available from (http://jp.yamaha.com/products/apps/song_beats/).
- [6] Roland V-Drums Friend Jam, available from (<http://www.roland.com/jp/FriendJam/V-Drums/>).
- [7] 斎藤恵一, 星 裕之, 川澄正史, 斎藤正男: テレビゲームと脳活動: 機能的 MRI による研究, *バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌*, Vol.8, No.1, pp.93–98 (2006).
- [8] Chafe, C.: Tactile audio feedback, *Proc. International Computer Music Conference (ICMC 1993)*, pp.76–79 (1993).
- [9] Grindlay, G.: Haptic Guidance Benefits Musical Motor Learning, *Proc. Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp.397–404 (2008).
- [10] Lewiston, C.: MaGKeyS: A Haptic Guidance Keyboard System for Facilitating Sensorimotor Training and Rehabilitation, *PhD Thesis*, MIT Media Laboratory (2008).
- [11] Huang, K., Starner, T., Do, E. and Weinberg, G.: Mobile Music Touch: Mobile Tactile Stimulation For Passing Learning, *Proc. International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2010)*, pp.791–800 (2010).
- [12] Hayes, L.: Vibrotactile Feedback-Assisted Performance, *Proc. International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 2011)*, pp.72–75 (2011).
- [13] Young, G., Murphy, D. and Weeter, J.: AUDIO TACTILE GLOVE, *Proc. International Conference on Digital Audio Effects*, pp.1–5 (2013).
- [14] Phillips-Silver, J. and Trainor, L.J.: Feeling the beat: Movement Influences Infant Rhythm Perception, *Science*, Vol.308, p.1430 (2005).
- [15] Phillips-Silver, J. and Trainor, L.J.: Hearing what the body feels: Auditory encoding of rhythmic movement, *Cognition*, Vol.105, pp.534–546 (2007).
- [16] Yang, J.F., Lamont, E.V. and Pang, M.Y.C.: Split-Belt Treadmill Stepping in Infants Suggests Autonomous Pattern Generators for the Left and Right Leg in Humans, *Journal of Neuroscience*, Vol.25, pp.6869–6876 (2005).
- [17] 究極のドラム・トレーニング・バイブル: リットーミュージック.
- [18] 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).
- [19] Weinstein, S.: Intensive and Extensive Aspects of Tactile Sensitivity as a Function of Body Part, Sex and Laterality, *The Skin Senses*, pp.223–261 (1968).
- [20] Uematsu, H., Ogawa, D., Okazaki, R., Hachisu, T. and

Kajimoto, H.: HALUX: Projection-based Interactive Skin for Digital Sports, *Proc. ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies*, No.10 (2016).



菅家 浩之

1988年生。2011年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2013年同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程前期課程修了。2017年同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程後期課程修了。工学博士。主に音楽情報科学の研究に従事。

音楽情報科学の研究に従事。



寺田 努 (正会員)

1974年生。1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005年

より同講師。2007年神戸大学大学院工学研究科准教授，現在に至る。博士（工学）。ウェアラブルコンピューティング，ユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM，IEEE等，7学会の会員。本会シニア会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1964年生。1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ（株）入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師。1996年同専攻助教授。2002年

同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授。2004年神戸大学大学院工学研究科教授，現在に至る。博士（工学）。ウェアラブルコンピューティング，ユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM，IEEE等，8学会の会員。本会シニア会員。