

# 運動学習支援を目的とした 動作情報における可聴化手法の提案

高野 衛<sup>1</sup> 安藤 大地<sup>1</sup> 笠原 信一<sup>1</sup>

**概要:** 人間は様々な動作を行う際に、実行した動作に伴う感覚フィードバックによって姿勢の制御や円滑な運動が可能になる。本研究は視野を制限せずに動作情報をリアルタイムにフィードバックすることが可能な可聴化手法を用いて、動作を音響情報へ変換する手法を検討する。本稿ではストローク情報に注目し、腕の持つ特徴的な動作を音が持つ音響パラメータにマッピングすることで、音響情報による複数の動作情報の理解と運動学習支援への応用を目指す。また、動作情報の統合による関連部位の動作の一言による提示手法や教師データのリファレンス音を用いた動作支援手法を提案する。

## Study on Sonification for Coordinated Body Movement Towards Supporting Motor Learning

MAMORU TAKANO<sup>1</sup> DAICHI ANDO<sup>1</sup> SHINICHI KASAHARA<sup>1</sup>

**Abstract:** Human can control posture and exercise by sensory feedback associated with the performed actions, when performing various actions. In this research, we study a method of converting motion into acoustic information that can feed motion information in real time without restricting view. In this paper, we focus on stroke information and aim at the understanding of multiple motion information by acoustic information and its application to motor learning support by mapping the characteristic motion of the arm to the acoustic parameter having sound. In addition, we propose a method of suggesting by one sound of related parts by integration of motion information and motion support method using reference sound of teacher motion data.

### 1. 背景

人間は日常的に動作に伴う環境からのフィードバックによって、動作や姿勢の制御を行っている。運動技能を体得する場合、このような動作に伴うフィードバックが重要な役割を果たす。ある対象とする動作を獲得する場合、動作感覚とフィードバックから得る情報とのサイクルから動作情報の分析や修正を繰り返すことによって運動技能の獲得に繋がる。運動技能を獲得する過程には認知段階・連合段階・自律段階の3つの段階 [1] があると考えられ、効率的に安定した動作が行える自律段階に至るまでに多くの訓練が必要となる。この過程を円滑に進めるためには、感覚フィードバックという動作情報を五感に知覚可能な情報に

変換する手法が有効である。感覚フィードバックの手法の中でも、動作情報に対して特に有効と思われる手法が可聴化である。

可聴化はデータが持つ特性や関連性の理解を助ける知覚化手法である。可聴化は時系列特性を持ったデータに有効であり、リアルタイムによる情報の提示やインタラクティブなデータ構造の分析を可能にする。動作分析に可聴化を応用することで、リアルタイムでの情報のフィードバックが可能になり、身体感覚のみでは知覚が困難な情報の理解や分析が行える。本稿では先行事例から動作情報における可聴化の有効性と課題点を考察し、片腕のストローク情報に対して有効と思われる可聴化手法を提案する。

### 2. 関連研究

運動学習支援に音響情報を用いる利点が提示されている

<sup>1</sup> 首都大学東京大学院システムデザイン研究科  
Tokyo Metropolitan University Faculty of System Design

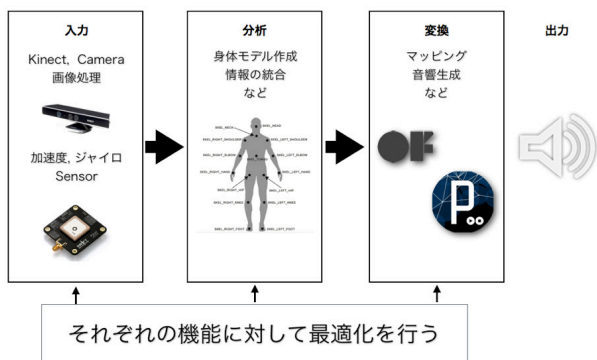


図 1 System Overview

顕著な事例としては、NTTの柏野らが行ったスポーツの動作を対象とした可聴化の研究 [2] が挙げられる。彼らの研究では音響情報のリズムや強弱などの時系列的な変化する情報を用いることによる、協調運動における加速度の推移や動作パターンの分析に対する有効性が示されている。

また、Ronsse らの感覚フィードバック研究 [3] において、視覚フィードバックと聴覚フィードバックによる動作への影響が検証されている。訓練から 1 日間を経た後のフィードバック無しでの実験では、視覚フィードバックを用いたグループの動作はフィードバック情報に依存していることが示された。一方で、聴覚フィードバックを用いたグループはフィードバック情報の影響の持続が見られた。聴覚フィードバックを用いることによって、長期的な学習効果の持続が確認されている。

長谷川らの研究では姿勢バランスの視覚フィードバックと聴覚フィードバックによる制御 [4] を行っている。彼らは Heuer らの断続的フィードバックの有効性を示した研究 [5] を背景として、感覚フィードバックの姿勢バランスへの応用を行った。この研究では視覚フィードバックは効果の持続は見られなかった。一方で、聴覚フィードバックでは直後のパフォーマンスの向上とともに 1 日後の実験での効果の持続が示されている。

以上の研究は各身体部位に音を当てはめた手法を採用されている。このような手法は部分的な動作特徴を判断する場合には効果的であるが、複数の情報を同時並列的に聴取する場合には細分化して聴くことが難しくなる。一方で、前述した柏野らが行っている研究において、異なる身体情報を合算し音響パラメータにマッピングする手法が取られている。各身体部位が持つ複数の動作情報を統合することで単音での提示が可能になる。この手法を用いることで全身の動作情報が必要な場合や複数の音を同時並列的に認識することが困難な被験者に対して聴取が可能な音の数での提示が行える。

このような点から、本稿では身体部位が持つ複数の特徴的な動作を一音が持つ音響パラメータにマッピングするこ

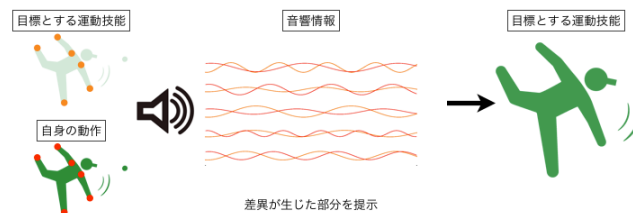


図 2 Comparative Approach 1



図 3 Comparative Approach 2

とで、識別が可能な音響情報の最適化手法を提案する。

### 3. 腕の動作情報における可聴化手法の考察

動作情報の可聴化手法の構造は「入力」「分析」「変換」「出力」という機能から成り立っている (図 1 参照)。本稿で構築するシステムは腕のストローク情報を対象とし、接触センサと非接触センサを用いた動作情報の取得から音響情報の生成を行う。それぞれのセンサの特性や動作特性を考慮して適切な音響パラメータへのマッピングを検討しシステムの構築を行う。また、複数の部位の動作情報の中で腕の動作に関して必要な情報を選別し、一つの音によって関連部位の動作情報の提示方法を提案する。

#### 3.1 センサごとの可聴化手法

接触センサは加速度や角速度、圧力、筋電位などの個々の身体部位の詳細な情報が得られる。多くの可聴化研究で加速度は音量に関連付けられており、ムチ動作のような流れるような動作特徴を持った動作の場合に各部位の運動や運動の流れが音響情報として把握することが可能になる。

非接触センサによる手法はカメラや Kinect など画像情報を用いた方法である。位置情報の可聴化においては、主に位置と音高が関連づけられた変換手法が取られている。多くの研究で位置情報が音高にマッピングされる理由としては、音の高さは空間的なイメージと関連づけられているからだと思われる。また、身体モデルを生成した場合には、音高を部位ごとに固定した状態で各部位の動作の変位を音量にマッピングする手法も取られている。これらのセンサの特性から腕の動作情報の特徴を考察し、次に腕の動作情報と音響情報との関連を考慮したマッピング手法を提案する。

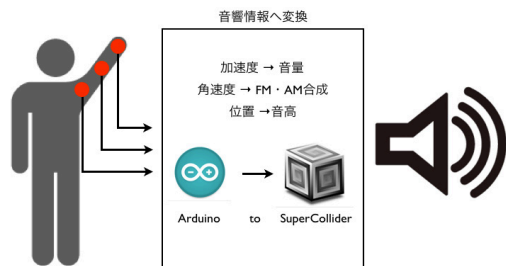


図 4 Sonification Approach for Motion Feature of Arm

### 3.2 腕の動作特徴の可聴化手法

腕の動作は肘関節と手関節，肩関節の屈曲・伸展運動と内外旋運動，回内回外運動に分類される。屈曲・伸展運動は関節の動きであり，曲げた関節の先の部位における移動に携わる動作である。この動作に関しては，手首の動作と肘の動作を取得し，肘と肩の屈曲・伸展運動を考慮することを検討する。

今回は手首と肘，肩の角速度と加速度，位置情報を用いて，各部位の動作情報から複数の音響情報の提示と入力情報を統合して前腕の重心の情報として提示する手法を試みた(図4参照)。非接触を用いた画像情報の可聴化に関しては身体部位の位置情報の把握に適しているため，今回は主に用いられている音高への変換を採用している。音高への変換では周波数の差による各身体部位の空間的变化への把握において有効である。また，オシレータや音源，ノイズによるバンドパスフィルタの操作など音色の違いによって各部位の情報を提示することで複数の情報を聞き分けることが可能となった。接触センサの変換手法は加速度を音量へマッピングし，角速度をFM合成やAM合成などの音の揺れとしての提示を行う。

### 3.3 音響情報を用いた動作支援手法

これまで述べてきた可聴化手法を前提とし，ここでは対象とする動作の支援手法を提案する。ある動作を対象とした場合，その動作の遂行過程の指針となる教師データが必要となる。音響情報を用いた場合に教師データを音として提示することが可能になるため，動作中の確認や音による動作イメージの確認を行うことで運動学習支援に用いることが考えられる(図2,3参照)。

動作中に音響を提示する場合，リアルタイムで自身の動作と教師データの差異を音響情報で確認することが可能になるため，どのように各動作情報の差異を提示することを考慮する必要がある。リアルタイムに比較しない場合，動作情報を音として確認し動作イメージを記憶した状態で動作を試行する方法が考えられる。



図 5 System Overview

## 4. 実装

以上の考察から片腕の動作特徴を接触センサを用いて取得し音響を生成するプログラムの制作を行った(図5参照)。今回は動作情報はArduinoを用いた取得を行い，OSC通信によってSuperColliderを用いた音響生成を行っている。前述した動作特徴の変換手法を用い，加速度を音量，角速度をFM・AM合成のモジュレータ周波数，位置情報を音高にマッピングしている。動作情報の記録に関してはProcessingを用いたデータの保存を行っている。保存されたデータに関しては試行されたストロークの評価や安定した動作の検出，リファレンス音を再現する際に用いることを想定している。

## 5. 考察

本稿で制作したシステムでの検証から，接触センサと非接触センサにおけるそれぞれの利点と課題点が考察された。非接触センサは簡易的に位置情報を取得するには有効であるが，モーションキャプチャのような取得方法を用いない限り正確な位置情報を取ることは困難である。今回は接触センサにおいては加速度センサのみを用いた加速度と傾きの計測のみであったが，今後はKinectのような深度情報から身体部位の位置情報を推定する非接触センサを利用した正確な位置情報の取得の併用した変換を試みる。

今回のプログラムは入力出力間の個々の機能に関しては静的なマッピングによる可聴化手法を用いているが，この手法ではユーザー毎の身体特性や異なる動作情報に対して最適な音響情報を提示することは難しい。静的な変換では対象とする動作や身体特性が変わるたびに，マッピングやスケーリングなどの機能をその都度書き換える必要があるため様々な動作情報に柔軟に対応することができない。このような点から今後は聴覚フィードバックの持つ動作分析や運動支援への有効性を活かした，動的な変換が可能なる可聴化手法を実現するためのシステムを検討していく。今回のプログラムでマッピングや選別に関して固定化されてい

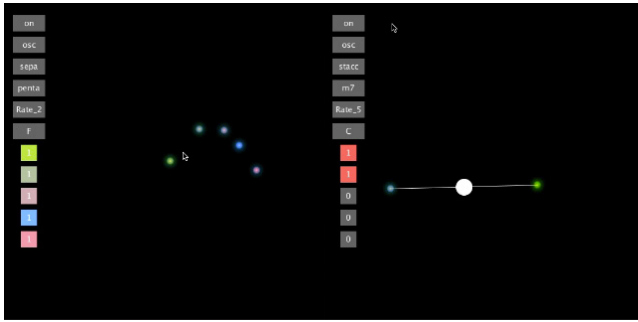


図 6 Sonification System with GUI

た機能に関して、今後はジェスチャー認識や動作特徴の分析を用いた動的なマッピングを利用した生成される音響情報の最適化を目指す。

Hermann らの研究において提案されている Model-Based-Sonification という手法 [6] では、個々の機能とユーザーがインタラクティブに情報の入出力と評価・修正を行うことによる生成される音響の最適化が行われている。この手法は主に静的なデータに関して用いられている手法だが、個々のユーザーの動作の違いに対して動的に最適な音響を生成する場合にも用いられると考えられる。この手法を参考に、今後は音響情報やマッピングの調節をインターフェースを通し行うことで、ユーザーの身体特性や対象動作に適した身体情報の可聴化を目指す。

また、利用するユーザーや異なる動作情報に対応が可能な手法を考慮した場合、ユーザーが対話的に評価や分析が可能なインターフェースや GUI などの機能を追加することが有効である。著者らが 2016 年 7 月に制作を行った LeapMotion を用いた指の動作情報の可聴化 [7] では、Processing によって入力情報の選択や音色の設定が可能な GUI を実装している (図 6 参照)。このプログラムを応用して 12 月にパフォーマンスによる実演 [8] を行った。ここでは制作した GUI やインターフェースを用いることによってインタラクティブに音響情報の調整が可能になり、直感的に音と動作の関連性を理解することが可能になることが考察された。本稿で制作したプログラムを再構築し、今後はユーザーと対話的に音響情報の生成が可能な可聴化手法を検討していく。

## 6. おわりに

本稿では動作分析への可聴化の応用手法を考察し、データと音の関連性における適切な変換を考慮や可聴化の有用性を活かした分析方法を検討を行った。これはスポーツのほか、演奏やダンス・パフォーマンスなどの制御や支援に用いることができる。動作以外にも、瞬時に動向を把握する手法として、時系列変化の特性を持った様々なデータに活用が可能である。音響情報のフィードバックの提示目的としては、「不適切な情報の検知」や「一連の情報の把握」

などを直感的に理解することにある。さらに、動作データを記録することで可聴化を用いた学習過程の進捗や個人の動作の特徴などの把握も可能である。

## 参考文献

- [1] Kurt VanLehn : "Cognitive Skill Acquisition" Annual Review of Psychology, 1996, Vol. 47:pp. 513-539
- [2] Toshitaka Kimura, Takemi Mochida, Tetsuya Ijiri, and Makio Kashino : "Body-mind Sonification to Improve Players Actions in Sports" , 2015. (2016.6.2 取得)
- [3] Ronsse R, Puttemans, Veerle Puttemans, James P. Coxon, Daniel J. Goble, Johan Wagemans, Nicole Wenderoth, Stephan P, Swinnen : " Motor Learning with Augmented Feedback: Modality-Dependent Behavioral and Neural Consequences" . Cerebral Cortex, 2011, Vol21, pp. 1283-1294, 2011.
- [4] 長谷川直哉, 萬井太規, 武田賢太, 佐久間萌, 笠原 敏史, 浅賀忠義 : "視覚フィードバックと聴覚 フィードバックによる動的バランスの学習効果の違い", 理学 47 療 4 法学第 42 巻第 6 号, pp.474-479, 2015.
- [5] Heuer H, Hegele M : " Constraints On Visuo-Motor Adaptation Depend on The Type of Visual Feed- back during Practice" , Exp Brain Res. 2008; 185, pp.101-110, 2007.
- [6] T. Hermann, A. Hunt and J.G. Neuhoff : "The Sonification Handbook" , Logos Verlag Berlin GmbH, 2011.
- [7] 高野 衛, 安藤大地, 笠原信一 : インタラクティブな可聴化システムの検討のための 動作分析への可聴化の応用における現状の考察先端芸術音楽創作学会 会報 Vol.8 No.1 pp.1-6. 2016.
- [8] 高野 衛, 安藤大地, 笠原信一 : 動作情報を用いた可聴化における変換手法の考察 - パフォーマンス実演による検証 -, 先端芸術音楽創作学会 会報 Vol.8 No.3 pp.1-4, 2016.