

研究報告

動作情報に関する複数の音響パラメータへの多変数マッピングを用いた
可聴化手法の考察TWO PRACTICAL EXAMPLES OF PARAMETER MAPPING
SONIFICATION FOR HAND STROKE INFORMATION

高野衛, 安藤大地, 馬場哲晃, 串山久美子

Tokyo Metropolitan University Faculty of System Design

概要

著者らは身体動作情報を音響情報へ変換する手法をテーマに、身体感覚の拡張や運動学習支援を目的とした可聴化手法の研究を行っている。本稿では、シンセサイザで生成される一つの音の音響生成パラメータへ多変数の時系列情報をマッピングすることで、単音の変化として情報の知覚化を行った、2016年インターカレッジソニックアーツフェスティバルでのパフォーマンス作品、インタラクション2017シンポジウムでの展示、の2作品について報告する。2作品では手のストローク動作に対して、加速度センサから得られた複数次元の情報のマッピングを行なった。それぞれの2種類のマッピング手法について、先行事例との比較や、動作情報の値に対するスケールや補間方法を考察する。

1. はじめに

人間は、通常の動作において内部感覚とともに動作に伴う環境からのフィードバックによって身体イメージを作り上げている。拡張現実 (Augmented Reality) の分野において、情報の知覚化を応用し、デジタル技術によって生成した視覚情報や触覚情報によるフィードバック情報を実空間に重ねることによる身体感覚の拡張を体感する手法が用いられている。一般的には触覚情報と視覚情報を用いた研究や制作が行われているが、一方で聴覚情報を用いたフィードバックによる身体感覚の拡張に関する研究はまだあまり行われていないと考察されている [1]。視覚情報や触覚情報には無い聴覚情報を用いることによる情報提示の利点は以下のような点が挙げられる。

- 視覚に対して高い時間分解能特性から、時系列的な変化を詳細に認識できる。
- 視覚では一方向のみでの提示に限られるのに対し、全方位からのリアルタイムな情報提示が可能。

- 視覚では注視点の限界から複数次元の認識は難しいが、複数次元の変化を複数音による同時並列的認知が可能。

- 視覚では二・三次元の表現に留まるが、多変数情報を複数次元の音響特性へのマッピングが行える。

この特性から一般に可聴化はスポーツ動作やリハビリテーションにおける動作支援への応用を目指した研究に用いられている。著者らはその聴覚を用いた知覚化手法の可聴化による動作情報の提示手法の提案を行ってきた [2]。本稿では多変数の効率よいマッピングを用いることで複数の動作情報を音響特性の変位として認知が可能な可聴化手法の提案と、その応用として動作情報を用いた可聴化システム構築および作品と展示についての詳述を行う。

本稿では、2節において動作情報に関する可聴化手法の既存の手法とその利点と課題点を示し、3節にて著者らが行ってきた多変数マッピングを用いた可聴化手法に関して、制作した可聴化システムの仕様や動作情報の音響情報へのマッピングの詳細について述べる。そして、4節にてこれまでの制作に関する考察と今後の展望について述べる。

2. 身体動作の可聴化

近年、工学や科学などの研究やメディア・アートなどの分野への音響情報を用いた知覚化の応用が盛んに行われている。丸井が行った可聴化の分類 [3] や Thomas らの調査 [4] において、可聴化が多く分野に応用されていることが考察されている。本作品では非言語音を用いる音響パラメータへのマッピングを行う可聴化手法であるソニフィケーション [4] [5] を用いて、関連研究の知見を元に動作情報の知覚化手法を考察する。

可聴化で注目すべきは、他の感覚より優位な聴覚の知覚特性である。人間の聴覚は時間分解能が視覚より

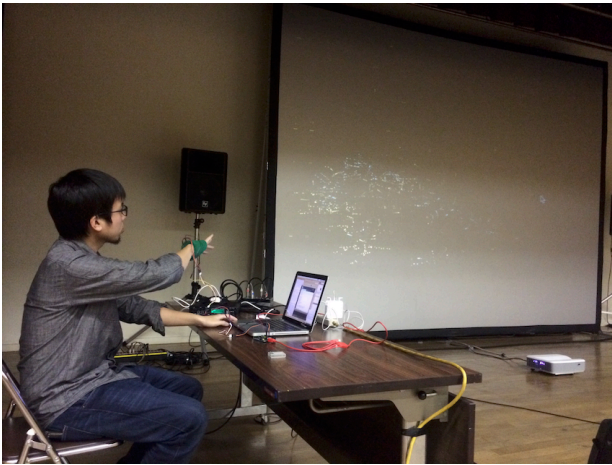


図 1. 実演パフォーマンス (2016 年 12 月)

高いため、情報の時間的な変化を認識しやすい。また、聴覚は音源分離と呼ばれる機能により複数の音を分割して聞き分けることが可能であり、複数の情報の変化を音の変化として同時並列的に提示する際にも有効である。この特性を考えると、可聴化は時系列特性をもった情報を扱う分野に有効に用いることが可能と推測できる。

前述のように音響情報はコントロールが可能なパラメータが多く存在するため、情報の持つ変数と音響パラメータへのマッピングのパターンは数えきれないほど考えられる。Degaraらは音響情報による提示は自由度が高く利便性があり豊かな表現が可能であると同時に、組み合わせが膨大なためそれぞれのマッピング手法の有効性を研究することは難しい課題であるとしている [6]。

Dubusらは物理量と音響パラメータのマッピングに関する系統的調査を行っており [7]、この調査から動作情報を扱った可聴化研究におけるマッピング手法の傾向を考察することが可能であると考えられる。この論文では多くの音響パラメータが挙げられているが、大半の研究では人間が容易に認知可能な音響パラメータである周波数や音量などが頻繁に用いられている。

Dubusらの論文では複数の音響パラメータへのマッピングのパターンの事例はあまり存在しないとしており、識別が可能な音響情報の変化量の数には限界があるという理由から実践されていない。しかし、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と著者らは考えた。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単音が持つ複数の音響パラメータにマッピングすることで、識別が可能な音響情報の提示手法

を提案する。

3. 多変数マッピングを用いた可聴化

著者らはこれまでの研究で多次元マッピングが可能な音響生成プログラムを制作し、パフォーマンス作品と体験型システムの展示発表を行ってきた。本説では二回の発表にて行った音響生成方法を詳述し、それぞれから得られた用いた多次元マッピングに関する考察を行う。

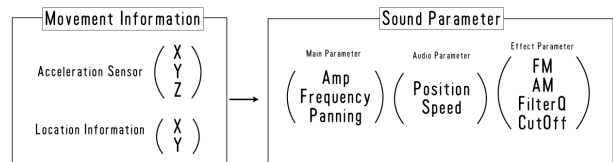


図 2. 音響パラメータへのマッピング

3.1. パフォーマンス作品における実演

著者らは 2016 年 12 月に JSSA 先端芸術創作学会において展示発表 [8] を行った。ここでは実演による動作情報の可聴化の行程を記述し、著者自身が得た経験を基に提案した提示手法の考察を行う。

実演パフォーマンスを 2016 年 12 月に名古屋市立大学で行われた JSSA 先端芸術創作学会インターカレッジソニックアーツフェスティバルコンサートにて行った。実演パフォーマンスを行った理由としては、制作者が自らテストを行うという試行と聴取者に向けた動作情報の可聴化プロセスの提示によるシステムの解説の 2 つの動機による。

ステージ上で前述のコンピュータと加速度センサによるシステムを用いて、制作者自身がパフォーマンスを行った。ここではパフォーマーの動作と音の関連性を聴取者に理解しやすい状態にするため、ウェブカメラから得た動作情報を基に Processing によって視覚情報を生成しスクリーン上に投影している。

作品のほとんどの部分で前述のマッピング手法を主に用いており、コンピュータ内部のシンセサイザー音であるサイン波やノイズと wav ファイル形式のサウンドファイルのコントロールし、作品の時系列上でそれぞれの音を用いた変換の提示をモチーフとその変換という形で時系列的に配置することで、音響音楽作品としている。

ここでは複数の動作情報に対する多次元マッピングに関する音響パラメータの選択に関して、作品の制作

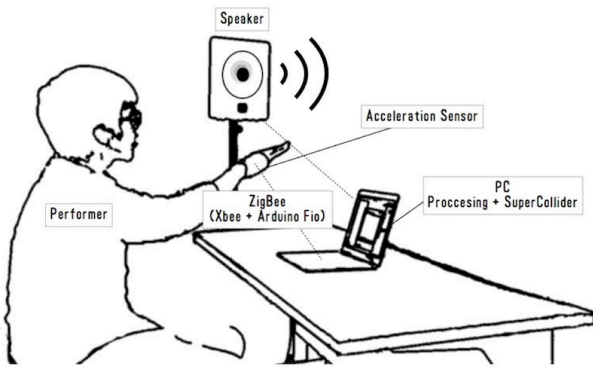


図 3. 実演の際のシステム構成

表 1. パフォーマンス時のマッピング

取得情報	計算処理	マッピング値
動的加速度	$Amp = Amp + (x + y + z)$	(0,0.1)
加速度 x	$FM\ Freq = (x + y)$	(0,5 50)
加速度 y	$Pan = (x)$	(0.0,1.0)
位置情報 y	$Freq = (y)$	(200,1000)

過程や実演パフォーマンス時に著者らが得た考察を以下にまとめる。

1. 位置情報への周波数と定位へのマッピングは音による空間的な把握に関しては有効である。
2. オシレータにおける FM 変調の周波数変化の範囲を識別可能な尺度にスケールし補間する必要がある。
3. 動的加速度の音量へのマッピングは生成時のトリガーとしての役割としては機能したが、音量の変位に関しては補間やリリース値など他のパラメータへのマッピングも検討するべきである。
4. サウンドファイルとノイズへのフィルタのパラメータへのマッピングでは、カットオフ周波数に関しては動作情報との連動性が確認されるが、Q 値の広がりに関しては特に連動性は見られなかった。
5. グラニューラー・サンプリングの再生速度には動作情報との連動性があったが、再生位置に関しては音源の種類によって判断が異なると考えられた。

1. に関しては、前述のように同時に発生される音源において同等に認識しやすいパラメータとしては周波数、音量、定位(左右2チャンネル)の3つが考えられる。制作過程と実演でわかった理解しやすいその他のパラメータはローパスフィルタ、ハイパスフィルタの

カットオフ周波数へのマッピングである。その中でも周波数と定位はそれぞれが音の高さと左右の動きとして認識できるため、動作情報の変化に関連付けがなされやすいと著者らは判断した。これら周波数、音量、定位の3つの音響パラメータを軸に動作認識に必要な値をマッピングしていき、その他の動作情報に関しては他のモジュレータやフィルタなどの音響パラメータへのマッピングするのが望ましいと思われる。

2. に関しては、FM 合成におけるモジュレーション周波数の値のスケールでは、非常に小さな範囲の値にすることで周波数の揺れの変化を詳細に認知することが可能であった。著者らがパラメータを選択する過程で、10Hz 以上の変化に関しては細分化して認識することは難しく、音色の著しい変化から原音の基底周波数の認識も難しくなってしまうことがわかった。また、倍音成分を多く含む複雑な音源ではどのパラメータの変化がどう動作に結びついているのかが認知しづらくなる傾向があった。FM 合成のモジュレーション周波数を用いて細かな動きを識別する際には、0~5Hz の範囲で指数補間を行うことが有効と考えられた。

3. に関しては、動的加速度が音を生成するトリガーとしては機能していたことが聴き取れたが、その値の推移に関しては音量への加算による変換を行ったがあまり詳細な変化を認識することはできなかった。その対策としては、線形補間やその他の音響パラメータによる表現の付与が考えられる。リリースの減衰時間に値を反映させ動きの大きさを音の持続として提示するなど、音量以外のパラメータにマッピングを行うことでの複数の音響パラメータの変化による表現も可能である。今回は多くのパラメータが音響パラメータの一つにしかマッピングされていないものが多かったが、今後は一つの値を複数の音響パラメータへマッピングする手法の考慮が必要である。

4. に関しては、フィルタ・カットオフは周波数の変化として認識しやすいことがわかった。しかし、レゾナンス・フィルタとバンドパス・フィルタの Q 値による帯域の開閉に関してはトリガーとしては機能するのだが、細かい値の変化を認識するのは困難であった。今回用いたフィルタはローパスフィルタとバンドパスの二種類でありどちらも同様な印象であった。フィルタ Q 値に関してはレゾナンスによる共振を用いた表現が有用であることは知られており、動きの大きさを強調する際や運動学習支援においてのアラームとしての用途に用いることが可能であると考察された。

5. に関しては、周波数の変化として再生速度の変化が認知でき動作情報との関連付けは可能であると考えられる。一方で、再生位置に関しては、初期段階では著者自身が選択した音源が音色があまり変化しないシンセ音や自然音を用いていたため、時系列的な位置の把握にはあまり影響が見られなかった。時系列上で異なる音

色を持つようなサウンドファイルを用いることで、今回マッピングを行った位置情報に関しては音色の変化として空間を把握することが可能であると考察された。

その他に、人間の物理量の知覚に関する尺度や認知に関連した補間関数を用いて、時系列的な動作情報を音の変化として考察が可能な補正を行う必要があると考えられた。今回は単純に指数補間を主に用いて値のスケリングを行ったが、今後の課題としては変化量の上昇下降における線形補間に関する関数を実装した上で音響パラメータへのマッピングの検討が必要である。

3.2. 体験型インスタレーションの展示

パフォーマンス時に行った提示手法は主に持続音かつ連続的に変化する音を用いた提示に手法に留まっていたが、離散的な音響を生成する方法も動作情報の推移を把握するのに有効であると考えられる。2017年の3月に情報処理学会インタラクション2017にて本システムを用いた手のストローク情報の可聴化の展示[9]を行った際に、離散的な音響を生成した表現としてメロディやパッセージとして動作が抽象化された状態での提示を行った。Form Riddle 内での音響の生成は持続的に一つの音の変化を提示しており、時系列的な細かな推移の把握がリアルタイムで考察が可能であった。しかし、一方で詳細な情報の提示に関しては一定のパターンとして記憶に留めづらいたのではないかとパフォーマンス時に感じ、パフォーマンス後に離散的に音の生成を可能なプログラムを加え、再度展示発表を行った。ここでは LeapMotion を用いた可聴化は Processing で作成したプログラムで SuperCollider と OSC 通信を行い、キーボード操作によって音響や入力情報の選択を行った。生成する離散的な音響は位置情報をいくつかのスケールに分解できるようにしている。

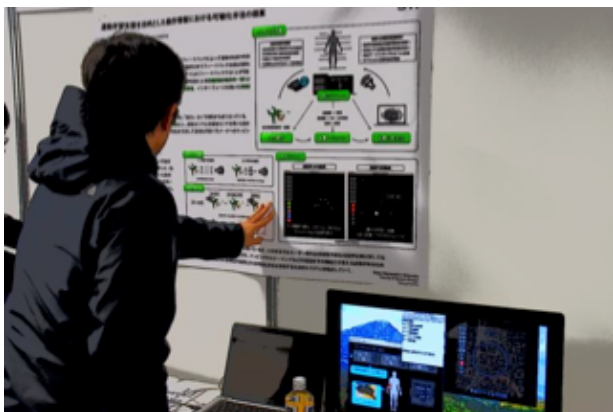


図4. 展示の様子(2017年3月)

今回の空間的な位置情報に対して離散的な音の生成による提示手法では、楽音的なパターンとして動作情

表2. 体験型システムのマッピング

取得情報	計算処理	マッピング値
位置情報 x	Pan = (x)	(0,1,0)
位置情報 y	Freq = (y)	(200,1000)

報のと音響情報の関連付けに結びつけやすさがあるのではないかとこの仮説から展示発表を行った。展示の際、複数の体験者の中には円の動き以外にも、自由なストロークを描きながら繰り返し音の生成を行っていた。動作を音のパッセージとして体感することで、音楽的な側面による理解のしやすさや興味の持続から動機付けとしての効果もあると考えられる。このことから、今後は音の生成方法に関して今後は持続的な提示手法と離散的な提示手法に分類し、それぞれの手法における身体感覚の変化の検証実験を行っていく必要がある。

また、展示における離散的な音響の提示手法では、リズムやタイミングとして動作情報を楽音的なパターンとすることによる結びつけやすさは確認された。このことから、情報を削減し抽象化する場合のサンプリングレートの最適な値を考察することも考慮することで、よりユーザ側に認知的負担が少ない状態での提示手法の提案が行えると考えられる。さらに、前述のパフォーマンス時の手法における連続的な音響と展示時の離散的な提示を組み合わせることで、細かな時間的な変化と抽象化されたパターンの双方を知覚することも可能ではないかと考えられる。

また、今回、特にオシレータに対して多くのパラメータをマッピングした。純音(サイン波)の持つ音の情報量の少なからそれぞれのパラメータにマッピングがしやすく、それぞれのパラメータの変化も詳細に聴き取れることが有効であったと考える。一方で、今回は単音による提示が主であったため検証はできていないが、複数の波形や倍音成分を持つ音源における多変数マッピングを用いることで複数部位の動作情報を同時並列的に音として提示する手法も可能であると推察できる。今後は簡単な動作パターンを用いた音による動作に関する認識の変化や身体保有感の変化に関する検証を行い、本システムを用いた音と動作の関連付けにおいて妥当性のある多変数マッピングによる音響情報の提示手法の考察を行っていく。

4. まとめと展望

4.1. まとめ

本稿では多変数の動作情報を音響パラメータへマッピングし、身体動作を単音の変化として提示する可聴化システムの事例研究と、それらの事例を元に構築し

たマッピング手法を用いたシステムの提案, 実際にシステムを用いたパフォーマンス作品の詳細を示してきた。本来は無意識化で処理され意識化では認知がされていない動作に伴うフィードバック情報は, 音による拡張現実手法を用いることで知覚が可能になり動きの特性やパターンを知ることができる。動きを音によって表現することで普段は視覚情報や体性感覚のみで確認を行っていた身体イメージの構築における情報処理過程が, 複雑な音響情報の変化のパターンとして記憶されるようになり, 身体イメージ構築における認知過程の変換が行われる。

今回はこの身体イメージの構築における動作に伴うフィードバック情報を, 多変数の動作特性を音として提示する手法によって表現するパフォーマンス作品の可能性を示した。作品のために構築した本システムは今回行った身体イメージの拡大という目的以外にも, 運動学習支援に応用することも可能である。自身の動作を修正する際に考察が可能な一つの要素としてこの可聴化システムを用いることで, 音による動作情報の分析によって学習のきっかけを与えたりモチベーションの維持に貢献すると考えられる。

本作品で用いた可聴化システムにおける音響情報へのマッピング項目は, 先行事例において行われてきた提示手法も再現が可能な設定を行うことが可能である。作品では事例研究を元に, 音響パラメータの選択とマッピングを行っているが, 今後の課題としては異なる動作対象における最適な提示手法の検証やマッピングの組み合わせ毎の比較検討が挙げられる。多くの研究では研究者ごとに臨機応変にマッピングの選択が変更されているが, これらの手法ごとの比較や評価などはあまり行われていないのが現状である [10]。本システムは入力情報の値ごとのスケールリングや補間, マッピングに関して動的に変更を行うことが可能である。一般的な静的なマッピング手法では単一の提示手法のみに留まってしまうが, 今回の動的な変更が可能なシステムを用いることで異なる提示手法が可能となるため手法ごとの比較やリファレンスの作成が容易となる。

4.2. 今後の課題

今回行った多変数の単音の複数の音響パラメータへのマッピングによる可聴化は, 一つのパラメータの変化が他のパラメータへ影響を及ぼすことで, 設定したスケールリングによってはそれぞれの音響パラメータを分離して認知することが不可能な状態になることがあった。個々の変化量が識別可能な, 音響パラメータのスケールリングや補間に関する対応関係の実験や考察が今後必要になると考えられる。一次元的なマッピングではどのようなスケールリングでも, 動作情報と身体イメージの関連付けがされやすいため, それぞれの研究ごと

に異なる値が用いられており, 明確な比較検証が行われてこなかった。多変数の単音の複数の音響パラメータへのマッピングの基準や有効性が示されれば, これまで考察がされていなかった個々のパラメータを分離して認知することが可能なスケールリングや補間方法が明確になると考えられる。

今後はこの動的な変換手法を用いてマッピングの組み合わせに関するリファレンスを制作し, それぞれの組み合わせの提示手法の比較検討を行う。また, マッピングの組み合わせの制作を効率的に行うため, 入力情報の値と音響情報のスケールリングや補正を機械学習等の手法を用いて自動的に行う必要がある。今後はマッピングやスケールリングの自動的な最適化や動的な変換方法の考察を行い, 対象とする動作や個人々の身体特性に適合することが可能な可聴化システムの実現を目指す。

5. 参考文献

- [1] 北川智利. 聴くことと身体を感じるのかかわり (特集: ころまで伝わるコミュニケーションを支える音声言語と聴覚研究の最前線). *NTT 技術ジャーナル*, Vol. 25, No. 9, pp. 30-33, 2013.
- [2] 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.
- [3] 丸井淳史. 音のためのインタフェース, 音によるインタフェース-楽器用エフェクタおよびソニフィケーション研究-. *精密工学会誌*, Vol. 79, No. 6, pp. 502-505, 2013.
- [4] Thomas Hermann, Andy Hunt, and John G. Neuhoff. *The Sonification Handbook*. Logos Publishing House, Berlin, 2011.
- [5] Gregory Kramer, Bruce Walker, Terri Bonebright, Perry Cook, John Flowers, Nadine Miner, and John Neuhoff. Sonification report, status of the field and research agenda. In *International Conference on Auditory Display*, 1997.
- [6] Norberto Degara, Andy Hunt, and Thomas Hermann. Interactive sonification [guest editors' introduction]. *IEEE MultiMedia*, Vol. 22, No. 1, 2015.
- [7] Gaël Dubus and R. Bresin. A systematic review of mapping strategies for the sonification of physical quantities. *PLOS ONE*, Vol. 9, No. 4, pp. 1283-1294, 2014.

- [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.
- [9] 高野衛, 安藤大地, 笠原信一. 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. 情報処理学会 インタラクション 2017, pp. 361-364, 2017.
- [10] Roland Sigrüst, Georg Rauter, Robert Riener, and Peter Wolf. Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, Vol. 20, No. 1, pp. 21-53, 2012.

6. 著者プロフィール

高野衛 (Mamoru Takano)

首都大学東京システムデザイン研究科博士課程後期所属。大学時代より現在にかけてコンピュータを用いた音響作品や映像作品の制作を行っている。2009年に玉川大学メディア・アート学科に入学。音響プログラミングや作曲をジョナサン・リー、キャシー・コックス、高岡明に師事する。同年、国立音楽大学大学院作曲専攻コンピュータ音楽学科に入学し、作曲と音響プログラミングを今井慎太郎に師事する。学科主催のコンサート“Sonic Interaction”にて演奏作品とアコースティック作品を発表している。2012年オーディオ・ヴィジュアル作品“Unvision”を“インターカレッジ・コンピュータ音楽コンサート”にて発表。翌年、同作品を玉川大学メディアアート学科卒業展示“Contemporary Computer Music Concert 2013”へ出品。