

[研究助成 (A)]

音楽の身体知

— 音楽の感動を増幅する感覚共有システムの開発 —

Embodied Knowledge of Music

— Feedbacksystem of Bodily Sensation in Music —

2231018



研究代表者

東京大学

大学院情報理工学系学際研究科・
次世代知能科学研究センター

准教授

大黒達也

[研究の目的]

近年の情報処理技術や機械の革新的発展により、音楽の記録や複製の精度が格段に高まり、我々はいつでも高音質の音楽を楽しむことができるようになった。しかしその一方で、演奏者の緊張感や奏者と聴取者の間の一体感を感じる機会は少なくなっていると考えられる。それを解決する手法として「身体性」がある。

私たちは音楽を聴くと、外受容感覚（聴覚など）や内受容感覚（心拍知覚など）など全身の感覚器を使ってドキドキしたりゾクゾクしたりして感動を喚起する。この身体的な感動は、心身のウェルビーイング効果に寄与すると考えられている。また、人は自分だけでなく相手の身体反応を察知することもできる。例えば、相手の緊張感を心臓の鼓動や顔つきなどから感じ取ること、共感や一体感のような社会的な情動が惹起される。

このような身体感覚は、外部から意図的に与えることで、情動を変容させることもできることがわかっている。先行研究では、音楽聴取時の内受容感覚情報を自然音を使って音楽と重ねてフィードバックすることで、音楽を聴かないで単に自然音だけでフィードバックした時よりも心身へのウェルビーイング効果（不安軽減や心拍変動改善）が高くなることがわかっている（Yu et al., 2018）。また、触覚刺激を用いてゾ

クゾク感（Fukushima et al., 2012）やドキドキ感（Nishimura et al., 2014）を意図的に作ったり、他者と身体感覚を共有し一体感を高めると、通常時よりも情動反応が増幅すると報告されている（Martin et al., 2015）。一方で、その詳細な認知メカニズムはわかっていない。

本研究では、この身体感覚（心拍、呼吸、鳥肌）が、音楽の情動反応とどのように関連しているのかを明らかにする。また、その理解に基づいて、身体感覚を他者と共有する感覚共有機器を開発し、通常は知ることのできない、音楽の感動に伴う他者の身体感覚（ドキドキ感やゾクゾク感）を共有し、一体感や共感を伴った感動を高めることを目的とする。身体内部の感覚（内受容感覚）と繋がる人間と調和した感覚共有機器を通して、音楽本来がもつ心身へのウェルビーイング効果を最大限まで引き出すことができる可能性がある。

身体感覚が感動に作用する機序仮説として脳の一般原理である予測符号化理論に着目し、予測処理の変容がどのように感動を生成するのかを明らかにする。脳は過去の経験から生成された内的モデルによるトップダウン的な能動的推論と、外受容・内受容感覚などを通して外界や身体から脳に入力されるボトムアップ的な知覚的推論との間の予測誤差を最小化する過程で感情を生成している（Seth et al., 2013）。予測情報処理に基づいて音楽の感動を理解する上で鍵

となるのは、音楽の感動には安心感を伴うような予測通りの刺激と、緊張感や驚きなど予測を少し裏切るような刺激の両側面があり、これらが相互作用することでドキドキやゾクゾクした「身体感覚」を知覚し感動へと昇華することである。また、経験や先入観に基づくような能動的推論を重視してしまうと、実際に知覚する前に既に知覚の枠組みが脳内で確立され予測した感覚に合うように身体を変化させるため、本来受けるべき身体感覚の正確性や感動の純度が低下してしまう (Feldman-Barrett et al., 2015)。これを避けるには身体感覚に深い注意を向け、知覚的推論の精度を高めることが重要である。先行研究では、他者と身体感覚を共有すると一体感が促進し、情動反応がさらに増幅することが示されている (Martin et al., 2015)。

予測情報処理に基づいて音楽の感動を理解する上で鍵となるのは、音楽の感動には安心感を伴うような予測通りの刺激と、驚きなど予測を少し裏切るような刺激が相互作用することでドキドキやゾクゾクした「身体感覚」を知覚し感動することである。この予想処理過程で生じた身体感覚を伴う感動は、一人のときよりもライブやコンサートホールなどで聴取者や奏者全員で予測誤差を共有し一体感が増すことでさらに増幅されると示唆されている。しかし、実際に予測誤差に伴う他者の身体感覚を共有するには、相手の仕草などから推測するしか方法がなく、真に相手の身体感覚を自分が「知覚」することは、通常はできない。

本研究では、聴取者や奏者の身体感覚を技術開発によって直接繋ぎ共有し合うことで一体感と感動を最大限まで高められると考えた (図1)。本提案は、この仮説を検証すべく認知科学実験を行い、その理解に基づいて感動を増幅する多感覚共有システムを設計し、実社会へと還元するまでを目標とした挑戦的な研究である。

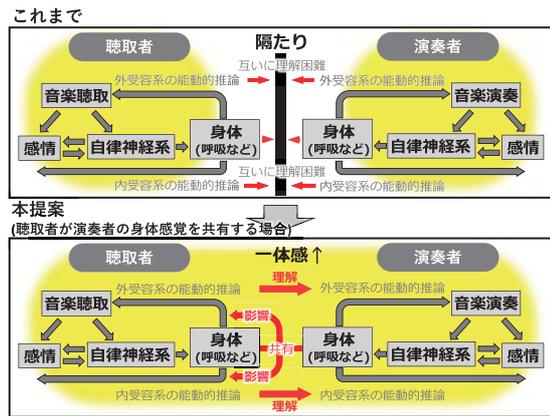


図1 本研究の仮説

[研究の内容、成果]

・デバイスの開発

内受容感覚 (心拍, 呼吸など) と連動した触覚・聴覚刺激を与えられる感覚共有システムの開発に試みた (図2)。生体センサーは、提案者の主催する研究室で既に保有する生体マルチセンサー (Biosignal Flux, CREAT) を用いた。

触覚は「振動」刺激を用いた。先行研究によると、撫でられる皮膚の触覚刺激に反応する低速の神経線維 (C-fiber) は快感情に密接に関連しており内受容感覚にも連合している (Björnsdotter et al., 2010)。このように、触覚刺激は内受容感覚のコントロールと情動への効果を最大化するために欠かせない。

聴覚は、心臓音を音響編集技術を用いて自作した (Daikoku et al., 2022)。生体センサーと記録機器はwifiによって接続を試みたが、接続の不安定さが判明し、Bluetooth 接続を用いる

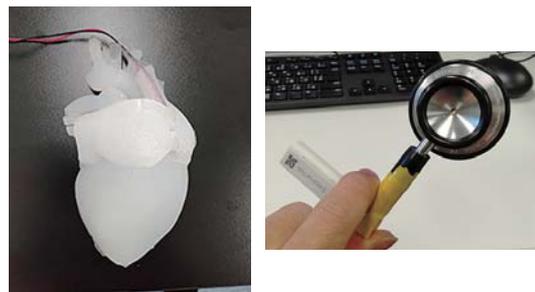


図2 最初の試作品

方法に変更した。実際の心拍の時間と機械で繋いだ心拍音の時間は殆ど時間遅延（平均 10 ms 程度）を感じないことを確認した。

まず最初に、3D プリンターとシリコン素材を用いて、心臓の模型を作成し振動スピーカーを埋め込むことで、外部の音に反応して振動するデバイスを作成した。まずはそれを聴診器とワイヤレススピーカーと接続することで、聴診器からの心拍音を通して、心臓デバイスが振動する方式を試みた（図2）。

しかしながら、この方法では、他の外部環境音を拾ってしまうこと、さらに血流音を拾ってしまうことから相当周囲が静かな環境でないと適さないことがわかった。

その結果を受けて、今度は、聴診器ではなく心電図を用いて、心電図の R ピークをトリガーにして、自作の心拍音になるシステムを作成した。聴診器のような外部音を拾わず、より厳密に正しい時間で心臓の音と同期することが確認できた。しかし、この方法では、「身体の動き」による体動ノイズが心電図に入ってしまうことがわかった。よって、なるべく身体を動かさない状況であれば、心電図を使うのが最適であるが、体動をなるべくしない状況に制御することで、音楽を十分に堪能できなくなる可能性があるため、別の方法を試みた。

これらの試行錯誤を繰り返し、最終的に体動に強く、かつ心拍のタイミングだけをなるべく精密に抽出する方法として、スポーツ選手などが運動中に測るための脈拍計（Polar, Verity sense）を用いた。その結果、上記の全ての問題を解決でき、かつ取り付けが簡易で、対象者にとってもストレスなく、心臓の鼓動と同期して振動するデバイスの試作品が完成した。

その後、予備実験によって、様々な人に自身の心臓の鼓動と同期するデバイスを手に取ってもらい、その結果をアンケートや口頭によって意見をもらった。その結果、「面白いが、自分の心臓であるという実感が湧きづらい」、「自分の心臓に手を当てることとあまり変わらない」

などの意見が多かった。その理由の一つとして、デバイスの形は心臓であるが、色や手触りなどが、心臓とは程遠いことが理由の一つとして挙げられた（図2左）。

この結果を受けて、デバイスに色を塗り、表面の手触りをより滑らかにするようコーティングした。また、デバイスからケーブルが出ていることもリアルさを半減しているとして、振動スピーカーを充電式のワイヤレス機器に変更した。これにより、ケーブルが目立たず、見た目や手触りも、よりリアルに近いと“感じられる”心臓デバイスが完成した（図3）。



図3 試作品の完成版

・音楽聴取時の身体性認知科学研究

再度、様々な人に自身の心臓の鼓動と同期するデバイスを手に取ってもらい、その結果をアンケートや口頭によって意見をもらった。まず、小学校や中学校にて、学生や教職員を対象に、音楽を聴取してもらっている際に心臓デバイスで自身の心臓の鼓動を感じた時に、聴取者間での一体感が高まるかを調べた。ここでは、学校に協力してもらうために、その前に、デバイスの意義や、研究内容についての講演を先に行い（図4左）、その後に検証を行った。また、色による感覚の違いの検証も行った（図4右）。

心臓デバイスを用いた時と、そうでない時、また青色の心臓を用いた時と、赤色の心臓を用いた時で比較した結果、色を変えることで、デバイスの効果（身体感覚の促進）が減少すると



図4 小学校・中学校にて、身体-音楽に関する講演と、その後の聴講者を対象とした色による違いの検証

いう意見が多数見られた。また、個々によってその効果にばらつきが見られる可能性を示唆した。

さらに、本課題のテーマである「音楽」聴取時の感動に伴う身体感覚を明らかにするため、よりリアルな音楽現場での検証を行った。生演奏を聞いている時に心臓デバイスを用いて音楽聴取する条件と、心臓デバイスを用いないで音楽聴取する条件で比較した。その結果、上記と同様、個々によってデバイスの効果（身体感覚の促進）にばらつきが見られる可能性を示唆した。

本デバイスを用いて今後は、厳密な実験パラダイムによる、脳波や心拍計を用いた生理実験を行い、心臓デバイスを用いた時とそうでない時の、実際の生理反応の違いを明らかにしていく予定である。

また、上記の結果を受けて、まず音楽聴取時に本当に心臓への感覚が高まるのか、またその他の身体感覚は高まらないのかを調べた。



図5 国際音楽祭にて、身体-音楽に関する講演と、その後の聴講者を対象とした色や手触りによる違いの検証

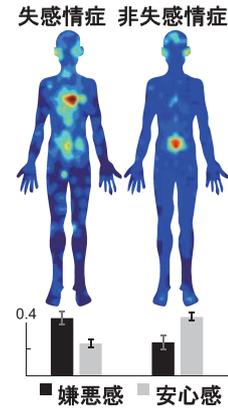


図6 50 Hz 音の身体マップ(上)と情動反応(下)

まず、2000人を対象に様々な周波数の音を聞いた時に感じる身体位置と感情を調べた(Daikoku et al., u. r., 図6)。その結果、最高可聴域周辺(～1600 Hz)では人体最高部の頭頂部を感じる人が殆どであった一方、最低可聴域周辺(30-50 Hz)では人体の最低部ではなく、内臓系(内受容感覚)最下部の腹部を感じる人が多かった。感情に関しては、低音ほど安心感が高く嫌悪感は低かった。さらに興味深いことに、内受容感覚知覚鈍麻がみられる失感情症や重度うつ傾向のある人は、低音に対する身体の位置感覚が非限局化(身体化が変容)し、嫌悪感が強くなることがわかった(図6)。このように、音知覚によって生じる感情は、固有感覚や内受容感覚を通した「音の身体化」が関わっている可能性がある。

本研究の結果から、特定の認知個性を持つものに対して、心臓デバイスを用いて自己の身体感覚(内受容感覚)を高めることで、心臓感覚が限局化し、音楽聴取時の快の感覚が高まるかもしれない。今後、この詳細な認知神経メカニズムを検証していく必要がある。

[成果の発表, 論文など]

・論文

Daikoku, T., Horii, T., & Yamawaki, S. (2023). Body Maps of Sound Pitch and its individual differences in Alexithymia and Depression. bioRxiv, 2023-07.

・展示

駒場博物館（2023年12月16日～25日，図7）



図7 駒場博物館で心臓デバイスの展示

・国際シンポジウム

「音楽の身体知」国際シンポジウムの主催。
(世界各国で，本分野の第一線の研究者を招聘し，シンポジウムを開催)，2025年5月26日，東京。

・アウトリーチ

渋谷 Dommune にて，心臓デバイスに関するトークイベント（図8）



図8 音楽のイベント（渋谷 Dommune）にて，心臓デバイスに関するトーク