

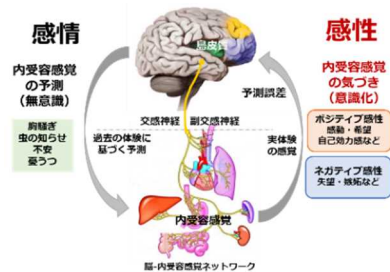
研究開発テーマ名

音楽と感性脳科学の異分野融合によるイノベーション研究推進

2022年度までの進捗状況

1. 概要

本プロジェクトでは、脳と身体内部の内受容（内臓）感覚の相関に注目し、感性の脳メカニズムの解明とその可視化をするとともに、音楽という言葉の壁を超えて感性に作用するツールを用いて、無意識のポジティブ感性に気づかせ、希望・効力感・レジリエンス・楽観などの「こころの資本」を増大し、次世代がこころ豊かに活躍できる社会の実現を目指します。



音楽と感性脳科学という異分野融合によるイノベーション創出を目的としますが、両者にはまだ大きなギャップがあります。本研究開発課題では、音楽家の芸術的感性（非言語的体験）を科学者の言語に変換し、音楽の感性に及ぼす効果を脳科学的に実証し、イノベーション創出実現のために克服すべき課題を抽出し、その解決策を検討します。

2. 2022年度までの成果

ヒトは予測しながら生きています。過去に体験したエピソードにおける内受容感覚の変化を記憶しています。Seth&Friston(2016)は脳が過去の体験に基づいて内受容感覚の変化の意味を推測する時に感情が生じると報告しています。2022年度は、我々のグループと感性の脳メカニズム解明の基盤となる島皮質による内受容感覚制御についての

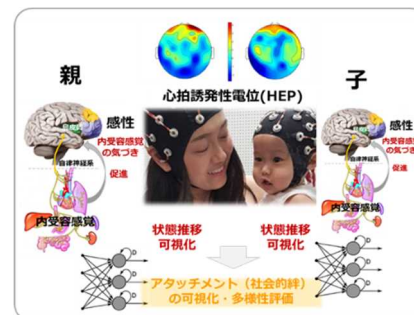
論文を発表しました (Fermin, Friston & Yamawaki;2022)。

音楽を聴取する場面でも脳と内受容感覚を計測するために、感性に関わる内受容感覚の気づき、ストレス、レジリエンスなどの質問紙を組み込んだ音楽・感性アプリを開発し、ウェアラブル心拍と脳波の計測のデバイスによる同時計測システムを構築しました。

音楽ワークショップに研究者が参加し、音楽による感性変化の体験を共有するとともに、演奏者・指揮者に対して内受容感覚の気づきなどの感性アプリを用いた心理調査や客観的感性評価方法の確立に向けて、演奏中の心拍変化や脳活動計測、人間の耳では聴こえない超高周波音の効果の予備的検討を行いました。その結果を踏まえて音楽家と脳科学研究者が議論し、感性アプリの有用性や生体計測の課題などを抽出しました。



また、2050年に活躍すべき次世代（乳児）を対象とした脳波と心拍の同時計測による内受容感覚の心拍に誘発される心拍誘発電位（HEP）測定法の検討と、音楽による感性の発達研究体制の基盤を構築しました。



3. 今後の展開

感性の脳科学研究の成果を音楽場面で検証するフィールドを一般市民（子どもを含む）の協力を得て構築していきます。

参加者に音楽を楽しみながら感性の仕組みを理解してもらえる Music Edutainment プログラム開発や感性の可視化技術の社会実装するための課題を議論して、イノベーション創出につながる研究方略について検討します。

音楽を活用した子どもの感性を育む育児システム、教育システム開発のために、学校や自治体と連携します。

子どもを対象とする感性研究のインフォームドコンセント、産学連携による社会実装や悪用に対する ELSI についても幅広く検討して、イノベーション創出につながる研究を推進します。

(山脇成人・広島大学)

研究開発テーマ名

「市民体験参加型音楽・感性脳科学研究プラットフォーム構築と社会実装」

2022年度までの進捗状況

1. 概要

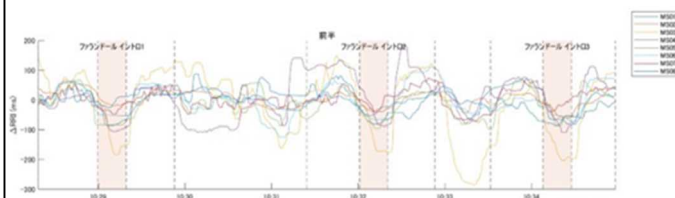
本研究では、子どもから成人までを含めた市民体験参加型の音楽・感性脳科学研究プラットフォーム（MKOS）を構築し、楽しみながら感性脳科学研究に参加する Music Edutainment の基盤確立を目指し、ELSI についても参加者と活発な議論を行っています。音楽による脳・内受容感覚ネットワーク（BIN）に及ぼす効果の実施可能な生体計測の Feasibility Study を行い、感性和 BIN に及ぼす効果を誰もが享受できる Music Edutainment 研究プログラムの開発を目指しています。

2. 2022年度までの成果

【MKOS 構築と生体計測フィジビリティ・スタディ】

2022 年 7 月に公共施設の協力のもと、約 100 名の幅広い年齢層の小中高大学生、社会人の多様な演奏者・プロ演奏家から成るオーケストラと約 200 名の鑑賞者が参加し、音楽ワークショップ（WS）を実施しました。大規模会場での音楽演奏中の指揮者・演奏家の生体計測から、演奏時の心拍増加や演奏家間の心拍同期等が見受けられました。

演奏家 8 名の心拍（R-R 間隔）



また、内受容感覚主観アンケートの調査をアプリで実施し、

演奏・鑑賞前と演奏・鑑賞後に演奏者・鑑賞者から回答を得ました。利用した演奏家からは、操作性、質問内容、演奏前後の入力タイミングの再検討等の提案がありました。

オーケストラ演奏時の脳波・生理同時計測



心拍計測(ADIウオッチ)
聴衆参加者



脳波計測(12chドライ電極)
聴衆参加者



【MKOS における Music Edutainment 基盤モデル構築】

2022 年 10 月に教員・演奏家・舞踏家を対象に、課題推進者（本田、笹岡、町澤）と共同で超高周波体験中の生体計測を実施しました。また、今後実験室外で脳波計測をするにあたり、環境ノイズに対応するため、電磁ノイズ計測器を用いて会場で計測を行い、脳波計測に支障がないことを確認しました。さらに、今後の Music Edutainment の教材作成のため、音楽演奏時に発生する楽器ごとの超高周波数を計測しました。

【PM、他 PI との共創研究】

2022 年 12 月にヤマハ株式会社の協力のもと、演奏者 10 名、聴衆 6 名（演奏後の演奏家、音楽教育関係者）で、演奏時と聴取時の残響効果の違いの調査と、新たな主観心理質問紙作成のためのデータ収集を行いました。生体計測では残響による演奏時の心拍変化が見られ、BPQ 超短縮版による調査では、聴取時の感情変化に差異があることが分かりました。また、主観心理質問紙では、音楽経験後のポジティブ・ネガティブ等の感情変化が見受けられました。

3. 今後の展開

本研究では、次年度以降の WS 開催地域の拡大のため、教育委員会・協力校・地域コミュニティとの連携を継続していきます。また、MS9 活動内容の情報発信を幅広く行い、参加者を増やすことで、より多様で大規模なプロジェクトの実現を図ります。

さらに、研究成果を音楽療法に結び付け、心身の健康のための予防策として、音楽療法を義務教育における音楽の授業の中で学べるようにすることを目標とします。伝統知である音楽療法に科学的要素を加味し、多様な感性に対応させることで、一人一人がより精神的に豊かで躍動的な社会の実現を目指します。

（西本智実・広島大学）

研究開発テーマ名

音楽養育環境による乳幼児の内受容感覚発達メカニズム解明

2022年度までの進捗状況

1. 概要

核家族化が進み続ける現代社会では、孤立育児に悩み、ストレスに苛まれる親（母親）の数は増加の一途をたっています。さらに、虐待など不適切な環境で余儀なく育つ子ども、ネット依存やいじめ、不登校、自殺者数も顕著に増加しています。新型コロナウイルスの感染拡大が、これらの問題の深刻化に拍車をかけました。

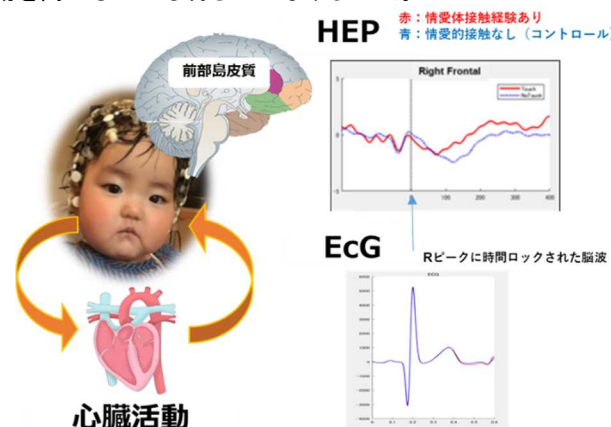
育児にまつわる社会問題の改善を目指し、本研究では、親子双方の生理・心理的機構の解明と新たな発達支援手法を開発します。とくに音楽体験による介入に着目し、母親と乳幼児の相互作用時の生体動態の時系列推移を可視化することで、親子の生理・心理面をどのように変容するかを検証します。最終的に、Awareness Music Sound (AMS) によって、親子のストレスを低減し、歓びと自己効力感を高める「AMS 感性発達メソッド」の開発を目指します。



2. 2022年度までの成果

乳児—養育者間相互作用時のハイパースキャン脳波・心電図計測システムの構築

ヒト乳児を対象に、(Heartbeat-evoked potentials, HEP) の妥当性を検証しました。HEP は、感性のバイオマーカーの一つと考えられています。計測の結果、神経指標安静時に前頭領域から頭頂領域にかけて HEP 反応（ポジティブなピーク）が認められました。また、情愛的接触 (affective touch, 内受容感覚に影響する) を受ける経験が、乳児の HEP の活動を高めることも明らかとなりました。



さらに、乳児—養育者の相互作用中の HEP を計測するために、2 者の脳波 (EEG)・心電図 (ECG) を安定して計測できる評価系を構築しました。神経生理系の指標として、ハイパースキャン EEG+ECG 同時計測システム、アクティブ電極搭載型脳波キャップを導入しました。加えて、運動系の指標としてセンサーレスモーションキャプチャシステムを導入しました。

音楽を用いたフィールドでの実証実験と計測システムの検討

音楽体験により親子の感性を育む「AMS 感性発達メソッド」の開発を目指し、音楽を用いたフィールドでの実証実験計画を具体化しました。ここで克服すべき課題は、乳幼児とその親の身体を（可能な限り）拘束せず、生体データを取得することです。そのため、ワイヤレス心拍計、マーカーレスモーションキャプチャカメラに加え、非接触で呼吸・心拍、体動を計測できるセンサシステム（京都大学大学院工学研究科阪本卓也教授との協働）を導入しました。

二者間、複数個体間の生体動態可視化

身体の微細な動きの同期性評価

モーションキャプチャシステム

心拍変動・複数者間の同期性評価

ウェアラブル心拍計

ミリ波レーダー

呼吸変動・複数者間の同期性評価

ミリ波レーダー



3. 今後の展開

1. 母親—乳児を対象としたマルチモーダル生体計測によって、親子の神経生理同期の動態推移を可視化します。
2. 上記の結果と、それぞれの親子が示すポジティブ・ネガティブ感性（主観）との関連を検討します。
3. フィールドでの実証実験に向けて、京都大学にて、複数ペアの親子を対象とした音楽体験時の生理・心理・行動を評価します。

(明和政子・京都大学)

研究開発テーマ名

超高周波音の内受容感覚の気づき促進メカニズム解明と社会実装

2022年度までの進捗状況

1. 概要

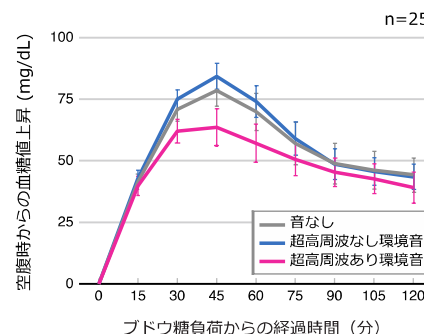
音楽には、音階、メロディ、リズム、ハーモニーなど楽譜で記述できる要素だけでなく、音色やゆらぎ、空間的拡がりなど、楽譜として表現することが難しい言語化できない要素が多く含まれていて、音楽が人間の心に響くうえで、欠かすことのできない重要な役割を担っています。私たちはこれまでの研究により、地球上のさまざまな文化圏の音楽には、人間が音として感じることのできない20kHz以上の超高周波音が豊富に含まれることを明らかにするとともに、そうした超高周波音は、人類の遺伝子が進化的につくられた熱帯雨林自然環境音には豊富に含まれるのに対して、現代都市の環境音にはほとんど含まれないことを明らかにしてきました。さらに超高周波音を豊富に含んだ音が、中脳や間脳など心身の健やかさや豊かさを生み出す神経系を活性化し、音を心地よく感じさせるとともに、免疫能の向上やストレスホルモンの低下など心身の健やかさを導く効果をもつ可能性があることを、先端的な統合イメージング技術を用いて明らかにしてきました。本プロジェクトでは、超高周波音を含む Awareness Music/ Sound が自律神経系を介して心身の豊かさを導くメカニズムを解明するとともに、その社会実装を目指します。

2. 2022年度までの成果

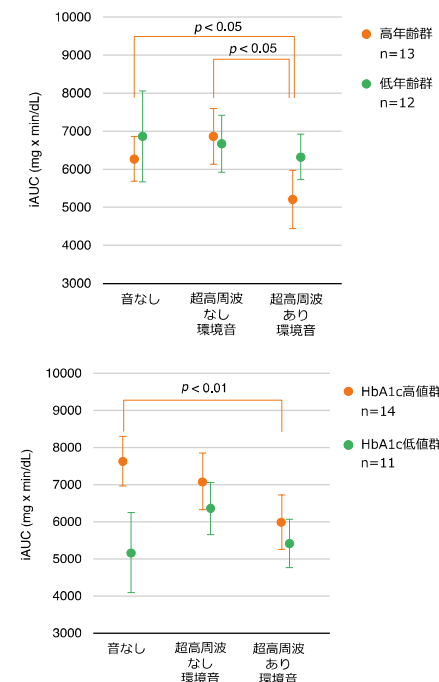
うつ病や不安障害といった心の病だけでなく、糖尿病や高血圧などの生活習慣病などを予防し、心身の健やかさを維持するうえでストレスマネジメントが重要であることは広く知られており、音楽は有効なアプローチの一つとして期待されます。しかし従来の音楽療法は、個人の嗜好や心

理状態など主観的な要因に依存するところが大きいため、個人によるバラツキが大きく安定した治療効果を導くことが困難でした。一方、人間が感じることでできない超高周波音による効果は、心理的な影響を受けにくいと、音楽を用いた心の豊かさを開発する上で、有効なアプローチになり得ることが期待されます。

そこで本プロジェクトでは、心身のストレスによる自律神経機能の乱れが予防と発症後の経過に重大な影響を及ぼす糖尿病の予防をターゲットとして、糖尿病の診断に用いられる経口ブドウ糖負荷試験を用いて、超高周波音が血糖値に及ぼす影響を調べました。その結果、超高周波音を含む自然環境音（赤線）を聴いている時には、超高周波音を含まない自然環境音（青線）を聴いている時や環境音がない時（灰色）と比較して、超高周波音を含む自然環境音により、血糖値上昇が統計的に有意に抑制されることを発見しました（ $P < 0.0001$ ）。



さらに、超高周波音による血糖値抑制効果は、年齢の高い人と日常的に血糖値が高めの人（HbA1C 高値群）で顕著に見られたことから、糖尿病になりやすいハイリスクの高い人に対する予防効果が期待されます。



この研究成果は、Nature 姉妹誌である Scientific Reports 誌で発表され、多くの報道で取り上げられました。

3. 今後の展開

薬物療法や外科療法、再生医療などに代表される現代医学は、病気に対して物質面からアプローチする〈物質医療〉が主流です。今回の研究成果は、音楽に含まれる感覚情報が脳神経系を介して、物質医療ではアプローチすることが難しい疾患の治療と予防を導き、心身の健やかさと豊かさをもたらす〈情報医療〉を切り拓くものと期待されます。（本田学・国立精神・神経医療研究センター）

研究開発テーマ名

Awareness Music/Sound の要素同定と音の及ぼす臨界期の解明

2022年度までの進捗状況

1. 概要

音楽は聴覚系、運動系、情動系、内受容感覚系などに強い訴求力を発揮することが特徴であり、その神経基盤の解明は AMS(Awareness Music Sound)の創成に不可欠です。

また可聴域外の音も AMS になり得ますが、ヒトでの検証は難しくなります。本研究では内受容感覚と外受容感覚の相互作用が進化の過程でどのように獲得されてきたのかに注目し、ヒトと動物の相同性を実験的に検証します。また、乳幼児期（臨界期）の音環境が内受容感覚の発達にどのように影響を及ぼすかを検討し、その脳内基盤を解明します。

本研究では (i) 内受容感覚の気づきを促進する AMS の音響情報構造（リズム、和音、超高周波音など）を同定し、音楽や AMS のリズム、和音、旋律などが脳の報酬系、情動系、自律神経系や内受容感覚系に対して、どのような作用機序で影響を及ぼすかを検証すること、(ii) 自律神経系の操作（たとえば迷走神経刺激）が、外受容感覚系の神経活動に対してどのような影響を及ぼすのか、時間周波数分析や心拍誘発電位(HEP)などが内受容感覚の気づきの指標になるのかを検証し、その神経基盤を明らかにすること、(iii) 母子分離のような養育環境や音楽に接する音環境が、音の規則性や倍音の情報処理（外受容感覚系）、自律神経系・内受容感覚系の発達に対して、どのような影響を及ぼすのかを調べ、その神経基盤を明らかにすること、(iv) 音楽が複数個体へ影響を及ぼすメカニズムを調べ、運動系や内受容感覚系の個体間同期が、集団の内受容感覚の気づきに基づく一体感を生み出す神経基盤を解明すること、(v)

ヒトと動物（ペットなど）の種を超えた AMS の効果検証と社会実装の可能性を検討することなどに取り組みます。

2. 2022年度までの成果

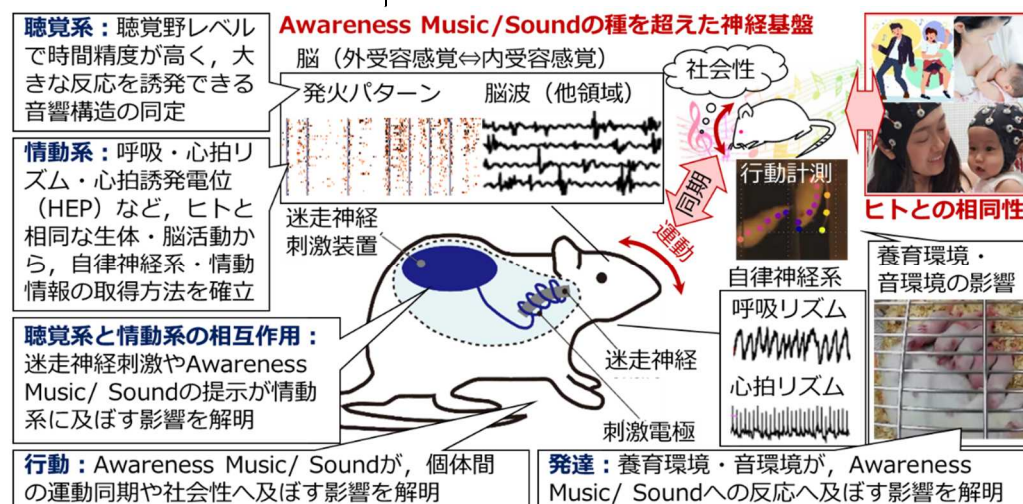
AMS の効果を動物実験で検証するための生理実験系・行動実験系を構築し、そのフィージビリティを示しました。音楽的な音響情報構造の特徴として、リズムに注目し、その情報処理機構をげっ歯類モデルにおいて同定しました。

ラットの頭部に無線加速度計を取り付け、音楽提示中のラットの頭部運動を精密に計測することを試みたところ、ラットは原曲で最も顕著なビート同期を示すことや、楽曲中のビート同期運動の変化は、ラットとヒトで似ていることを明らかにしました。さらにラットの視床・聴覚野において、リズムが聴覚野における音楽情報処理に与える影響を精査したところ、音楽に多く表れるリズムやテンポは、聴覚野の応答特性に関係があることを見出しました。これらの結果から、ビート同期を生む脳のダイナミクスは、少なくともげっ歯類の脳から私たち人間の脳に受け継がれてきたと言えます。また逆に、長い年月をかけて、人間社会で発展してきた音楽は、動物種を超えて、脳へ強い訴求力を発揮する可能性も考えられます。このようにラットは、AMS の効果を検証するための画期的な実験モデルとなり得ます。

3. 今後の展開

今後の研究では、(i) 内受容感覚と外受容感覚の相互作用がどのように獲得されてきたのかに注目し、(ii) ヒトと動物の相同性を実験的に検証すること、(iii) 動物実験において、電気・光生理学的な手法で、自律神経系や情動系の状態を把握し、調整できる手法を確立すること、(iv) ヒトとの相同性を考慮し、心拍誘発電位計測や迷走神経刺激療法のトランスレーショナル研究を推進すること、(v) 聴覚系と情動系との相互作用に基づき、自律神経系や情動系へ訴求する音響情報構造や気づきを促す音響情報構造を明らかにして、AMS を同定すること、(vi) AMS の長期曝露により、脳や行動がどのように変化するかを生理実験と行動実験でトランスレーショナルに解明することに取り組めます。

(高橋宏知・東京大学)



研究開発テーマ名

fMRI/脳波 BIN 同時解析による感性のメカニズム解明と脳科学モデル

2022年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発テーマでは、本プロジェクトで提案している感性脳科学モデルの検証とそのフィールドでの実証に向けた取り組みを進めています。特に、脳と内臓の間の情報伝達と制御に関わるネットワーク（「脳-内受容感覚ネットワーク：Brain-Interoception Network; BIN」）が感性的評価のきっかけとなる「気づき」に関わっているという仮説を立て、fMRI-EEG および生理計測によって得られたマルチモーダルデータを解析することで仮説の検証を進めるとともに、そのメカニズムの解明を目指しています（図1）。

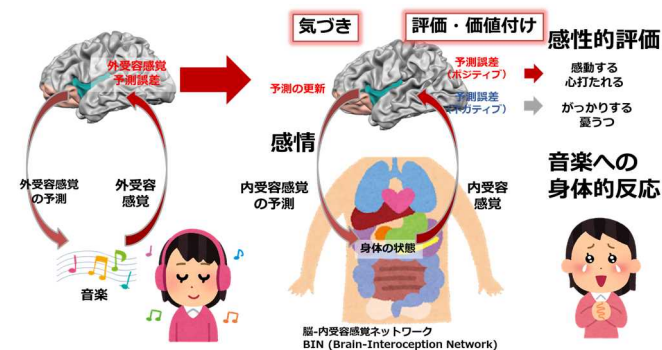


図1. 本テーマで検証する仮説

2. 2022年度までの成果

・音楽の感動に関わる内受容感覚処理と脳内メカニズム

BINにおいて重要な脳部位である島皮質に関する仮説についての論文を自由エネルギー理論の提案者 Friston との共著で出版しました(Fermin, Friston, & Yamawaki, 2022)。

音楽を聞いたときの感動度を評定する課題を行っている参加者の心拍と脳活動の計測を行いました。心拍知覚の成績に基づいて参加者を内受容感覚の高い群と低い群に分けて比較を行うと、内受容感覚の高い群は低い群に比べて、感動度が高い音楽を聴いているときに心拍数が上昇し、中部島皮質という脳領域で感動度と相関した活動が見られました（図2）。この領域は内臓からの信号を受け取っていることが知られており、内受容感覚が高い人々では、感動を評定するとき心拍感覚のような内受容感覚の情報が用いられていると考えられます。

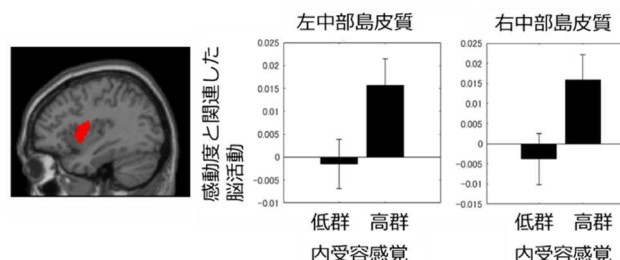


図2. 内受容感覚感度によって変化する中部島皮質の活動

・音楽における予測の不確実性と心拍誘発電位

脳と心臓の間のインタラクションを反映していると考えられる心拍誘発電位(HEP; Heartbeat Evoked Potential)を用いて、次の和音の予測しやすさがBINに与える影響を検討しました。その結果、音楽的な和音列の場合よりも、次が予測しづらく、不確実性が高い和音列の場合に、前頭部で生じる HEP が大きく、また実際に参加者が和音の予測が不確実と答えたときほど HEP が大きくなることが示されました（図3）。これらの結果は、和音に対する予測の不確実性がBINに影響を及ぼすことを示唆しています。

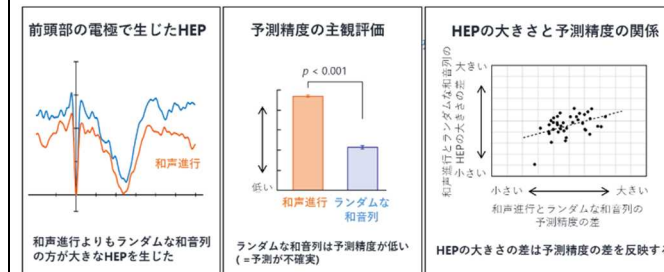


図3. 和音の予測しやすさによって変化する HEP

3. 今後の展開

今後も引き続き BIN の解明を進め、内受容感覚の気づきを可視化する指標の特定を目指します。その上で、得られた指標が音楽に関わるこころの動きと関連するかを検証すると共に、音楽ワークショップなどフィールドでの実証実験（図4）も進め、Awareness Music/Soundのための理論的・技術的基盤の構築とその実証検証を進めます。（笹岡貴史・広島大学）

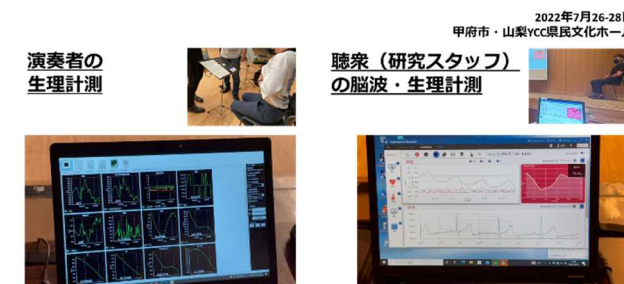


図4. 音楽ワークショップでの計測例

研究開発テーマ名

簡易 BIN 計測による感性の遠隔可視化と音楽による NBF 技術開発

2022年度までの進捗状況

1. 概要

日常生活場面における脳波などのウェアラブル脳計測技術の発展により、これまで定量評価しにくかった感性などを可視化する技術が定着されつつある中、高い信頼度と日常生活場面でも計測可能な簡便性を合わせ持つ脳計測技術の確立が、今後の脳・内受容感覚ネットワーク (BIN: Brain-interoception Network) 計測を日常場面の音・音楽に生かした脳生理計測及び可視化技術の確立に向けて必須な開発課題となっています。本テーマでは、基礎研究で得られた指標をもとに、社会実装の達成を目指すための基盤技術開発を進めます。第一にウェアラブル脳波計及び生理計測デバイスを用いたマルチモダルな BIN の脳生理指標を用いた可視化技術を開発し、リアルタイムで BIN を計測し可視化する指標を特定します。収集されるデータは、情報通信技術を応用することにより、その可視化を複数名での同時計測・可視化に繋げることで、ポジティブ感性や共感などの定量評価を可能にするための基盤技術を開発します。

BIN 感性コミュニケーション

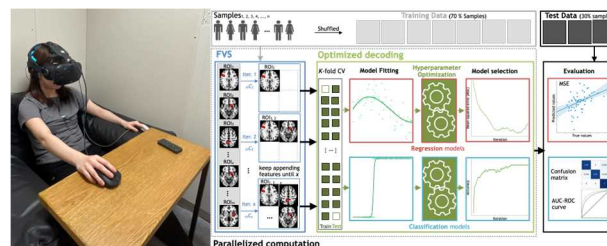


これらの脳科学技術を応用し、可視化するだけでなく、BIN を刺激して、ネガティブ感性最小化するような音や音楽でリアルタイムに可聴化する技術開発を行うことで、Awareness Music/Sound (AMS) がもたらす効果を踏まえた Neuro-Bio Feedback (NBF) 技術の創出につなげます。

2. 2022年度までの成果

①「ウェアラブル BIN 計測を用いた感性可視化技術開発」

脳波に加えて、複数の生理指標を同時計測する、BIN 計測法を構築しています。また、多変量の脳データにおいて既存の機械学習法の解釈精度を向上する新たな解析手法とツールボックスを開発し、公開しました (図右)。



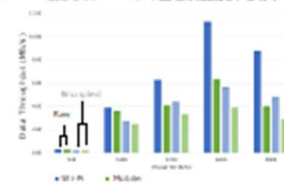
②「複数名同時のマルチモダル BIN データの蓄積と感性の遠隔可視化技術開発への整備」

近い将来、市民からも得られるマルチモダルな脳生理情報 (パーソナルデータ) を取得するプラットフォームとして、セキュアにデータの提供者とその利用者間の認証を確立する、自己主権型認証を開発しました (Ding, Sato & Machizawa, 2022)。国際学会 (IEEE Software Defined Systems) にて Best Paper Award を受賞しました。

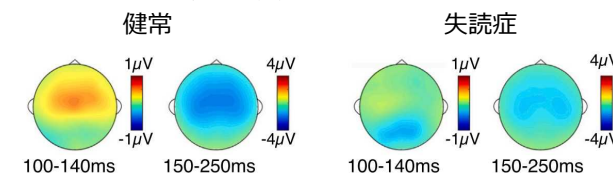
脳科学研究用の自己主権型認証 市民の意思を反映したデータ共有



無線通信時の暗号化 脳波データ通信性能比較



③「統計学習と音楽の知覚・認知・鑑賞に関する神経基盤」
私たちは無意識にも音階を学習し、脳は自動的に音符の統計学習を行っています。我々の統計学習理論を用いた研究によって、失読症に関係する知覚及び注意の神経基盤が明らかになりつつあります。



④「世代間及び種族間での BIN 計測手法の共有」

各チームと連携して、基礎研究～実社会応用への橋渡し、世代間 (大人～子ども) 及び種族間 (ヒト～ネズミ) での BIN 計測手法の技術的な共通化を進めています。

3. 今後の展開

実社会でも精度を担保した上での実用化に向けて、(1) で開発した解読手法を応用することで、基礎研究で得られた脳機能を一般社会でも信頼して利活用できる礎になることが期待されています。市民の参画による共同研究によって、安心したデータの共有をつうじた共同研究が期待されます。BIN を念頭において感性の脳科学モデルに基づいて、経験に基づく音や音楽に関係する個人差に関わる脳神経基盤を解明が期待されます。また実社会でも利活用可能な簡便な指標を特定し、今後のリアルタイム可視化を可能とするマルチモダル脳生理情報の解読技術の構築につなげます。総じて、脳科学的な基礎研究から見出された信頼度のある指標をもとにした、実社会における BIN 計測、評価、そしてフィードバックを通じた「こころの資本」の強化に向けた開発が期待されています。

(町澤まろ・広島大学)