

令和 5 年 10 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A)）

研究期間：2020～2022

課題番号：19KK0316

研究課題名（和文）感動の生起要因となる音響特徴量に対する脳情報処理方式の解明と操作

研究課題名（英文）Research on the causal effect of brain encoding of sound on being emotionally moved

研究代表者

森 数馬 (Mori, Kazuma)

大阪大学・大学院人間科学研究科・招へい研究員

研究者番号：70754696

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,700,000 円

渡航期間： 21 ヶ月

研究成果の概要（和文）：音楽などの芸術作品に感動するとき脳は特有の活動を示すが、こうした活動がどのように生じるか不明である。本研究は、感動の生起要因について音楽を聴取する直前の脳ネットワークに着目して検討を行った（パンデミックのため当初予定を変更）。その結果、聴覚-報酬脳領域において、特定のネットワークが形成されている場合、感動反応がより長く持続すると示された。また、聴取中の生理反応や報酬脳活動の強さについても、聴取前の聴覚-報酬ネットワークから予測可能であった。これらの研究成果から、感動の一つの要因として脳の準備状態が重要であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、音楽を聴取する前の脳ネットワークの値を用いた機械学習によって、音楽に対する感動反応が予測できると示した。音楽の感動は報酬脳活動をもたらすと知られているが、その要因については未解明の部分が多い。本研究の成果から、音楽による報酬脳活動を規定する要因に関しての新たな学術的知見が得られたと言える。また、例えば、味嗅覚に関する脳領域と報酬脳領域のネットワークが、食への報酬を規定するといった、他感覚での報酬を示唆する成果でもある。本研究の感覚野と報酬の脳ネットワークによりその後の経験を予測する技術の開発は、五感に関する新たなマインドリーディングの手法となり得るものであり社会的意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：When we feel emotionally moved by the artworks such as music, the brain shows specific activity. However, it is unclear the mechanisms underpinning this activity. In this study, we investigated the factors that could generate emotional being moved by focusing on the brain network immediately before listening to music (the original research plan was changed due to a pandemic). The results showed that the being moved response during music lasted longer when a specific network was formed in the auditory-reward brain region before music listening. In addition, the intensity of physiological responses and rewarding brain activity for music was also predictable from the auditory-reward network prior to listening. These results indicate that a state-dependent brain network is one of the factors that contribute to being moved.

研究分野：認知脳科学、感性情報学

キーワード：感動 報酬 音楽 脳 安静時脳機能結合 機械学習 脳情報デコーディング

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

我々は食事や金銭から報酬を感じ取る。こうした報酬は、生存にとっての重要性から生じるものと考えられる。一方で、人は生存に必ずしも重要とは言えない、音楽などの芸術作品にもよく報酬を感じる。これまでの研究では、音楽によって生じる快感情、とりわけ鳥肌が立つ・背筋がぞくぞくする感動の感覚が生じる際、側坐核や眼窩前頭皮質といった脳の報酬系領域が賦活することが示されてきた(Blood & Zatorre, 2001, *PNAS*; Salimpoor et al., 2011, *Nat Neuro.*)。また、より近年では音楽無快楽症(Musical anhedonia)の存在が示された(Martínez-Molina et al., 2016, *PNAS*)とともに、脳構造と音楽による快感情の関係性も示されており(Martínez-Molina et al., 2019, *J Neuro.*)、報酬への個人差が明らかにされてきた。

このように先行研究において、音楽と報酬脳活動の関係や個人差が示されてきたものの、どのような状態のときに音楽に報酬を感じやすいか明らかでない。例えば、音楽を聴取する状況を考えた時、コンサートに参加する際には鳥肌のような強い感情を経験するが、家でリラックスしている時にそのように強い感情を得ることは少ない。このような聴取状態の違いを定量的に検討できれば、報酬を得やすい状況を明らかにすることができる。近年の安静時脳活動の研究は、実験課題の間の数十秒～数分の脳ネットワークがその後の行動を予測可能であることを示している(知覚について Sadaghiani et al., 2015, *PNAS*; 記憶について Liu et al., 2019, *Cell*)。この検討手法を応用して、音楽に報酬を感じやすい脳ネットワークを示せる可能性がある。

## 2. 研究の目的

音楽を聴取する直前数十秒の安静時脳機能結合を脳ネットワークの指標として用いて、特定の脳ネットワークに表象される聴取前の状態が、その後の音楽により生じる快感情を予測できるか検討することを目的とした。

## 3. 研究の方法

fMRI 装置内で音楽を聴取させる脳機能計測実験を行った。実験 1 では、38 人の参加者が装置内で音楽聴取中に生じた感情状態についてリアルタイムで報告した。感情状態の選択肢は、中性・快・鳥肌・涙のいずれかであった。参加者が 8 曲の音楽を聴取する前、1 曲ごとに数十秒の休息期間があった。実験 2 では、異なる fMRI 装置を用いて 11 人の参加者が同様の実験を行った。また、安静状態の比較のため、実験開始前 10 分間の安静時脳活動も計測した。

## 4. 研究成果

実験 1: 音楽聴取前の数十秒における安静時脳機能結合の値を、13 ネットワーク・288 領域(Seitzman et al., 2020, *NeuroImage*)から算出した。この安静時脳機能結合の値を用いた機械学習によって、音楽聴取中の感情反応の予測を試みた。手法には Lasso 回帰を用いて、ハイパーパラメータをチューニングしながら、Leave-one-out cross validation による予測を行った。結果から、聴覚-報酬ネットワークのみで、音楽がもたらす鳥肌の感覚を統計的に有意に予測できることが示され、予測に貢献した脳ネットワークには、聴覚野と側坐核、眼窩前頭皮質、扁桃体が含まれていた(図 A)。音楽聴取前、聴取中、聴取後の脳ネットワークによる検討から、聴取前のみで感情反応の予測が可能であることも示された(図 B)。

実験 2: 実験 1 で作成した機械学習器を、実験 2 のデータに適用して予測を試みたところ、音楽による鳥肌の感覚を、聴取前の脳ネットワークから予測可能であった。しかし、実験前の安静時脳ネットワークに学習器を適用した場合、予測は不可能だった(図 C)。

以上から、音楽聴取前の聴覚野と報酬脳領域が強いネットワークを形成しているほど、音楽に対して強い報酬反応(鳥肌の感覚)を得やすいことが明らかになった。本研究成果から、ある芸術作品を受容して報酬を得るためには、脳の状態依存的な準備状態も重要であるという新たな学術的知見が得られた。

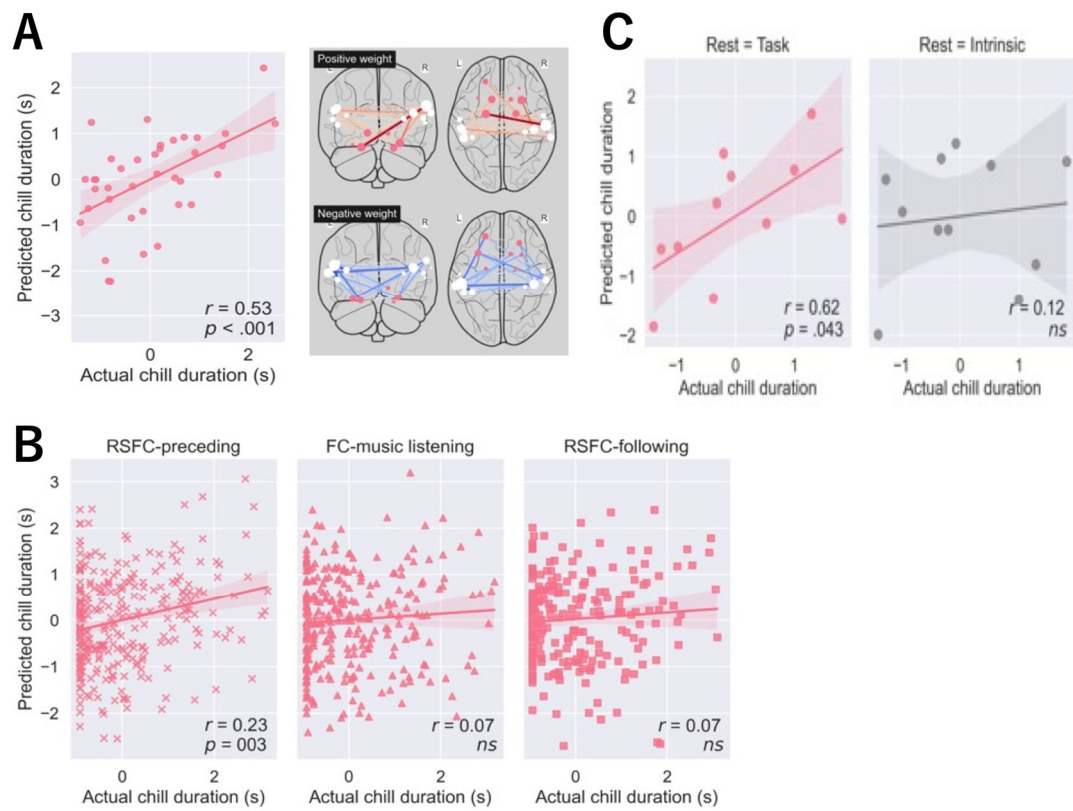


図. 聴覚-報酬脳ネットワークによる音楽への強い報酬反応の予測

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 1件）

|                                                                                                        |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1. 著者名<br>Kazuma Mori                                                                                  | 4. 巻<br>222          |
| 2. 論文標題<br>Decoding peak emotional responses to music from computational acoustic and lyrical features | 5. 発行年<br>2022年      |
| 3. 雑誌名<br>Cognition                                                                                    | 6. 最初と最後の頁<br>105010 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.cognition.2021.105010                                             | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                                                                 | 国際共著<br>—            |

|                                                                                                                                           |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名<br>Mori Kazuma, Iwanaga Makoto                                                                                                     | 4. 巻<br>159         |
| 2. 論文標題<br>Being emotionally moved is associated with phasic physiological calming during tonic physiological arousal from pleasant tears | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>International Journal of Psychophysiology                                                                                       | 6. 最初と最後の頁<br>47～59 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1016/j.ijpsycho.2020.11.006                                                                                 | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                                                                                                    | 国際共著<br>—           |

|                                                                                                      |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名<br>Mori Kazuma, Zatorre Robert                                                                | 4. 巻<br>—       |
| 2. 論文標題<br>State-dependent auditory-reward network connectivity predicts degree of pleasure to music | 5. 発行年<br>2023年 |
| 3. 雑誌名<br>Research Square                                                                            | 6. 最初と最後の頁<br>— |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.21203/rs.3.rs-2725123/v1                                               | 査読の有無<br>無      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）                                                                | 国際共著<br>該当する    |

|                                        |                    |
|----------------------------------------|--------------------|
| 1. 著者名<br>森数馬                          | 4. 巻<br>41         |
| 2. 論文標題<br>音楽による自律神経反応および脳活動と情動喚起      | 5. 発行年<br>2022年    |
| 3. 雑誌名<br>精神科                          | 6. 最初と最後の頁<br>7～13 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし          | 査読の有無<br>無         |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著<br>—          |

|                                        |                 |
|----------------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名<br>森数馬                          | 4. 巻<br>—       |
| 2. 論文標題<br>感情は生理反応に現れるか                | 5. 発行年<br>2023年 |
| 3. 雑誌名<br>エモーション・スタディーズ                | 6. 最初と最後の頁<br>— |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし          | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著<br>—       |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

|                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Kazuma Mori、Zatorre Robert                                                            |
| 2. 発表標題<br>Spontaneous auditory-reward network connectivity predicts degree of pleasure to music |
| 3. 学会等名<br>24th Annual Neuropsychology Day                                                       |
| 4. 発表年<br>2023年                                                                                  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6. 研究組織

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)        | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)  | 備考 |
|-------------------|----------------------------------|------------------------|----|
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | ザトレ ロバート<br><br>(Zatorre Robert) | マギル大学・モントリオール神経学研究所・教授 |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関           |  |  |  |
|---------|-------------------|--|--|--|
| カナダ     | McGill University |  |  |  |