

## 【発表内容】

私たち人間は音楽に対して自然に身体を動かし、ビートを取る「ビート同期」運動を示します。人間のビート同期運動は 120～140BPM で最も顕著になります。そのため多くの音楽は、120～140BPM で作曲されてきました。一方、人間以外の動物がビート同期運動を示すテンポ

については明らかにされていませんでした。

今回研究グループはネズミの一種であるラットの身体の動きと神経活動を計測し、ラットのビート同期を検証する実験に取り組みました。

本研究では、ビート同期運動のメカニズムとして、二つの仮説(身体原因説と脳原因説)を考え、検証しました。身体原因説では、身体特性がビート同期運動を決めると考えました。身体原因説の有力な根拠として、多くの音楽のテンポである 120~140 BPM (ビート/分)が私たちの歩行のテンポ (1 分間に約 120 歩) と一致することが挙げられます。この説では、人間と比べ、小動物は早い歩行テンポを示すので、早いテンポの音楽にビート同期しやすいはずです。一方、脳原因説では、脳の動特性(ダイナミクス)がビート同期を決めると考えました。実際に脳のダイナミクスは、小動物もヒトも共通していることが知られています。この場合、小動物も、人間も、同じテンポの音楽にビート同期しやすいはずです。

これまでラットは、ビート同期運動しない動物種と考えられていましたが、本研究では、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しました。音楽には、モーツァルト作曲「2 台のピアノのためのソナタ ニ長調 K. 448 (375a)」(テンポは 132 BPM) を用いています。その結果、約半数のラットでビート同期運動を発見できました(図 1、動画 1)。また、二足で立つ姿勢では、ラットのビート同期運動は視認できる程度に大きくなりました(動画 2)。研究グループは今回、ラットに加えてヒトの被験者でも同様にビート同期運動を調べ(動画 3)、動物のビート同期運動と比較した結果、ヒトでもラットでも、早いテンポではビート同期運動は小さくなりました。また、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がわかりました。これらの結果は、身体原因説ではなく、脳原因説を強く支持するとともに、ラットもヒトも同じ脳内メカニズムで音楽ビートを処理していることを示唆します。

本研究ではあわせてビート同期の脳内メカニズムを探るために、ラットの聴覚野(注 1)において、音楽に対する脳活動を調べました。その結果、ラットの聴覚野は、モーツァルトの原曲(132 BPM) に対して、最も明確なビート同期を示しました。次に単純なリズム的な音刺激に対する聴覚野の活動も調べたところ、やはり 120 BPM 付近で最も明確なビート同期を示しました。120 BPM への同期を生むメカニズムとして、脳の順応(注 2)特性を考え、その数理モデルを作り、実験データの説明を試みました。その結果、音刺激後の約 250 ms (ミリ秒)は、次の音に対する脳の反応を強く抑制する順応特性が顕著に見られ、この特性が 120 BPM 付近のビート同期を生むことを明らかにしました(図 2)。さらに、この順応特性により、ランダムな音系列に対する聴覚野の反応の予測を試みたところ、音と音の間隔の平均が 200 ms の音系列に対して、最も高い予測精度を示すことがわかりました。非常に興味深いことに、クラシック音楽のデータベース (<http://kern.humdrum.org/>) を調べたところ、音楽の音間隔の平均も 200 ms でした(図 3)。このように、ラットの脳活動から推定した順応特性は、120 BPM 付近への同期を生むだけでなく、音楽の鑑賞や創作(作曲)に関連している可能性を示しました。

本研究では、ビート同期運動は、身体特性ではなく、脳の動特性(ダイナミクス)と関連することを示しました。ビート同期を生む脳のダイナミクスが、動物種を超えて観察されたことは、ビート同期の進化を解き明かす大きな手がかりとなります。また、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。本研究で示された動物種共通の脳のダイナミクスは、今後、音楽やダンスの起源と発展を解き明かす重要な手がかりとなる事が期待されています。研究グループは今後、リズムに加え、旋律やハーモニーといった音楽の他の特徴でも、脳のダイナミクスとの関連性の解明に取り組む

予定です。また、音楽が脳のダイナミクスへ与える影響に基づき、脳に訴求力を発揮する音楽のメカニズムを科学的に解明し、その可能性と有用性を探求していく予定です。

### 【研究支援】

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) (20H04252)、文部科学省科学研究費補助金学術変革領域研究(A)「実世界の奥深い質感情報の分析と生成 (深奥質感) (代表: 西田眞也)」(21H05807)、科学技術振興機構ムーンショット型研究開発事業ムーンショット目標 9 (MS9) (PD: 熊谷誠慈)「Awareness Music による『こころの資本』イノベーションと新リベラルアーツの創出 (PM: 山脇成人)」(JPMJMS2296)などの助成を受け実施されました。

### 【MS9 山脇成人プロジェクトマネージャーのコメント】

本研究は、音楽の構成要素であるビートへの同期に関して、ヒトとラットの種を超えた神経生理基盤のメカニズムを世界で初めて発見したものであり、MS9 山脇プロジェクトで目指すポジティブ感性の気づきを促す音楽 (Awareness Music)の要素解明と創出に貢献する研究成果です。

### 【発表雑誌】

雑誌名：「Science Advances」

論文タイトル：Spontaneous beat synchronization in rats: Neural dynamics and motor entrainment

著者：Yoshiki Ito, Tomoyo I. Shiramatsu, Naoki Ishida, Karin Oshima, Kaho Magami, Hirokazu

Takahashi\* (伊藤圭基, 白松(磯口)知世, 石田直輝, 大島果林, 眞神花帆, 高橋宏知\*)

DOI 番号：10.1126/sciadv.abo7019

論文 URL：https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abo7019

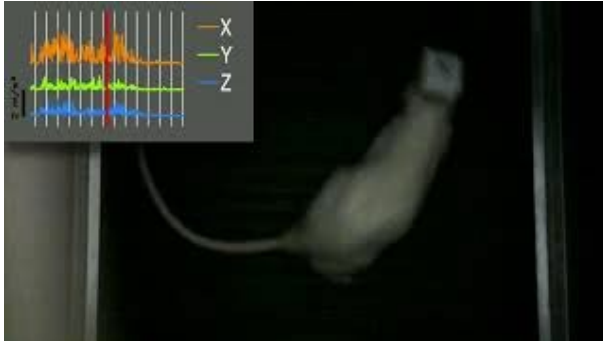
### 【発表者】

高橋 宏知 (東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻)	准教授)
伊藤 圭基 (東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻)	修士課程 (研究当時))
白松 知世 (東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻)	助教)
石田 直輝 (東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻)	修士課程)
大島 果林 (東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻)	修士課程)
眞神 花帆 (東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻)	技術補佐員 (研究当時))

### 【用語解説】

(注1) 聴覚野：大脳皮質で音情報を処理する領域。

(注2) 順応：外界からの刺激に対して、脳が慣れ、反応を減少させていく現象。



<https://youtu.be/zc3JZdVasYE>

動画1 ラットのビート同期運動。



<https://youtu.be/rrbBHdD5zbs>

動画2 立位姿勢でのラットのビート同期運動。



<https://youtu.be/HALDhWQEPtI>

動画3 ヒトのビート同期運動。

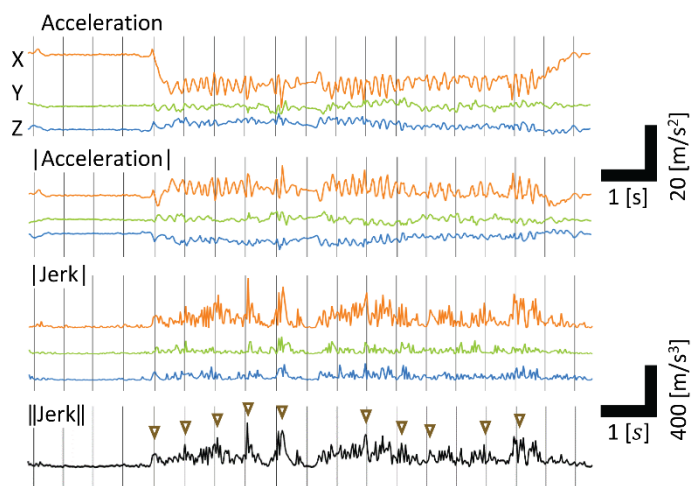


図1 音楽提示中のラットの頭部運動の例。加速度計で頭部運動の加速度を計測した。ビート同期運動は、加加速度 (ジャーク。1秒間の加速度変化) で明瞭に記録できた。

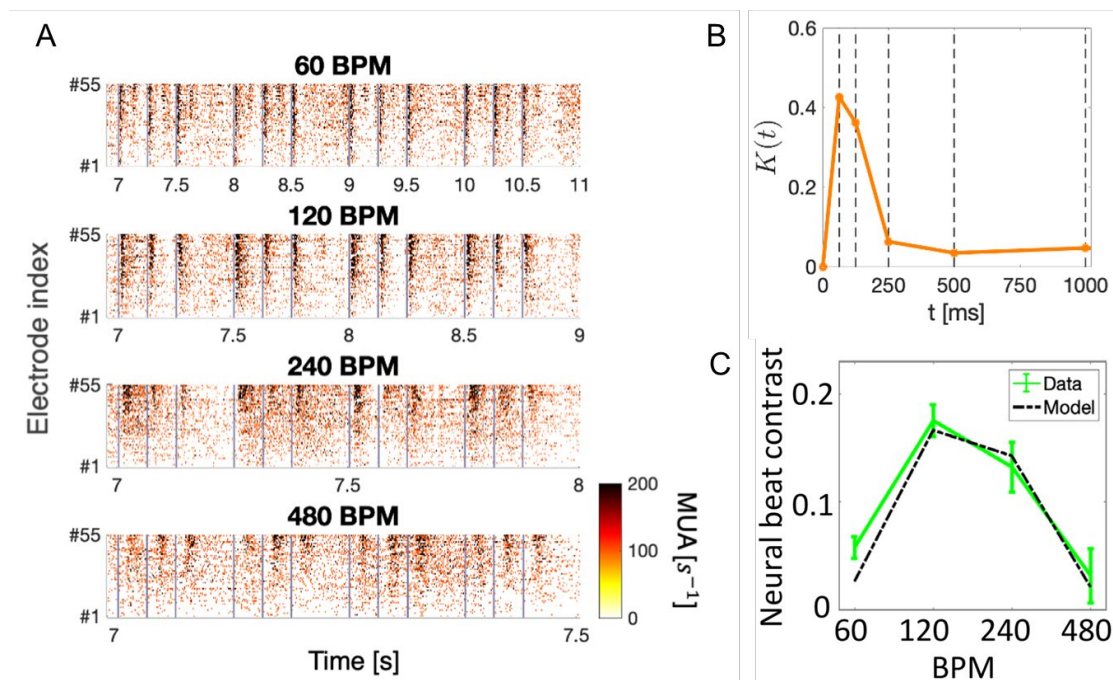


図2 脳のビート同期を生む順応特性。A 脳活動の例。B 数理モデルで明らかにした脳の順応特性。C 実験データと数理モデルのビート同期。

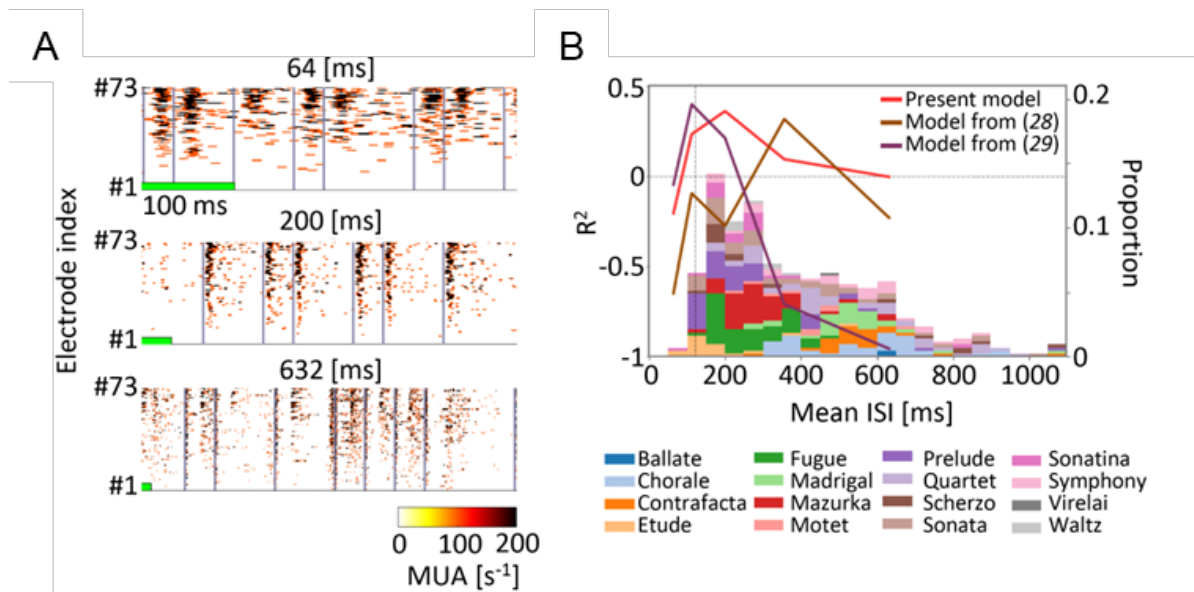


図3 脳の順応特性と音楽の特徴の関係。A ランダムな音系列に対する脳活動の例。図では、音系列の音間隔平均が 64 ms、200 ms、632 ms の例を示した。B 数理モデルによる脳活動の予測精度 (実線)。音楽データベースで調べた音楽の音間隔の分布 (棒グラフ)。脳の順応特性を取り入れた本研究の数理モデルの予測精度 (赤実線) は、先行研究の数理モデルの予測精度 (茶/紫実線) に比べて、音楽の音間隔の分布と一致する。

(クレジットについて)

全ての動画、図表の使用時は以下のクレジット表記をお願いします。

提供：東京大学 情報理工学系研究科 生命知能システム研究室