

令和 6 年 5 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19535

研究課題名（和文）感覚運動協調の予測・適応能力に関する神経基盤の解明

研究課題名（英文）Neural substrates of anticipation and adaptation in sensorimotor synchronization

研究代表者

宮田 紘平（Miyata, Kohei）

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：30792171

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：感覚運動協調は音楽演奏やダンスを含め様々なヒトの活動において必須であり、そのスキルの個人差の要因を明らかにすることはパーフォーマー及び運動障害を抱えた人のサポートの上で重要である。先行研究において、予測・適応能力が感覚運動協調スキルに関連することが示唆されてきた。そこで本研究では、磁気共鳴画像法を用いて予測能力に応じて異なる脳の機能と構造を調べた。その結果、予測能力が正確で安定な感覚運動協調において重要であることと、背側運動前野と弓状束が高い予測能力において重要であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

感覚運動協調は日常生活やスポーツなどの場面で重要であるが、その能力の差は何に起因するのか、またその能力を向上させる方法については不明である。本研究では、予測能力の観点から、その行動と脳のメカニズムに迫ろうという研究である。感覚運動協調の能力の定量化し、優れた神経基盤を明らかにすることは、ヒトの様々な運動スキルの向上に繋がると考え、本研究を考案した。得られた知見は予測能力に関連する生物学的指標の開発へと繋げ、その指標をもとにトレーニングの評価を行うなど、将来的に感覚運動協調スキルの獲得支援に結びつきたいと考えている。

研究成果の概要（英文）：Sensorimotor synchronization is fundamental to many human behaviors including music and dance performances. Understanding the sources of individual differences in this sensorimotor synchronization skill is a scientific challenge with important implications for supporting performers and patients with movement disorders. Previous studies demonstrated that anticipatory mechanisms support precise and accurate synchronization. In this study, we investigated the functional and structural differences depending on anticipatory ability using magnetic resonance imaging. Our results highlight the contribution of anticipatory mechanisms to precise sensorimotor synchronization and reveal that the dorsal premotor cortex and the left arcuate fasciculus are important in neural circuits underlying the anticipatory ability.

研究分野：認知神経科学

キーワード：感覚運動協調 協調スキル 予測能力 MRI

1. 研究開始当初の背景

リズム感はリズムに乗せて体を動かす能力であり、スポーツ、ダンス、音楽演奏などヒトの巧みな運動において重要視されている(Levitin et al., 2018)。リズム感の良い人と悪い人では、どのような違いがあるのだろうか。正確にリズムに合わせるためには、次に来るリズム刺激を連続的に予測する能力(予測能力)と予測との誤差に応じて適応的に運動のタイミングを変化させる能力(適応能力)が必要不可欠である。これら予測・適応能力が正確にリズムに合わせる能力に関連することが行動実験によって示唆されてきた(Mills et al., 2015)。しかし、正確にリズムに合わせるために必要な予測・適応に関わる脳領域、またその能力に応じた神経基盤の違いについては未だ不明である。

2. 研究の目的

本研究では、リズム感を環境と運動を協調させる(感覚運動協調)能力として評価し、予測能力という観点からその神経基盤を明らかにし、能力差に関連した脳の機能と構造の違いを明らかにすることを目的とした。具体的には磁気共鳴画像(MRI)装置を用いて、感覚運動協調の課題中の領域間の機能的な結合(研究1)、その背景にある白質線維という構造的結合を評価し(研究2)、予測に関わるネットワークと能力差による違いを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

研究1: 予測に関連する脳活動を調べるため、実験的にリズム音の構造を変えて予測の程度を操作した。健常成人の実験参加者18名はMRI装置の中で右人差し指タッピングでの聴覚運動協調課題を行った。メトロノームは120拍/分一定の速さであるIsochronous条件(I)、120拍/分で開始したのち100拍/分から150拍/分の間で速さが正弦波様に変化するTempo-changing条件(T)、120拍/分で開始したのち100拍/分から150拍/分の間で速さがランダムに変化するRandom条件(R)の3条件とした(図1)。T条件では、連続的に予測はできるがI条件ほど容易ではない。R条件では、連続的な予測は困難である。これらのメトロノームにタッピングしている際のタッピングデータを非磁性体のボタンボックスで取得し、7T MRI装置を用いて脳活動を記録した。そして、予測の程度に応じて活動強度が変化する領域や結合強度が変化する領域間を調べた。予測能力は、タップの時間間隔と聴覚刺激の時間間隔の相互相関に基づいて計算される予測追跡指標を用いて評価した(Pecenka & Keller, 2009)。

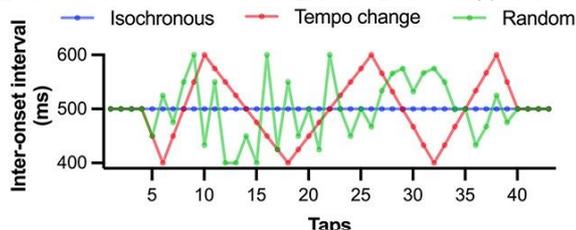


図1 実験刺激

研究2: 予測に関連した脳構造の違いを調べるため、3T MRIで取得された80名の音楽家と非音楽家の拡散強調画像を用いて、白質線維の構造について解析を行った。Fractional Anisotropy (FA)値という白質線維の組織特性を表す指標の神経線維束上での分布を調べるTractometryという手法(Yeatman et al., 2012)を用いて、音楽家と非音楽家での比較、また予測能力との関係性を調べた。予測能力の評価については、研究1で用いた予測追跡指標を用いた。

4. 研究成果

研究1: 予測追跡指標が高い被験者、すなわち予測能力が高い被験者ほど、メトロノームに正確かつ安定してタッピングしていた。脳機能画像の解析の結果、すべての条件で両側聴覚野、右側一次運動野、左側小脳に活動が見られ、予測追跡指標は両側背側運動前野の活動と相関していた(図2)。つまり、両側の背側運動前野が予測能力の個人差を説明することが示唆された。この結果は、背側運動前野が聴覚リズムパターンの時間予測モデルの生成に関与しており、その活動は正確で安定した感覚運動協調のために重要なモデル精度を反映することを示唆するものである。

本研究成果については国際誌 Cerebral Cortex Communication に発表した(Miyata et al., 2022)。脳機能ネットワークについても、correlational psychophysiological interaction (cPPI)法によって機能的結合行列を作成し、Connectome-based predictive modeling法を用いて調べた(Shen et al., 2017)。しかし、行動指標を予測するのに十分な結合は見られなかった。

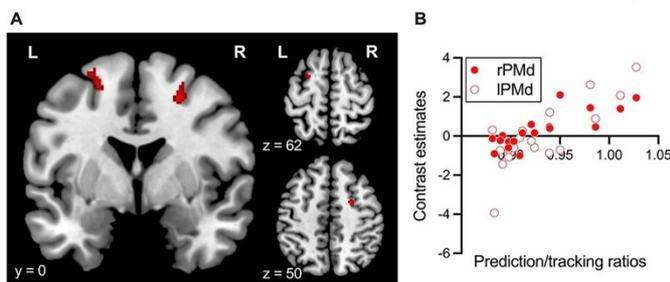


図2 予測追跡指標と脳活動が相関した領域

研究2：行動指標については、これまでに得られた結果のとおり、タッピングのばらつきと予測能力指標の間に有意な相関があった。これはタッピングが安定している人ほど、予測能力が高いことを再現した結果である。また、Tractometryの結果、弓状束と垂直後頭束において音楽家が有意に高いFA値を示した。さらに、左の弓状束については予測能力と相関することが明らかとなった。弓状束は、側頭葉と前頭葉を繋ぐ白質線維であり、音声の知覚と運動を結びつけると考えられている。左側聴覚皮質は、右よりも時間情報の高い分解能を持つ可能性が先行研究によって示されており(Zatorre et al., 2002)、この左側聴覚野によるリズム処理を背側運動前野に伝える上で、弓状束が効率的な信号伝達に貢献していると考えられる。構造ネットワークについても、構造的結合行列を作成しCPM法を用いて調べたが、行動指標を予測するのに十分な結合は見つからなかった。本研究成果の図に関しては、論文投稿の準備中のため本報告書への掲載を省略する。

<引用文献>

- Levitin, D. J., Grahn, J. A., & London, J. (2018). The psychology of music: Rhythm and movement. *Annual Review of Psychology*, *69*, 51–75. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011740>
- Mills, P. F., van der Steen, M. M., Schultz, B. G., & Keller, P. E. (2015). Individual differences in temporal anticipation and adaptation during sensorimotor synchronization. *Timing & Time Perception*, *3*(1–2), 13–31. <https://doi.org/10.1163/22134468-03002040>
- Miyata, K., Yamamoto, T., Fukunaga, M., Sugawara, S. K., & Sadato, N. (2022). Neural correlates with individual differences in temporal prediction during auditory-motor synchronization. *Cerebral Cortex Communications*, *3*, 1–11. <https://doi.org/10.1093/texcom/tgac014>
- Pecenka, N., & Keller, P. E. (2009). Auditory pitch imagery and its relationship to musical synchronization. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*(February), 282–286. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04785.x>
- Shen, X., Finn, E. S., Scheinost, D., Rosenberg, M. D., Chun, M. M., Papademetris, X., & Constable, R. T. (2017). Using connectome-based predictive modeling to predict individual behavior from brain connectivity. *Nature Protocols*, *12*(3), 506–518. <https://doi.org/10.1038/nprot.2016.178>
- Yeatman, J. D., Dougherty, R. F., Myall, N. J., Wandell, B. A., & Feldman, H. M. (2012). Tract profiles of white matter properties: Automating fiber-tract quantification. *PLoS ONE*, *7*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049790>
- Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01816-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01816-7)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Miyata Kohei, Yamamoto Tetsuya, Fukunaga Masaki, Sugawara Sho, Sadato Norihiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Neural correlates with individual differences in temporal prediction during auditory-motor synchronization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex Communications	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/texcom/tgac014	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 宮田 紘平	4. 巻 80
2. 論文標題 ヒトのリズム同調能力 正確で柔軟な聴覚運動協調を実現する予測と適応	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 41～47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20697/jasj.80.1_41	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 2件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 宮田紘平、山本哲也、福永雅喜、菅原翔、定藤規弘
2. 発表標題 Neural correlates of temporal prediction during sensorimotor synchronization: a 7T fMRI study
3. 学会等名 NEURO2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Miyata, K., Harry, B. & Keller, P. E.
2. 発表標題 White matter microstructural properties correlate with temporal anticipation of sensorimotor synchronization
3. 学会等名 The 17th International Conference on Music Perception and Cognition and the 7th Conference of the Asia-Pacific Society for the Cognitive Sciences of Music (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮田紘平
2. 発表標題 ヒトのリズム同調能力
3. 学会等名 日本音響学会第151回研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 宮田紘平
2. 発表標題 MRIでみるダンス・音楽演奏の協調スキル
3. 学会等名 神戸大学「学術Weeks 2023」シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

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			
デンマーク	Aarhus University			
オーストラリア	MARCS Institute			