

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12456

研究課題名(和文) 頭皮脳波によるリズム想像のデコーディング

研究課題名(英文) Decoding of Imagined Rhythm from Surface Electroencephalogram

研究代表者

田中 聡久 (Tanaka, Toshihisa)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70360584

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：リズムは音楽を構成する要素の1つである。リズムカルな音刺激傾聴時、知覚したリズムに脳活動が同期することが先行研究により報告されている。本研究課題では、リズム想像時における、脳神経と想像したリズムとの引き込み現象を調べるため、実験参加者が3種類のリズムを想像した際の脳波を記録し、それぞれの周波数成分を解析した結果、リズム想像時脳波に想像したリズムの周波数成分が観測された。さらに、正準相関分析を用いて脳波の特徴量を抽出し、脳波から想像した3種類のリズムを識別する実験を実施した結果、チャンスレベルを上回る識別率を得た。つまり、想像したリズムと同じ周波数成分の脳波が観測できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Rhythm is one element of music. In this project, to investigate neural entrainment to imagined rhythm during rhythm imagery, we recorded electroencephalogram (EEG) while subjects imagined 3 types of rhythm in the state of being presented no sound and analyzed amplitude spectra of EEG. As a result, we found that a periodic EEG response at imagined rhythm frequency was observed in the amplitude spectrum. Furthermore, we extracted features from EEG by using canonical correlation analysis (CCA) and made an experiment to distinguish among the 3 types of imagined rhythm from EEG individually. The result showed that accuracy exceeded chance level in all subjects. We found that when subjects imagined rhythm under the condition that subjects were not presented any sound, a periodic EEG response at imagined rhythm frequency was observed.

研究分野：神経情報学

キーワード：認知認知科学 信号処理 機械学習 音楽神経科学

1. 研究開始当初の背景

リズムは音楽を構成する要素の 1 つであり、ある強弱パターンの繰り返しのことを一般的に指す。多くの人は音楽を聴くだけで自然とリズムを感じることができる。しかし、人がリズムを知覚する神経メカニズムは明らかになっていない。Large らは、リズム知覚のシミュレーションを脳神経モデルに基づいて実施し、その結果から、脳活動とリズム刺激との間に生じる「引き込み」によって、リズムの知覚が生じるのではないかと推測している (Large et al, 2008)。ここでの「引きこみ」とは、脳活動が周期的な外部刺激と同調する現象を指す。Large らの研究結果に基づけば、人が知覚しているリズムを脳波からデコードできるのではないかと考えられる。

リズムを知覚したときの脳活動に関する研究の多くは事象関連電位 (ERP; event related potential) に注目している。ERP は刺激の認知や期待、判断することによって誘発される電位である [4]。実験参加者に、逸脱音を混ぜた一定間隔のピップトーンを聴かせたとき、逸脱音の位置 (奇数番目か偶数番目か) によって、逸脱音傾聴後に生じる ERP に違いが現れることがわかっている [5, 6]。これらの先行研究 [5, 6] から、人間は連続した一定間隔の音を聴いたとき、全く同じ音にも関わらず、奇数番目の音と偶数番目の音では知覚の仕方が異なるということが示唆される。また、Schaefer et al (2011) は一定間隔のメトロノーム音を聴いたとき、心理的な強弱のアクセントを置いて音を聴いた時とアクセントを置かずに音を聴いたときとは、生じる ERP に違いが現れると報告している。Nozaradan et al (2011) は、一定間隔で呈示されるピップトーンに合わせてリズム想像したとき、想像

したリズムと同じ周波数成分の脳波が観測されると報告している。Nozaradan らの研究結果 [7] から、周期音に合わせて想像したリズムの周期は脳波からデコーディングできると考えられる。しかし、周期音の呈示が必要であるため、デコーディングできるリズムには制限があり、自由に想像したリズムはデ

コーディングできない。さらに、音刺激による誘発電位 (evoked potential; EP) と ERP をうまく弁別できていない可能性がある。その一方で、音の呈示がない状態でリズム想像したときの脳活動に関する知見としては、一定間隔のリズムを想像したとき、生じる ERP に変化が現れると報告されている (Jomori et al, 2011)。しかし、音の呈示がない状態でリズム想像したとき、脳波に想像したリズムの周波数成分が観測されるかは明らかになっていない。

2. 研究の目的

そこで、本研究では音の呈示がない状態で、

音を想像することによってリズム想像したときの脳波の周波数成分を解析し、想像したリズムと脳活動との引き込み現象を調べる。想像するリズムのタイミングを、映像によって視覚的に呈示し、実験参加者が 3 種類のリズムを想像している際の脳波を記録した。記録した脳波の周波数成分を解析し、想像したリズムの種類によって周波数スペクトルに現れる変化を調べた。また、映像が与える視覚的な影響を調べるため、リズムを想像せず、ただ映像を眺めている際の脳波を記録し、その周波数スペクトルをリズム想像時と比較した。さらに、想像したリズムの種類によって単一試行の脳波に現れる違いを調べるため、脳波から想像したリズムを識別する実験を実施し、識別率を調べた。

3. 研究の方法

3.1 実験参加者とデータの取得

実験参加者は視覚に問題のない 20 代の健康な男性 8 名、女性 1 名であった。実験の前に、東京農工大学研究倫理委員会の承認に基づいて、実験参加者にインフォームドコンセントを得た。

実験参加者の頭頂部から後頭部にかけて頭皮上に 30 個のアクティブ電極を配置した (具体的な電極位置は、Fp1, Fp2, AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, Fz, FC1, FC2, FC5, FC6, T7, T8, C3, C4, Cz, CP1, CP2, CP5, CP6, P3, P4, P7, P8, PO3, PO4, O1, O2)。電極はアナログアンプに接続し、増幅した信号を A/D 変換器でデータ化した。

3.2 実験条件

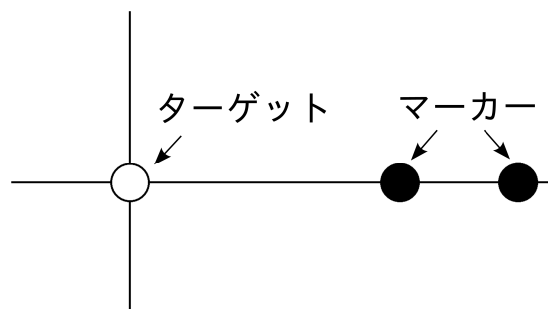


図 1 リズム想像のタイミング呈示方法。

実験参加者に想像するリズムの基準テンポを与えるため、ディスプレイに図 1 のような映像を表示した。図 1 のように、ディスプレイに縦線と横線、円形のターゲットとマーカーを表示する。マーカーは横線上を右から左の方向へ 2.4 Hz の周期で連続的に流れる。マーカーの流れる速度は一定であり、マーカーは 1 秒間に 2.4 回次々とターゲットと重なる。マーカーとターゲットが次々と重なる 2.4 Hz の周期をテンポの基準とした。

3.3 タスク

このタイミング動画をみながら、「ビート想像タスク」、「2拍子想像タスク」、「3拍子想像タスク」の3種類のリズム想像タスクと、リズム想像をしない「無想像タスク」を実験参加者に与えた。無想像タスクでは、実験参加者はリズムを想像せず、無心で映像を眺めた。このタスクは、映像による視覚的な影響を調べ、リズム想像時と結果を比較するために与えたものである。リズム想像タスクでは、実験参加者はディスプレイに表示されたターゲットと、ディスプレイの右から流れてくるマーカーが重なったタイミングに音を想像し、想像する音の強さを変えることによってリズムを想像した。ビート想像タスクでは、実験参加者は流れてくるマーカーそれぞれに対して同じ強さの音を想像し、2拍子想像タスクではマーカー2つごと、3拍子想像タスクではマーカー3つごとに強い音を想像することでリズムを想像した。実験参加者に、タスク実行中は瞬きをせず、ディスプレイのターゲットを注視するように指示し、舌などの外見からわからない部位を含む、あらゆる体の部位を動かすことによってリズムをとることを禁止させた。

このときの脳波を測定し、タイミング提示との同期を取った。

3.4 解析

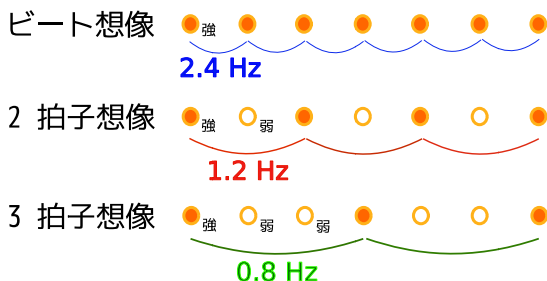


図 2 各拍子に対応する周波数。

10 秒間の脳波を 2.5 秒間の脳波に 4 等分し、加算平均した。ここで、分割された 2.5 秒間の脳波は、各タスクにおいて、それぞれ同じリズム想像をしている際の脳波となる。各試行の脳波に対して以上の処理をし、処理後の脳波を試行間(計 20 試行)で加算平均した。試行間で平均後の脳波に離散フーリエ変換を適用し、周波数スペクトルを求めた。

テンポの基準が 2.4 Hz であるため、図 2 に示すように、想像するビートの周波数は 2.4 Hz となる。そのビートから構成される 2 拍子、3 拍子の周波数はそれぞれ 2.4 Hz の 1/2 倍、1/3 倍である、1.2 Hz、0.8 Hz となる。本実験の目的は、想像したリズムと脳活動との引き込み現象を調べることであり、周波数スペクトル解析ではこれらの周波数とその高調波の振幅に注目した。本研究では 3 拍子の周波数である 0.8 Hz、2 拍子の周波数である 1.2 Hz、3 拍子の周波数の高調波である 1.6 Hz、ビートの周波数である 2.4 Hz の 4 つの周波数に注目した。

つぎに、機械学習による識別も実施した。

脳波 $x(t)$ と周波数 f の参照信号 $y(t)$

$$y_f(t) = [\sin(2ft), \cos(2ft)]^T$$

の間の正準相関を r_f とする。これを $f = 0.8, 1.2, 1.6, 2.4$ Hz で求め、特徴ベクトル

$$z = [r_{0.8}, r_{1.2}, r_{1.6}, r_{2.4}]^T$$

を求めた。この特徴ベクトルをサポートベクトルマシン (SVM) で分類した。

4. 研究成果

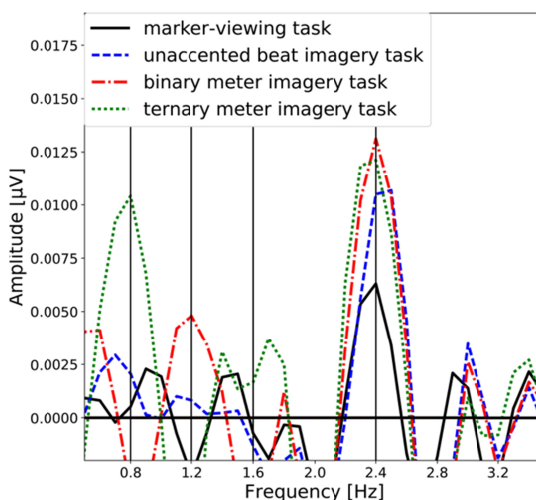


図 3 リズム想像時の周波数スペクトル。
marker-viewing task : 無拍子想像,
unaccented beat imagery task : 1 拍子想像,
binary meter imagery task : 2 拍子想像,
ternary meter imagery task : 3 拍子想像。

図 3 に、各リズム想像タスク時における脳波の周波数スペクトルを示す。1 拍子想像のとき 2.4 Hz で、2 拍子のとき 1.2 Hz で、3 拍子のとき 0.8 Hz でそれぞれピークが現れた。統計的検定の結果、すべてのピークには有意差を確認した。

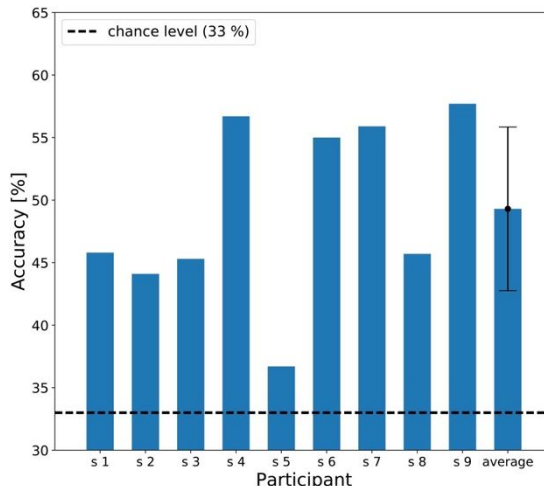


図 4 3 クラス識別時の識別率。

SVM による 3 クラス識別の結果を図 4 に示

す。識別率の実験参加者間平均は 46.9 % であり、最も識別率の高かった実験参加者では 61.7 %、最も識別率の低かった実験参加者では 38.3 % であった。全ての実験参加者において、チャンスレベルを上回る識別率が得られた。今回識別に用いた特徴量は脳波に含まれる周波数成分の大きさに依存する。このことから、単一試行の脳波の周波数成分にタスク間で違いが現れるということが示唆される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)すべて査読あり

1. Y. Kumagai, M. Arvaneh, and T. Tanaka, "Familiarity affects entrainment of EEG in music listening," *Frontiers in Human Neuroscience*, vol.11, article 384, 2017
doi:10.3389/fnhum.2017.00384
2. H. Okawa, K. Suefusa, and T. Tanaka, "Neural entrainment to auditory imagery of rhythms," *Frontiers in Human Neuroscience*, vol.11, article 493, 2017
doi:10.3389/fnhum.2017.00493

[学会発表](計 3 件)

1. Y. Kumagai and T. Tanaka, "Entrainment of EEG during the music listening," Society for Neuroscience Annual Meeting, San Diego, USA, Nov. 2016.
2. H. Okawa, K. Suefusa, and T. Tanaka, "Imagined rhythm can be decoded from EEG," Society for Neuroscience Annual Meeting, San Diego, USA, Nov. 2016.
3. Y. Kumagai, M. Arvaneh, H. Okawa, T. Wada, and T. Tanaka, "Classification of familiarity based on cross-correlation features between EEG and music," 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2017), Jeju, Korea, July 2017.

6. 研究組織

(1)研究代表者

田中聡久 (TANAKA, Toshihisa)
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：70360584