

# 錯視を用いたアルファ周波数推定とその応用可能性の検討 —スマートフォンによる大規模調査—

宇野 究人  
中山 遼平  
天野 薫

東京大学大学院情報理工学系研究科

東京大学大学院情報理工学系研究科

東京大学大学院情報理工学系研究科

8–13 Hz の脳波律動であるアルファ波は覚醒度や注意状態など多様な脳状態を反映することが知られており、アルファ波の状態を簡易的に推定できれば多方面での応用が期待される。本発表では、ジター錯視の知覚周波数がアルファ周波数と一致するという先行研究 (Minami & Amano, 2017) に基づき考案された、ジター錯視の周波数をスマートフォンによる心理実験で測定し個人のピークアルファ周波数を推定する技術を紹介する。まず、アプリで測定したジター周波数と脳波計測で得られたアルファ周波数の相関関係が確認された。その上で、自然環境下で計測されたジター周波数がアルファ周波数に関する既知の諸特性 (例: 気分評定や眠気との関連) を再現することや、ヨガを行ったことによる気分評定の変化に伴いジター周波数が共変することが示された。以上より、スマートフォンによる錯視計測が、日常場面で脳波計を装着せず神経律動を推定する手法として有用である可能性が示唆された。

Keywords: Alpha frequency, EEG, Jitter illusion, Smartphone

## 問題・目的

脳活動における 8–13 Hz の周期成分であるアルファ波は、覚醒度や注意状態など多様な脳状態を反映する。特にアルファ波のピーク周波数は個人によって異なるだけでなく、個人内でも変動することが知られており、この変動が様々な脳状態や認知機能と関連することが示唆されている (Mierau et al., 2017, for a review)。したがって、アルファ周波数を日常場面で簡便に推定できれば、多方面での応用が期待される。しかし、心拍などの生体データは日常的に計測可能になりつつある一方で、脳波計測は一般ユーザー向けの携帯型 EEG システムが販売されているものの広く普及しているとは言い難く、アルファ周波数を日常的に推定することは依然として困難である。

そこで我々は、アルファ波を反映すると考えられている錯視現象である「ジター錯視」を利用し、錯視の見えをスマートフォン上で計測することで日常的にアルファ周波数を推定する手法を開発した。ジター錯視とは、特定方向に運動する赤い図形内に等輝度の緑のバーが埋め込まれていると、そのバーが振動して見える現象である (Arnold & Johnston, 2003)。ジター錯視の知覚周波数 (以下、ジター周波数) はアルファ周波数と個人内・個人間の双方で正の相関を示し、さらに tACS によりアルファ周波数を変調するとジター周波数も変化する。このことから、ジター錯視はアルファリズムに基づく視覚運動情報の統合処理と関連すると考えられている (Minami & Amano, 2017)。

本研究では、スマートフォンを用いてジター周波数を簡便に測定するアプリケーションを開発し、本手法で得られるジター周波数がアルファ周波数と対応するかを実験室実験で検証した。加えて、日常場面で計測

されたジター周波数が、アルファ周波数に関する既知の諸特性を再現するかを検討した。

## スマートフォンによる錯視測定手続き

Figure 1 は、スマートフォンアプリによるジター周波数測定の手順を示す。アプリでは、注意事項の確認、輝度調整、物理的に呈示される揺れの速さ (周波数) の弁別練習を行った後、ジター周波数の測定 (本課題) を実施し、その後に錯視強度の報告及びアンケート調査 (後述) への回答を求めた。1 回の測定に要する時間は約 5 分であった。

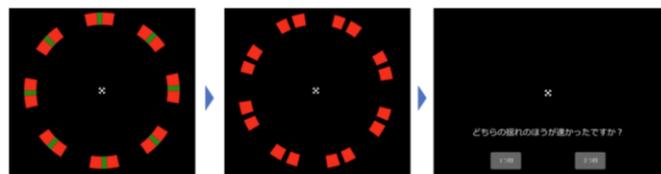


Figure 1. ジター周波数測定の流れ

ジター周波数測定は 30 試行 (階段法; 上昇/下降の 2 系列 × 15 試行) から構成された。各試行では、2 種類の回転図形パターンを連続して各 3 秒間呈示した。一方では、図形中央に物理的な振動を伴わない緑色バーを呈示し、錯視としての振動が知覚される条件とした。もう一方では、物理的に振動する黒色バーを呈示した (この条件では錯視は生じない)。刺激呈示後に回答画面を呈示し、参加者はどちらのバーの振動が速い (周波数が高い) と感じられたかを 2 択で回答した。参加者の回答に基づき、次試行における黒色バーの振動周波数を更新した。各系列で得られた最終周波数の平均を、ジター周波数の指標とした。なお、階

段系列に反転が生じなかった場合、あるいは錯視強度が低いと報告された場合は、解析対象から除外した。

## アルファ周波数との対応関係の検証

スマートフォンで測定したジター周波数が、実験室内の統制環境で実施した心理物理実験（恒常法）により測定されたジター周波数、ならびに安静時脳波計測から算出されたピークアルファ周波数と相関するかを検証した。22名の有効データを対象に解析した結果、これら3指標の間にはいずれも有意な正の相関が認められた ( $\text{all } rs > .43, ps < .04$ )。以上より、ジター周波数とアルファ周波数が対応するという知見 (Minami & Amano, 2017) が再現されたとともに、スマートフォンによる簡易なジター周波数測定であってもピークアルファ周波数を捉えられる可能性が新たに示された。

## 日常場面でのジター周波数計測

アルファ周波数の変動が、日常場面で測定されたジター周波数に反映されるかを検討するため、スマートフォンアプリを用いた約3ヶ月間の縦断調査を実施した（応用脳科学コンソーシアム Well-living for Well-being 研究会による大規模調査への参画）。参加者には、任意の時間に1日2回程度（可能であればそれ以上）アプリを用いてジター周波数測定を行うよう求めた。最終的に、55名から得られた3411回の測定データを分析に用いた。

**アンケート調査との関連** アルファ周波数は一般に覚醒度と正の相関を示す (Mierau et al., 2017)。この知見を踏まえ、アプリ測定後に取得した疲労・覚醒主観評価指標 (Roken Arousal Scale; 高橋ら, 1996) の各下位尺度得点と、日常場面で測定したジター周波数との関連を検討した。各下位尺度得点を従属変数、ジター周波数を説明変数とする階層ベイズ回帰モデルを尺度ごとに構築し解析を行った結果、「全般的活性」ではジター周波数の回帰係数の事後分布が正の値に偏り (95%信用区間: [0.03, 0.15])、「眠気」では負の値に偏った ([-0.11, -0.02])。すなわち、アルファ周波数に関する既知の現象と整合することが示された。

加えて、ジター周波数がポジティブ・ネガティブ情動の主観報告にも関連するかを同時に検討した。日本語版 PANAS (佐藤・安田, 2001) の各下位尺度得点を従属変数、ジター周波数を説明変数とする解析の結果、「ポジティブ情動」ではジター周波数の回帰係数が正の値に偏り ([0.01, 0.13])、ジター周波数が高いほど得点が高い傾向が示された。一方、「ネガティブ情動」ではジター周波数による明確な効果は認められなかった ([-0.03, 0.05])。

ポジティブ情動とジター周波数の関連については、ホットヨガを用いた介入研究による検証も進めている。これまでに、ホットヨガの介入前後でポジティブ情動とジター周波数がいずれも増加し、さらに両者の増加幅が相関する可能性を示す予備的データを得ている (LAVA International, Inc. との共同研究)。

**年齢との関連** アルファ周波数は一般に加齢に伴い低下する (Mierau et al., 2017)。しかし本研究においては、各参加者 (23–59歳) の平均ジター周波数と年齢の間に相関関係は認められなかった ( $r = .03$ )。

**日内変動** アルファ周波数には夕方頃に最大となる日内周期が存在することが示唆されており (Gundel & Hilbig, 1983)、てんかん患者の皮質脳波を用いた本研究室の研究においても同様の傾向が示されている (未発表)。そこで、ジター周波数にも個人内の日内変動が存在するかを検討するため、日内周期を仮定した階層コサインモデルを当てはめた。その結果、ジター周波数は正午付近にピークをもつ周期性を示した (最大位相の95%信用区間: [9.9, 15.3] h; 振幅: [0.08, 0.30] Hz; モデルの詳細は割愛)。アルファ周波数のピーク時刻は先行研究とは厳密に一致しないものの、日内周期に相当する変動が観察された。

## 総合考察

スマートフォンによるジター錯視の周波数計測により、ピークアルファ周波数と対応する指標を日常場面でも取得できる可能性が示された。年齢との関連が明確に示されなかった点については、本研究の参加者に60代以上の高齢者層が含まれていなかったことが一因として考えられるため、今後はより高齢者層を対象としたジター周波数計測を計画している。

脳波計を装着せずにアルファ波の状態を日常環境でモニタリングするには、観測可能な行動・生理データから脳内状態を推定する逆問題を解く必要があり、現時点ではその実現には至っていない。ジター周波数に基づく本手法は、この課題に対する新たな技術基盤となる可能性がある。

## 引用文献

- Arnold, D. H., & Johnston, A. (2003). Motion-induced spatial conflict. *Nature*, 425(6954), 181–184.
- Gundel, A., & Hilbig, A. (1983). Orcadian acrophases of powers and frequencies in the waking EEG. *International Journal of Neuroscience*, 22, 125–133.
- Mierau, A., Klimesch, W., & Lefebvre, J. (2017). State-dependent alpha peak frequency shifts: Experimental evidence, potential mechanisms and functional implications. *Neuroscience*, 360, 146–154.
- Minami, S., & Amano, K. (2017). Illusory jitter perceived at the frequency of alpha oscillations. *Current Biology*, 27, 2344–2351.
- 佐藤 徳, 安田 朝子 (2001). 日本語版 PANAS の作成. 性格心理学研究, 9, 138–139.
- 高橋 誠・北島 洋樹・本城 由美子 (1996). 精神的作業負担チェックリストの作成とそれによる眠気とリラクセス状態の関係構造の検討. 労働科学, 72, 89–100.