

## 最終報告

スマートデバイスを用いたアルファ波計測技術の開発とその応用

研究代表者：天野薫 東京大学 教授

共同研究者：澁澤柁花 情報通信研究機構 研究員



### 1. 研究の背景と達成目標

多くの国において少子高齢化が進んでおり、「ボケたくない」と考える人は非常に多いと考えられる。病気になってから治療するのではなく、その前の段階を検知し予防につなげることは、個人の幸福面でも、社会全体のコスト面でも非常に重要である。感覚、認知、運動など多くの機能を司る脳の状態を知ることは健康維持にとって不可欠であるにもかかわらず、一般用の脳計測装置はほとんど普及しておらず脳活動を測る機会は極めて限定的である。本提案では、スマートデバイスだけを使っていつでもどこでも気軽に脳の状態を計測する技術を開発し、専門的装置が必要であった従来の脳計測の常識を覆すパラダイムシフトを起こすことを目指す。具体的には以下を目指した研究を行う。

(1) スマートデバイスでいつでも気軽にアルファ波の状態を計測できるアプリの開発、(2) アルファ波と活動量や睡眠、認知機能の関係に関するビッグデータの収集、(3) アルファ波の変調による認知機能の向上、の3つを目標とする。

#### (1) アルファ波を計測する携帯アプリの開発

アルファ波周波数と一致することが分かっているジター周波数の計測においては、画面の上側にジター錯視の動画を、下側には緑の部分が実際に揺れている物理ジターの動画を提示し、後者の周波数が前者と等しくなるようユーザーが調整する。調整後の周波数がアルファ波周波数と対応すると考えられる。一方予備的な観察から、ジター錯視は覚醒度が落ちアルファ波の強度が大きくなるとよく見え、覚醒度が上がってアルファ波の強度が小さくなるとあまり見えない可能性が示唆されておりアルファ波の強度を測定する技術開発も進めていく。

#### (2) アルファ波に関するビッグデータの取得と解析

アルファ波の周波数、強度の計測をアプリで継続して行い、その日内変動、経年変動と活動量や睡眠、認知機能等との関係に関するビッグデータを得る。活動量と睡眠に関する情報はスマホの加速度計から取得し、認知機能計測のバッテリーも実装してその成績の情報も取得する。

#### (3) アルファ波の変調による認知機能向上

ビッグデータから見出された相関関係に基づき、アルファ波の変調による認知機能の改善（例えばアルファ波の周波数を高くすることにより記憶成績が向上するか）を検討する。提案者の研究によって、経頭蓋電気刺激と呼ばれる方法を用いたアルファ波周波数の変調が報告されているが(Minami & Amano, 2017)、専用の装置が必要となるため、本研究ではスマートデバイスを用いたニューロフィードバック法を開発する。

### 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・ジター錯視刺激の改良
- ・アルファ波の強度がジター錯視の見えの大きさと対応することを発見
- ・アルファ波の周波数、強度をスマホアプリで計測する技術の開発及び実装
- ・スマホアプリを使ったデータ収集

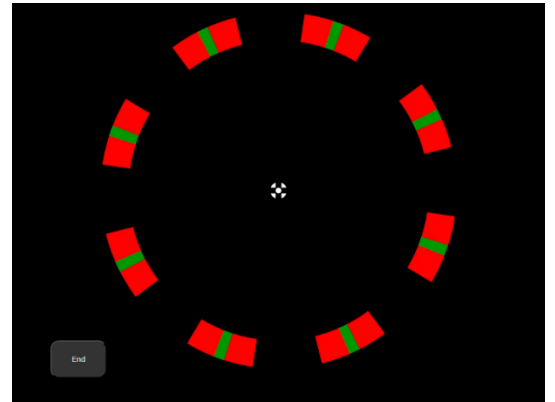
MRI や脳波など専用の装置を使わずにスマホだけで脳波を計測するアプリを実装し、データ収集にまで

繋げられたのは大きな成果と言える。現状ではアプリを一般公開はしておらず、被験者をリクルートして実験を行っている状況であるが、今後一般公開した際に手軽な脳の状態管理という意味でインパクトを持つと考えられる。

### 3. 研究成果

#### 1. ジター錯視刺激の改良

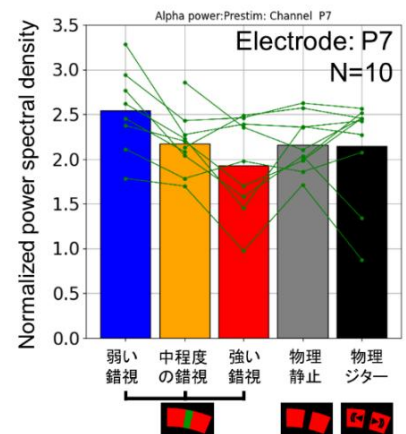
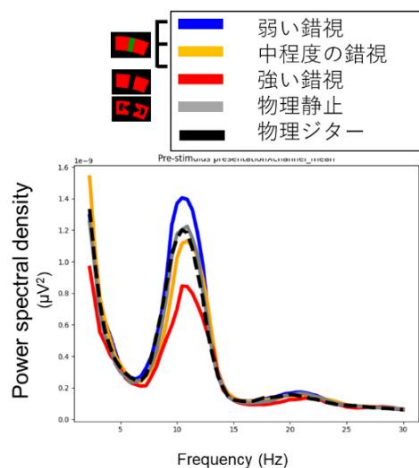
ジター錯視の刺激は、明るさの等しい赤と緑からなる図形が水平に移動する動画を用いることが多いが、錯視が知覚されない人が少なくないという問題があった。そこで右図に示すように、固視点の周りを回転する刺激付置を開発し、錯視の見えの大幅な安定化が実現された。固視点からの距離に応じて錯視の見えやすさが異なるが、固視点からの距離が水平方向への運動の場合変化してしまうのに対して円周方向への運動だと一定に保てること



#### 2. ジター錯視の振幅を用いたアルファ波強度の推定技術の開発

ジター錯視の見えの周波数が、アルファ波の周波数とよく対応することが以前から分かっていたが (Minami & Amano, 2017)、アルファ波の強度をアプリで測定することは出来なかった。本研究ではアルファ波の強度が、ジター錯視の見えの大きさ (揺れ幅) と関連することを脳波実験から見出した (下図)。

本実験では、ジター錯視の刺激を繰り返し被験者に提示して、被験者に錯視の揺れの振幅を三段階で回答してもらった。左図が代表的な被験者のデータで、錯視が弱い時にはアルファ波強度が強く、錯視が強い時にはアルファ波強度が弱くなっている傾向が見出された。全員の被験者の結果をプロットしても (右図)、

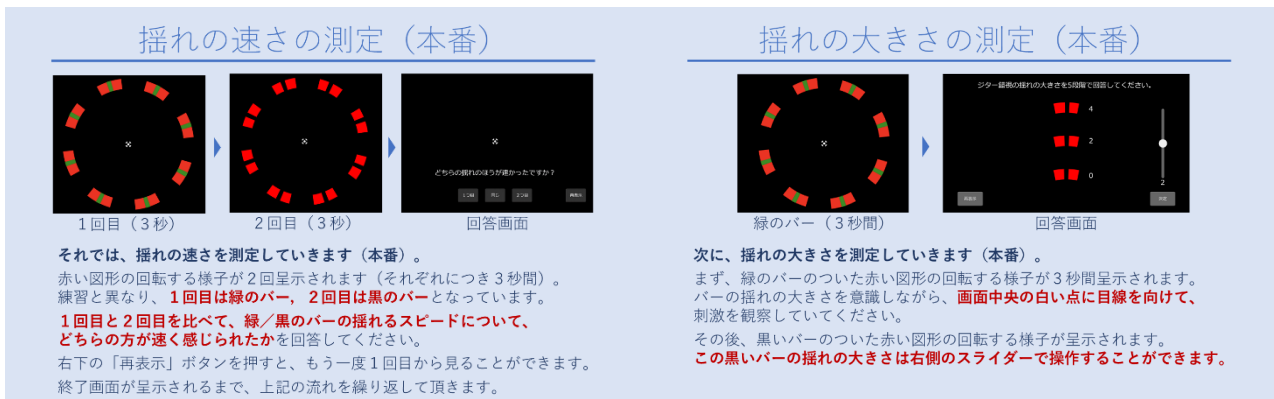


この関係は非常にロバストであった。すなわち、ジターがどの程度強く見えるかとアルファ波の強度は負の相関の関係にあることが示された。なお、こちらはアルファ波強度の個人内変動がジター錯視の見えの大きさと対応するという結果であり、アルファ波強度の個人差と対応する指標についても現在検討を進めているところである。

#### 3. ジター錯視の見えを測定するアプリの作成

スマホ、タブレット等の固有のデバイスに依らずジター錯視の見えを測定するため、ジター錯視の測定を Web アプリとして実装した。ジター錯視の周波数の測定では、錯視の揺れ、すなわち画面上では揺れていないが揺れて感じられるジター錯視と実際に画面上で揺れている物理ジターの周波数を比較する必要がある。しかしながら 10 Hz 程度で揺れている図形のどちらが早いかを判定するのは一般に困難である。そこでまずは、二つの物理ジターを提示し、どちらが早いかを答える練習課題を導入した。物理ジターの比較においては、どちらが早いかにして正解が存在するため、正誤をフィードバックし、徐々に課題になれていってもらうようにした。この練習課題に精度良く回答出来るようになってからジター

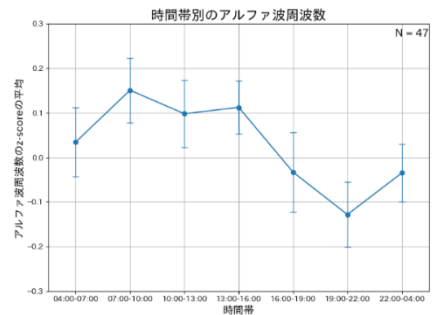
錯視の測定に進むようにした。下図はジター錯視の周波数、強度測定の方法を説明するアプリ画面である。前者ではジター錯視と実際の揺れのどちらが早いかを二択で、後者では揺れの大きさを5段階で回答した。測定終了後にどの程度ジターが見えたかや眠気等に関するアンケートを行うように実装した。



#### 4. アプリによるデータ収集

2022年度は30名の被験者を対象に、2023年度は60名の被験者を対象に実験を行った。2022年度は従来型の水平運動で、2023年度はジター錯視の見えがより安定する円周上の運動で実験を行った。いずれも、ジター錯視の測定を一日2回以上2ヶ月にわたって行い、FitBitによって心拍数、運動量、睡眠の計測も行った。

まず日内変動に関していずれの実験でも共通した傾向が得られた。下図は2023年度の結果であり、朝晩はアルファ波の周波数が遅くなり、日中は高くなり傾向が見出された。また運動量の多い被験者の方がアルファ波周波数の日内変動が大きい傾向が観察された。脳波計を一日中付けて計測するのは実験負荷が高く、このような日内変動は過去に報告されておらず新規性の高いデータが得られたと考えられる。また同様の日内変動の傾向は、持続的注意課題を用いた集中力の測定でも観察されており、アルファ波の周波数が集中度と関連する可能性が示唆された。またFitBitを使った睡眠計測との比較において、就寝前のアルファ波の周波数が低いと睡眠効率が高い可能性が示唆された。この結果は、不眠症患者において就寝前のアルファ波の周波数が高くなっていることを示した先行研究（こちらの研究では脳波実際に計測）とも整合するものである。さらに被験者へのアンケート結果との比較において、アルファ波の周波数が高い被験者ではストレス傾向が高い可能性が示唆された。



#### 4. 今後の展開

本研究で見出されたアルファ波の日内変動が生じるメカニズムについて、皮質脳波を用いたより精緻な実験等で迫っていく予定である。また、アプリで測定したアルファ波のデータがリラクサー・ストレスマーカーとして使用できないか、今後更なる検討を進めていく予定である。具体的には、ヨガ前後でのリラクサー評価、職場でのストレス評価等への適用を視野に企業との共同研究を計画している。なお、研究を進めていく中で改良が必要な点が次々出てきており、まずは謝金ありの被験者でしっかりデータを蓄積することが重要であると考え現状ではアプリを一般公開していないが、かなりエビデンスが貯まってきたため今後一般公開することで加速度的にデータを収集したいと考えている。

当初計画していたスマホアプリのみを使って脳活動を変調するニューロフィードバックの実現に関しては様々な予備的検討を行っているものの、かなりハードルが高そうであることが判明している。もし成功すれば概念的な新規性が非常に高く、アプリケーション面でも脳を直接測らずに脳活動を変調できれば、睡眠改善・集中力向上・ストレス軽減等応用の幅が広いため引き続き検討を続けていく予定である。

## 5. 発表実績

### 【論文】

1. Kawashima, T., Shibusawa, S., Amano, K. (2022): Frequency- and Phase-Dependent Effects of Auditory Entrainment on Attentional Blink, *European Journal of Neuroscience* 56(4), pp. 4411-4424.
2. Kawashima, T., Amano, K. (2022): Can enhancement and suppression concurrently guide attention? An assessment at the individual level, *F1000Research*, 11:232.
3. Nakayama, R., Bardin, J-B., Koizumi, A., Motoyoshi, I., Amano, K. (2022): Building a decoder of perceptual decisions from microsaccades and pupil size, *Frontiers in Psychology*, 13, Article 942859.
4. Oishi, H., Takemura, H., Amano, K. (2022): Macromolecular tissue volume mapping of lateral geniculate nucleus subdivisions in living human brains, *NeuroImage*, 119777.
5. 天野薫 (2023). ジター錯視を用いたアルファ波計測, *Clinical Neuroscience*, Vol. 41, No. 8, pp. 1048-1051.
6. 天野薫 (2022). 視覚情報処理のクロックとしてのアルファ波, *生体の科学*, Vol.73, No. 1, pp. 18-22.
7. Kimura, I., Revankar, S.G., Ogawa, K., Amano, K., Kajiyama Y., Mochizuki H. (2023): Neural Correlates of Impulsive Compulsive Behaviors in Parkinson's Disease: A Japanese Retrospective Study, *NeuroImage: Clinical*, 103307.
8. Kawashima, T\*, Nakayama, R\*, Amano, K. (2024): Theoretical and technical issues concerning the measurement of alpha frequency and the application of signal detection theory: Comment on Buegers and Noppeney (2022), *Journal of Cognitive Neuroscience*, 36(4), 691-699. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_02010](https://doi.org/10.1162/jocn_a_02010). (\*equal contribution)
9. Kawashima, T., Shiratori, H., & Amano, K. (2024): The relationship between alpha power and heart rate variability commonly seen in various mental states, *PLoS ONE*, 19(3), e0298961. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298961>

### 【学会発表】

1. 澤山正貴, 周宇傑, 山下歩, 天野薫 (2023). ジター錯視における錯視量の個人内変動とアルファ波との関係, 日本視覚学会 2023 年冬季大会.

### 【特許】

#### 【その他】(いずれも招待講演)

1. Amano, K. (2024): Functions of alpha oscillations: Insights from MEG/EEG studies and mobile app measurements, *Neural Dynamics and Information Processing in the Brain and Body*.
2. 天野薫 (2022). ジター錯視を用いたアルファ波計測とその応用, WLWB 研究会キックオフミーティング.
3. 天野薫 (2022). ジター錯視を用いたアルファ波計測とその応用, ヒューマンオーグメンテーション社会連携講座第二回シンポジウム “生体情報は人間拡張の夢をみるか?”.