

令和 6 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21299

研究課題名（和文）簡便な脳活動・生体情報計測に基づく集中状態の視覚化

研究課題名（英文）Visualization of attention state based on simple measurement of brain activity and biological information

研究代表者

山下 歩（Yamashita, Ayumu）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：70854438

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、集中力に関して脳活動と自律神経系の活動との関連を調査し、集中状態の定量化を目的とした。脳波計を用いて、持続的注意課題中の脳活動および瞳孔径、心拍、呼吸等の複数の生理情報と同時に計測し、その関連を解析した。データ駆動的手法を用いたところmicrostateに似た脳状態が抽出され、行動課題成績や生体情報との関連を明らかにした。また、 α 波のパワーと呼吸強度、瞳孔径、瞬きの頻度との関連が示され、生体情報から α 波のパワーを予測することができた。さらに、簡易EEGを用いた日常生活における脳状態推定の実用可能性も調査した。本研究の成果は、集中状態の客観的評価および改善に寄与することが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、集中状態の脳活動と自律神経系の活動との関連を明らかにし、これを定量化する技術を開発した。この成果は、注意欠陥障害や精神疾患など、集中力が低下する症状を持つ患者の診断や治療に寄与する可能性がある。また、日常生活や職場での集中力の向上に役立つツールとしての応用も期待される。さらに、脳波と生体情報の相互作用を解析することで、精神的状態と身体的状態の関係についての新たな科学的理解を提供し、行動科学や認知神経科学の分野において重要な学術的貢献を果たしている。この研究から得られる洞察は、将来的に治療法の開発や生活の質の向上に繋がるなど、より広範な社会的影響が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the relationship between brain activity and autonomic nervous system activity in relation to sustained attention, aiming to quantify states of attention. Using EEG, brain activity and various biological signals such as pupil diameter, heart rate, and respiration were simultaneously measured during a sustained attention task and analyzed for their interrelations. A data-driven approach identified brain states resembling microstates, clarifying their relationship with task performance and biological signals. Notably, correlations were found between alpha power and respiration intensity, pupil diameter, and blink frequency, enabling the prediction of alpha power from biological signals. Furthermore, the practicality of using simple EEG for estimating brain states in daily life was explored. The results of these studies are expected to contribute to the objective assessment and improvement of attention state.

研究分野：認知神経科学

キーワード：EEG pupil alpha sustained attention

1. 研究開始当初の背景

本研究では「脳活動に基づく集中状態と自律神経系の活動はどのように関連しているか」を問う。私たちは難解な論文を読んでいたたり単純な作業をしていたりする時に、急に携帯電話を手に取り現在遂行していることとは無関係なウェブサイトを見始めることがある。これは注意の持続に限界があることを示しており、持続的注意として研究されている。注意機能は様々な高次認知機能の根幹を担う機能であり、その障害は注意欠陥・多動性障害のみならずうつ病や統合失調症などの精神疾患や認知症など様々な疾患で報告されている。健常者においても、持続的注意能力が重大な交通事故や仕事能力に関連するなど、その障害は多くの日常・社会生活を阻害する。これまでに集中状態を生物学的基盤に基づいて客観的に定義し、視覚化・定量化する技術は開発されていない。本研究では、集中状態と様々な生体情報間の関係を調査し、生体情報から集中状態を簡便に視覚化・定量化する基礎技術の開発を行う。

2. 研究の目的

本研究の目的は、情報学と認知神経科学に基づいて集中状態を視覚化・定量化する技術を開発することである。私たちはストレスを感じると瞳孔が開き、心拍が上昇するなど自律神経系が活動し、不慮の出来事に応じるために幅広い情報を収集できる状態に移行する。一方、現在に注意を向けるマインドフルネスなどでは呼吸を整えたりすることで安定的な状態に移行する。このように、自律神経系の活動は私たちの集中状態と密接に関連している。集中状態を生体情報から推定する技術はこれまでも数多く行われてきているが、従来研究では集中状態の定義が単一の認知課題成績や単一の生体情報に基づいているという問題と、多様な自律神経系の活動と脳状態の相互作用が明らかでないという問題があった。

3. 研究の方法

(1) EEG 脳波活動に基づくデータ駆動的脳状態推定

磁気共鳴機能画像法 (fMRI) よりも簡便に脳活動を計測できる EEG 脳波計を用いて持続的注意課題を行っている際の脳活動及び複数の自律神経系の生体情報を同時に計測し、脳活動と生体情報の関連を調査した。持続的注意課題は gradual onset continuous performance task (gradCPT) を用いた。gradCPT では 0.8 秒ごとに徐々に変化していく町か山の風景画像が提示され、町の画像に対してはボタンを押し、山の画像に対してはボタンを押さないことが求められる。提示される画像群の 9 割では町画像が提示される。画像に対する反応時間の変動によって注意状態を定義することができる。生体情報は、視線計測、瞳孔径、心拍、皮膚電位活動、呼吸の計測を行った。gradCPT 中の EEG 脳波活動に対して energy landscape analysis [1] を適用することで安定的な脳状態を推定し、行動課題成績や生体情報との関係を検討した。実験にはインフォームドコンセントを得た健常者 7 名が参加した。各被験者は約 8 分間の gradCPT を 3 回行った。

(2) EEG 脳波における単一の周波数帯域の power と生体情報の関連

α 波は 8Hz から 13Hz 周波数帯域における脳波のことで、最初に確認された脳波である。 α 波の power はリラックス状態などのヒトの状態と関連することが示唆されており、0.07Hz 程度の遅い揺らぎを示すことが知られている。ここでは、様々な認知課題中の脳波と生体情報を計測し、 α 波の power と様々な生体指標間の関連性を調査した。また、様々な生体情報から α 波の power が予測できるかを検証した。実験にはインフォームドコンセントを得た健常者 8 名が参加した。各被験者は 5 分間の事前安静課題、10 分間の注意課題、20 分間の画像鑑賞課題、5 分間の事後安静課題を行った。

(3) EEG 脳波における複数の周波数帯域に基づいて脳状態の推定

脳状態推定技術の日常生活における応用可能性を検証するために、日常生活で実用性の高い 6ch 簡易 EEG を用いて、周波数帯域の power 及び生体情報に基づいてデータ駆動的に脳状態を推定する研究を行った。本研究では日常生活を想定し、グループディスカッション中の生体情報に基づく脳状態推定を行った。実験にはインフォームドコンセントを得た健常者 92 名が参加した。約 20 分の音楽鑑賞の後、3~5 名のグループに分かれて議論を行った際の脳活動及び生体情報の計測を行った。

4. 研究成果

(1) EEG 脳波活動に基づくデータ駆動的脳状態推定

解析の結果、安定的な脳状態は脳波の一過性のパターン化された準安定状態として知られるマイクロステートに類似していることがわかった。マイクロステートは、その空間的なパターンからマイクロステート A~D と呼ばれ、それぞれ左右の後頭部、後頭葉、頭頂部の活動によって特づけられる。本研究では、実験協力者がマイクロステート D に近い状態にあるとき、反応時間の分散はより大きく、視覚感度はより低くなった。また、この状態では瞳孔の変動が大きくなっ

ており、一般的な不注意状態を表していると解釈できる。

また、マイクロステートの活動を波として考え、波の山と谷の時の行動課題成績を比較したところ、右後頭葉の power が大きい状態 (StateB1) 時では反応時間のバラつきが左前頭葉の power が大きい状態 (StateB2) 時に比べて大きいことが明らかとなった。また、頭頂葉の power が大きい状態 (StateD1) 時も反応時間のバラつきが頭頂葉の power が小さい状態 (StateD2) 時に比べて大きいことが明らかとなった。つまり、StateB2 と StateD2 はともに不注意状態を表していると考えられる。一方で、生体情報との関連を調査したところ、StateB2 時は心拍が遅い一方で StateD2 時には心拍が速かった。また、StateD2 時は瞳孔径も大きくなっていった。これらの結果は、StateB2 と StateD2 はともに課題成績の悪い不注意状態であるが、StateB2 は心拍が遅くなっていることから副交感神経の活動が強い状態、StateD2 は心拍が速く、瞳孔径が大ききことから交感神経の活動が強い状態を表している可能性が示唆された。本研究結果から、脳活動のみから行動課題成績や自律神経系の活動と関連する状態を推定できることが示された。本研究結果は第 46 回神経科学大会及び第 7 回ヒト脳イメージング研究会で発表を行った。

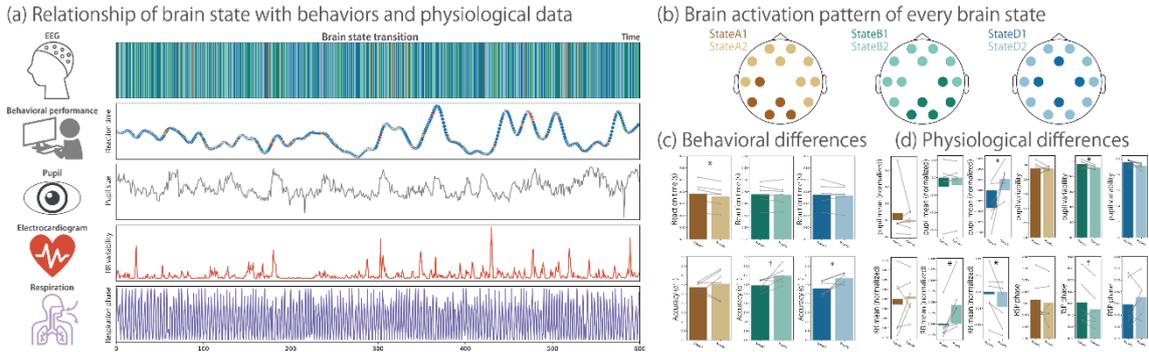


図 1: 研究①のまとめ。(a) データの概要図。(b) 推定された脳状態。(c) 脳状態間での行動課題成績の違いと生体情報の違い。

(2) EEG 脳波における単一の周波数帯域の power と生体情報の関連

解析の結果、 α 波の power は、呼吸強度、瞳孔径、瞬きの頻度などと正の相関を示すことが明らかとなった ($r = 0.29$, $r = 0.40$, $r = 0.57$)。また主観報告において、眠気と正の相関を示し、注意や覚醒度とは負の相関を示すことが明らかとなった ($r = 0.37$, $r = -0.46$, $r = -0.33$)。さらに、生体情報から α 波の power を予測したところ、leave one subject out cross validation で α 波の予測値と実測値の間の相関は 0.67 程度で予測することが出来た。これらの結果は α 波の power と生体情報は密に関連していることを示唆しており、生体情報のみから脳活動を推定できる可能性を示している。本研究結果は Psychophysiology 誌に論文投稿中である。

(3) EEG 脳波における複数の周波数帯域に基づいて脳状態の推定

グループディスカッション中の脳波をクラスタリングした結果 5 つの脳状態が安定的に推定された。心的状態の特徴を調査するために、各状態時における各特徴量の平均値を比較し特徴の解釈を行った。脳波指標に関しては、代表値として Fz におけるパワーを評価した。その結果、瞳孔径の指標以外では心的状態間で有意差を確認することが出来た。心的状態 1 は特定の生体情報と関連しない状態であり、心的状態 2 はベータ波のパワーが強く、瞳孔径が大きく、心拍変動も大きい状態、心的状態 3 はアルファ波のパワーが強く、瞳孔径が大きく、心拍変動は小さく、心拍は遅い (R-R interval が大きい) 状態、心的状態 4 はデルタ波のパワーが高く、瞳孔径が比較的小さい状態、心的状態 5 はシータ波のパワーが強く心拍が比較的速い状態であった。本研究結果は視覚学会 (2024 年冬季大会) で発表を行った。

以上、3 つの研究を通して EEG 脳波と生体情報間の関係を明らかにし、簡易 EEG 計測を用いた脳状態推定法の実用可能性まで調査することが出来た。

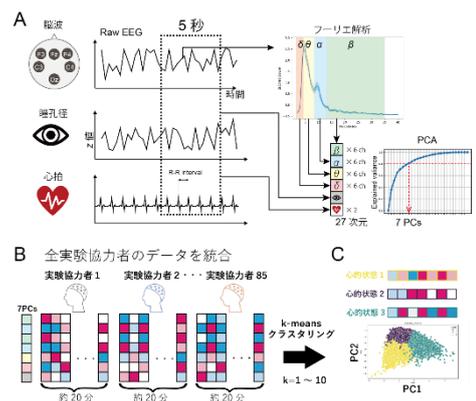


図 2: 研究③解析の概要。A: 6 チャンネルから脳波を 5 秒間抽出し、フーリエ解析を行い、 δ (デルタ) 波、 θ (シータ) 波、 α (アルファ) 波、 β (ベータ) 波のパワーを計算。同様に、z 値化された瞳孔径の 5 秒間の平均値、5 秒間における心拍ピークの R-R interval の平均値及び変動係数を計算。これら計 27 次元×時間点数のデータに対して主成分分析 (PCA) を行い、累積寄与率が 80% を超える PC をその後の解析に使用した。B: 全実験協力者のデータを統合。ベクトル内の色は信号強度を表す。C: k-means クラスタリングの結果の模式図 (結果は状態数 3 の場合の例を 2 次元で表現した図である)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 Xu Yuting, Yamashita Ayumu, Kawashima Tomoya, Amano Kaoru	4. 巻 -
2. 論文標題 Prediction of alpha power using multiple subjective measures and autonomic responses	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 AUTHOREA	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.22541/au.171458796.67954889/v1	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山下歩、天野薫
2. 発表標題 EEG脳状態に基づく注意の揺らぎの検出とその生体情報との関連
3. 学会等名 第46回日本神経科学大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前田 紘希, 山下 歩, Chew Jouhyeong, 澤山 正貴, 天野 薫
2. 発表標題 複数人での交流における人の内的状態と行動指標の関係
3. 学会等名 日本視覚学会2024年冬季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山下歩
2. 発表標題 EEG brain state-based detection of attentional fluctuations and their relationship to physiological responses
3. 学会等名 第7回ヒト脳イメージング研究会
4. 発表年 2023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
---------	---------