

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：13201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K20311

研究課題名（和文）日常生活下の行動のモニタリングによる認知機能や精神状態の推定

研究課題名（英文）Estimation of cognitive function and mental state through monitoring of daily life behaviors

研究代表者

池田 純起（Ikeda, Shigeyuki）

富山大学・学術研究部工学系・准教授

研究者番号：30754353

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、安静時に計測される脳活動である、安静時脳活動に着目し、安静時脳活動からヒトの認知機能などの個人差（個人特性）を推定するための方法を開発した。そして、従来手法と比較することで、開発した手法の有効性を実証した。さらに、安静時脳活動を実社会に応用することを念頭に、安静時脳活動から人間関係の評価を行う方法の開発、および、瞑想がヒトの認知や精神状態に与える効果を安静時脳活動にもとづいて評価した。以上の研究成果を国内外の学会、および、国際誌にて論文として発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、安静時脳活動に着目し、安静時脳活動からヒトの認知機能などの個人特性を推定する方法を開発した。本手法で得られた脳活動特徴量は従来型の特徴量よりも優れた推定精度を示した。本手法の脳活動特徴量と従来型の特徴量との違いを調査することで、脳活動中にヒトの個人特性がどのように表現されているのか、その神経機序の一端を明らかにできる可能性がある。また、安静時脳活動を用いた人間関係の評価法によって、人間関係に起因する社会問題を解決できる可能性がある。さらに、安静時脳活動を用いて瞑想の効果を検証することで、瞑想の効果をより高める方法を開発できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：This study focused on brain activity measured during rest, commonly known as resting-state brain activity. It developed a method to gauge behavioral individual differences (e.g., cognitive function) from resting-state brain activity, and confirmed its effectiveness. Furthermore, considering the practical application of resting-state brain activity, this study developed techniques to assess human relationships and to evaluate effect of meditation on cognitive function and mental state using resting-state brain activity.

研究分野：脳情報デコーディング

キーワード：安静時脳活動 個人差 人間関係 推定 予測

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 日常生活における人間の行動をモニタリングする研究は、これまで数多く行われてきた。一方で、モニタリングの結果、人間に、どのような生理機能の変化（認知機能や精神状態）が生じているかを特定することは困難であった。本研究では、日常生活における人間の行動を歩行、安静、認知作業の三つに大別し、それらの行動データをウェアラブル装置で計測することで、人間の生理機能の変化を推定することを目標としていた。

(2) 当初の計画では、歩行、安静、認知作業の三つの行動データに着目して研究を進める予定であった。しかし、昨今の研究で、安静時に計測される脳活動（安静時脳活動）に人間の認知機能や精神状態が強く反映されていることが報告されており、他の行動データと比較して、安静時脳活動が本研究の目標を達成する上で、有力な行動データであると考えた。そこで申請時の研究計画を変更し、安静時脳活動と認知機能や精神状態の関係を明らかにする研究を行うこととした。

(3) 安静時脳活動は全脳にわたって特徴的な時空間パターンを有することが示唆されている。本研究で利用する予定であったウェアラブル脳活動計測装置は、脳の一部である、前頭葉のみを計測対象としており、安静時脳活動の時空間パターンを計測する上で不十分であった。そこで、全脳の脳活動データを計測することが可能な機能的磁気共鳴画像法（fMRI）に着目し、安静時脳活動から認知機能や精神状態を推定する手法を確立すること、および、社会実装を念頭に置いた、安静時脳活動の実生活における利用法を検討すること、これら二つを本研究の大きな目標として、これまで研究を行ってきた。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では以下の二つを目的として定めた。

目的1) 時間と空間の両方を考慮した安静時脳活動の特徴抽出法の確立、および、その特徴抽出法の有効性に関する検討

目的2) 実生活における安静時脳活動の利用法について検討するため、安静時脳活動を用いた人間関係の評価法の確立、および、瞑想が認知機能や精神状態に与える効果を安静時脳活動から評価する方法の検証

(2) 目的1)について説明する。ここでは、安静時脳活動の時空間パターンを考慮した脳活動特徴抽出法を用いて、ヒトの認知機能や性格といった個人差（個人特性）を推定するための方法を開発し、その手法の有効性を確かめることが目的である。これまで多くの脳活動特徴量が開発されており、その中でも、脳領野間の機能的な繋がりのパターンを表現する特徴量が有効とされている。機能的な繋がりのパターンは脳全体の空間的な特徴量（空間特徴量）となる。このような空間特徴量は、安静時脳活動に独立成分分析を適用することで求めることが可能である。一方で、脳の領野は、時間的かつ空間的に互いに連動しながら活動しているため、脳活動の時間方向の特徴を考慮した空間特徴量の抽出を行うことで、従来の手法よりも正確な空間特徴量を脳活動から取り出せるようになると考えられる。これを可能とする手法が動的モード分解である。動的モード分解は、時系列信号全体から時間定常な空間特徴量を求める。時間定常な空間特徴量とは、時系列信号全体にわたって一貫して存在する空間特徴量のことを指す。動的モード分解を安静時脳活動に適用することで得られる空間特徴量を用いて個人特性の推定を行い、動的モード分解の有効性を検証する。

(3) 目的2)について説明する。研究開始当初の背景でも述べたとおり、本研究の当初の目的は、日常生活における人間の生理・行動データを実社会に活用することであった。研究計画の変更後も、この当初の目的を引き継ぎ、研究を行ってきた。具体的には、人間の日常生活における行動の一つである安静状態に着目し、そのときに計測される脳活動、すなわち、安静時脳活動を実社会に活用することを考えた。以下に目的2)の研究計画について具体的に説明する。

① 安静時脳活動を用いた人間関係の評価法の確立：初対面の相手と一対一で会話するとき、話が弾むこともあれば、そうでないときもある。もし、その会話がお互いに満足のものであった場合、相手と自分は相性が良い、と考えられる。人間同士の相性を学術的に定義することは困難であるが、ここでは、初対面の相手との会話で得られる満足度（会話満足度）を相性と定義し、会話を行う前に計測された話者の安静時脳活動から、会話を行った後で評価される会話満足度を予測する研究を行った。この目的が達成された場合、安静時脳活動から人間同士の相性を事前に評価する技術につながる。この技術は、人間関係に起因する実社会の問題を解決する一助となるはずである。

② 瞑想が認知機能や精神状態に与える効果を安静時脳活動から評価する方法の検証：瞑想は、

集中力・注意力の向上やストレスの軽減に役立つと言われており、専用の設備や道具を必要とせず、簡単に行えることから、世界的に注目されている。一方で、瞑想が人間の認知機能や精神状態に与える効果については、未解明な点が多い。ここでは、安静時脳活動を用いて、瞑想が、どのように人間の認知や精神に作用するのかを明らかにする研究を行った。この目的が達成された場合、我々が日常的に行っている瞑想の効果を、脳科学の観点から証明することができる。さらに、瞑想の効果に個人差が存在する理由や瞑想の効果を高める方法の開発に繋がることが期待される。

### 3. 研究の方法

(1) 目的1の研究方法について説明する。目的1では、動的モード分解で得られる安静時脳活動の空間特徴量を用いて、ヒトの個人特性を推定した。なお、ここでは、fMRIで計測された安静時脳活動と個人特性からなる、約1,000人規模の公開データ (Human Connectome Project) を用いて解析を行った。具体的には、公開データから、829名分の安静時脳活動と個人特性に関する59種類の行動データを選定し、解析に用いた。まず、個人ごとの安静時脳活動に動的モード分解を適用することによって、時間方向の特徴を考慮した空間特徴量の抽出を行った。次に、個人特性の推定を行うため、空間特徴量を用いてグラム行列を求めた。動的モード分解で得られる空間特徴量は個人間で対応関係が存在せず、単純にグラム行列を計算することはできない。一方で、この空間特徴量は部分空間を形成し、グラスマン多様体上で一つの点として表現される。したがって、二つの空間特徴量 (二つの点) の類似度をグラスマン多様体上で求めることが可能である。グラスマン多様体上の二つの点の類似度を求めるための正定値カーネルを開発し、それを用いて空間特徴量からグラム行列を求めた。このグラム行列が、推定に用いる入力特徴量となる。個人特性の推定を行うための回帰アルゴリズムとして、ガウス過程回帰を用いた。59種類の各行動データに対して推定を行い、得られた推定精度が統計的に有意であるかどうかを評価した。推定精度として、予測された行動データと真の行動データとの相関係数、および、正規化平均二乗誤差を用いた。加えて、動的モード分解の有用性を検証するための比較対象として、特徴量抽出で頻繁に用いられている独立成分分析を用いた。

(2) 目的2の研究方法について以下に説明する。

① 安静時脳活動を用いた人間関係の評価法の確立：この研究では、初対面同士の一対一の会話から得られる会話満足度を、会話を行う前にfMRIで計測された安静時脳活動を用いて予測する。まず、初対面の二人一組のペアを29ペア (計58名) 作成し、全員分の安静時脳活動を計測する。脳活動計測後に、こちらが提示したある話題に従って、ペアで会話を行ってもらい、会話後に会話満足度を評価させた。会話満足度の評価は、先行研究で既に確立されている心理質問紙を用いた。会話満足度の予測には、機械学習の回帰アルゴリズムである、サポートベクター回帰を用いた。回帰モデルへの入力特徴量として、ペアの安静時脳活動から求めた、被験者間類似度を用いた。予測精度として、予測された会話満足度と真の会話満足度との二乗平均平方根誤差を用い、その予測精度が統計的に有意かどうかを評価した。

② 瞑想が認知機能や精神状態に与える効果を安静時脳活動から評価する方法の検証：この研究では、瞑想の一種である数息観が人間の認知や精神状態に与える影響について、脳科学の観点から調査する。まず、これまでに瞑想の経験が無い被験者28名を雇用し、瞑想群 (13名) と統制群 (15名) に分けた。瞑想群には、数息観を10分間行わせ (瞑想介入)、一方、統制群には、10分間何もせずリラックスさせた (マインドワンダリング介入)。そして、介入前後の安静時脳活動をfMRIにて計測した。なお、介入自体もfMRIスキャナ内にて実施している。得られた安静時脳活動から、脳の領野間の機能的な繋がりを反映していると言われており、機能的結合を求めた。そして、介入前後の機能的結合の変化を計算し、統計的に有意に変化している機能的結合を調査した。

### 4. 研究成果

(1) 目的1の研究成果について説明する。動的モード分解で得られた空間特徴量を用いて、59種類の行動データに対して推定を行った結果、7つの行動データ (例：流動性知能、ワーキングメモリなど) において、それら推定精度が統計的に有意に高いことが分かった。さらに、動的モード分解の推定精度は、比較対象である独立成分分析よりも優れていることが分かった。以上から、本研究によって、時間方向の特徴を考慮した空間特徴量を取り出すことのできる、動的モード分解の有用性を実証することに成功した。この成果を、国内外の学会にて発表し、さらに、国際誌にて論文として発表した。

(2) 目的2の研究成果について説明する。

① 安静時脳活動を用いた人間関係の評価法の確立：会話満足度の予測を行った結果、統計的に有意な精度で、会話満足度を安静時脳活動から予測可能であることが分かった。この成果を、国内の学会にて発表し、さらに、国際誌にて論文として発表した。

② 瞑想が認知機能や精神状態に与える効果を安静時脳活動から評価する方法の検証：介入前

後における安静時脳活動の機能的結合の変化を、瞑想群と統制群で統計的に比較した。その結果、瞑想群は、小脳内の機能的結合、小脳と紡錘状回の機能的結合などにおいて、統制群よりも、介入後に結合が増大していることが分かった。小脳は、持続的注意（目の前の課題に集中し続ける能力）と関係があると言われており、瞑想によって、持続的注意が向上したことが示唆される。この結果から、瞑想がヒトの認知機能に与える効果の一端を、安静時脳活動を用いて、明らかにすることができた。この成果を、国際学会にて発表した。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Ikeda Shigeyuki, Kawano Koki, Watanabe Soichi, Yamashita Okito, Kawahara Yoshinobu	4. 巻 247
2. 論文標題 Predicting behavior through dynamic modes in resting-state fMRI data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 118801 ~ 118801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2021.118801	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 Ikeda Shigeyuki, Jeong Hyeonjeong, Sasaki Yukako, Sakaki Kohei, Yamazaki Shohei, Nozawa Takayuki, Kawashima Ryuta	4. 巻 14
2. 論文標題 Predicting conversational satisfaction of face-to-face conversation through interpersonal similarity in resting-state functional connectivity	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6015 ~ 6015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-024-56718-7	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 池田純起
2. 発表標題 安静時脳活動からの個人差の推定
3. 学会等名 第 24 回通信行動工学研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ikeda S, Kawano K, Watanabe S, Yamashita O, Kawahara Y
2. 発表標題 Human behavior can be predicted from resting-state brain dynamic modes
3. 学会等名 第 44 回日本神経科学大会/第 1 回 CJK 国際会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田純起
2. 発表標題 機械学習を用いた安静時脳活動に表象される情報の解読
3. 学会等名 第 20 回通信行動工学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ikeda S, Kawano K, Watanabe S, Yamashita O, Kawahara Y
2. 発表標題 Resting-state brain dynamic modes predict behavioral traits
3. 学会等名 The 27th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (OHBM 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ikeda S, Jeong H, Sasaki Y, Sakaki K, Yamazaki S, Nozawa T, Kawashima R
2. 発表標題 Inter-subject correlation of resting-state functional connectivity underlies successful conversation
3. 学会等名 第 3 回ヒト脳イメージング研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hoshino Y, Yamaya N, Ikeda S, Hamamoto Y, Kobayashi A, Kawashima R
2. 発表標題 Changes in resting-state functional connectivity induced by one-session mindfulness meditation
3. 学会等名 Society for Neuroscience 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------