（様式第６号）

論　文　要　旨

2026 年　1 月　9 日

※報告番号	甲 第　395 号	氏　名	鈴木 圭

主論文題名
脳波信号と機械学習を用いた精神疾患の評価
-評価モデルの構築とバイオマーカーの探索-

内容の要旨

近年，精神疾患はその治療費や患者数の多さから身近で重要な社会問題となっている．この精神疾患に対処するためには，医師の適切な診断に基づく治療や予防が必要であると考えられる．しかし，現状の精神疾患の診断は，生物学的・客観的・定量的な指標であるバイオマーカーが存在せず，医師と患者の主観に左右せざるを得ない面接・問診に基づくため,客観性に制限がある．そこで，この制限を取り払うために，脳波信号と機械学習を応用した研究が報告されている．脳波信号は、人の精神を担う脳の電気的な活動を計測した信号である．この生物学的な脳波信号を機械学習モデルに学習させることで，生物学的・客観的・定量的な評価を提供できると考えられる．さらに，近年では機械学習モデルの評価理由を人間に理解しやすくする explainable artificial intelligence(XAI)技術が存在する．この XAI 技術を用いることで，評価に有益だと考えられるバイオマーカーを発見し得る．

しかし，この試みには次の 3 つの課題が存在する．1)利用可能性の制限，2)判別が困難な精神疾患の存在，3)予防への未応用である．そこで本論文では，これら 3 つの課題の解決を目的とした研究を実施した．

1)利用可能性の制限に関して，従来の研究では多数の電極を持つ高価な医療向けの脳波計が用いられてきた．高価なため，小規模のクリニックなどでの導入を考えた際，導入が困難となり得る．これにより，利用可能性に制限が生じるという課題が存在している．そこで,この課題の解消を目指し，安価で導入がしやすいと考えられる単一電極や簡易脳波計の脳波信号から，高精度にうつ病を検知するモデルの構築を目的として 2 つの研究を実施した．単一電極の脳波信号の研究では，画像へ変換した脳波信号を画像認識に有益なモデルである Swin Transformer に学習させた．これにより，近年著しく発達した画像認識技術の恩恵を受けた．その結果，ROC AUC 評価指標において平均 96%を達成した．そして，簡易脳波計の研究では，16 個もの細分化した周波数帯から，関連研究でうつ病の検知に有効であることが示唆されている複数種類の脳波指標(パワー・左右非対称性・複雑度・機能的結合)を抽出した．そして，抽出した多様な脳波指標を特徴量選択により取捨選択するなどの工夫を施した．これにより，Macro F1 評価指標において平均 91.6%を達成した．こうして得られた性能は先行研究の性能と同等もしくはそれ以上であった．さらに，XAI 技術を適用することで，前頭部の一部における β 周波数帯(13—30Hz)の微分エントロピーなどが評価に有効であることを示唆した．これらの研究により，導入がしやすいと考えられる単一電極や簡易脳波計でも高い性能で達成できることを示唆することで，技術の利用可能性の制限の解消に貢献した．

2)判別が困難な精神疾患として、症状が似ているうつ病や双極性障害が存在する．判別が困

難であるため，これらの精神疾患と健常者の判別が必要であると考えられる．しかし，現状では脳波信号と機械学習による評価は，未だ十分な検討がなされていない．そこで，機械学習を応用した脳波指標による健常者・うつ病患者・双極性障害患者の判別をするモデルの構築を目的として研究を実施した．この研究において，複数個ある脳波指標の種類(パワー・コヒーレンス・1/f のパラメータ・グラフ理論を応用した指標)ごとにモデルを構築し，その精度を比較した．これにより，複数個ある信号の同期の程度を定量化したコヒーレンスの性能が高いことを示唆した．このように,性能が高くなる指標を示唆することで，今後実施される性能の高いモデルの開発に貢献した．

3)予防への未応用に関して，現状では精神疾患の発症後の評価に応用が限られており,発症前の予防には未応用である．精神疾患には慢性化や再発するものも存在するため，発症前の予防は重要であるが，現状ではなされていない．そこで，精神疾患の危険因子とされる性格特性であるアレキシサイミアを評価するモデルの構築を目的として研究を実施した．精神疾患の危険因子を評価できれば，発症前の予防に寄与し得るためである．この評価をするために，関連研究において，その度合との相関が報告されている脳の部位における安静時の脳波信号を用いた．また，評価の可能性を探索するために，複数回にわたる回帰や分類モデルによる評価を試みた．その結果，アレキシサイミアの程度の低・高を示す 2 値においては，偶然よりも性能高く評価が可能であることを示唆した．さらに，XAI 技術の適用により，バイオマーカーとなり得る脳波信号の周波数帯や脳の部位に関する知見を得た．これにより，精神疾患の予防につながる危険因子への評価へ貢献した．

本論文では以上のような，脳波信号と機械学習による精神疾患の客観的な評価における，3 つの課題とその解決を目指した研究を実施した．こうした，身近で重要な精神疾患の客観的な診断に関与する課題の解決に貢献したことで,医療サービスの向上につながり得る知見を得られたと考える．

※印欄記入不要