

■ 背景と目的

- 認知症や精神疾患など脳・心の不調を抱えた人が年々増加し、大きな社会的損失となっている
- 機能的核磁気共鳴画像法 (fMRI) による精神疾患の診断・治療法の研究が進むが、高額医療になる
- 安価な脳波 (EEG) による代替が有望だが、現状では脳状態推測の精度が低い
- 目的: 脳・心の健康に関係する脳機能ネットワークの活動を脳波から高精度で推測する技術を開発し、うつ状態緩和や認知機能維持などのヘルスケア応用に貢献する

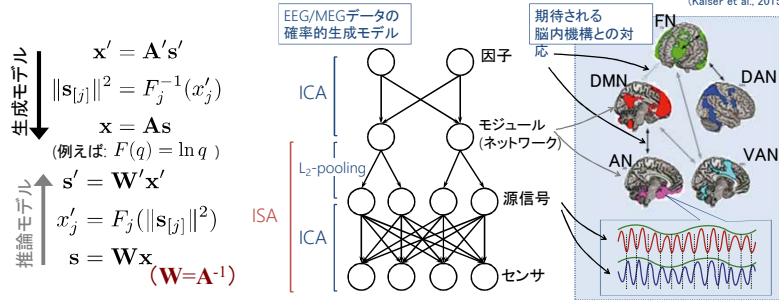


■ 本年度の成果:

- 教師なし脳信号解析法 (SPlice; Hirayama et al., ICML2017) のアルゴリズムの安定化・拡張
 - 時空間方向の畳み込み演算を組み込んだモデルの拡張
 - 非線形ICAと比較し、理論的保証 (識別可能性) を追加
- 共同研究契約のもと、国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) から約30名分のEEG-fMRI同時計測データの提供を受け、SPlice法およびその拡張版を適用
- EEG microstateに基づく被験者間較正法の研究
- ワークショップ “Neuroscience and Machine Learning for Advanced Intelligence” の開催

■ 教師なし脳信号解析法 (SPlice)

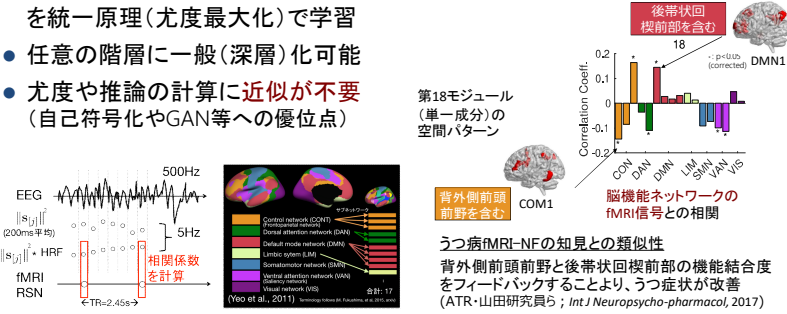
(Hirayama, Hyvärinen & Kawanabe, ICML2017)



- 「信号分離 + モジュール分割 + モジュール間相互作用の成分分解」を統一原理 (尤度最大化) で学習
- 任意の階層に一般 (深層) 化可能
- 尤度や推論の計算に近似が不要 (自己符号化やGAN等への優位点)

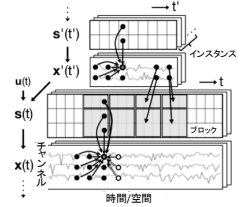
■ EEG-fMRI同時計測データ解析

(Hirayama, Ogawa, Moriya, Hyvärinen & Kawanabe, rtFIN2017)

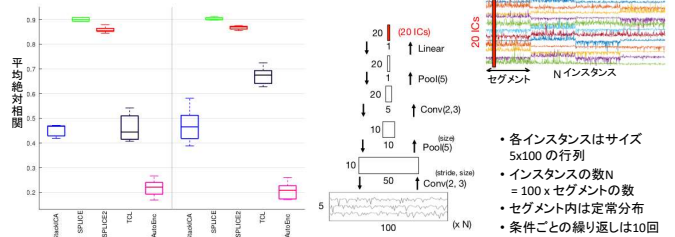


■ SPlice法の拡張: 畳み込み非線形ICA

- 生成モデルがあり、2種類の層から成る畳み込みニューラルネットワーク (CNN) 風アーキテクチャ
- 畳み込み層 = 信号源 $s(t)$ で駆動される線形AR過程 $x(t)$ の逆フィルタ (チャンネル数 \times 時点数が一定で、逆が求まる)
- プーリング層 = ブロック共活性モデルの逆変換 (トップダウン入力 x_k が k ブロックの活性レベルを決定)
- 個々の信号の活性を決定する活性関数 F を一般化
- 特徴量の時間方向の安定性向上
- 理論的保証 (識別可能性)

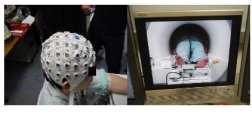


■ シミュレーション



■ EEG-fMRI同時計測データベース (ATR)

理研-ATR共同研究契約 (2018.5.24~2020.3.31)



■ スクリーニング (健康者102名)

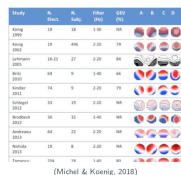
- 臨床評価尺度 (BDI, RRS, STAI等の質問紙)
 - うつ傾向の高い健康者を検出するため
- 行動実験: N-back課題 (0~3 back)

■ EEG-fMRI同時計測 (2日間)

- 102名中から健康者30名が参加 (うつや不安傾向が高い人を優先)
- 安静時EEG-fMRI (5分 \times 8回): 学習データ
- N-back課題 (0~2 back \times 4回): 評価データ

■ EEG microstate

- EEGから計算されるSPliceモジュールは被験者間の違いが大きく、比較や被験者間転移が難しい
- EEG microstateは多くの人に共通して安定的に観測される特徴量である
 - 類似の空間パターンが60-150ms継続する
 - 少数の典型的空間パターンで表現できる
 - 過去の研究で、右図のような4つのパターンが安定して報告されている



- EEG microstateを用いた、SPliceの安定的な被験者間較正法を開発中

■ 今後の課題

- 因子 (最上位特徴量) が気分障害などに関わる安静時ネットワーク (モジュール) 内/間の活動相関を抽出するか検証
- 大規模データを用いたSPlice特徴量の被験者間差の検討と安定的な較正法・転移学習法の開発
- ターゲットとする脳状態に対応するSPlice特徴量の選択基準の確立 (最終的にはEEGのみで決定可能に)
- SPlice法のmatlab codeリリースおよびpython化
- メンタルヘルスケアへの応用可能性の検討 (ATRとの共同研究)

■ 参考文献

- Hirayama J, Hyvärinen A, Kawanabe M. SPlice: fully tractable hierarchical extension of ICA with pooling. International Conference on Machine Learning (ICML'17), 2017.
- Hirayama J, Ogawa T, Moriya H, Hyvärinen A, Kawanabe M. Exploring EEG source resting-state networks by SPlice: A simultaneous fMRI study. Real-time functional imaging and neurofeedback conference (rtFIN'17), 2017.
- Hyvärinen A, Morioka H. Unsupervised feature extraction by time-contrastive learning and nonlinear ICA. Thirtieth Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'16), 2016.
- Kaiser, et al. Large-scale network dysfunction in major depressive disorder: A meta-analysis of resting-state functional connectivity. JAMA Psychiatry, 2015.
- Yeo BT, et al. The organization of the human cerebral cortex estimated by intrinsic functional connectivity. J Neurophysiol, 106(3):1125-65, 2011.
- Michel CM, Koenig T. EEG microstate as a tool for studying the temporal dynamics of whole-brain neuronal networks: A review. NeuroImage, 180: 577-593, 2018.