

複数のブラインド信号源分離法による デフォルトモードネットワーク検出能の比較 Comparison of Some Blind Source Separation Algorithms for Detecting Default Mode Network

刀川賢太⁽¹⁾, 伊澤俊⁽¹⁾, 小野弓絵⁽²⁾, 栗城眞也⁽³⁾, 石山敦士⁽¹⁾

(1) 早稲田大学 (2) 明治大学 (3) 東京電機大学

Kenta Tachikawa (1), Shun Izawa (1), Yumie Ono (2), Shinya Kuriki (3), Atsushi Ishiyama (1)

(1) Waseda University

(2) Meiji University

(3) Tokyo Denki University

Abstract For the detection of networks in the human brain, blind source separation (BSS) is being widely used. Independent component analysis (ICA) is especially common, but there exist other algorithms of the BSS. Second order blind identification (SOBI) is used frequently in EEG and MEG, and non-negative matrix factorization (NMF) is used for the processing of voices and pictures. Here, we applied these BSS algorithms to resting-state fMRI data and evaluated the possibility of each algorithm to detect the network that is peculiar to the resting state human brain.

1. 緒論

fMRI による計測データにブラインド信号源分離法を適用することにより独立なネットワークを描出する手法は一般的なものとなり、近年では誰でも扱えるようなツールボックスも開発が進み、利用されている^[1]。これらの手法で主に用いられているブラインド信号源分離のアルゴリズムは独立成分分析(Independent Component Analysis: ICA)であるが、EEG や MEG の研究では離れた部位間での活性の遅延を考慮した Second Order Blind Identification (SOBI)^[2] や、言語処理や画像分解の研究には Non-negative Matrix Factorization (NMF)^[3] など、様々なアルゴリズムが使われている。本研究では、これらのアルゴリズムを安静時 fMRI データに適用し、主に安静状態において自発的に形成されているデフォルトモードネットワーク(DMN)^[4] の検出能の比較を行った。DMN とは、安静状態においてその構成

部位である後部帯状回、下頭頂小葉、前頭前野の三領域の活動が活発化し、それらの信号間に相関が見られるネットワークである^[4]。DMN の領域における賦活の変化が、各種精神疾患の進行度合いによって観測されることが近年報告されている^[4,5]。本研究で、異なる信号源分離法の比較により DNN を鮮明に描出できる手法を確立できれば、疾患の診断や依存症検査などへの応用^[6]が広がることが期待できる。

2. 実験・解析方法

計 12 名の 20 代健常男性を対象に実験、解析を行った。fMRI の撮像の際には被験者それぞれには目を閉じること、動かないこと、眠らないこと、何も考えないことの 4 点を指示し、EPI 法による T2*画像を撮像した。

得られた画像には、頭の動きや頭部の形状による被験者間のずれをなくし、一括して解析を行うために、SPM8 (Statistical Parametric Mapping 8)を用いてリアラインメント、ノーマライゼーション、スムージングの前処理を施した。その後、安静時の BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) 変動が最も反映されているとされる低周波数帯域(0.017-0.09 Hz)の信号を FIR フィルタにより抽出した。

ブラインド信号源分離手法として、ICA, SOBI, NMF を周波数フィルタ後にそれぞれ適用した。ICA と SOBI に関しては観測波形を 12 個から 30 個の独立なネットワークに分離し、DMN 構成部位に領域的な賦活を確認することのできるコンポーネント番号とその時の分離コンポーネント数を選択した。SOBI に関しては分離数に加え、解

析者が決めるべき遅延パラメータ τ を調節することで、波形に現れる位相のずれを考慮できる。遅延パラメータは以下のように用意し、分離数と同様に最適な値を選択した。

$$\tau = [10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, \dots, 70, 75, 80, 85, 90, 100, 110, 120, 130] \quad (1)$$

NMF は非負の乱数を用いて初期値を定め、収束計算を繰り返すことで信号行列 \mathbf{V} を表現する行列 \mathbf{W} と \mathbf{H} を算出するアルゴリズムになっている³⁾。しかし、収束計算の特徴として解が初期値に依存する点が挙げられる。そこで、本研究では特異値分解を用いることにより、まず、信号行列 \mathbf{V} を

$$\mathbf{V} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{X}^T \quad (2)$$

と分解し、分離後のコンポーネント数を k として \mathbf{W} の初期値に \mathbf{U} の第1行から第 k 行までの、 \mathbf{H} の初期値に \mathbf{X}^T の第1列から第 k 列までの値の絶対値を用いることで初期値を固定した³⁾。その後、先行例がほとんどないことを考慮し、分離コンポーネント数 k は 10 から 60 として独立なネットワークに分離し、DMN を最も描出するコンポーネント番号とその時の分離数を選択した。以上によって得られた個人レベルの結果から統計検定を行うことによって統計値に基づく一つの賦活画像 (Parametric map) を作成し、ブラインド信号源分離のアルゴリズム間で比較を行った。

4. 解析結果

本研究の解析結果を図1に示す。どのアルゴリズムを適用した際にも、DMN に特有な部位の有

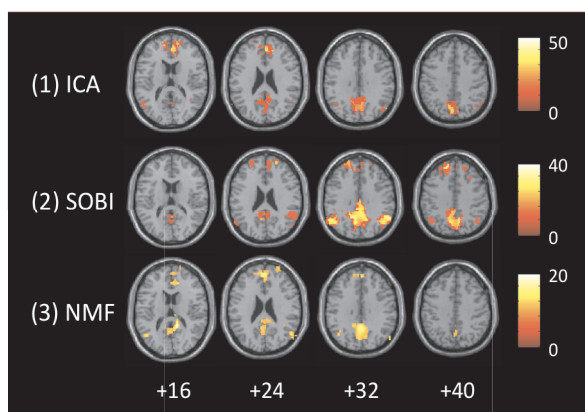


図1. 各アルゴリズムによる集団解析の結果画像下の数字はスライスのz軸座標を表している(1-sample t-test, $p < 0.01$, FWE corrected)。

意な賦活を確認できた。また、SOBI を用いた際に下頭頂小葉の検出能が、他アルゴリズムより飛躍的に優れていることを確認することができた。

5. 考察

安静状態におけるDMNの描出を目的として実験および解析を行い、どのアルゴリズムでもDMNを構成する全領域に有意な賦活を確認することができた。この結果は、各アルゴリズムがfMRIデータへ適用できることを検証したことに他ならない。特にSOBIに関しては、遅延パラメータ τ により波形の位相のずれを考慮できることから、他のアルゴリズムに比べてより鮮明にDMNの賦活を描出できたと考えられる。この遅延パラメータは、(1)式の全ての値について計算をした後に最適なものを選択したが、効果的なパラメータの決定方法を考案できれば計算時間を大幅に短縮することができる。NMFに関しては、有意な賦活を各領域に確認できたものの、他のアルゴリズムと比べると描出結果の鮮明さ(統計値)は劣る結果となった。NMFの生体信号への応用は報告数が少なく、適用方法として確立しているものがほとんどないことから、解析前後に行う処理や、初期値と収束アルゴリズムの組み合わせの検討が必要である。

参考文献

- [1] E. A. Allen et al, 2011. A baseline for the multivariate comparison of resting-state networks. *Front. Syst. Neurosci.*, vol5 (2): 1-23,.
- [2] Hironaga N. et al, 2007. Localization of individuals area neural activity. *Neuroimage*, vol. 34: 1519-1534.
- [3] 山口桂吾他, 2004. 非負行列因子分解初期値設定方法とその応用. *電子情報通信学会論文誌*. 3:923-928.
- [4] 小池耕彦他, 2010. 自発性脳活動が示す脳部位間の機能的結合. *Clinical Neuroscience 別冊* 28(19): 1187-1190.
- [5] S. J. Broyd et al, 2009. Default-mode brain dysfunction in mental disorders: A systematic review. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 33: 279-296.
- [6] Ding Wn et al., 2013. Altered default network resting-state functional connectivity in adolescents with gaming addiction, *PLoS ONE* 8(2): e59902.