

## 2. 精神疾患における fMRIニューロフィードバックの現状と今後

Neuroradiology  
Frontier 2024

特集

中枢神経の  
画像診断最前線

岡田 剛 広島大学大学院医系科学研究科精神神経医科学

通常では自己制御が困難であるような生体現象をセンサなどにより検出し、人間が知覚できる感覚刺激に変換し、対象者にフィードバックすること、およびそれを介してその現象を意識的に制御する技術はバイオフィードバックと呼ばれ、筋電図、心電図、皮膚発汗などをフィードバックして制御する治療法が心身症などの治療で用いられている。ニューロフィードバックはバイオフィードバックの一種で、特に脳情報についての制御を行う技術である。脳情報の検出には、簡便さと時間分解能の高さから脳波が古くから用いられてきたが、近年では、機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging : fMRI) を用いたニューロフィードバックに関する研究が急速に増えている。fMRI をニューロフィードバックに用いる利点としては、脳表、脳深部を問わず、空間分解能が非常に高く、脳の特定の領域の活動を操作できることが挙げられる。また、精神疾患の症候と関連する脳機能変化の

検討や、診断を補助する脳回路バイオマーカーの開発においても、fMRI は中心的な手法となっており、これらの研究の知見を基にターゲットを選定できる利点もある。

本稿では、近年注目されている fMRI ニューロフィードバックについて、その特徴と精神疾患に関連する主な知見を概説するとともに、デコーディッドニューロフィードバック (decoded neurofeedback : DecNef) や機能的結合ニューロフィードバック (functional connectivity-based neurofeedback : FCNef) といった先進的なニューロフィードバックの手法を用いた研究についても紹介し、臨床応用へ向けての課題と展望について考察する。

### fMRI ニューロフィードバックの特徴

fMRI は、脳賦活に伴う血流変化を BOLD (blood oxygenation level dependent) コントラストに依存して変

化する信号により間接的に測定し、データ処理と統計解析を行うことで、脳活動を可視化する技術である。近年では、測定と同時にデータを処理・解析するリアルタイム fMRI (real-time fMRI : rtfMRI)<sup>1)</sup> の進歩によって、脳活動の情報を、被験者にその場でフィードバックすることが可能となった。fMRI ニューロフィードバックでは、リアルタイム解析で脳活動がどの程度望ましい状態にあるかが、視覚的に (聴覚などほかの感覚が用いられることもある) MRI 装置の中の被験者にフィードバックされ、被験者はフィードバックを基に試行錯誤することで、脳活動を望ましい方向に制御することを学習する (図1)。フィードバックされる脳活動の情報はさまざまだが、一般的には、特定の認知機能や症状、病態に関連する単一または複数の脳領域を関心領域 (region of interest : ROI) として設定し、その ROI の BOLD 信号の平均値をスコア化したものが被験者にフィードバックされる。

ROI や関連する領域の脳活動の制御を目的とする点で、脳を刺激して機能を制御する脳深部刺激療法 (deep brain stimulation : DBS) や経頭蓋磁気刺激 (transcranial magnetic stimulation : TMS) などの脳神経刺激技術と対比されることもある。DBS は手術により電極を脳に埋め込む必要があり侵襲性が高く、TMS は脳深部を刺激することが難しいことから、非侵襲的に脳深部も含めた脳活動の制御を行えることは fMRI ニューロフィードバックの大きな利点で

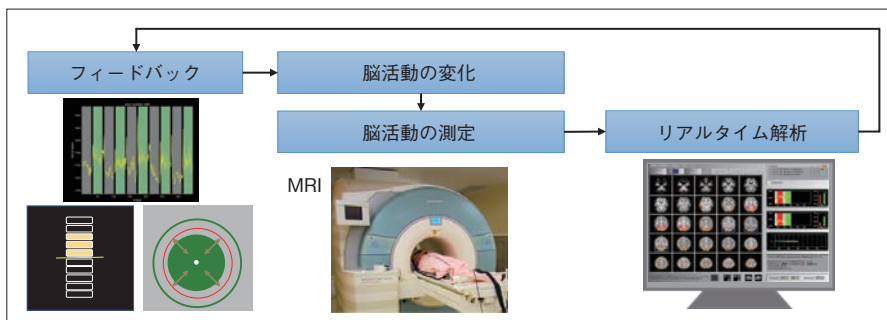


図1 fMRIニューロフィードバックの概略図

被験者は、フィードバックを基に自分の脳活動をモニターしながら、望ましい方向に脳活動の状態を変化させる方略を試行錯誤で学習する。フィードバックとしては、測定した信号値をそのままフィードバックする場合もあれば、望ましい方向に活動が変化すると、棒グラフが伸びたり円が大きくなるような形でフィードバックすることもある。