

機能的近赤外分光法による列車運転中の脳活動計測

1. はじめに

近年、乗り物による重大事故やインシデントが多発しており、安全性の確保が急務となっている。JR 福知山線の大事故を契機に、ヒューマンエラー発生過程の解明とその防止策が急がれている。ヒューマンエラーを起こすメカニズムを人間工学的に考えるとき、生体的状況として考慮することは、エラーを起こす際の脳の活動である。

非侵襲的に脳活動を計測する方法としては、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) が考えられる。fMRI は、磁気を用いて脳内の脱酸素化ヘモグロビン濃度変化の局在を観察するもので、言語や認知等、脳の高次機能の解明に大きな貢献をしてきている。しかし、検査時に被験者は狭い円筒の中で仰臥位になり、身体、特に頭部を動かすことが許されず、運転操作時の評価を行うにあたっては難点が多い。

これに対して、近年、近赤外分光法 (NIRS: Near-Infrared Spectroscopy) と呼ばれる検査法が普及してきている。これは、近赤外光により組織の酸素化ヘモグロビンおよび脱酸素化ヘモグロビンの増減を体表から評価するものであり、非侵襲的検査法である。機能的近赤外線分光法 (fNIRS: functional NIRS)、いわゆる光トポグラフィは、NIRS の技術を用いて大脳の機能局在を広範囲にマッピングして評価することが可能である。いっぽう、加算平均やベースライン補正などの単純な信号処理の方法では、抽出したい信号成分が得られないなどの問題点もある。そこで、ウェーブレット変換による多重解像度解析を用いて、fNIRS より得られた信号を分解、再構成し、運転中の脳機能画像を作成する方法を開発した。

2. ヒューマンファクタ評価用列車運転シミュレータ

生体信号は、被験者に課したタスク以外のさまざまな影響を受けて変化するため、必要となる信号を抽出するためには、できる限り同じ環境において計測を繰り返すことが必要となる。そ

こで、ヒューマンファクタを評価するための列車運転シミュレータを独自に開発した。運転シミュレータは、車両制御コンピュータ、運転台、計器盤表示モニタ、スピーカの模擬車両と、視界生成コンピュータ、プロジェクタ、偏光板、スクリーンの視界模擬装置、指令コンピュータから構成される。車両制御コンピュータは、被験者が操作する運転台のハンドル操作を受け、車両特性にもとづいて運動計算や音響の生成、計器盤画像の生成等を行う。計算した車両位置は2台の視界生成コンピュータに送られ、コンピュータグラフィックスの視界画像を生成し、プロジェクタから偏光板を通して前方のスクリーンに映像を投影する。

3. 列車運転中の脳機能計測

列車運転シミュレータを用いて、脳機能計測実験を行った (図1)。測定部位は前頭連合野とし、32チャンネルを計測した。計測装置は、近赤外光イメージング装置 (OMM-3 000, (株) 島津製作所製) を用いた。機能的近赤外分光装置から得られる信号は、血圧変動、呼吸、心拍などの影響や体位変化によるアーチファクト、測定装置のノイズなど脳活動と関係ない信号も含まれている。そこで、ウェーブレット変換を基にした多重解像度解析を用いて、信号を分解し、有意な信号を含む周波数成分のみを加算することにより、信号を再構成し、脳機能画像を作成した。

被験者の駅停止時の機能画像を同じ被験者の MRI 画像にマッピングした結果を図2に示す。この画像から、ブレーキ操作に関連する活動部位は、前頭連合野の背外側部であることがわかる。この活動状態は初心者と熟練者で大きな違いがあることもわかってきた。列車の運転において、定位置に列車を停止させる操作は、熟練者ではフィードフォワード制御が主体となり、初心者ではフィードバック制御が主体となることから、このような運転操作の違いを反映していると考えられる。

4. おわりに

機能的近赤外線分光法 (fNIRS) を用いて、列車運転シミュレータ運転中の脳機能計測を行った。ウェーブレット変換を用いた多重解像度解析により、fNIRS 信号を分解し、タスクに関連する成分を再構成することにより、個々の運転操作に対する脳活動を抽出し、脳機能画像を作成することが可能になった。脳血流変動の生理学的意味については、今後、fMRI や脳波、心拍、血圧との同時計測を行い検討する必要がある。また、運転習熟過程と脳活動の関係を検討する予定である

(原稿受付 2006年11月24日)

[網島 均 日本大学]

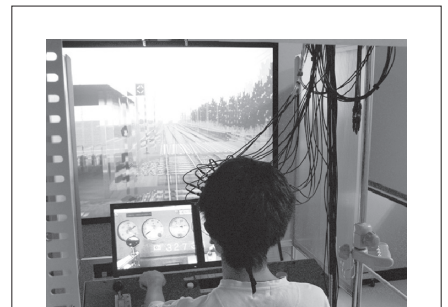


図1 列車運転中の脳機能計測実験

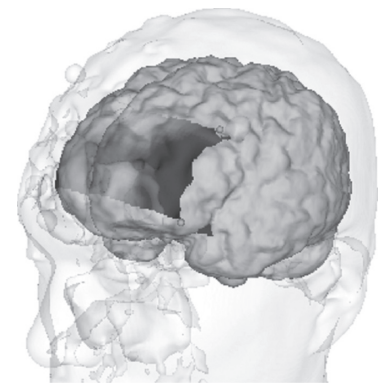


図2 ブレーキ操作中の脳活動の計測例 (前頭連合野の背外側部の賦活が観測される)

●文 献

- (1) 網島 均・小島 崇・塩尻友規・高田宗樹, 人間-機械評価用列車運転シミュレータの開発と脳機能計測への適用, 信頼性, 26-7 (2004), 617-626.
- (2) Kojima, T., Tsunashima, H., Shiozawa, T., Takada, H. and Sakai, T., Measurement of train driver's brain activity by functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), *Optical and Quantum Electronics*, 37-13-15 (2005), 1319-1338.