

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 栗本 育三郎

本論文は「近赤外分光法を用いた脳機能信号解析の研究」と題し、5章からなる。近年、近赤外分光法 (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) を用いた脳機能解析装置が研究開発され利用されているが、この装置では、頭部表面から、脳溝・脳回等の大脳皮質の部位を推定し、近赤外照射・検出を行わなければならないことから、正確な脳部位推定のための位置決め手法が必要とされている。また、大脳皮質では、部位により光路長が異なるが、光路長の計測が困難であるため、部位間・被験者間の相互比較が極めて難しかった。本論文は、シースルー型脳立体観察ディスプレイを構成し、大脳皮質の脳溝・脳回等を立体的に頭部表面情報と融合させ観察出来るようにすることと、光路長の影響を消去する分散プロット法による NIRS 時系列信号解析法を提案し上記の問題を解決し、その妥当性を、聴覚の選択的注意におけるタスクの解析に適用して検証して、今後の NIRS を用いた多チャンネル同時脳機能解析への新たな道を拓いている。

第1章「緒論」は序論で、まず、脳機能解析装置としての NIRS は、運動も含めたさまざまな日常のタスクと脳機能の信号解析の可能性を開いたが、頭部表面からの脳部位推定問題と、光路長由来による部位間・被験者間の相互比較不可能問題がありこれらを解決する必要があることを述べ、そのため本論文では、シースルー型脳立体観察ディスプレイを開発し前者の問題を解決し、光路長の影響を消去できる標本平均の分散を求める分散プロット法を NIRS 信号解析に適用することを提案し、その有効性を、聴覚の選択的注意におけるタスクの解析に適用し実証してゆくという、本研究の目的と立場と意義とを明らかにしている。

第2章は、「シースルー型脳立体観察ディスプレイ」と題し、従来のシルビウス定規や3次元位置情報測定システムといった脳部位推定法を試行し、従来の脳部位推定法の問題点は、脳を標準化するため位置決め個人差が出ることであることから、その問題を解決し脳部位推定精度を高めるため、シースルー型脳立体観察ディスプレイを開発し評価している。すなわち、MRI の縦緩和によってコントラストのついた核磁化分布を画像化し組織が灰色、水・血液が黒く映る T1 法 と、横緩和によってコントラストのついた核磁化分布を画像化し水・血液が白く映り、石灰化等が黒く映る T2 法 で撮影し、T1 法で頭部画像、T2 法で脳立体透明視画像を再構成し、T2 法のデータから脳溝・脳回等を観察できる脳立体透明視画像を再構成し、設計・試作したシースルー型脳立体観察ディスプレイを用い被験者の頭部表面との融合を実現している。この装置を利用し、被験者 50 人に対して、立体に見えるかどうかを検証したところ、全ての被験者から立体に見えるという結果が得られ、また、頭部に MRI 撮影時 13 点と実際のシルビウス溝を想定した場所の左右に 2 点ずつと目尻のラインから後頭部に 1 点の合計 5 點頭にアダラートカプセルマーカを貼り付け、脳立体画像と被験者の頭部とをシースルーで観察し融合させている。被験者 10 人に対して、これらのマーカの位置が 10 人中 10 人一致したと回答し、実際の頭部と脳立体視画像の一致が実現したことにより、NIRS 計測の再現性、位置決め等に精度の向上が実現できたとしている。なお、位置決め用帽子をプローブホルダとして活用することで、従来のバンド型による装着が 1 時間程度かかったのに

対して、10 分程度で装着できることから、装着性向上にもつながったという。

第3章は「光路長影響を除く解析手法の提案」と題し、データの部位間・被験者間比較を目指し、光路長の影響を消去できる NIRS 時系列信号の自己相関による解析法および標本平均の分散を求める分散プロット法による解析法を提案している。また、NIRS 時系列信号の自己相関関数が、自己相似性の特徴である「べき則」で表せる、すなわち $|r|^{\alpha}$ で近似できることを確認し、この α を安定して推定でき、これがタスクにより有為に変化すれば、これをタスクによる脳賦活の差異の指標とすることが可能であるとしている。実際、聴覚の選択的注意における音楽集中・講演集中時の NIRS 信号を、分散プロット法を用いて解析し α を推定したところ、聴覚野で α を安定して求めることが可能であった。大脳皮質の血流が増大すれば、 α 値が減少し、脳賦活が顕著でないところでは、 α 値が1の近傍の値を示すことから、10 名の被験者に対して10 回の試行の α の平均値を求め、その最小となるチャンネルを調べている。その結果、被験者 10 例中 8 例が左聴覚前側野前側 CH8 で、同一被験者 10 例中 7 例が、右聴覚野の前側 CH22 で、それぞれ音楽集中時の最小 α 値が検出された。一方、講演集中時では最小値 α が検出された部位が、左側で CH11 になった例が 10 例中 5 例、右側で 10 例中 4 例であった。この結果より、聴覚注意タスクなどの微少な脳賦活に対しても、部位間・被験者間で差異が生じ、タスクの差に対する脳賦活の差異を比較することの可能性が確認できたとしている。

第4章は「聴覚の選択的注意における従来手法と提案手法の比較」と題し、光路長の影響を受ける従来の解析方法(移動平均・タスク加算平均)と光路長の影響を除いた提案手法(標本平均の分散を求める分散プロット法)との比較検証を行っている。脳賦活例として、第 3 章と同じく、聴覚の選択的注意における音楽集中・講演集中に対する被験者 10 例でのデータを用いている。従来法と本提案手法との比較のためにタスク期間の NIRS 時系列信号の平均値を用い、その CH 毎の値をスプライン補間して、カラーマップを作成している。その結果、従来法では、被験者間での値の差が大きく、聴覚野の賦活が観察できるものは被験者 10 例中 1 例のみで、部位間においても画像の下側の聴覚野近傍での賦活の観察が不可能であった。マップ画像そのものの情報に意味が無い結果となり、従来法では、選択的注意のような微少な脳賦活の部位間・被験者間での比較は不可能であると結論している。一方、光路長の影響を除いた本提案手法の CH 毎の平均 α 値をスプライン補間してカラーマップを作成したところ、その結果、部位間・被験者間での α 値の変化が安定しており、部位間においても画像の下側の聴覚野近傍での賦活の観察が可能であった。すなわち、被験者 10 例に対して、聴覚野の反応が識別できるのは 10 例中 10 例で、音楽集中時 10 例中 8 例において、講演集中時との差を観察することが可能である。なお、音楽集中時には、リズムや音程で賦活するとされている部位における賦活が観察できたとしている。これらの結果から、光路長の影響を除いた本提案手法によって、聴覚野におけるタスクにおいて聴覚野の賦活を観察することが可能となったと結論している。

第5章「結論」は結語で、本論文の結論をまとめ、今後を展望している。

以上これを要するに、本論文では、近赤外分光法(NIRS)で課題となっていたプローブのポジショニング問題と光路長問題を解決して部位間・被験者間比較を可能とする方式を提案し、その有効性を選択的聴覚注意タスクへの適用などを通して示して、多チャンネル同時脳機能解析への道を拓いたものであって、システム情報学、特に計測工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。