

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 機能的結合を持つ脳内信号源の推定法に関する研究
(A Study on New Method for Localizing the Sources with Functional
Connectivity in Human Brains)

熊本大学大学院自然科学研究科 情報電気電子工学専攻 人間環境情報講座
(主任指導 村山 伸樹 教授)

論文提出者 田中 博昭
(Hiroaki Tanaka)

主論文要旨

ヒトの脳機能を把握することは、病態生理学および脳科学的な課題の解明に重要な要素である。脳内の電気生理学的活動を頭皮上の電位として捉えた脳波には、外部からの刺激に対する脳内の誘発反応による信号や、脳内の各部位が機能的結合を形成することにより発せられた信号も含んでいると考えられる。よって、もし、頭皮上で計測された脳波から、それらの信号が脳内のどこの部位から発生したものなのか、脳内のどこの部位間でどのような関連性を持って発せられたのか、等の情報を得ることができれば、病態生理学および脳科学的解明に重要な情報を与えることになる。しかし、MRI や X 線 CT と違い、測定した脳波からその信号源の特徴（位置、向き、信号の強さ）を計算する逆問題解法では、その解が無数に存在することになり、一意に決定できない。従って、一意解を求めるには何がしかの制約条件が必要となる。従来、この逆問題解法において、多くの手法がそれぞれの制約条件とともに提案されてきた。しかし、いずれの制約条件も、各解析が考案された段階で付加されたものであるため、調べたい脳活動の種類（例. 周波数特性、関連性）に依らず、まず事前に定められたそれらの制約条件を用いて信号源の推定が行われる。その後、得られた推定信号源に対して、目的である周波数解析や相互相関解析などが行われている。従って、最終的な解析の結果は、その前段階で行われる信号源の推定精度に大きく依存してしまうことになる。

そこで本研究では、信号源の推定精度を上げるための手法を提案する。この手法では、まず、センサで測定された脳波に対して、調べたい脳活動の種類に合う解析を直接行い、信号源の特徴を事前に把握・分離する（以下、センサレベル解析）。その後に、センサレベル解析の結果を多次元重み付けの制約条件として取り入れて信号源を推定する（以下、提案手法）。こうすることで、対象外の脳波信号は信号源推定の前に抑圧され、目的に適合した信号源の推定を高精度で行うことができると考えられる。本研究では、この提案手法の有効性をシミュレーションデータおよび実測データを用いて検証した。

シミュレーションデータを用いた検証では、まず複数の信号源が異なる周波数特性を持つ場合に対して、センサレベルでの周波数解析結果を信号源推定に利用した提案手法と、測定データを時間データのまま解析する従来手法とを比較した。比較の結果、提案手法により信号源の推定精度が向上されたことが示された。次に、異なる周波数で互いに相関を示す海馬-皮質結合の脳内活動源の推定問題を取り上げ、解析手法の定式化を行った後に、信号源推定の結果を従来手法と比較し、提案手法の有効性を検証した。従来手法では、相関のない信号源があたかも相関のある信号源として推定されたが、提案手法では、真に相関のある2つの信号源のみを相関のある信号源として推定できることが示された。

実測データを用いた検証では、開眼安静時の自発脳波測定データ、および指タッピング時における脳波と筋電図の測定データの2種類のデータを用いて信号源推定を行った。前者の開眼安静時の測定データでは、周波数特性およびセンサ配列の空間分布を考慮に入れた提案手法により、推定信号源の位置が生理学的な先行研究の結果と一致することが確認された。また、従来手法である時間波形から求めた信号源推定と比較したところ、提案手法は信号源推定のためのセンサ選択の任意性が少ない手法であることが示された。後者のタッピング運動時の測定データについては、提案手法による信号源の推定位置が生理学的な位置と定性的に一致していることが示され、従来の解析方法である時間一周波数のセンサレベル解析との比較においても、結果が一致することが確認された。また、提案手法では、従来手法の解析で必要であった指タッピング時のトリガー情報や基準脳活動の情報が不要であるため、それらの影響を考慮する必要がないという利点も示された。

本研究により、センサレベル解析結果を信号源推定の多次元重み付けとするヒト脳内の信号源を推定する提案手法は、従来手法と比べ最終的な解析の結果がその前段階で行われる信号源の推定精度に大きく依存してしまうことなく、機能的結合を持つ脳内の信号源を推定できることが示された。提案手法は、病態生理学および脳科学的な課題の解明に有効な情報を与える解析手法として、応用への可能性が示されたものと考えられる。