OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	脊髄誘発磁場分析に適した磁場源モデル
Author(s)	佐藤, 真
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27503
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【75】

氏名	佐藤 真
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 26106 号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科システム創成専攻
学位論文名	**脊髄誘発磁場分析に適した磁場源モデル**
論文審査委員	(主査) 教授 鈴木 貴 (副査) 教授 名和 範人　教授 糸崎 秀夫

論文内容の要旨

脊髄及び末梢神経は，脳と他の器官との間で行われる信号伝達の媒体となる器官である．信号伝達に伴う神経活動によって体内に生じた微小電流は，体内外に磁場を誘発する．脊髄誘発磁場分析(Magnetospinography：MSG)は，この磁場を測定，分析することによって，その信号伝達を可視化する技術であり，神経機能障害の障害部位特定技術としての実用化が期待されている．本論文の目的は，MSGに適した磁場源モデルを提唱することである．ここで扱う磁場源モデルとは，生体神経活動を表現する電流モデルに，分析時に用いる磁場計算手法を組み合わせたものである．本論文では，磁場源の推定誤差に関する問題解決と，測定された生体磁場の再現を軸に，2種類の磁場計算手法と3種類の電流モデルを検討，提唱した．まず磁場計算手法について，第1の手法，Sarvasの公式は，従来のMSGで用いられてきたものであるが，電気伝導率分布を計算に正しく反映させることができない問題があった．本論文では，第2の手法，Geselowitz 方程式を用いることにより，その問題を解決した．次に電流モデルについて，従来用いられてきた第1のモデル（神経経路に沿って相反するモーメントを有する一対の電流双極子を用いるモデル）に内在した推定誤差に関する問題を，2つの電流双極子間

の距離を固定することによって解決した．第2のモデル（神経経路に垂直に流入する電流を複数の電流双極子で表現するモデル）では，第1のモデルと比較して，よりノイズに強いことを示唆した．第3のモデル（神経経路に沿って配置された多数の電流双極子によって広がりを持つ電流を表現するモデル）では，第1のモデルより高い生体磁場の再現性を有していることを示した．結論として，今後のMSG研究においては，Geselowitz方程式を用いて磁場計算を行い，広がりを持つ電流モデルを扱う磁場源モデルが適していることを示した．

論文審査の結果の要旨

信号伝達障害は脊髄や末梢神経に対する疾患のひとつであり，高齢化社会を迎え，その診断・治療法の改良は生活の質を保証するものとしてニーズが高まっている課題である．神経の機能は形態だけでは診断がつかない場合があり，超伝導量子干渉計による生体磁場計測は，非侵襲的で時間分解能の高い医療検査法として実用化が期待されているものである．現在の生体磁場理論では，神経を伝達する磁場源は双極子の組である4重極を指標とする主電流と，主電流が引き起こし，神経・骨・筋肉の形状に依存する体積流との和であること，また主電流が磁場を発生させる過程は準静的であることが標準とされている．申請者はこの理論を下敷きとし，多チャンネルでの観測磁場から磁場源を推定する逆源探索問題を定式化するとともに，ファントムデータとの照合実験を繰り返し，実効的な数理モデルと逆問題解法アルゴリズムを開発してその実効性を確認してきた．本論文の顕著な寄与として以下の3点が挙げられる．第1は，周辺組織を層状平面と置いて体積流を単純化したSarvasモデルにおいて，主電流である4重極の方向や間隔を変更することで推定誤差を10分の1から20分の1に減少させたこと．第2は，主電流と体積流についての2本のGeselowitz方程式を連立させ境界要素法を適用して，複雑な周辺組織の形状を忠実に取り込んだ体積流と広がりを持った主電流を同時に取り扱う数理モデルと数値シミュレーション法を考案し，肘部誘発磁場で観察された非対称な体積流や正中神経刺激誘発磁場で観察された回転磁場パターンを理論的に証明したこと．第3は標準骨格モデルと形態情報に基づく神経回路抽出を用い，適切な境界要素サイズや逆源探索パラメータを検証できるインシリコファントムを構築したことである．これらの研究は，数理的方法によって脊髄誘発磁場源分析の実用化を促進したものであり博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める．