

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04438

研究課題名(和文) 導電率の非侵襲計測と脳磁場逆問題の統合に基づく神経電流源の領域形状推定法

研究課題名(英文) Identification of neural current source domains by combining the non-invasive measurement of the conductivity and magnetoencephalography

研究代表者

奈良 高明 (Nara, Takaaki)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：80353423

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、頭部表面で観測した磁場から神経電流源を推定する脳磁場逆問題に対し、局在電流源をパラメトリックに、脳全体に広がる背景活動源を分布電流素片で表す異種ソースモデルを提案した。本手法をてんかん焦点同定に応用し、局在した電流源を、背景電流源と分離して、かつ位置だけでなく形状まで同定できることを示した。推定された領域は頭蓋内脳波による推定結果とよく一致した。また人体内部の導電率・誘電率の三次元分布を、磁気共鳴画像で計測した磁場分布から再構成する手法も提案した。本手法は被験者・患者ごとの電気特性を考慮した逆問題解法の基盤となるものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、てんかん焦点同定で用いられる等価双極子モデルは、焦点の中心位置はよく求まるが、焦点の形状、広がり具合まではわからない。本研究で開発した異種ソースモデルを用いると、背景活動源がある中でも局在電流源領域の形状まで少数パラメータで同定することができ、切除手術に対し貴重な情報を与える。また本研究で開発した導電率分布の再構成手法を導電率の周波数依存性モデルと組み合わせ、脳磁場の周波数帯域の導電率分布を推定すれば、患者・被験者ごとの電気特性を考慮した逆問題解法が実現でき、脳回・脳溝にまたがる局在電流源の推定精度が一層高まるものと期待できる。

研究成果の概要(英文)：This research proposed a method for the magnetoencephalography inverse problem that can separately reconstruct the localized current sources in terms of a few parameters and the background activities spread over the brain by distributed dipoles. We applied the method to an epileptic focus identification problem showing that it can reconstruct the center position and the shape of a localized current domain under the background activities, where the estimated domain coincided well with the epileptic focus identified by the electrocorticography. Also, we developed an imaging technique for estimating the electrical conductivity and permittivity inside human bodies from the magnetic field measured using magnetic resonance imaging. The proposed method forms the basis for an inversion method that considers the electrical properties of patients.

研究分野：逆問題

キーワード：逆問題 脳磁場 てんかん焦点 磁気共鳴画像 導電率 誘電率

### 1. 研究開始当初の背景

人間の頭部表面で磁場を計測し、脳内の神経電流源を推定する問題を脳磁場 (Magnetoencephalography: MEG) 逆問題という。時間分解能が高いという特徴をもつ本計測法の空間分解能を高めるには、電流源に関する妥当な先験情報を導入し、適切な逆問題解法を用いることが必要である。研究開始時に困難であった課題として、脳回や脳溝をまたぐ電流源の推定があった。例えば、てんかん発作を惹起する原性領域の同定に MEG を用いる際、脳溝をまたがる電流源は皮質表層のずれた位置に推定されやすいことが指摘されていた [1]。てんかん原性領域の位置と形状が精度よく推定できれば切除手術への貢献は非常に大きい。

このような局所的ながら広がりをもった電流源の推定の難しさの原因は、主に以下の 2 点にまとめられる：

(1) 従来、てんかん焦点同定で用いられている等価電流双極子モデルでは、電流源領域の中心位置しかわからず、脳回・脳溝をまたいでいるか、それとも片側の壁にとどまっているかといった領域の詳細な形状はわからなかった。

(2) 複雑に折りたたまれた脳回・脳溝に電流源がまたがる場合、その近傍の白質・灰白質・脳髄液の境界など導電率変化のある部位が MEG の等価的なソースとなるため、推定結果は導電率の値に強く依存する。ところが従来は、被験者の導電率を非侵襲で計測する手段がないため、切除された組織で計測された平均的な値を文献から引用するしかなかった。

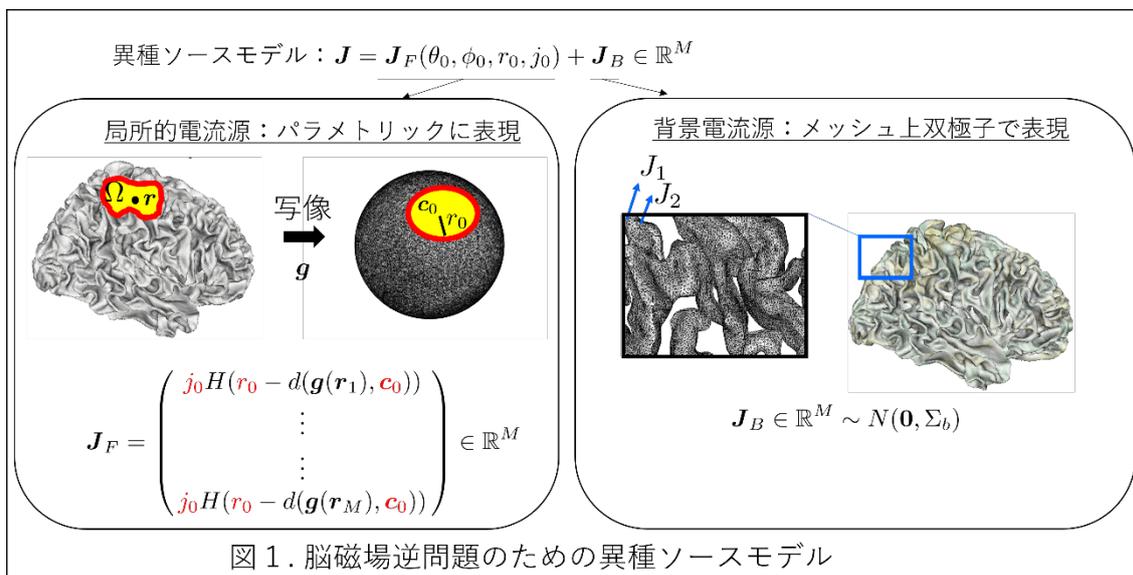
### 2. 研究の目的

そこで本研究では、以下の 2 点を研究の目的とした。

(1) 脳回・脳溝をまたいで存在する局在電流源と、脳全体に広がる背景電流源が混在する状況下で、局在電流源の中心位置および領域形状を、パラメトリックに、大域的最適解として求める脳磁場逆問題解法を開発する。

(2) 人体内部の導電率分布を非侵襲で計測する手法を開発し、患者・被験者ごとの電気特性を考慮した逆問題解法の基盤を確立する。

### 3. 研究の方法



(1) 脳磁場逆問題において、てんかん焦点のような局所的な電流源と、脳全体に広がる背景活動源が同時に存在するとき、両者を分離して識別可能にする異種ソースモデルを開発した (図 1) [2]。脳回や脳溝をまたぎうる局所電流源に対し、その中心位置だけでなく、領域形状までパラメトリックに表現するため、皮質表面から球面への写像を用いた。被験者・患者の MRI データからこの写像を数値的に構成した上で、皮質上の電流源領域を、球面上の円領域の像として表す。これにより、皮質上の局所電流源領域を、球面上の円の中心と半径の 3 パラメタで表現することができる。一方、背景電流源は、皮質表面上をメッシュ分割し全節点上に配置した電流素片で表現した。このように空間特性の異なる電流源をパラメトリックソースとイメージングソースという異なる種類のモデルで始めから表現しておくことで、両者を分離して推定することができ、なおかつ興味の対象である局所電流源は形状まで同定することができる。

以上の異種ソースモデルの下、局所電源パラメタを再構成する逆問題解法を開発した。局所電源および背景活動が存在するときの順問題解と観測データの自乗誤差を評価関数とする。このとき、頭部の導電率分布を、順問題解を得るためのリードフィールド行列に反映させることがで

きる。評価関数において、局所電源パラメタも背景活動源を表す電流素片も未知数であるが、前者を固定すると後者に対しては線型逆問題となり、背景活動源を局所電流源パラメタを用いて表すことができる。そこでこれを改めて元の評価関数に代入することで、局所電源パラメタのみを未知数とする評価関数を導出した。パラメタは存在範囲が限定できるため、効率的に大域最適解を求めることができる。

(2) 磁気共鳴画像 (Magnetic Resonance Imaging: MRI) を用い、人体内部の導電率・誘電率分布を推定する手法に関して、電気特性が非一様であっても推定可能な手法を導出した。本手法で得られるのは高周波における導電率分布であるため、MEG 逆問題に用いるには導電率分布の周波数依存性に関するモデルが必要であるが、被験者・患者ごとの導電率分布を用いた逆問題解決の基盤として、高周波に対する導電率分布再構成手法の開発を行った。

MRI を用いた導電率画像化において現在、標準法と呼ばれている手法では、導電率が局所的に一樣であるという仮定の下で、未知量と既知データの間の関係式を線形近似して解いている [3] が、導電率が不連続に変化する最も興味のある領域で精度が悪いという問題があった。これに対し我々は、観測磁場からまず電場を求めた上で、電気特性を推定する手法を開発した [4]。しかしながら、複素関数論に基づく手法のため、電気特性が体軸方向には変化しない二次元問題に限定されていた。

そこで本研究では、導電率が非一様かつ三次元的に分布している場合でも再構成可能な手法を導出した。[4] に倣い人体内部の電磁場が満たすマックスウェルの方程式を拘束条件としつつ、三次元の電場を観測磁場から求めることで導電率も推定する手法を開発した [5]。ここでは、逆問題の解が満たすべき制約条件を凸集合で表し、各凸集合への射影を繰り返すことですべての制約条件を満たす解を求める凸射影法を用いた。図 2 は、あらゆる電場全体の空間の中で、再構成したい真の電場  $E$  が二つの集合  $C_1$ 、 $C_2$  の共通部分にあり、 $C_1$  への射影と  $C_2$  への射影を繰り返すことで真の電場  $E$  を求めることを模式的に表したものである。集合  $C_1$  はファラデー則と観測磁場から決まる非発散成分をもつ電場全体、集合  $C_2$  はアンペール則と観測磁場から決まる電場全体を表す。各集合への射影を具体的に書き表し、反復計算法を導出した。また  $C_1$ 、 $C_2$  がともに凸集合となることを証明し、反復計算の収束を保証した。収束先の電場と観測磁場をアンペール則に代入することで、導電率分布が得られる。

数値シミュレーションにより提案法の妥当性を検証した。電気特性の異常部を含む図 3 のような数値モデルに対し、有限要素法ソフトウェア COMSOL Multiphysics 5.5 (COMSOL Inc.) を用いて体内の高周波磁場を計算しデータとした。MRI を用いて実際に計測可能なのは正回転性磁場  $H_+$  であるが、負回転性磁場  $H_-$  および  $z$  成分  $H_z$  を用いた場合、どの程度、電気特性再構成精度が改善されるかも併せて調べた。

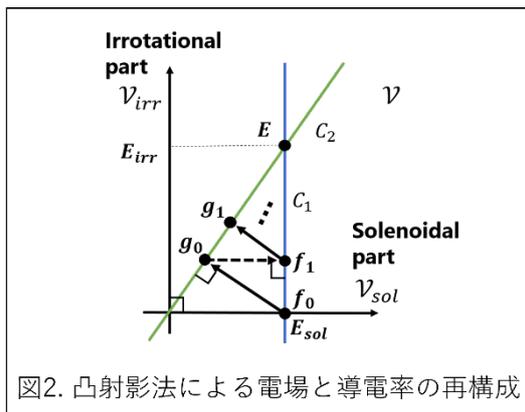


図2. 凸射影法による電場と導電率の再構成

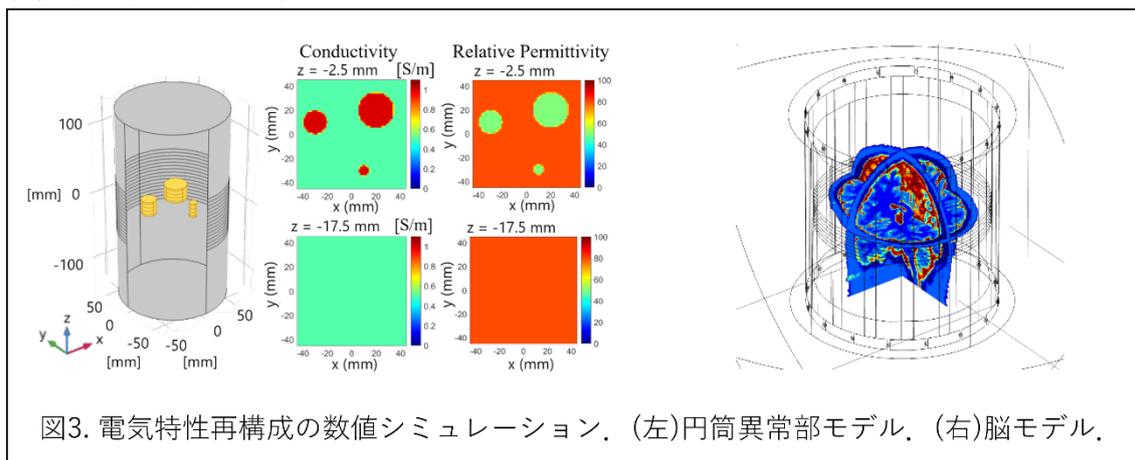
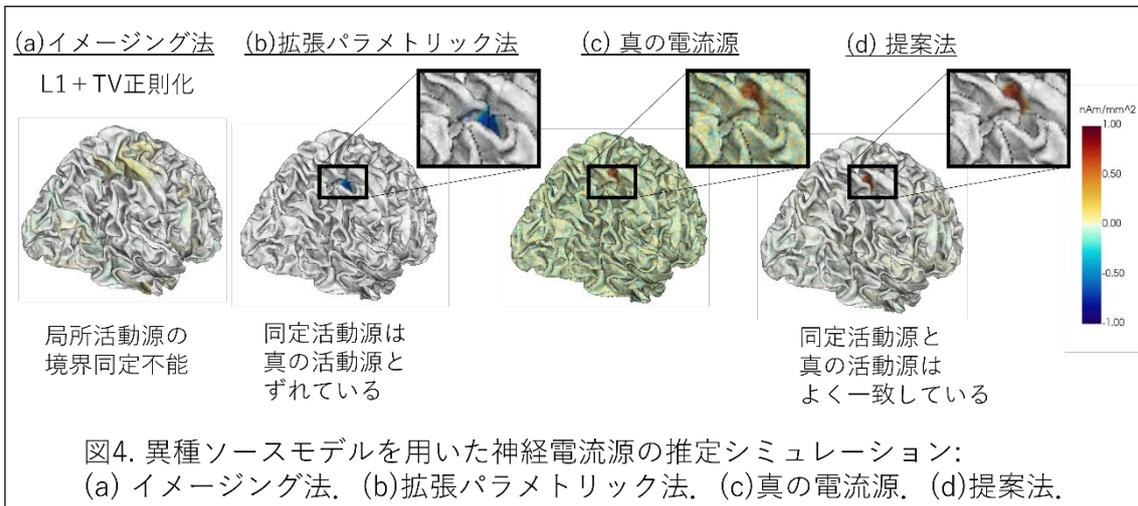


図3. 電気特性再構成の数値シミュレーション。(左)円筒異常部モデル。(右)脳モデル。

#### 4. 研究成果

(1) 異種ソースモデルを用いた電流源推定法の数値シミュレーション例を図 3 に示す。図 3(c) が仮定した真の電流源であり、局所電流源 (赤色) に加え、脳全体に弱い背景活動源 (緑色) がある状況を想定する。図 3(a) は、従来法の一つであるイメージング法で、L1 ノルムと Total Variation の正則化項を用いた結果であり、局所電流源が近辺に分散してしまうことがわかる。図 3(b) は異種ソースモデルのうち局所電流源モデルだけを仮定した拡張パラメトリック法の結果であり、局所電流源は求まるが、拡大図を見ると図 3(c) とはずれた位置に領域が求まっていることがわかる。これらに対し図 3(d) が異種ソースモデルの結果であり、真の局所電流源によく一致した電流源、および背景活動が分離して求まっていることがわかる。



本手法をてんかん焦点診断の実データにも適用した. データは橋詰顕氏(広島大学病院), 飯田幸治氏(広島大学), 栗栖薫氏(中国労災病院)から提供を受けた. 頭部の左前方に強い磁場があると同時に左後方の広い領域に弱く磁場が分布しているデータを解析すると, 左側頭葉前部に局所電流源が, 左後頭葉付近を中心に背景活動源が推定された. 頭蓋内脳波測定の結果から, 左側頭葉前部にてんかん焦点が存在することがわかっており, これに一致する結果が得られた. 本データに対して, 拡張パラメトリック法を適用すると左側頭葉と左後頭葉の中間付近に局所電流源が求まってしまう. すなわち, 背景活動源の影響を受けた結果となる. 以上より, 異種ソースモデルの有効性が実データでも検証された.

(2) 円筒異常部モデル, 脳モデルに対する導電率推定の数値シミュレーションの結果を図5, 6に示す.

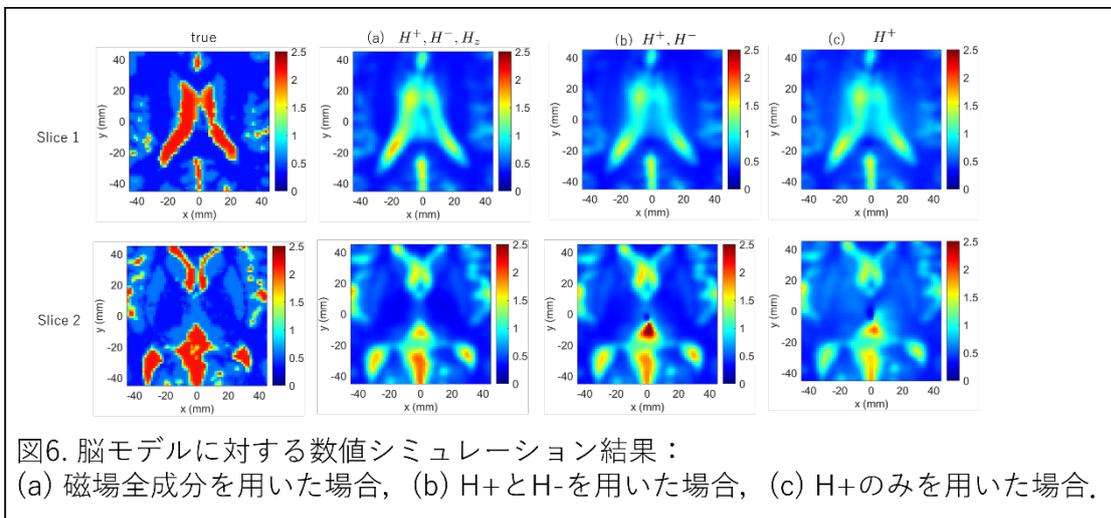
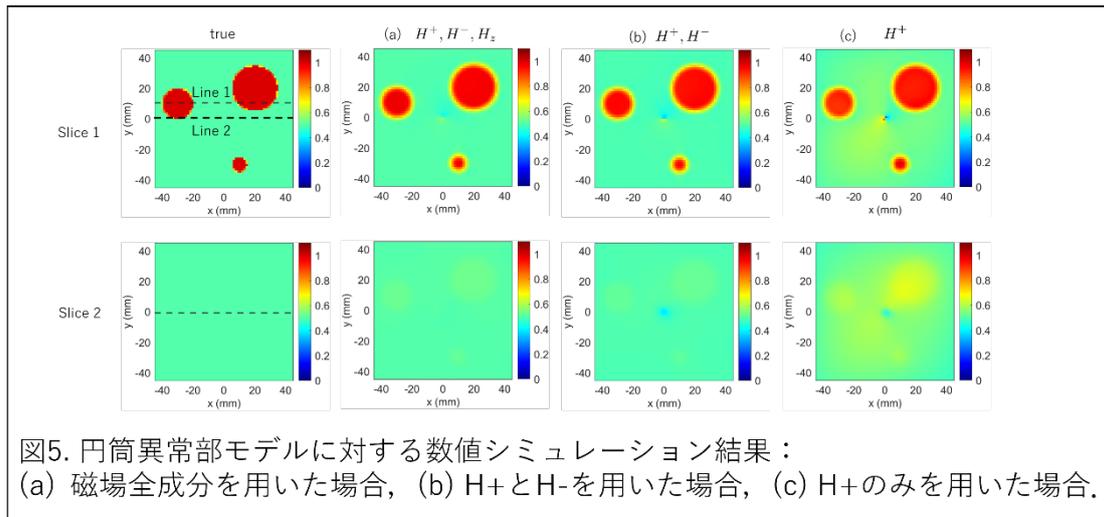


図5, 6(c)が実際に計測可能な磁場の正回転性成分 $H^+$ だけを用い,  $H^-=H_z=0$ と近似して導電率を再構成した結果である. この場合でも, どちらのモデルに関しても導電率分布が十分なコント

ラストで推定できていることがわかる。H+に加えH-を用いた場合(図(b)), さらにHzも用いた場合(図(a))の結果から、これらの成分を追加情報として与えられれば

- ・ 背景におけるアーチファクトが軽減される
- ・ 異常部位内の導電率の値が真値に近づく
- ・ 領域中心のスポット状アーチファクトが軽減される

といった効果があることがわかった。

その理由を考察するため、円筒モデルにおいて再構成された電場の各成分の相対誤差を図6に示した。H+だけを用いた場合に比べ、H-を利用することにより、Ezの精度が挙がること、さらにHzも用いるとEx, Eyの精度も上がることがわかる。以上より、磁場の3成分すべてを観測量とすることができれば、電場3成分が精度よく再構成され、その結果、導電率の推定精度が上がるということが分かった。観測可能なH+からH-, Hzを復元する問題は重要な課題である。この課題に対してもヘルムホルツ分解を用いた手法を提案した。

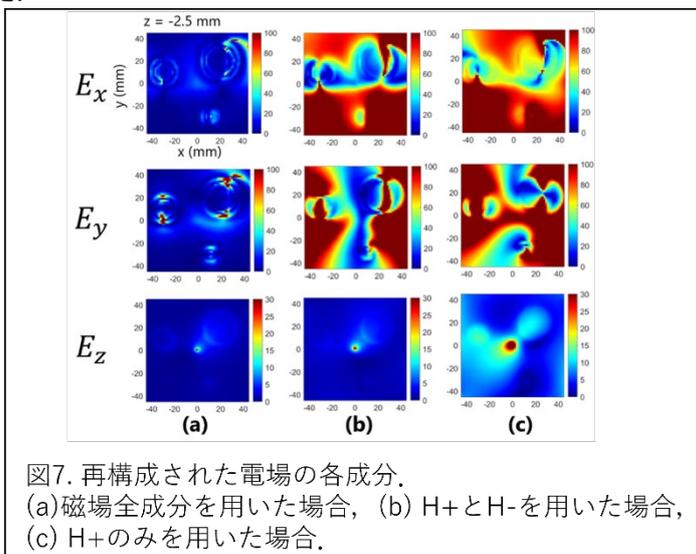


図7. 再構成された電場の各成分。  
(a)磁場全成分を用いた場合、(b) H+とH-を用いた場合、  
(c) H+のみを用いた場合。

以上、本研究では、脳磁場逆問題に対する異種ソースモデルを提案し、背景活動源がある中で局所電流源を分離し、かつ領域形状までパラメトリックに推定する手法を開発した。背景活動源の表現方法として、球面調和展開を用いる手法も試したが、打ち切り次数により結果が大きく異なることが判明し、最終的にイメージング法により背景活動源を表す異種ソースモデルを導出した。背景活動源が局所的な活動源であったとしても、主たる局所活動源よりも弱ければ同様にして分離推定できることは数値実験で示している。今後より多くの実データで、実際的な背景活動源がある中で局所電流源の分離推定について検証していく。主たる局所活動源が複数ある場合への手法の拡張も大きなテーマである。

また本研究では、MRIを用い人体内部の高周波磁場を計測し、導電率・誘電率分布を再構成する手法も開発した。本手法で再構成した導電率分布に基づき、導電率の周波数依存性のモデルを仮定して脳磁場帯域の導電率分布を推定すれば、被験者・患者の電気特性を反映させた電流源推定が実現され、逆問題解法の一層の高精度化が期待できる。

#### 参考文献

- [1] M. Nakajima, et al., Remote MEG dipoles in focal cortical dysplasia at bottom of sulcus, *Epilepsia*, 57, 1169-1178, 2016.
- [2] T. Nara, T. Yang, K. Kabashima, A. Hashizume, K. Iida, and K. Kurisu, Heterogeneous source model for magnetoencephalography: Combination of a parametric and an imaging approach for separation of a focal source and background activities, *BIOMAG 2022*, IT-86, Sub ID: 512, Birmingham, UK, Aug. 30, 2022.
- [3] U. Katscher, T. Voigt, C. Findeklee, P. Vernickel, K. Nehrke, and O. Doessel: "Determination of electric conductivity and local sar via b1 mapping," *IEEE transactions on medical imaging*, 28, 1365-1374, 2009.
- [4] T. Nara, T. Furuichi, and M. Fushimi: An explicit reconstruction method for magnetic resonance electrical property tomography based on the generalized Cauchy formula, *Inverse Problems*, 33, 105005, 2017.
- [5] N. Eda, M. Fushimi, K. Hasegawa, and T. Nara, A Method for Electrical Property Tomography Based on a Three-Dimensional Integral Representation of the Electric Field, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol. 41, No. 6, pp. 1400-1409, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 M. Fushimi, and T. Nara	4. 巻 18
2. 論文標題 Reconstruction of Shear Modulus and Viscosity of Biological Tissues from Displacement Measurement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Measurement: Sensors	6. 最初と最後の頁 110187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.measen.2021.100187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 N. Eda, M. Fushimi, K. Hasegawa, and T. Nara	4. 巻 41
2. 論文標題 A Method for Electrical Property Tomography Based on a Three-Dimensional Integral Representation of the Electric Field	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Medical Imaging	6. 最初と最後の頁 1400-1409
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMI.2021.3139455	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Fushimi and T. Nara	4. 巻 96
2. 論文標題 Boundary Value-Free Magnetic Resonance Electrical Properties Tomography Based on the Generalized Cauchy Formula with the Complex-Derivative Boundary Condition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress In Electromagnetics Research M	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2528/PIERM20062202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 6件／うち国際学会 12件）

1. 発表者名 T. Nara, T. Yang, K. Kabashima, A. Hashizume, K. Iida, and K. Kurisu
2. 発表標題 Heterogeneous source model for magnetoencephalography: Combination of a parametric and an imaging approach for separation of a focal source and background activities
3. 学会等名 BIOMAG 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Nara
2. 発表標題 Inverse source problem for Poisson's equation for identification of an epileptic focus from magnetic field measurements
3. 学会等名 Theoretical and Numerical Trends in Inverse Problems and Control for PDEs, and Hamilton-Jacobi Equation: a French-Italian-Japanese Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田賢士郎, 江田尚弘, 宮廻裕樹, 長谷川圭介, 奈良高明
2. 発表標題 MRIを用いた電気特性再構成に向けた磁場の拘束条件を考慮した補間
3. 学会等名 第39回センシングフォーラム 計測部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中井透子, 江田尚弘, 宮廻裕樹, 長谷川圭介, 奈良高明
2. 発表標題 MRIを用いた人体内部の弾性率再構成 -ヘルムホルツ分解による非圧縮波の抽出-
3. 学会等名 第39回センシングフォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奈良高明, 楊天宇, 橋詰顕, 飯田幸治, 栗栖薫
2. 発表標題 異種ソースモデルに基づく局所的神経電流原推定 - てんかん焦点同定への応用
3. 学会等名 日本応用数学会 2022年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奈良高明, 楊天宇, 橋詰顕, 飯田幸治, 栗栖薫
2. 発表標題 異種ソースモデルに基づく脳磁場逆問題解法-パラメトリック解法とイメージング解法の融合-
3. 学会等名 第37回生体磁気学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奈良高明
2. 発表標題 生体電磁気逆問題への数理的アプローチ：脳磁場逆問題および人体内部電気特性再構成
3. 学会等名 第14回医用生体電磁気学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江田尚弘, 奈良高明
2. 発表標題 非計測磁場推定に基づく人体内部の電気特性再構成
3. 学会等名 第14回医用生体電磁気学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楊天宇, 奈良高明
2. 発表標題 脳磁図逆問題における最尤推定を用いた背景神経活動源の影響の除去
3. 学会等名 第38回センシングフォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Eda, M. Fushimi, and T. Nara
2. 発表標題 An Iterative Method for Electrical Properties Tomography Based on the Helmholtz Decomposition for the Electric Field
3. 学会等名 Proceedings of ISMRM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Fushimi, N. Eda, and T. Nara
2. 発表標題 Global and Direct Electrical Properties Tomography Method Based on the Linear Integral Equations for Impedivity
3. 学会等名 Proceedings of ISMRM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Fushimi, N. Eda, and T. Nara
2. 発表標題 MR Elastography Reconstruction Based on a Linear Integral Equation Derived from the Helmholtz Identity
3. 学会等名 Proceedings of ISMRM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Nara
2. 発表標題 A method for magnetic resonance electrical properties tomography based on Helmholtz' decomposition
3. 学会等名 Inverse problems and nonlinearity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅間拓実, 湯本真人, 奈良高明
2. 発表標題 異種のソースモデルを用いた脳内電流源推定とてんかん焦点同定への応用
3. 学会等名 第35回日本生体磁気学会論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅間拓実, 奈良高明
2. 発表標題 異種のソースモデルを用いた脳内局在・背景神経活動源の分離
3. 学会等名 第37回センシングフォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江田尚弘, 伏見幹史, 奈良高明
2. 発表標題 ヘルムホルツ分解に基づく MRI を用いた人体内部の電場および電気特性分布の反復再構成手法
3. 学会等名 第37回センシングフォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Nara and M. Fushimi
2. 発表標題 Computation of H- from H+ and its application to regularization for Magnetic Resonance Electrical Properties Tomography (MREPT)
3. 学会等名 ISMRM2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 N. Eda, M. Fushimi, K. Hasegawa, and T. Nara
2 . 発表標題 Noniterative Electrical Properties Tomography Reconstruction Method Based on Three-Dimensional Integral Equation for the Electric Field
3 . 学会等名 ISMRM2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 N. Nara, M. Narumiya, T. Sugama, and M. Yumoto
2 . 発表標題 A Heterogeneous Source Model for the Magnetoencephalography Inverse Problem
3 . 学会等名 SICE2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T.Nara
2 . 発表標題 Method for Reconstruction of Electrical Properties Inside Human Bodies using MRI
3 . 学会等名 Workshop "Complex analysis in mathematical physics and applications" (CATW02) ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T.Nara
2 . 発表標題 Dbar equation-based methods for reconstruction of complex permittivity in Maxwell equations
3 . 学会等名 Workshop for young scholars "Control and inverse problems on waves, oscillations and flows - Mathematical analysis and computational methods - ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Fushimi and T. Nara
2. 発表標題 An Explicit EPT Reconstruction Method Based on the Dbar Equation Incorporating Longitudinal Magnetic Field Variations
3. 学会等名 27th ISMRM Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Nara
2. 発表標題 Identification of coefficients in time-harmonic Maxwell's equations and its application to biomagnetic inverse problems
3. 学会等名 RIMS共同研究「偏微分方程式による逆問題解析とその周辺」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江田尚弘, 奈良高明
2. 発表標題 荷重積分公式に基づくMRIを用いた電気特性の三次元再構成
3. 学会等名 第36回センシングフォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良高明, 梶島健太, 橋詰顕, 飯田幸治, 栗栖薫
2. 発表標題 神経電流源の領域形状推定法 - てんかんデータへの適用 -
3. 学会等名 第34回日本生体磁気学会論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良高明, 伏見幹史
2. 発表標題 MRIによる電気特性の直接再構成 - 電場零点の制御および位相像のみによる推定 -
3. 学会等名 第34回日本生体磁気学会論文集
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 情報処理装置及び情報処理方法	発明者 奈良高明, 伏見幹史, 江田尚弘, 新誠一, 藤 田博之, 山形仁, 矢野	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-009328	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 INFORMATION PROCESSING APPARATUS AND INFORMATION PROCESSING METHOD	発明者 奈良高明, 伏見幹史, 江田尚弘, 新誠一, 藤 田博之, 山形仁, 矢野	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、EFS ID 44848938	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>脳磁場逆問題：てんかん焦点同定への応用  <a href="http://www.inv.ipc.i.u-tokyo.ac.jp/naratheme.html#03">http://www.inv.ipc.i.u-tokyo.ac.jp/naratheme.html#03</a></p> <p>MRIを用いた人体内部電気特性の三次元画像化  <a href="http://www.inv.ipc.i.u-tokyo.ac.jp/naratheme.html#04">http://www.inv.ipc.i.u-tokyo.ac.jp/naratheme.html#04</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	伏見 幹史  (Fushimi Motofumi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	江田 尚弘  (Eda Naohiro)		
研究協力者	椛島 健太  (Kabashima Kenta)		
研究協力者	菅間 拓実  (Sugama Takumi)		
研究協力者	楊 天宇  (Yang Tianyu)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関