

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289347

研究課題名(和文)日本周辺でのアレイ電磁気観測(JEMINI計画)のための基礎的研究

研究課題名(英文)Fundamental Research of hardware and software for Japan Electro-Magnetic Imaging with Network observation In-depth

研究代表者

後藤 忠徳(Goto, Tada-nori)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90303685

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：プレート沈み込み場である日本列島において、列島規模の地下電気伝導度構造を解明するための基礎的研究として、1) 機器振動などのノイズを取り除く電磁気時系列解析ソフトの開発、2) 海底・陸上電磁データを統合的に扱える地下構造解析ソフトの開発、3) 小型海底電磁気観測装置の開発および予備的な海底電磁気観測を実施した。その結果、独立成分分析を軸としたデータ解析技術の確立、従来法よりも高速かつ高精度な3次元地下構造順解析・逆解析コードの完成、小型観測装置の試作にそれぞれ成功した。これらを用いて実海域においてデータを取得・解析したところ、地殻～マントル上部の構造解析が可能であることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：As fundamental research to elucidate the subsurface resistivity structure beneath Japan island arc system, we developed i) software for magnetotelluric analysis with removing noise such as equipment vibration, ii) software for imaging subsurface structure using land and marine electromagnetic data, iii) small-sized ocean bottom electromagnetometer. As a result, we succeeded in establishing data analysis technology using independent component analysis, completing forward and inversion codes of three-dimensional resistivity structure, which is faster and more accurately than the conventional method, and manufacturing small instruments. We obtained marine magnetotelluric data offshore NE Tohoku, and confirmed that the new hardwares and softwares are available for imaging subseafloor crust and the upper mantle.

研究分野：物理探査学

キーワード：地球電磁気学 比抵抗構造 地震発生 火山噴火 インバージョン アレイ観測

1. 研究開始当初の背景

プレート沈み込み場の1つである日本列島とその周辺海域では、巨大地震の発生や火山噴火などの地球科学的活動が極めて活発であり、そこには地殻やマントル内の流体の寄与が指摘されている。従って日本列島規模の3次元地下構造(特に流体の分布)を把握することが、沈み込みに伴う諸現象を解明するために必要である。これまでに3次元地震波速度構造モデルや地殻変動モデルが提案されているが、これらとは独立な物理量であり、流体の存在に敏感な物性である「電気伝導度」の3次元的大規模地下構造は未解明である。3次元電気伝導度構造は、地下の温度構造や地殻・マントル内の流体分布について制約を与えるために必要となっている。

このような目的のために、海外では陸上における大規模アレイ電磁気観測が精力的に実施されている(例:米国USArray計画、中国SINOPROBE計画など)。また海底においても近年、多点電磁気観測が行なわれている。

これらの状況を鑑みると、国内においても同様のアレイ電磁気観測が実施されるべきであると考えられる。そこで申請者らのグループは、日本列島の陸域～沿岸海域をおよそ50km間隔で覆い尽くすように電磁気を観測するJEMINI計画(Japan Electro-Magnetic Imaging with Network observation In-depth)を進めつつある。この計画では、陸上・海底装置数十台を巡回させつつ、10年程度で日本周辺の広域での電磁気観測を実現し、島弧の3次元の電気伝導度構造の解明を目指している(地球電磁気・地球惑星圏学会「地球電磁気学・地球惑星圏科学の現状と将来」2013年、pp190-191)。本格的なアレイ観測に先立っては、適切な観測点間隔や観測期間を検討する必要がある。また複雑な地下構造を可視化するための解析技術の開発や新たな海底観測装置の必要である。

2. 研究の目的

本研究では日本列島の陸域～沿岸海域において、50km間隔に観測点を配置して、列島規模の電磁場観測を実施する「JEMINI計画」の実現へ向けた基礎的研究を行う。具体的な研究内容は以下のようである。

- 1) 機器振動などのノイズを取り除く電磁気時系列解析ソフトの開発
- 2) 海底・陸上電磁データを統合的に扱える地下構造解析ソフトの開発
- 3) 小型海底電磁気観測装置の開発および予備的な海底電磁気観測

3. 研究の方法

1) 時系列解析ソフトの開発

陸上及び海底で取得される電磁場データのノイズを抽出・除去するために、新たに時系列解析ソフトの開発を実施した。本研究で用いる地下探査法である地磁気・地電流法(Magnetotelluric法、略称:MT法)は、電磁探

査法の一つであり、地下深部の電気伝導度構造の解析が可能である。しかしながら、MT法により取得した電場・磁場データ(MTデータ)にノイズが混入することで、地下の電気伝導度構造の解析が困難となる。そこで、取得したMTデータに混入したノイズを除去する必要がある。従来法では、取得したMTデータから導出したスペクトルを足し合わせることで、電磁場応答関数算出時のノイズの影響低減がなされてきた。しかし従来法は、電場および磁場に混入したノイズ同士に相関が認められる場合やSN比が非常に悪い場合は効果的ではない。そこで近年、音響データのブラインド信号源分離に用いられている独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)に本研究では着目し、これを軸とした新たなノイズ除去手法を開発し、海底MTデータに試験的に適用を行った。

通常の(時間領域での)ICAをMTデータ解析にそのまま適用することは困難であることが知られている。電場・磁場間には(電磁誘導に起因する)大きな位相差が存在するだけでなく、位相差は周波数ごとに異なっており、複数信号成分の線形結合を仮定する通常のICAでは、MTデータの信号・ノイズ分離を実施することは不可能である。そこで本研究では通常のICAを更に拡張した、周波数領域複素ICAに基づく解析ソフトを独自に開発し、これをMTデータに適用した。周波数領域(電場・磁場の複素スペクトル)であれば、位相差は線形結合として表されるため、周波数領域複素ICAはMTデータの信号処理に適用可能となる。

本研究では、ある1観測点で得られた水平電場2成分および水平磁場2成分の時系列データに対してフーリエ変換を施し、各複素スペクトルの時間変化(スペクトログラム)に対して周波数領域複素ICAを適用し、2つのMT信号2成分(電離層由来の南北・東西磁場変動成分及びそれによって誘導された東西・南北電波変動成分)と、観測点固有のノイズ2成分への分離を行った。この時、分離信号の相互情報量を最小化するように、MT信号とノイズの分離を実施した。相互情報量とは、非負の値をとる2つの確率変数の相互依存度を表す指標の1つで、2つの確率変数が独立の場合0となる。分離信号に対するMT信号・ノイズの判別については、磁場2成分のSN比は1以上と仮定し、磁場への寄与度が大きい分離信号をMT信号、小さい分離信号をノイズと考えた。ここで磁場のSN比が1を下回る場合は、本判別基準を用いることはできない。そこで新たに、ある1観測点の磁場時系列変動と、そこから遠く離れた観測点の磁場時系列変動に対してGram-Schmidt直交化法を適用し、SN比の概算値(SN比がとりうる最小値)を推定し、先の仮定が成り立つかどうかを調べることにした。また本解析では時系列データを周波数領域に変換することで、独立性および無相関性

が弱まってしまい、ノイズと判断した分離信号中にも MT 信号成分が含まれる可能性が考えられる。そこで、ノイズと判断した分離信号のうち、中央値以下のスペクトルは MT 信号成分を部分的に含んでいると考えて、MT 解析に使用することとした。

2) 地下構造解析ソフトの開発

日本列島の広域 3 次元地下電気伝導度構造を求める際には、複雑な海底地形や海岸線、陸上の山地といった立体的な形状をモデル化することが必要である。そこで本研究では、MPS (Moving Particle Semi-implicit) 法に基づく、電磁場伝搬のフォワード解析方法を開発した。ここでは、3 次元な地下構造に対するフォワードコードの開発を行った。MPS 法は粒子法の 1 つであり、地下を球状粒子群で表現し、電気伝導度を各粒子に与えることで地下構造モデルを構築できる。MPS 法は、従来から流体流動シミュレーションに使われてきたが、その際に使われるベクトル演算子は電磁場計算の場合でも使用できるため、MPS 法を MT 探査のフォワード計算に採用することとした。MPS 法は有限差分法とは異なり、格子状の計算点配置に捕らわれないため、計算制度の低下なしに、地形や複雑な地質構造を地下構造モデルで表現することができる。また有限要素法では要素の形状によっては計算精度が低下することが知られているが、本研究では粒子は概ね格子状に配置し、一部粒子のみ海底地形や地質境界に配置する方法を採用した。この場合、1 つの粒子を取り巻く複数の粒子を用いて平均的な場の計算を行うため、要素形状による計算誤差を心配する必要はない。

一方、3 次元逆解析ソフトに関しては、仮想波動領域法における 3 次元電気伝導度構造のインバージョンコードの開発を行った。仮想波動領域法とは、拡散場的な低周波数帯の電磁場伝播を、数学的処理に基づき波動場的な伝播へと変換する技術であり、近年ノルウェーの研究グループが提案したものである。これによって、本来は直達波・屈折波・反射波などを時系列から見分けることが困難である低周波数帯 (10Hz ~ 1mHz) の電磁場は、仮想波動領域への変換によって、高周波数帯の電波 (例：地中レーダ、1GHz ~ 1MHz) のように媒質中を反射・屈折する伝播パターンを示すようになる。この手法のメリットは大きく 3 つあると考えられる。1 つは計算速度の高速化である。従来の拡散場の電磁場伝播の計算では、陰解法を用いる必要があり、大規模な行列演算が必要であったが、仮想波動領域では陽解法 (FDTD 法) による波動伝播計算が適用できるため、大規模な演算は必要ない。また従来法では、探査ターゲット領域から十分に遠いところに電磁場の境界条件を設定せねばならず、数値計算領域が拡大化し、計算コストを押し上げていた。一方、仮想波動領域法では探査ターゲットのすぐ外側に吸収境界条件をおけばよく、計算コスト

を大幅に削減できる。また仮想波動領域では電磁場時系列の各フェーズ (直達波・屈折波・反射波) の同定および波形分離ができるため、地下電気伝導度異常体に対する感度が向上することが期待される。

さらに逆解析アルゴリズムとして、本研究では新たに「クラスタリング制約」を導入し、現実の地質構造をよく再現できる地下電気伝導度構造の逆解析ソフトの開発を行った。従来の逆解析法では、地下構造が滑らかに変化するという制約を行い、逆解析アルゴリズムの安定化を図ってきたが、地質構造は断層などを境として急変することが多い。そのため、平滑化制約項を用いた逆解析では本来の地質構造がぼやけた地下画像として求められることが多かった。そこで、本研究では急激な電気伝導度の変化を再現する事ができる FCM クラスタリング項を目的関数に追加した。クラスタリングは、ヒストグラム上でのデータのまとまり具合を定量的に評価する技術であるが、クラスタ化が進むということは (例：3 つのクラスタにまとまっている) 地下電気伝導度がある値を取りやすい傾向があることを示している (例：3 種類の電気伝導度で地下構造を説明できる) 。これはすなわち、電気伝導度が急変する地下構造となり、クラスタリング制約がより現実的な地質構造再現に役立つ根拠となっている。

クラスタリング制約項を用いた逆解析は、同時に二つ目的を達成する。一つ目は、FCM クラスタリングに先験クラスタ中心値を取り入れることで岩石物性値を取り組むことができる点である。二つ目として、FCM クラスタリング制約を組み込むために地下の分類を自動的に行うことができる点が挙げられる。ただし、クラスタリング化を取り入れた逆解析法では、目的関数中にモデルラフネス項とクラスタリング項の二つが含まれており、各制約項をバランスするハイパーパラメータも 2 つ存在している。過去の研究では、それらのパラメータの組み合わせを適切に選ぶ方法が問題であったが、本研究ではその最適化アルゴリズムを構築する。

3) 小型海底電磁気観測装置の試作

従来の海底電磁気観測装置 (OBEM) は 1 台が 1000 万円を超える価格であり、装置の全高 1.5m、空中重量 120kg を超えるため、大型クレーンを装備した調査船でなければ海底への設置や回収作業が難しかった。そこで本研究では従来よりも価格が安く、小型の海底電磁気観測装置の開発を実施した。ここでは、磁力計は簡易型のもの (方位計機能のみ) を搭載することとし、MT 探査時に必要な高精度磁場データについては、陸上の地磁気観測点もしくは従来型 OBEM の磁場観測データを活用することとした。試作した小型 OBEM1 台については、従来型 OBEM と共に実海域へ設置して並行観測を実施し、データ品質などを確認した。

4. 研究成果

1) 時系列解析ソフトの開発

本研究ではまず、実際に海底で取得された電場データに対して通常の(時間領域の)ICAを適用し、ノイズと信号を分離できるかどうかを試みた。ここでは2015年に海洋研究開発機構により取得された、曳航式自然電位探査時の電場データを使用した。本観測では、並行する4つの受信ダイポールにより電場観測がなされているため、これら4chに共通し、かつ振幅が概ね同じ電場成分が海底からの自然電場信号であると見なすことができる。また、それ以外の成分はノイズであると考えられる。なお本観測では海底熱水噴出地域において自然電場データを取得しているが、熱水噴出孔付近では(酸化還元電位に伴う)大きな自然電場信号が得られることが既往研究から明らかになっている。

まず、熱水噴出孔から遠く離れた海域での海底電場データに対してICAを適用した所、電場データにはノイズと思われる成分のみが含まれることが明らかとなった。このノイズの要因は海水の導電率の微弱な変動と相関が高いため、海水の化学成分変動によって生じたノイズであると考えられる。次に本観測データに自然電場信号の擬似波形を加えたものに対してICAを適用したところ、加えた自然電場信号を正しく抽出することが可能であった。これらのノイズ・信号分離テストを経た後に、熱水噴出孔付近で得られた海底自然電場データをICAで解析した。従来法では熱水噴出孔以外でも局所的な電場信号が認められたが、ICAでの解析結果では自然電場信号の空間分布はなめらかになり、抽出された電場信号は熱水噴出孔付近で顕著であることが明らかとなった。従って、ICAのノイズ除去効果が確かめられた。

次に周波数領域複素ICAを用いて、MTデータ解析を実施した。ここでは気象庁柿岡地磁気観測所(茨城県石岡町)におけるMTデータ(2015年2月1日~同年3月16日:44日間、毎分値)を解析することとした。気象庁女満別地磁気観測所における磁場データを用いたりモトリファレンスも実施した。

従来法による見掛比抵抗曲線と本解析法による見掛比抵抗曲線を比較すると、見掛比抵抗の値は同程度である。しかしながら、高周波における見掛比抵抗推定誤差は本解析法によって数分の1に縮小された(位相についても同様であった)。さらに、2種類の人工ノイズ波形を柿岡地磁気観測所におけるMTデータに加えてみて、ノイズ除去が可能かどうかを検証した。その結果、従来法に比べると、見掛比抵抗の推定誤差は大幅に縮小され、見掛比抵抗推定値はノイズ付加前と大差なかった。ノイズの混入時間帯を変化させて、ノイズ除去性能を調べたところ、全時系列のうち60%がノイズを含む状況であっても、本研究で提案した手法でノイズが除去できることが明らかとなった。本ソフトウェアにつ

いては、十分に完成しており、外部研究者に配布準備が整っている。

2) 地下構造解析ソフトの開発

MPS法に基づく電磁場伝搬のフォワード解析方法を開発し、数値計算を実施した。ここでは既往研究で報告された計算事例に従い、海底地形を含む電気伝導度構造において、海底面上でのMTレスポンスを計算した。その結果、従来の差分法に基づく計算結果と遜色ない精度であることが確認できた。ただし、地下に複雑形状かつコントラストの大きな不均質構造を与えた場合、計算が安定しないケースがあることも確認された。これはMPS法で用いる影響半径の取り方や、影響半径内でのベクトルの平均化処理が、電磁場伝搬問題の場合に最適化されていないためと考えられる。今後は、MPS法での諸パラメータのさらなる最適化が課題である。

一方、3次元逆解析ソフトに関しては、数値シミュレーションの結果、従来のソフトと比べて高速かつ高精度で地下構造推定が可能であることが確認できた。まず仮想波動領域における電磁場伝播について、地下構造への感度チェックを実施した。ここでは海底下の比抵抗は $1\Omega\text{m}$ とし、そこに $5\Omega\text{m}$ の高比抵抗異常体を埋没させたモデルを用いた。実領域における数値計算では、海底下と海水中を伝播する電磁場がほぼ同走時で到着しており、見かけ上一波となっていたが、仮想波動領域へ変換することで、これらに見かけ上大きな速度差がうまれることが確認できた。このため、地震波のように海底下と海水中を伝播する電磁場を分離することが可能となった。異常体による電場振幅の変化率(感度)は、波形が分離された効果により、約2倍程度向上した。また本シミュレーションで得られた電磁場データを用いて、3次元構造逆解析を実施した。ここでは電磁場全波形を用いて逆解析を実施したが、仮想波動領域に変換することで、高比抵抗異常体を高解像度(比抵抗値の復元度が従来法よりも2倍向上)かつ高速(従来法よりも $1/3$ 程度の計算時間)に検出できた。

クラスタリング制約を取り入れた逆解析法についても成果を得ることができた。開発した逆解析コードを、海底下に比抵抗異常体(低比抵抗)を含むモデルから計算される仮想データに適用した(異常体 $=0.21\Omega\text{m}$ 、海水 $=0.316\Omega\text{m}$ 、海底下堆積層 $=1.0\Omega\text{m}$)。従来法であるOccam's逆解析によって低比抵抗異常は再現されているが、平滑化制約のために真のモデルに比べるとぼやけて再現されていた。本研究で開発したFCMクラスタリング制約項を用いた逆解析法では、真のモデルに近い電気伝導度構造を再現できた。さらに実データ(ここではMT法ではなく、海底電気探査)に対しても本手法を試験的に適用した。海底電気探査データは、沖縄トラフでのYK-14-19調査航海により取得された。観測された見掛比抵抗計552個に対してFCM

クラスタリング制約項を用いた逆解析を適用した。本海域では、岩石物性値が不明なため、先験クラスター中心値によるガイドは行わずに逆解析を行った。クラスター数については5つと仮定し、初期クラスター中心はOccam's逆解析の結果に基づき仮定した。逆解析の結果、海底下の3箇所にも良導体を発見した。これらの良導体の比抵抗は約0.2Ωmであり、堆積層よりも有意に低い。本海域では、IODP Expedition 331 Scientists (2010)による地下構造概念図が提案されているが、本逆解析結果と矛盾しないことが確認できた。またパラメータについては、ABIC最適化法を採用したことにより安定して逆解析を行うことができた。今後は本アルゴリズムを前述の仮想波動領域法に基づく3次元逆解析ソフトウェアに組み込み、MTデータの逆解析を実施する予定である。

3) 小型海底電磁気観測装置の試作

本研究で施策した小型OBEMは、前述の簡略化によって装置本体が従来よりも4分の1程度の価格に抑えられた。またサンプリングレートについては、従来装置が8Hzであったものを1kHzへと高速化することで、ノイズ除去のために必要な高速データ取得が可能となった。さらに時刻精度についても新たに原子時計を搭載することで改善を行った。性能評価を行ったところ、1週間程度の海底観測であれば、時計のズレはほぼ無視できることが明らかとなった。

試作OBEMおよび従来型のOBEM(京都大学が所有)合計3台に関して、千葉県房総半島沖の海底(水深1000m~2000m)への設置・回収作業を実施した。房総半島沖合のプレート境界断層にはスロースリップ域が以前から認められており、この海底電磁気観測によりスロースリップ域の電気伝導度構造が明らかになることが期待される。3台のOBEMは2015年7月に、調査船「新青丸」を用いてOBEMを海底に設置された。海底においては10Hzまたは1分サンプリングで磁場3成分および水平電場2成分を観測した。海底観測は2016年3月まで継続され、3台の海底観測装置はすべて回収された(練習船「深江丸」調査航海により回収)。結果として、7ヶ月半に渡る電磁場観測データを取得することができた。

前述1の周波数領域複素ICAを軸としたMTデータ解析ソフトを用いて、海底MT観測によって得られた海底電磁場データの解析を実施した。まず、海洋研究開発機構・東京大学地震研究所・京都大学などが調査船「新青丸」YK14-17調査航海において取得した、日本海溝海域(水深5000m程度)での海底MTデータ(合計4地点、1分サンプリング)のデータ解析を行った。記録期間長は約44日間と短めであったこと、機器に起因すると思われる大きなノイズが含まれていたことから、従来法での解析結果は困難であった。新手法を適用したところ、見掛比抵

抗・位相とも推定誤差は10分の1程度に小さくなり、推定値も周波数に対して滑らかに変化するようになった。これらのMTレスポンスの特徴から、沈み込む前の太平洋プレート最上部は低比抵抗(堆積層)、プレート部は高比抵抗であり、プレート下のマントルは低比抵抗を示すこと、海溝軸に近づくほどマントルは低比抵抗を示す傾向があることが明らかとなった。今後、前述の逆解析ソフトを適用し、定量的な地下構造解析を進める予定である。また房総半島沖の海底で取得された電磁場データのMT解析も進めた。見掛比抵抗などの地下応答関数の特徴から、房総半島沖合のプレート境界断層(スロースリップ域)では見掛比抵抗が低下する傾向が示された。予察的ではあるが、これはスロースリップ域と地下流体の関係性を示すものと考えられる。

以上のソフトウェア、ハードウェアの開発および試験的なデータ解析に加えて、本研究では日本列島全体の地殻電気伝導度構造データベースを作成した。文献調査の結果、これまでに日本列島の陸域・海域では合計50の論文が公表されていることが明らかとなった。これらに掲載されている地殻電気伝導度構造(断面図)は118に及ぶ。これらについて、観測点分布図や断面図、測線位置などの測定情報をデータベース化した。さらに、同測線での地震波速度構造・震源分布についてもあわせてデータベース化した。以上は、今後の日本列島全域での電磁場アレイ観測計画を進める上で、基盤となる情報であり、開発済みのソフトウェアと共に、研究者へ情報公開を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

Imamura, N., T. Goto, J. Takekawa and H. Mikada, Topographic Modelling Using a Particle Method in 3D Controlled-source Electromagnetic Exploration, 76th EAGE Conference & Exhibition, doi: 10.3997/2214-4609.2014110, 2014.

Ichihara, H., S. Sakanaka, M. Mishina, M. Uyeshima, T. Nishitani, Y. Ogawa, Y. Yamaya, T. Mogi, K. Amita and T. Miura, A 3-D electrical resistivity model beneath the focal zone of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake (M 7.2), Earth Planets Space, 66, doi:10.1186/1880-5981-66-50, 2014.

畠田健太郎・林為人・後藤忠徳・廣瀬丈洋・谷川亘・濱田洋平・多田井修, 交流インピーダンス法を用いた比抵抗測定の精度および地質試料における有効性の検討実験, JAMSTEC Rep. Res. Dev., 20, 41-50, 2015.

Goto, T., Numerical studies of geodynamically induced electric field on seafloor and near coastal zones incorporated with heterogeneous conductivity distributions, Earth, Planets and Space, 67:193, doi:10.1186/

s40623-015-0356-2, 2015.

Kusuda, K., T. Goto and J. Takekawa, Improvement of Gas Hydrate Response after Transforming to the Fictitious Wave Domain, 77th EAGE Conference & Exhibition doi: 10.3997/2214-4609.201413071, 2015.

Ishizu, K. and T. Goto, Accuracy evaluation of MT response calculated with particle method and higher-order particle method using the Taylor expansion, Proc. 12th SEGJ International Symposium, doi:10.1190/segj122015-054, 2015.

Tatehata, H., H. Ichihara and Y. Hamano, Tsunami-induced Magnetic Fields Detected at Chichijima Island before the Arrival of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami, Earth Planets Space, 67:185, doi:10.1186/s40623-015-0347-3, 2015.

Ichihara, H., Mogi, T., Tanimoto, K., Yamaya, Y., Hashimoto, T., Uyeshima, M., and Ogawa, Y., Crustal structure and fluid distribution beneath the southern part of the Hidaka collision zone revealed by 3 D electrical resistivity modeling. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 17(4), 1480-1491, 2016.

佐藤真也・後藤忠徳・笠谷貴史・川田佳史・岩本久則・北田数也, 独立成分分析を用いた海底自然電場データのノイズ除去, 物理探査, 70, 42-55, 2017.

〔学会発表〕(計 13 件)

後藤忠徳・笠谷貴史・町山栄章, 沖縄沖海底熱水鉱床における比抵抗構造(序報), 物理探査学会第 130 回学術講演会, 東京, 2014 年 5 月 29 日.

Goto, T., Distortion of induced current due to two and three-dimensional coastal effects, AOGS 11th Annual Meeting, Sapporo, Japan, August 1, 2014.

Goto, T., Recent Advances of Marine EM Exploration -From Shallow Water Environmental studies to Deeper Mantle Imaging-, 22nd EM Induction Workshop Weimar, Germany, August 29, 2014.

後藤忠徳, メッシュレス粒子法を用いた MT 法 3 次元フォワード計算, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 横浜, 2015 年 5 月 26 日.

Goto, T., Recent Advances of Marine EM Instruments, MARELEC 2015, Philadelphia, Jun. 16, 2015. (Keynote Speech)

Goto, T., Kasaya, T., and Machiyama, H., Joint analysis of sub-seafloor structures using marine DC resistivity and magnetic data, MARELEC 2015, Philadelphia, Jun. 19, 2015.

楠田溪・後藤忠徳, 仮想波動領域における人工電流源電磁探査逆解析法の開発, 平成 27 年度 Conductivity Anomaly 研究会, 東京, 2016 年 1 月 6 日

後藤忠徳・小林雄樹・柏谷公希・小池克明・笠谷貴史・町山栄章・林為人, 沖縄沖海底熱水域の岩石・水サンプルの化学・物理学的解析(序報), 資源・素材学会平成 28 年度春季

大会, 東京, 2016 年 3 月 28 日.

Goto, T., T. Kasaya, Y. Kawada, H. Ichihara, and M. Yamano, Crustal resistivity Structure of Pacific Plate just before Subduction using Marine Controlled-Source Electromagnetic Surveys, Japan Geoscience Union Meeting 2016, Chiba, May 23, 2016.

Goto, T., Y. Ohta, K. Kashiwaya, K. Koike, T. Kasaya, H. Machiyama, and W. Lin, Physical property of rock cores of submarine hydrothermal deposits and its application to the geophysical joint inversion, 26th Goldschmidt Conference, 横浜, June 27, 2016.

Goto, T., and K. Kusuda, Development of inversion method for electromagnetic survey data in fictitious wave domain, 23rd Electromagnetic Induction in the Earth Workshop, Chiang Mai, Aug. 18, 2016.

Goto, T., Y. Ohta, K. Kashiwaya, K. Koike, T. Kasaya, H. Machiyama, and W. Lin, Joint Inversion of geophysical data around submarine hydrothermal deposits based on core samples, 35th International Geological Congress, Cape Town, Aug. 31, 2016.

後藤忠徳, 日本における地殻比抵抗構造データベースの構築へ向けて, 平成 28 年度 Conductivity Anomaly 研究会, 宇治, 2017 年 1 月 11 日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://obem.jpn.org/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

後藤 忠徳 (GOTO, Tada-nori)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号： 9 0 3 0 3 6 8 5

(2)研究分担者

笠谷 貴史 (KASAYA, Takafumi)

海洋研究開発機構・地震津波海域観測研究

開発センター・技術研究副主幹

研究者番号： 9 0 3 7 3 4 5 6

市原 寛 (ICHIHARA, Hiroshi)

名古屋大学・大学院地震火山研究

センター・助教

研究者番号： 9 0 5 5 3 0 7 4

(3)連携研究者

大志万 直人 (OSHIMAN, Naoto)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号： 7 0 1 8 5 2 5 5

山口 覚 (YAMAGUCHI, Satoru)

大阪市立大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号： 7 0 1 9 1 2 2 8