

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540454

研究課題名(和文) 四国下フィリピン海プレート周辺部の高精度比抵抗構造の決定

研究課題名(英文) Improvement of geoelectrical resistivity structures around Philippine Sea plate boundary beneath Shikoku district

研究代表者

村上 英記 (MURAKAMI, HIDEKI)

高知大学・自然科学系・教授

研究者番号：10166259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は四国下に潜り込むフィリピン海プレート周辺部の比抵抗構造，とりわけ四国中央部と四国西部域下における構造の精度を向上させることを目的としている。本研究では過去に得られているネットワーク地磁気地電流(MT)法データの再解析をおこない，周期100秒から10000秒の精度のよいMT応答関数を求め比抵抗構造の精度の向上をはかった。四国中央部は東部域と類似の比抵抗構造である可能性を新たに示すことができた。また，四国西部域では，深さ30kmから40kmに発生する低周波微動の発生領域が極めて低比抵抗(～10 m)領域である可能性を新たに示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This study aims to improve accuracy of geoelectrical resistivity structures around Philippine Sea plate boundary beneath Shikoku district, especially central and western Shikoku district, using the Network-magnetotelluric (MT) method. We determined MT response functions in the period range of 100-10000s at several observation sites in Shikoku district. In central Shikoku the comparison between the observed MT response functions and the theoretical MT response functions calculated from 2-dimensional resistivity structures indicated the possibility of the resistivity structure similar to that under the eastern Shikoku, which has lower resistivity lower crust, lower resistivity oceanic crust and high resistivity plate. In the western Shikoku a lower resistivity (~10ohm-m) area at depth of 30-40km, which is corresponding to the region in which non-volcanic low-frequency tremors occur, was found newly.

研究分野：地球電磁気学

キーワード：四国 フィリピン海プレート 比抵抗 低周波微動 ネットワークMT

1. 研究開始当初の背景

近い将来発生が予想される南海トラフの地震の震源域は、かつては歴史的な地震被害の記録をもとに、南海地震、東南海地震、想定東海地震の3領域が想定されていた。しかし、3領域あるいは2領域が連動した地震もあり個別の震源域に限定した地震発生予測が見直されている(地震調査研究推進本部, 2013)。震源域の連動を考察する上での基礎的なデータとしては、ユーラシア・プレートとフィリピン海プレートの力学的カップリング状態とプレート境界の物性が基本情報となる。

四国地方下に潜り込むフィリピン海プレートの形状や地震波速度、スラブ内地震の発生状況の詳細が地震学的に明らかにされている(例えば、弘瀬ほか, 2007)。四国下のスラブ内地震の発生場所は場所により異なっている。四国東部・中部下のスラブ内地震は海洋モホよりも下すなわち海洋マントルで発生しているが、四国西部では海洋地殻内で発生している。さらに、四国東部・中部のスラブ内地震の発生領域の V_p/V_s は 1.59 から 1.66 程度であるが、四国西部では 1.80 以上と極めて大きいとされている。四国西部から中部の深さ 30km 付近に発生する低周波微動域の V_p/V_s は 1.80 以上とやはり高い値である。低周波微動の発生原因については V_p/V_s の大きさなどからプレートからの脱水反応により供給された水による破壊強度の低下と解釈されることがあるが、スラブ内地震については単純に V_p/V_s の値では解釈できないように見える。

地震学的な物性とは独立に求められる物性として電磁気的なパラメータ(比抵抗)がある。四国地方全域を含む3次元比抵抗構造は求められていないが、これまでに複数測線での観測と2次元比抵抗断面が求められている。四国東部域では、Yamaguchi et al. (1999)、首藤(2003)、塩崎ほか(2007)、鳥取大学(2011)などがある。四国中部域では、塩崎(1993)がある。四国西部では、山口(1998)、平井ほか(2001)、鳥取大学(2009)、山下ほか(2009,2010)がある。

四国東部域で求められている比抵抗構造は、地震学的な構造と大変調和的である(Yamaguchi et al., 1999; 鳥取大学, 2011)。四国東部域下に潜り込むフィリピン海プレートの海洋地殻に相当する領域は数十 m 程度の低比抵抗領域で、その下のプレート領域は数 k m の高比抵抗領域であることがわかっていく。四国東部のスラブ内地震は海洋マントルで発生しているため、低比抵抗領域(水を含んでいると考えられている)である海洋地殻では発生していないことになる。

一方、四国中部を横断する比抵抗構造としては塩崎(1993)によるものがある。しかし、この構造は四国東部の比抵抗構造とはかなり異なった特徴を持っている。10 m という極めて低比抵抗は上部地殻と 10k m という

極めて高比抵抗な下部地殻、そしてその下に北傾斜する 100 m という中程度の比抵抗層(プレートに対応か?)というものである。東部とはかなり異なる比抵抗構造である。この地域のスラブ内地震は東部と同じく海洋マントルで発生していると考えられているので、東部との連続性の観点からも再検討が必要である。

四国西部域の比抵抗構造モデルとして最近の広帯域地磁気地電流(MT)法によるものがある(鳥取大学, 2009; 山下ほか, 2009, 2010)。これらのモデルに共通しているのは、中央構造線以南の上部地殻が 10 m 程度と極めて低比抵抗であり、下部地殻・マントルの比抵抗値に大きなコントラストがないというものである。プレートについても部分的に 1k m 程度の領域が確認されているものの、東部のように海洋地殻と海洋マントルとの差は顕著ではない。より長周期側の MT 応答関数を求めて検証する必要がある。

四国中央域、四国西部域の比抵抗構造の精度を向上させ、あるいは制約をして地震学的な特徴と比較するために周期 100 秒から 10000 秒のより長周期側の MT 応答関数を再解析し、下部地殻からプレート周辺の比抵抗構造に制約を与えられないかを検討する必要がある。

2. 研究の目的

背景のところで述べたように、四国下の構造や地震活動については地震学的研究成果が蓄積され、深部低周波微動、深部低周波地震、スラブ地震などの地震活動とプレートからの脱水作用との関係が地域差も含めて詳細に議論されつつある。

一方、地震学的情報とは独立した比抵抗情報については地震学的情報と比較できるほどの精度にはない。とりわけ、下部地殻、フィリピン海プレートと陸側プレートの接する 20km~60km 深度の比抵抗構造について精度が不十分である。この深度の比抵抗情報について高精度化あるいは制約を与えることにより南海地震の滑り領域となるフィリピン海プレート境界面とその周辺部の物性環境を検討する。

そのために、既存の Network-MT 電場データを使い周期 100 秒から 10000 秒の高精度の MT 応答関数を求める(Uyeshima, 1990)。この帯域はノイズの影響が大きいのでノイズ軽減手法の検討をおこなう。そして、既存の広帯域 MT データ(周期 0.02 秒~1000 秒)の MT 応答関数と統合して再解析を試みる。

3. 研究の方法

(1) 既存 Network-MT 電場データの整理

既存の Network-MT データ(松山, 大洲, 宇和, 城川, 土佐清水, 大方, 窪川, 木屋が内, 東津野, 梶原, 口屋内, 頭集, 観音寺, 丸亀, 高松, 三本松, 徳島, 脇町, 阿波池田, 土佐山田, 安芸, 室戸, 牟岐, 阿南, 丹生谷)

について観測の欠測や時刻付けの確認をおこない再解析に使用できるデータの選別をおこなった。

上記データのうち四国西部域と中部域の観測点データについて、対応する期間の気象庁地磁気観測所の地磁気データを取得し、サンプリング間隔を Network-MT 電場データのサンプリング間隔と同じ 10 秒でサンプリングをおこない MT 応答関数を求めるためのデータを作成した。

(2)MT 応答関数の高精度化

四国西部域ならびに中部域における電場データは JR や市電等からの漏洩電流の影響を受けており、地磁気シグナルの比較的大きな日時を選んだ解析だけでは推定誤差がまだ大きい(首藤,2003)。そのため、多変量解析を応用した手法(村上・山口,2007;村上ほか,2011;村上,2012)でノイズ軽減をはかり、ロバストな MT 応答関数が推定できる BIRRP コード(Chave and Thomson,2004)を用いて MT 応答関数を求めた。

四国西部域の宇和(電極の組合わせ7パターン)、城川(5パターン)、大洲(3パターン)、四国中部域の土佐山田(38パターン)、大杉(31パターン)、阿波池田(5パターン)の MT 応答関数を求めた。

(3)比抵抗構造の制約及び比抵抗構造解析

四国中部域については下記の理由により、2次元フォワード計算(Uchida and Ogawa,1993)を実施することで比抵抗構造に制約を与えるという方針をとった: Network-MT の観測点数が2次元比抵抗モデルを構築するには空間分布が少なすぎる、通常の MT 観測が1980年代後半に実施されたもので MT 応答関数の推定誤差が極めて大きく統合することが困難である。焦点を下部地殻からプレートにいたる深さまでの比抵抗値に絞り、四国東部域の比抵抗構造モデルを参照としながら異なる10種類の構造モデルから計算できる MT 応答関数と観測値から得られた MT 応答関数の比較をおこなった。

四国西部域については、研究分担者を代表とする広帯域 MT 観測データと Network-MT データとを統合して2次元比抵抗モデルの逆解析を実施した。既存の広帯域 MT 観測の測線上に位置する城川における Network-MT データによる MT 応答関数(周期100~10000秒)を追加して解析を実施した。城川近傍における広帯域 MT 応答関数(~周期1000秒)との連続性は極めて良かったが、接合するにあたり「ネットワーク MT 応答関数の TE 及び TM の位相のみを使用し広帯域 MT のデータをシフトさせない」、「Network-MT の TM は位相のみ、TE は位相と見掛け比抵抗を使用し、広帯域 MT の MT 応答関数をシフトさせる」などをおこない比較検討をおこなった。

4. 研究成果

(1)MT 応答関数の高精度化

四国中部域については最終的に土佐山田、大杉(図1)、阿波池田について MT 応答関数を求めた。観測期間が40日程度と極めて短く、磁気擾乱の期間でもなかったが、土佐山田と大杉については推定精度を向上させることができた。阿波池田については十分とは言えないが従来の推定よりは推定誤差は小さくなった。

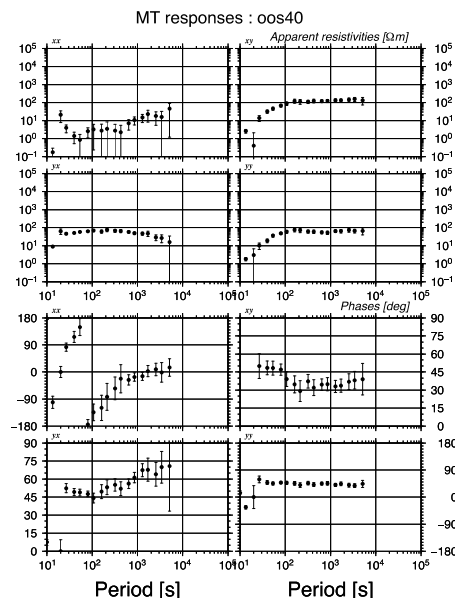


図1 大杉における改善された MT 応答関数
上図(4枚)見掛け比抵抗,下図(4枚)位相差、縦の棒が95%信頼区間を示す。見掛け比抵抗及び位相差の4枚の内、左上、右上、左下、右下がそれぞれxx,xy,yx,yy成分を表す。

阿波池田における MT 応答関数の見掛け比抵抗(xy, yx)の推定誤差は従来の MT 応答関数の推定よりもかなり小さく連続性も良いのである程度成功していると言えるが、位相差について見るとまだ十分とは言えない状況にある。

四国西部域では、最終的に大洲、宇和、城川(図2)について MT 応答関数を求めた。観測期間は90日程度あるが地磁気活動が低調な時期であったがより長周期側での推定精度の改善が見られた。

四国西部域では松山における Network-MT 電場データが JR や市電からの漏洩電流の影響を大きく受けて MT 応答関数を求めるのが困難な状況にあった。これについて多変量解析を前処理とする解析を試みたが、JR と市電という独立で大きなノイズ源が存在するためその分離が難しく、一部見かけ上は推定誤差が小さい MT 応答関数を得ることができたが、連続性が悪く真の MT 応答関数を推定しているとするのは難しいと考え解析には

使用しないこととした。

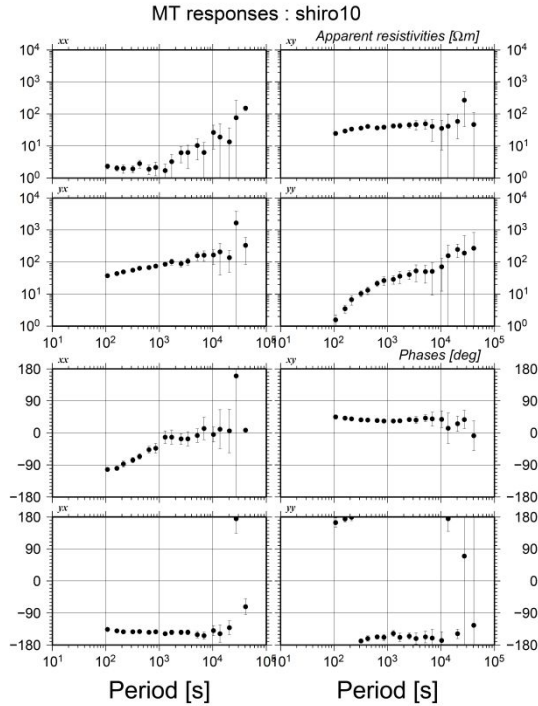


図2 城川における MT 応答関数

(2) 四国中央部の比抵抗構造の制約

四国中央部で求められている2次元比抵抗モデル(塩崎,1993)では,下部地殻が10kmという高比抵抗,プレートに相当する領域が100mと低比抵抗となっている。これは東部の比抵抗構造(Yamaguchi et al.,1999;鳥取大学,2011)とはかなり異なっている。既存の2次元比抵抗構造を求めたMT 応答関数の長周期側の推定誤差が大きく,長周期側で Network-MT による応答関数を接続するのが極めて困難であることから,東部の比抵抗構造を参考にして10モデルに対するフォワード計算によりMT 応答関数を計算しNetwork-MT 観測から求めたMT 応答関数との比較をおこなった。

一例として,上部地殻100m(厚さ20km),下部地殻1km(20km),海洋地殻75m(10km),プレート5km,上部マントル50mのモデル(図3)とMT 応答関数(図4)を示す。

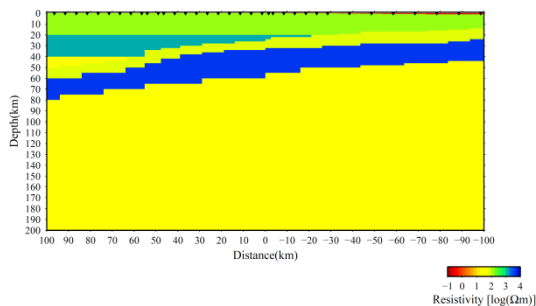


図3 四国中央部比抵抗モデル

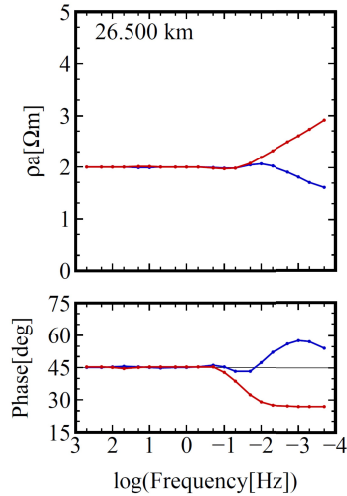


図4 モデル(図3)に対する大杉における理論MT 応答関数

上が見掛け比抵抗,下が位相差。赤がTMを青がTE成分を表す。

大杉における観測MT 応答関数(図1)と理論MT 応答関数(図4)を比較すると,見掛け比抵抗及び位相差のスプリットの様子が類似している。見掛け比抵抗の絶対値についてはまだ調整の余地があり今後の検討が必要である。

従来の中領域のモデルでは下部地殻が10kmと極めて高比抵抗が提案されていたが,1kmとするモデルでもおおよその傾向が説明できることがわかった。下部地殻を10kmとした場合よりもわずかではあるが良い結果となっている。

以上より,従来の四国中央部比抵抗構造モデルの下部地殻以下の比抵抗モデルについては四国東部域の比抵抗構造と類似している可能性を示唆することができた。四国東部と中央部におけるスラブ内地震の発生領域が同じく海洋マントルであることなども考慮すると連続的な比抵抗構造が考えられる。

(3) 四国西部域の比抵抗構造 - 広帯域MTデータとNetwork-MTデータの統合

四国西部域については,研究分担者を代表とする広帯域MT 観測測線があるので,その測線上に位置する城川におけるNetwork-MT 観測データより求めたMT 応答関数を統合して2次元比抵抗構造の逆解析を試みた。

城川に近い広帯域MT 観測点のMT 応答関数(周期0.002~1000秒)に,城川のMT 応答関数(周期100~10000秒,図2)を接続した(図5)。広帯域MTとNetwork-MTのMT 応答関数の間に大きなギャップはなく比較的連続性がよいことがわかる。

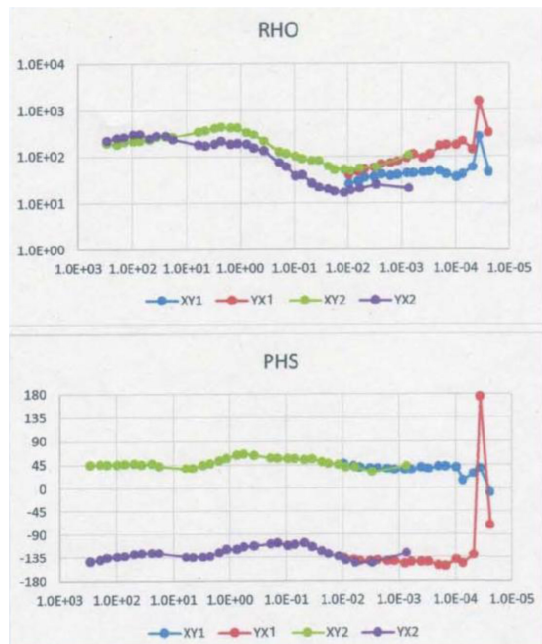


図5 広帯域MTとNetwork-MTのMT応答関数
広帯域MT(周期0.002~1000秒),Network-MT
(周期100~10000秒)。上図が見掛け比抵抗,
下図が位相差を表す。

逆解析を実行するに当り「Network-M データについてTM及びTEモードの位相差のみ使用し、広帯域MTデータはシフトさせない」、「Network-MTデータのTMは位相差のみ、TEは位相差と見掛け比抵抗、広帯域MTデータをシフトさせる」等をおこない比較検討したが、大きな違いは見られなかった。図6には、「Network-MTデータのTMは位相差のみ、TEは位相差と見掛け比抵抗、広帯域MTデータをシフトさせる」場合の2次元比抵抗構造逆解析の結果を示す。

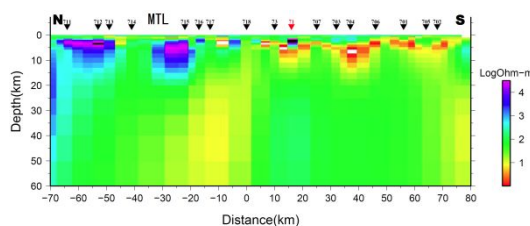


図6 広帯域MTデータとNetwork-MTデータを統合して得られた四国西部域の2次元比抵抗断面
赤の が城川観測点のデータを接続した広帯域MT観測点の位置。

従来の四国西部域の比抵抗構造モデルでは中央構造線(図6のMTL)の南側の上部地殻の低比抵抗が顕著でその下はほとんどコントラストのない構造が特徴であった。周期100~10000秒のMT応答関数を接続することで、中央構造線のやや南側の深さ30km~40kmあたりに10 m前後の低比抵抗領域が描き出された。これは、従来のモデルではほとんど

同定されていない領域である。この領域の一部で低周波微動が発生している。この結果は、紀伊半島下の低周波微動と低比抵抗領域との関係に類似している(Yamaguchi et al., 2009)。また、Network-MTデータから得られたMT応答関数の位相差は長周期側でもほぼ45度程度あるので、やはりかなり深部までほぼ一様な比抵抗構造をしているコントラストのあまりない構造である可能性が確かめられた。

(4) 今後の展望

本研究により従来の四国下の比抵抗構造のイメージに対していくつかの制約を与えることができた。しかし、四国中央部においては浅部の比抵抗構造をより詳細にすることで深部の制約をすることができるので広帯域MT観測が望まれる。これについては研究分担者により別途観測が実施されつつあるので、その結果との統合により精度の高い比抵抗構造が得られるものと考えられる。四国西部域は、四国東部・中央部とかなり異なる比抵抗構造をしていることがより明らかになったが、低比抵抗領域の広がりや下部地殻からプレートにかけての構造を制約するにはさらに長周期側のデータを取り込む必要がある。

[引用文献]

- Chave, A.D., and D.J. Thomson, 2004, Bounded influence estimation of magnetotelluric response functions. *Geophys. J. Int.*, 157, 988-1006.
- 平井理華子, 塩崎一郎, 村上英記, 足立英二, 宇都智文, 前田和彦, 高木典子, 大志万直人, 2001, 四国地方西南部の地殻比抵抗構造調査, 2001年合同大会予稿集, Eq-P008.
- 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川 昭, 2007, Double-Difference Tomography法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定. *地震*, 2, 60, 1-20.
- 村上英記・山口 覚, 2007, 独立成分分析によるノイズの大きな地電位データからの微小信号の抽出, *情報地質*, 18, 29-37.
- 村上英記・最上巴恵・山口 覚・小河 勉, 2011, 漏洩電流の影響の大きいMT応答関数の改善について - Network-MT 電場データの前処理 - . *Conductivity Anomaly 研究会論文集*, 45-52.
- 村上英記, 2012, 漏洩電流の影響の大きいMT応答関数の改善について - Network-MT 電場データの前処理(2) - . *Conductivity Anomaly 研究会論文集*, 31-36.
- 塩崎一郎, 1993, 中国・四国地方の電気比抵抗構造に関する研究. 神戸大学博士論文, 268pp.
- 首藤史朗, 2003, 電気伝導度から見た中国・四国地方の深部構造. 神戸大学大学院自

然科学研究科，修士学位論文。
鳥取大学，2009，沈み込む海洋プレートの形状と脱水反応による液体分布の解明，「地震予知のための新しい観測研究計画（第2次）」平成20年度年次報告（機関別），科学技術・学術審議会測地学分科会地震部会観測研究計画推進委員会，文部科学省研究開発局・防災研究課，pp.298-301。
鳥取大学，2011，中国・四国地方の電気比抵抗構造と地震・火山活動の関連に関する研究，「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成22年度年次報告（機関別），科学技術・学術審議会測地学分科会地震部会観測研究計画推進委員会，文部科学省研究開発局・防災研究課。
Uchida,T. and Y.Ogawa, 1993, Development of Fortran code for two-dimensional maganetotelluric inversion with smoothness constraint. Geological Survey of Japan Open-File Report, No.205, 115pp.
Uyeshima,M.,1990, Application of Network-MT method to study of electrical conductivity structure in the central and eastern part of Hokkaido [Ph.D. thesis]. Univ.Tokyo.
山口高広，1998，四国地方の地殻比抵抗構造に関する研究，鳥取大学大学院工学研究科修士論文，52pp。
Yamaguchi,S., Kobayashi,Y., Oshiman,N., Tanimoto,K., Murakami,H., Shiozaki,I., Uyeshima,M., Utada,H., and Sumitomo,N., 1999, Preliminary report on regional resistivity variation inferred from the Network MT investigation in the Shikoku district, southwestern Japan .Earth Planets Space, 51, 193-203 .
Yamaguchi,S.,Uyeshima,M.,Murakami,H., Sutoh,S.,Tanigawa,D.,Ogawa,T.,Oshiman,N.,Yoshimura,R.,Aizawa,K.,Shiozaki,I.,and Kasaya,T.,2009, Improvement of the Network-MT method and its first application in imaging the deep conductivity structure beneath the Kii Peninsula, southwestern Japan, Earth,Planets and Space, 61, 957-971, .
山口 覚，2014，中国・四国地方および紀伊半島でのネットワークMT観測 - 観測の概要と成果のレビュー - . Conductivity Anomaly 研究会論文集，61-67 .
山下 太・小原一成，2009，広帯域MT法探査から推定された四国西部の地殻構造．日本地震学会講演予稿集，P2-56．
山下 太・小原一成，2010，広帯域MT法探査が示す低周波微動発生域周辺の特徴的比

抵抗構造．日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集 (CD-ROM), SCG085-P03 .
地震調査研究推進本部，2013，南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について．
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/index.htm

5．主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1 件)

[1]村上英記・山口 覚・塩崎一郎，四国地方の比抵抗構造 - Network-MT 再解析 - ，2015 年 Conductivity Anomaly 研究会論文集，21-281,2015 .(査読なし)

〔学会発表〕(計 3 件)

- [1]山本健太郎・村上英記・山口 覚・塩崎一郎，四国地域の比抵抗構造の特徴と課題 2012 年 Conductivity Anomaly 研究会，2013 年 1 月 10 日，石岡中央公民館 .
[2]村上英記，精度の高い MT 応答関数を得るための漏洩電流の影響を受けた Network-MT 電場データの前処理(4)，日本地球惑星科学連合 2013 年大会，2013 年 5 月 22 日，千葉市幕張メッセ国際会議場 .
[3]村上英記・山口 覚・塩崎一郎，四国地方の比抵抗構造 - Network-MT 再解析 - ，2014 年 Conductivity Anomaly 研究会 2015 年 1 月 8 日，京都大学理学研究科セミナーハウス .

6．研究組織

(1)研究代表者

村上英記 (MURAKAMI HIDEKI)
高知大学・教育研究部自然科学系・教授
研究者番号：10166259

(2)研究分担者

山口 覚 (YAMAGUCHI SATORU)
大阪市立大学・理学(系)研究科・教授
研究者番号：70191228

塩崎一郎 (SHIOZAKI ICHIRO)
鳥取大学・工学(系)研究科・准教授
研究者番号：80221290

(3)連携研究者

なし