

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19340127

研究課題名 (和文) 西南日本背弧の下部地殻・マンツルの電気伝導度構造の解明

研究課題名 (英文) EM Imaging beneath the Back-Arc Region of Southwest Japan

研究代表者

大志万 直人 (OSHIMAN NAOTO)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：70185255

研究成果の概要 (和文)：

日本海の鳥取県沖の海域と陸域での観測を連携させた電場・磁場観測を実施した。観測は、1) 鳥取県と兵庫県の県境付近沖の海域を含む測線と、2) 隠岐諸島周辺海域の日本海を含む測線で実施した。これらの測線に沿って、海域では海底磁力電位差計、および海底地電位差計を用いた観測を、また、陸域では、長周期電場・磁場観測を実施した。得られた広域比抵抗構造モデルによると、陸域では上部地殻が高比抵抗領域、下部地殻が低比抵抗領域として検出された。さらに日本海下深部に低比抵抗領域が見出された。

研究成果の概要 (英文)：

In order to investigate deeper resistivity structure and clarify the relationship between subducting Philippine Sea plate and the deeper resistivity structure beneath the San-in region, we carried out not only seafloor EM measurements in the Sea of Japan but also longer period MT surveys on land, along two N-S profiles passing through lines of longitudes, 134.3E and 133.4E. In land area, resistive upper crust and conductive lower crust are found. On the other hand, very conductive region is found in deeper part beneath the Sea of Japan, suggesting the existence of upwelling flow from deeper mantle.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2008年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星科学

キーワード：海洋探査、地震、山陰地域、地球電磁気学、地殻・マンツル構造、下部地殻、比抵抗構造、電気伝導度構造

1. 研究開始当初の背景

西南日本背弧には低周波地震の集中発生場所が存在し、 V_p/V_s 異常域が検出されるなど、プレート境界から地殻にかけて流体が分布していると推測されている。一方、山陰地域の地震は海岸線に平行に線状配列をし、その配列上に三瓶山、大山、氷ノ山などの第四紀火山が分布している。これら火山の成因はプレートからの脱水やプレート自身の部分熔融が原因であると考えられている。このように、山陰地域での地震・火山活動がプレートからの脱水に深く係わりを持っていることになる。本研究は流体にきわめて敏感な比抵抗という物理量の広域分布を明らかにし、地震学的構造情報とあわせることにより、地殻・マントル内の流体分布の詳細を求めようとする西南日本背弧での最初の試みである。そして、このような流体に関する詳細な情報を得ることは、山陰地域での地震発生予測・火山活動予測にとり、重要な意味を持っている。これまで、山陰地域では陸上での広帯域 MT 観測による比抵抗構造探査が精力的に実施され（例えば、塩崎他（1999）、笠谷他（2002）など）、山陰地域に見られる帯状の地震分布に沿って、その地殻下部に平行して低比抵抗領域が存在すること、この低比抵抗領域は大山火山等ではより浅部にまで存在することなどが明らかにされてきている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、鳥取・島根沖の日本海海底、および、その測線延長部の陸域で長周期磁場電場観測を実施し、得られた電場・磁場データを基に、すでに見出されている陸域の下部地殻に存在する低比抵抗領域の日本海側境界、深さ方向への広がりが高い精度で明らかにすることである。

3. 研究の方法

本研究では、山陰地域の海域と陸域で電場磁場観測を実施し、特に長周期側の電磁探査情報データ（見かけ比抵抗・位相の周波数特性情報）を求めることにより、地下の電気比抵抗構造（もしくは電気伝導度構造）を推定する。そのため、海域では OBEM（海底電位差磁力計）や OBE（海底電位差計）を海底に数ヶ月間設置して観測を実施すると共に、陸域ではフラックスゲート磁力計を用いた長周期 MT 観測装置を設置し、探査情報データを求めるための、それぞれの観測点で電場と磁場変動データを取得し

た。観測線は、山陰沖に当初 3 測線に沿った海底観測を計画し、陸域はその南側を延長する予定であったが、最も西に位置する第 3 測線に関しては、観測予定海域での漁業活動が非常に活発であること、また、竹島の領有権問題が存在していることなどのため北側への測線延長が現実的に不可能であることから、観測を 1 点のみで断念せざるを得なかった。2009 年 12 月末までに観測を実施し、構造解析に使用できる探査情報が得られた観測点の分布を図 1 に△、◇、及び▽印で示す。以下では、最も東の測線を第 1 測線（経度 134.3° E に沿った測線：SW100）、大山と隠岐を通る測線を第 2 測線（経度 133.4° E に沿った測線：SW200）と呼ぶ。また、第 1 測線の海域の観測点には、2006 年に観測を実施した 3 測点も含まれている。

2007 年と 2008 年の海域観測の OBEM および OBE の設置・回収に際しては、東京大学海洋研究所共同利用の海洋調査船「淡青丸（JAMSTEC が運航）」および気象庁の「清風丸」の航海を利用した。

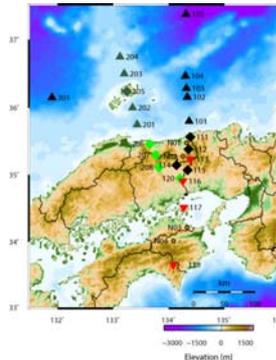


図 1：観測点分布

4. 研究成果

(1) 観測実施の概要

- ・主に観測線 SW100（鳥取・兵庫県境沖）と観測線 SW200（隠岐諸島周辺）の観測を実施した。
- ・海域の観測点では、400 sec～10000 sec の周期帯で探査曲線が求まった。
- ・陸域の観測点に関しては、瀬戸内地域周辺の観測点以外では、長周期 MT 観測を実施した観測点ではおおむね 10 sec～1000 sec の周期帯で良好な探査曲線が求まっている。また、広帯域 MT 観測を実施した観測点のうち条件のよい場合には、0.025 sec～10000 sec の周期帯での探査曲線が求まった。
- ・瀬戸内周辺の観測点では、人工的な擾乱

がひどく、通常の remote reference 法によるノイズ除去法では、構造解析に使用できる探査情報を得ることはできなかった。

図2に各観測点での探査情報（見掛け比抵抗と位相曲線）を示す。

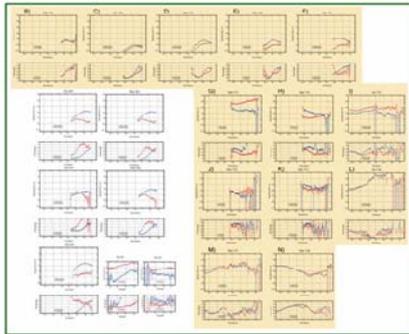


図2：各観測点での見かけ比抵抗・位相曲線

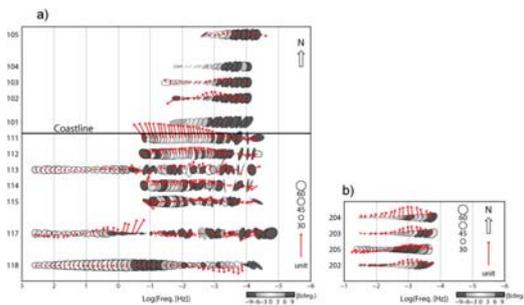


図3：各測点での位相テンソルとインダクション・ベクトル

(2) 時系列解析と構造解析の結果

海域・陸域の探査情報を基に、インダクション・ベクトルや位相テンソルの観測域の空間分布を求め、海の薄層導体近似モデルによる結果と比較を行ったところ、短周期側と長周期側でのインダクション・ベクトル(実部)の向きから、浅部で海域観測領域の南方向に、深部で北西方向に低比抵抗体の存在が示唆される。この短周期側のインダクション・ベクトルの方向は、山陰陸域にほぼ海岸線に沿って存在すると指摘されている低比抵抗領域の存在と調和的である。その意味では、地震波構造から Nakajima and Hasegawa (2007) が指摘した Upwelling flow 領域の一部をとらえているとも考えられる。しかし、長周期側のベクトルが北西方向を向くことから、この上昇領域は、日本海の北部領域の深部からの上昇として理解する必要があるかもしれない。事実、以下で示す第1測線に沿った大規模比抵抗構造モデルでは、日本海

下の深部に低比抵抗領域が広がっている。

一方、山陰沖で観測された、長周期側における位相テンソルの β 角絶対値の増加は、薄層導体近似のモデル計算では再現できなかった。これは、大きな β 角の原因が、海底地形とその上にある海水ではなく、地下比抵抗構造に起因することを示唆していると考えられる。

第1測線で得られた探査情報を用い2次元構造解析を実施した。その結果を図4に示す。この構造解析では、地形の影響が少ないTMモードのみによる解析とし、使用した観測点は、海域ではOBEMを使用して観測した3点、陸域では長周期MT観測点(サイト112)、および、すでに本研究実施の前に取得済みであった鳥取県境付近の広帯域MT測線の2点である。Ogawa and Uchida (1996)のコードを海陸対応に改良して構造解析に用いた。解析に用いた初期モデルは地下 $10\Omega\text{m}$ の1様構造とし、海は $0.3\Omega\text{m}$ 固定としている。海底地形は保安庁のデータを使用し、可能な限りモデルに取り込んだ。陸域の地形は考慮されていない。最適モデルのRMSは0.3である。得られた比抵抗構造まとめると以下のようなになる。

- ①海域の上部では $50\Omega\text{m}$ 程度を示す(A領域)。
- ②海域の深部では $1\Omega\text{m}$ 程度の低比抵抗となっている(B領域)。
- ③陸域上部地殻は高比抵抗、下部地殻は低比抵抗となり、さらに下位(20-30km以深)は高比抵抗に転ずる(C領域)。
- ④陸域の深部はやや高比抵抗となる(D領域)。
- ⑤図の中央深部に位置しているB領域に隣り合うやや高比抵抗域($10\Omega\text{m}$ 強)は虚像の可能性はある(E領域)。

今回の解析により初めて、陸域下部地殻の低比抵抗域と海域を含めた大規模比抵抗構造とを同時に可視化することができ、広帯域MTのデータ、陸域長周期データ、海域データとを合わせて解析できることが示された。

(3) 比抵抗構造の持つ意味

陸域の下部地殻付近に確認される低比抵抗領域の下限はおおよそ20-30kmで、Salah and Zhao (2003)で求められた西南日本の地殻の平均的厚さ30kmと概ね一致することから、陸域の上部マントルは比較的高い比抵抗値である可能性がある。ただし、Ueno et al.(2008)で推定されているフィリピン海プレート上面深度を山陰地方沿岸部まで延長すると、おおよそ深さ100km程度となるが、得られている150km以深の構造の感度があまりないことから、陸域深部の高比抵抗域(D領域)がフィリピン海プレートの陸域深部延長にあたるかどうかについては議論が必要である。

一方、海域の約 50-60km 以深は低比抵抗となり、これがかなり深部まで続いているように見える。これが Nakajima and Hasegawa (2007)で指摘されている深部マントルからの上昇流を示す S 波の低速度域と同じものである可能性がある。しかしながら、トモグラフィで得られた S 波の低速度域は陸域沿岸部の深部に検出されているのに対し、本解析で得られたこの低比抵抗体の南側の境界は海陸境界付近までしか延びていないという違いがある。これが観測点の配置による構造の検出範囲の違いなのか、山陰地方に見られる地域性なのかは、今後さらに検討する必要がある。

第 1 測線に沿った比抵抗構造解析では、磁場と電場を別の場所で観測した場合 (OBE を使用して観測した地点での探査情報の場合に対応) に対する改良インバージョン・コードの検証が十分でなかったため、OBE で観測した地点のデータを用いていない。このため、海底観測による探査データが一部使用できなかったこと、構造解析で設定した陸域側の測線が短いことが、深部構造の解像度不足につながっている可能性がある。従って、今後、改良インバージョン・コードの完全検証を行い、すべての探査情報を使用し、比抵抗モデルの確度を上げる必要がある。

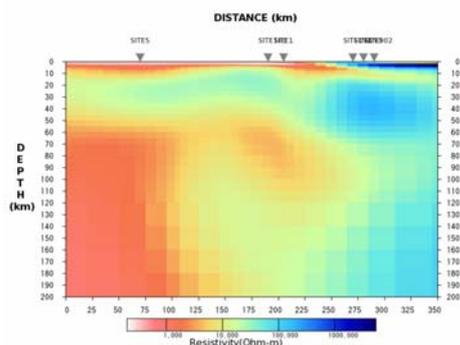


図 4 : 第 1 測線における比抵抗構造図

(4) 浅海用 AMT-OBEM の開発

本研究では、観測器材 OBEM と OBE に、主として JAMSTEC の JM100 型を使用した。100m 以浅の沿岸部の観測点では、研究協力者である下泉・新貝らの開発した浅海専用の OBE を海域観測で使用した。さらに、本研究ではこの観測に使用した装置とは別に、浅海に特化した AMT-OBEM (オーディオ帯域の電磁場変動を観測するための OBEM: オーディオ帯域の電磁場変動は、陸域では浅部の比抵抗構造探査に使用されている) の開発を同時に実施した。そのためまず安価な耐圧容器の開発を行い、試作した円筒型アルミ製耐圧容器でも水深 200m 程度まで十分適用可能であることを確かめ、浅部の構造探査が可能な ELF 帯 (周波数 1Hz~

100Hz 程度) の信号検出の可能性を検討し、機器を設計・製作し、実験を行った。開発した円筒型アルミ製耐圧容器を 2 個用いることで、ガラス球とほぼ同等の浮力 (22kg) を確保することができる。

磁場センサーには、インダクションコイルを使用し、専用フランジを使用して塩ビパイプに格納するようになっている (図 5 に示す、完成した試作機を参照)。アンカードブイ方式での設置・回収方式で実験を行った。

浅海域では数 10 秒から 1 秒程度の帯域では、海水流動が複雑で活発である。これによる電磁場センサーの揺れのため、この帯域は、自然電磁場変動観測におけるデッドゾーンであると言える。そこで、この帯域を避け、数 Hz から 100Hz 程度までの ELF 帯を観測対象とした。

開発した AMT-OBEM で観測可能な深さを検討すると、海底における電磁場は、海底下の比抵抗や水深に従って減衰するので、地上での強度の 1/10 程度までは計測可能であるとすると、周波数 100Hz で水深 100m が限界である。



図 5 : AMT-OBEM の試作機

5. 主な発表論文等

(下線は、研究代表者、研究分担者及び連携研究者)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Takafumi Kasaya and Tada-nori Goto, A small ocean bottom electromagnetometer and ocean bottom electrometer system with an arm-folding mechanism, *Exploration Geophysics*, **40**, No.1, 41-48, 2009. [査読あり]
- ② 南拓人・藤浩明・笠谷貴史・下泉政志・新貝雅文・大志万直人・吉村令慧・塩崎一郎・山崎明・藤井郁子・村上英記・山口覚・上嶋誠, 西南日本背弧における導体地球の長周期応答, CA 論文集, p56-63, 2009. [査読なし]
- ③ 姫野康一郎・安松潤二・新貝雅文・佐藤数美・下泉政志・大志万直人・上嶋誠, 浅海

でのOBEM実験、2008年CA研究会論文集、20-26、2008。[査読なし]

[学会発表] (計 26 件)

- ①南拓人・下泉政志・笠谷貴史・大志万直人・藤浩明、西南日本背弧域における地下比抵抗構造の多次元性、2009年地球電磁気・地球惑星圏学会第124回講演会(会場:金沢大学)、A003-P006、2009年9月28日。
- ②笠谷貴史・大志万直人・藤浩明・下泉政志・塩崎一郎・吉村令慧・藤井郁子・山口覚・村上英記・山崎明、山陰地方で取得された海域・陸域データを用いた山陰地方の比抵抗構造、2009年地球電磁気・地球惑星圏学会第124回講演会(会場:金沢大学)、A003-P007、2009年9月28日。
- ③Naoto Oshiman, Ryohei Yoshimura, Hiroaki Toh, Takafumi Kasaya, Masashi Shimoizumi, Ichiro Shiozaki, Masafumi Shingai, Ikuko Fujii, Satoru Yamaguchi, Hideki Murakami, Akira Yamazaki, and Makoto Uyeshima, EM Imaging beneath the Back-Arc Region of Southwest Japan: Cooperative Seafloor and Land Surface EM Observations, *IAGA*, Sopron, Hungary, 2009年8月28日
- ④大志万直人・藤浩明・笠谷貴史・塩崎一郎・下泉政志・吉村令慧・藤井郁子・山崎明・村上英記・山口覚・上嶋誠、西南日本背弧での海域・陸域 MT 観測、E112-003、2009年連合大会、幕張メッセ、2009年5月20日。
- ⑤ Hiroaki Toh, Takafumi Kasaya, Masashi Shimoizumi, Naoto Oshiman, Ryohei Yoshimura, Ichiro Shiozaki, Ikuko Fujii, Masafumi Shingai, Satoru Yamaguchi, Hideki Murakami, Akira Yamazaki, Makoto Uyeshima and Takuto Minami, Electrical Structure beneath the Back-arc Region of Southwest Japan: Results from a Seafloor Magnetotelluric Array Study, *AGU 2008 Fall Meeting*, 2008年12月19日, San Francisco, USA.
- ⑥ Naoto Oshiman, Ryohei Yoshimura, Ichiro Shiozaki, Satoru Yamaguchi, Hideki Murakami, Ikuko Fujii, Akira Yamazaki, Hiroaki Toh, Takafumi Kasaya, Masashi Shimoizumi, Masahumi Shingai, and Makoto Uyeshima, MT Measurements in the San-in Region, Japan, in Cooperation with Seafloor Electromagnetic Observations in the Sea of Japan, *AGU 2008 Fall Meeting*, 2008年12月19日, San Francisco, USA.

⑦笠谷貴史、大志万直人、藤浩明、下泉政志、塩崎一郎、吉村令慧、藤井郁子、山口覚、村上英記、山崎明、海域・陸域データを用いた山陰地方の比抵抗構造、2008年連合大会、幕張メッセ、2008年5月29日。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大志万 直人 (OSHIMAN NAOTO)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 70185255

(2) 研究分担者

吉村 令慧 (YOSHIMURA RYOKEI)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号: 50346061

(3) 連携研究者

藤 浩明 (TOH HIROAKI)
京都大学・理学研究科・准教授
研究者番号: 40207519

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

笠谷 貴史 (KASAYA TAKAFUMI)
海洋研究開発機構・
地球内部ダイナミクス領域・
技術研究副主任
研究者番号: 90373456

山崎 明 (YAMAZAKI AKIRA)
気象庁・気象研究所・主任研究官
研究者番号: 70354529

藤井 郁子 (FUJII IKUKO)
気象庁・気象研究所・主任研究官
研究者番号: 90450303

(4) 研究協力者

下泉 政志 (SHIMOIZUMI MASASHI)
九州職業能力開発大学校・教授

村上 英記 (MURAKAMI HIDEKI)
高知大学・理学部・准教授

山口 覚 (YAMAGUCHI SATORU)
神戸大学・理学部・講師

上嶋 誠 (UYESHIMA MAKOTO)
東京大学・地震研究所・准教授

新貝 雅文 (SHINGAI MASAFUMI)
九州職業能力開発大学校・准教授