

西南日本背弧における海域・陸域での地磁気電位差観測の概要

大志万直人・藤浩明^{1),2)}・笠谷貴史³⁾・塩崎一郎⁴⁾・下泉政志⁵⁾・吉村令慧
新貝雅文⁵⁾・藤井郁子⁶⁾・山口覚^{7),11)}・中尾節郎・村上英記⁸⁾・山崎明⁶⁾
矢部征・高橋幸裕⁶⁾・森山多加志⁶⁾・増子徳道⁶⁾・清水淳平⁶⁾・源泰拓⁶⁾
大和田毅⁶⁾・豊留修一⁶⁾・岩瀬由紀⁶⁾・上嶋誠⁹⁾・西山陽子¹⁰⁾・新村華奈子¹⁰⁾
梶裕亮⁵⁾・平野裕紀⁵⁾・杉山大輔⁵⁾・鳥越孝一郎⁵⁾・伊藤洋輔⁴⁾・玉井信太郎⁴⁾
望戸裕司⁴⁾・高木悠²⁾・南拓人²⁾・丸谷良博¹⁰⁾・久田大樹⁵⁾・姫野康一郎⁵⁾
安松潤二⁵⁾・岳田和也⁵⁾・山本優二⁵⁾・臼井嘉哉¹²⁾・寺本万里子²⁾
西村和浩・三浦勉

- 1) 富山大学大学院理工学研究部
- 2) 京都大学理学研究科
- 3) 海洋研究開発機構
- 4) 鳥取大学大学院工学研究科
- 5) 九州職業能力開発大学校
- 6) 気象庁柿岡地磁気観測所
- 7) 神戸大学大学院理学研究科
- 8) 高知大学教育研究部
- 9) 東京大学地震研究所
- 10) 富山大学理学部地球科学科
- 11) 大阪市立大学理学研究科
- 12) 神戸大学理学部地球惑星科学科

要 旨

山陰地方の陸域と海域を含む西南日本背弧の地殻・マントル比抵抗構造モデルを構築するために、2006年から海域・陸域での観測を連携させたMT観測を開始し、主に次の2本の測線に沿った観測を実施してきた。1) 鳥取・兵庫両県境付近沖の海域を含む測線 (Profile SW100) と、2) 隠岐諸島周辺海域を含む測線 (Profile SW200) である。これらの測線に沿って、海域では海底磁力電位差計 (OBEM)、および海底地電位差計 (OBE) を用いた観測を、また、陸域においては、広帯域MT観測、長周期MT観測を併用した観測を実施してきた。本報告では、2006年から2009年にかけて実施した、日本海での海底観測と、海底観測と連携した陸域での観測の概要と解析結果の概要を報告する。

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

1. はじめに

西南日本背弧には低周波地震の集中発生場所が存在し (大見, 2002a; 2002b; 2002c), V_p および V_s 速度異常域が検出されるなど (e.g. Nakajima and

Hasegawa, 2007), 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、プレート自体の部分熔融が原因であると考えられている (Kimura et al., 2003)。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かかわりを持っていることになる。

本研究は、地震学的構造情報とは独立な情報で、かつ、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と考える。

これまで、山陰地域では陸上での広帯域 MT (Magnetotellurics) 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(1999b); 塩崎他(2001); 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。

また、山陰地域の一部において NTT 電話回線を使った長基線電場計測による超長周期(256 秒-10,240 秒)の Network-MT 観測が実施されている (塩崎他, 1998; 塩崎他, 1999a)。この山陰地域でのデータと四国で実施された Network-MT 観測のデータ (Yamaguchi et al., 1999) との合同解析によって、プレートに対応する高比抵抗層が山陰にまで達していることを明らかにされた (首藤, 2003)。但し、上記の広帯域 MT 観測の成果を組み込んだ解析ではないのでプレートに対応する高比抵抗層の深さなどについてはまだまだ検討の余地が残されている。

本研究の最終的な目的は、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、MT 法のみならず、GDS 法・VGS 法といった複数の地球電磁気学的構造探査法を併用して、山陰地方での広帯域 MT 法観測により、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。

このような背景のもと、山陰地方の陸域と海域を含む西南日本背弧の地殻・マントル比抵抗構造モデルを構築し、西南日本背弧域における地震活動及び火山分布と比抵抗構造との関係を明らかにすべく、2006 年から日本海の鳥取県沖の海域と陸域での観測を連携させた MT 観測を開始した。現在までに、主に次の 2 本の測線に沿った観測を実施してきた。

1) 鳥取県と兵庫県との県境付近沖の海域を含む測線 (経度 134.3° E に沿った測線: Profile SW100) と、

2) 隠岐諸島周辺海域の日本海を含む測線 (経度 133.4° E に沿った測線: Profile SW200) である。これらの測線に沿って、海域では海底磁力電位差計 (OBEM)、および海底地電位差計 (OBE) を用いた観測を、また、陸域においては、広帯域 MT 観測、ULF-MT 観測装置を用いた長周期 MT 観測を併用した観測を実施してきた。

既に、2007 年までの観測概要に関しては、藤他 (2008) に報告したが、本報告では、2006 年から 2009 年にかけて実施した、山陰日本海での海底観測、および、海底観測と連携して実施した、陸域での観測の概要を総合的に報告する。

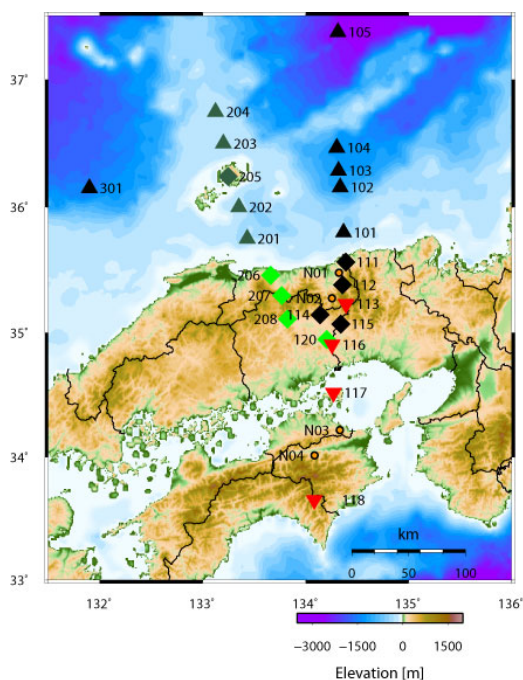


Fig.1 Localities of MT measurement sites in the regions of sea and land beneath the back-arc Region of southwest Japan.

2. 観測の概要

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 や OBE を海底に数ヶ月間設置して観測を実施すると共に、陸域では主に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、それぞれの観測点で電場と磁場変動データを取得した。

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 Fig.1 に、▲、●、及び ○印で示す。最も東の測線が

Profile SW100 であり，大山と隠岐を通る測線が Profile SW200 である。なお，Fig.1 に示された N01, N02, N03, N04 の 印は，山陰地域及び四国で実施された Network-MT 観測のデータ（塩崎他, 1998; 塩崎他, 1999a; Yamaguchi *et al.*, 1999）の内，今回の観測線に近い観測ネットの中心点を示している。後の Phase Tensor 図や疑似断面図には，この Network-MT 観測のデータも合わせて表示している。

Fig.1 に示すように日本海鳥取沖の海底観測点は合計 11 地点で，OBEM, OBE をそれぞれの観測地点に設置した。使用した OBEM は，海洋研究開発機構 (JAMSTEC) で開発された JM100 型 OBEM および JF 型 OBE (Kasaya and Goto, 2009)，京都大学所有の UTHD 型長周期 OBEM，さらに，九州能力開発大学校で開発された KPC-E 型 OBE (姫野他, 2008; 丸山他, 2008) を使用した。

2006 年の海域観測の OBEM および OBE の設置に関しては，鳥取県の海洋練習船「若鳥丸」を，また，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（海洋研究開発機構が運航）」の航海を利用した。そして，2007 年と 2008 年の海域観測では，再び「淡青丸」と気象庁の海洋調査船「清風丸」の航海を利用した。

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（観測点 301 を含む測線）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。

Table 1 Summary of locations of MT sites and equipment types used at each site.

Site ID	Latitude (dd:mm:ss.s)	Longitude (dd:mm:ss.s)	Height (m)	Equipment Type
105	37:22:11.9	134:18:49.0	-2576	UTHD
104	36:28:02.6	134:18:11.2	-1159	JF2
103	36:17:13.4	134:19:10.1	-1236	JM102
102	36:01:04.1	134:21:01.8	-650	JF1
101	35:48:01.3	134:22:02.3	-243	KPC-E
111	35:33:51.5	134:23:28.8	360	U43CF
112	35:22:58.4	134:21:30.7	400	U43CF
113	35:13:51.4	134:23:33.2	995	MTU5
114	35:08:35.0	134:08:22.2	330	U43CF
115	35:04:12.5	134:20:28.7	250	U43CF
116	34:54:22.3	134:15:18.4	330	MTU5
117	34:31:12.5	134:16:15.5	660	MTU5
118	33:39:08.3	134:05:01.4	642	MTU5
204	36:44:59.7	133:07:31.0	-231	JM102
203	36:30:00.1	133:12:01.4	-250	JM101
205	36:14:22.0	133:14:49.5	300	U43CF
202	35:59:59.7	133:21:00.4	-170	JM100
201	35:45:05.2	133:25:59.3	-69	KPC-E
206	35:27:29.9	133:39:36.3	128	U43CF
207	35:17:52.9	133:45:55.0	544	U43CF
208	35:06:38.7	133:49:20.7	265	U43CF
301	36:09:01.4	131:54:00.9	-1535	UTHD

海域の観測にあわせて、長周期帯の地磁気・地電位差変動を観測するため、Fig.1 に示すように陸域で、インダクション型磁力計を用いた広帯域 MT 装置 (MTU5: Phoenix Geophysics 社製)、および、フラックスゲート型磁力計を用いた MT 観測装置 (U43CF: TIERRA TECNICA 社製) を使用して MT 観測を実施した。陸域の観測点は、印が長周期 MT 観測点を、また、印が広帯域 MT 観測点を示す。

海域・陸域の観測点の緯度・経度・標高(深さ)を Table 1 に示す。上から順に SW100 測線の最北の観測点から順に、SW200 および、301 観測点の順で位置情報が示されている。

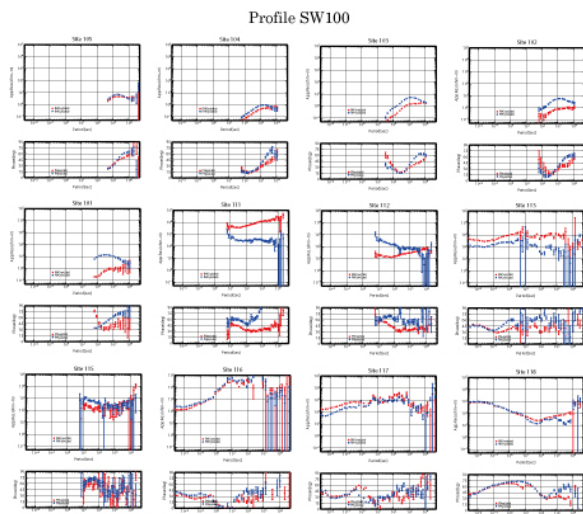


Fig.2(a) Apparent resistivity and phase curves at each MT sites along Profile SW100.

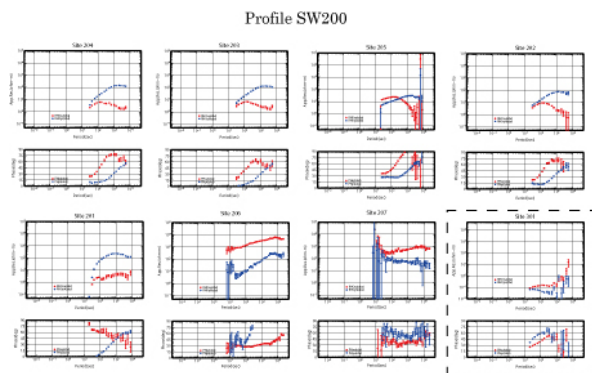


Fig.2(b) Apparent resistivity and phase curves at each MT sites along Profile SW200.

3. 観測結果

2つの主な測線の内、2006年から2007年にかけて観測を実施した SW100 測線では、海域においては大和海盆西縁にかけての約 150 km の範囲で 5 観測点を設けた。また、陸域においては 9 観測点を設

け、その測線の南端は四国まで達している。しかしながら、陸域の 9 観測点の内、瀬戸内海に近い岡山県内の観測点では、電車の漏えい電流などのノイズのため、見掛け比抵抗・位相曲線の質はそれほど良質ではない。

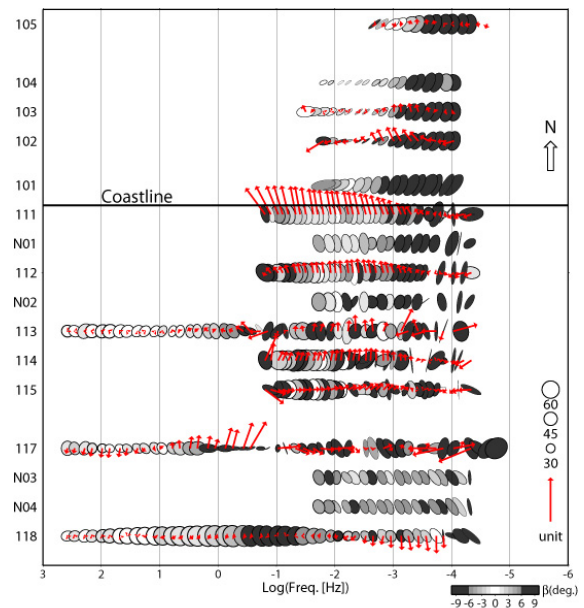


Fig.3(a) Phase tensors and induction vectors at each sites along Profile SW100.

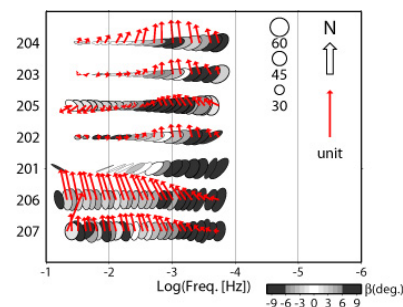


Fig.3(b) Phase tensors and induction vectors at each sites along Profile SW200.

一方、2008年に海底観測を実施した SW200 測線においては、海域では隠岐ノ島を挟んで 4 観測点を設け、さらに、海域観測を実施するのに合わせて隠岐ノ島で長周期 MT 観測も実施した。また 2009年には、SW200 測線の陸域側で長周期 MT 観測を 3 観測点で実施した。各観測点で推定された、見掛け比抵抗・位相曲線を SW100 測線と SW200 測線ごとにそれぞれ Fig.2(a)と Fig.2(b)にまとめて示す。なお、Fig.2(b)には 301 測点の見掛け比抵抗・位相曲線も併せて示されている。図中の赤いプロットが y_x および y_x (電場の東成分と磁場の北成分の比から求めた見掛け比抵抗と位相)で、青のプロットが x_y

および p_{xy} (電場の北成分と磁場の東成分の比から求めた見掛け比抵抗と位相) である。

Fig.2(a)と(b)を見るとわかるように, SW100, SW200 両測線とも, 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ている。また, 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 の周期帯での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四国南端の観測点では, 0.025 sec ~ 10000 sec の周期帯で探査曲線が求まっている。Fig.2 には示していないが, 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, 残念ながら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。

Fig.3 に各観点での Phase Tensor (Caldwell et al., 2004)の周波数に対する変化を, 測線ごとに上から北の観測点から順に示す。なお, Fig.3(a)に示される SW100 測線の結果には, Network-MT 観測の結果を用いた Phase Tensor も併せて示されている。また, 図中に示されている矢印は, Induction Vector である。OBE での海底観測点や Network-MT 観測点では, 磁場観測データがないため Induction Vector は示されていない。海域の Phase tensor はほとんど同じ傾向を示しているが, 大局的な長軸の向きは, 観測線 SW100 に沿う観測点では, 長周期側では NE 方向をいているが, 測線 SW200 上の観測点では ENE 方向を向く傾向がある。

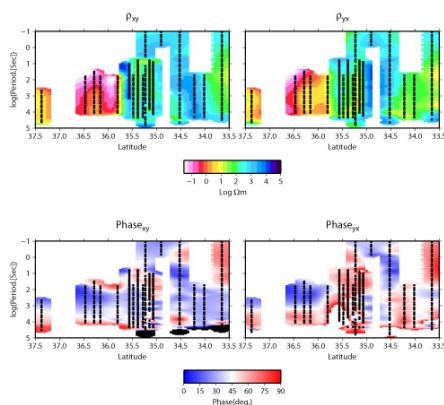


Fig.4(a) Pseudo-sections for the observed data along Profile SW100.

見かけ比抵抗と位相を周期の長い部分を深い情報と見立てた擬似断面図を Fig.4 にそれぞれの観測線ごとに示す。測線 SW100 の擬似断面に関しては, 既に上で述べたように, 塩崎他(1998), 塩崎他(1999a), Yamaguchi *et al.* (1999) による山陰地域及び四国での Network-MT 観測の解析結果の内, Fig.1

に示された N01, N02, N03, N04 の印がその観測ネットの中心になるものも合わせて, 擬似断面として表示されている。

SW100 測線の位相の p_{xy} 成分 (構造走向が東西であると仮定すると TM モードに対応する) に注目すると, 日本海に近い陸域の観測点で, 周期約 10 秒から 100 秒にかけて 45 度より大きい位相領域があり, さらに長周期になると再び位相が小さくなるのが見て取れ, 低比抵抗領域の存在が示唆される。一方, 位相の p_{yx} 成分 (構造走向が東西であると仮定すると TE モードに対応する) は, 海岸線付近の観測点で位相が非常に大きくなっていることが分かる。これは塩崎他(1999b)や塩崎他(2001)の広帯域 MT 観測の際にも同様の傾向が見られたことと調和的である。一方, SW200 測線では, 隠岐の観測点 205 を中心として, 位相の p_{xy} 成分に非常に大きい領域が見られる。位相の p_{yx} 成分に関しては, SW100 測線と同様な傾向が見られる。

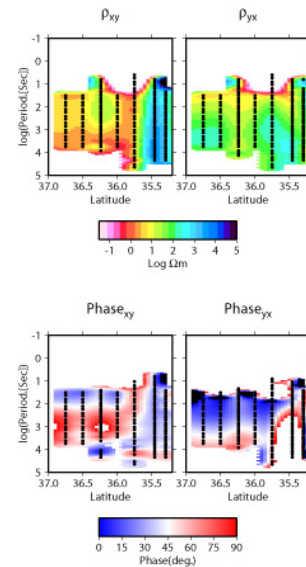


Fig.4(b) Pseudo-sections for the observed data along Profile SW200.

4. 予察的な時系列解析 および構造解析の結果

これまで得られた海域と陸域の観測データをもとに, データ解析を行ってきた。海域のデータ解析に関しては, 藤他(2008), 南他(2009)がある。

ここでは, その後の解析の概要に関して, 以下に簡単に報告する。

隠岐での観測を含む, 海域で観測されたデータに関しては, 海を薄層導体近似したモデル (McKirdy *et al.*, 1985) を用いて, 得られた探査情報中に含まれる海底地形効果を評価し, 山陰沖の大局的な地下比抵抗構造の予備的な考察を行った。

Fig.3 にも示されるように、海域の観測点での Induction Vector は 500 秒以上の長周期側では、多くの観測点で、ほぼ N30° E を向く傾向がある。また、位相テンソルの 角の大きさが、1000 秒以上で 6 度以上の値を示し、比抵抗構造の 3 次元性が強いことが示唆された。しかしながらこういった情報には、高い電気伝導度の値を持つ海水層、つまり、海底地形の上に存在している海の影響が強く反映されている(本報告書ではこれを海底地形効果と呼ぶ)。そこで、上に述べた薄層導体近似モデルを用いて、周期 240~2048s の帯域での海底地形効果の Induction Vector および Phase Tensor への影響を見積もり、それを基に観測値を補正したところ、短周期側と長周期側での補正後の Induction Vector の向きから、この領域においては浅部で南方向に、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 Induction Vector 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、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 Upwelling flow 領域の上昇は、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、それに対応するような低比抵抗領域が広がっている。いずれにせよ今後の検討が必要である。

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 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、角の高まりが、地形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。

SW100 測線で得られた探査情報を用い予察的な 2 次元構造解析を実施した。この 2 次元構造解析では、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、海域の OBEM を使用して観測した 3 点、陸観測点は Site112、および、塩崎他(1999b)によって取得され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 m の一様構造とし、海は 0.3 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を図示はしないが、その特徴をまとめると以下ようになる。(A)海域の上部では 50 m 程度を示す。(B)海域の深部では 1 m 程度の低比抵抗となってい

る。(C)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。

(D)陸域の深部はやや高比抵抗となる。

(E)図中央深部に位置している領域(B)に隣り合うやや高比抵抗域(10 m 強)は虚像の可能性がある。

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伸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。

上に述べた SW100 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、一部の観測点データが使用できなかったこと、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、すべての観測データを使用し、可能な限り測線上に均質な観測点配置としたうえで、比抵抗モデルの確度を上げる必要がある。

5. まとめ

2006 年から 2009 年の間に実施した観測結果をまとめると以下ようになる。

- ・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 の周期帯での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（図示はしていない）。
- ・海域の Phase tensor はほとんど同じ傾向を示す。しかし、観測線 SW100 では長周期側では NE 方向を向いているが、観測線 SW200 では ENE 方向を向いている。

謝 辞

本研究は、科学研究費（課題番号：19340127）、および、平成 18 年度防災研究所の防災研究推進特別事業経費（研究課題：日本海を含む山陰地域での下部地殻と背弧マントルを比抵抗構造で見る）、および、平成 20 年防災研究推進特別事業経費（研究課題：浅海を対象とした次世代型海底電位差計の開発および電場データの新しいノイズリダクション手法の開発）により研究費のサポートを得た。

本研究の実施に当たっては、陸域に関しては、各観測点の土地所有者の方々には、快く器材の設置許可を頂いた。その暖かい協力に対して謝意を表明したい。また、海域での観測点の選定にあたっては、観測海域に関係する各漁協等の機関（兵庫県但馬県民局、兵庫県漁業協同組合連合会但馬支所、浜坂町漁業協同組合、鳥取県農林水産部、JF鳥取漁業協同組合、JF田後漁業協同組合、日本海かにかご漁業協会、鳥取県かにかご漁業組合、水産庁境港漁業調整事務所、漁業協同組合JFしまね、鳥根県農林水産部、福井県水産課）には大変お世話になった。これら各機関の協力が無ければ海域での観測を実施できなかった。心よりお礼申し上げたい。

また、日本海沖での海底観測に際しては、2006年の観測機器設置には、鳥取県の海洋練習船「若鳥丸」を、また、観測機器の回収には、東京大学海洋研究所の共同利用である海洋調査船「淡青丸」を使用させていただいた。さらに、2007年および2008年の海底観測機器の設置・回収には東京大学海洋研究所の共同利用である海洋調査船「淡青丸」と気象庁の観測船「清風丸」を使用させていただいた。

最後に、この観測研究実施中に、研究実施に必要な幾種もの申請書類、依頼書類を的確に処理していただいた研究室の大石温子氏に深く感謝の意を表したい。氏のサポートが無ければこれら書類処理に我々研究者自身が多く時間を費やさなければこの観測研究を実施できなかったらう。

参考文献

- 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（2008）：浅海でのOBEM実験，2008年CA研究会論文集，20-26.
- 笠谷貴史・大志万直人・塩崎一郎・中尾節郎・矢部征・近藤和男・藤田安良・宇都智史・吉田賢一（2002）：兵庫県北部域での地殻比抵抗構造，京都大学防災研究所年報，45, B, 571-576.
- 丸山瑞恵・久田大樹・杉内裕明・姫野康一郎・安松潤二・小玉幸太郎・本田義明・小島佑介・瀬戸口健・浦垂征・佐藤数美・新貝雅文・下泉政志・藤浩明・笠谷貴史・大志万直人（2008）：浅海用OBEの開発，2008年CA研究会論文集，41-46.
- 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（2009）：西南日本背弧における導体地球の長周期応答，2009年CA研究会論文集，p56-63.
- 大見士朗（2002a）：西南日本内陸の活断層に発生する深部低周波地震，月刊地球，38，109-113.
- 大見士朗（2002b）：鳥取県西部地震の震源域の深部低周波地震，月刊地球，38，157-161，2002b.
- 大見士朗（2002c）：西南日本内陸の活断層に発生する深部低周波地震，京都大学防災研究所年報，45，545-553.
- 塩崎一郎・西垣俊宏・山口高広・村上英記・大志万直人・上嶋誠・山口覚・歌田久司・西田良平・住友則彦（1998）：中国地方におけるネットワークMT法観測，地震研究所彙報，73，319-344.
- 塩崎一郎・西垣俊宏・大志万直人・村上英記・上嶋誠・山口覚・歌田久司・住友則彦（1999a）：ネットワークMT法観測から得られた中国地方東部の電気比抵抗構造(序報)，鳥取大学工学部研究報告，30, No.1, 49-60.
- 塩崎一郎・大志万直人・藤原茂樹・福本隆史・西垣俊宏・矢部征・住友則彦（1999b）：MT法を用いた山陰地方東部の深部比抵抗構造の概要，京都大学防災研究所年報，42, B-1, 189-201.
- 塩崎一郎・大志万直人・足立英二・宇都智史・平井理華子・前田和彦・吉村令慧・村上英記・山口覚・西山浩史・松山和也・野口竜也・矢部征（2001）：広

- 帯域 MT 法を用いた 2000 年鳥取県西部地震震源域の深部比抵抗構造調査 (序報), 京都大学防災研究所年報, **44**, B-1, 293-303.
- 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地球惑星科学専攻修士論文, pp.95.
- 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・山口寛・上嶋誠 (2008): 西南日本背弧の海底電磁気観測, 2008 年 CA 研究会論文集, 27-34.
- Caldwell, T. G., H. M. Bibby, and C. Brown (2004): The magnetotelluric phase tensor, *Geophys. J. Int.*, **158**, 457–469.
- Kasaya, T. and T. Goto (2009): A small ocean bottom electromagnetometer and ocean bottom electrometer system with an arm-folding mechanism (Technical Report), *Exploration Geophysics*, **40**, 1, 41-48.
- Kimura, J., T. Kunikiyo, I. Osaka, T. Nagao, S. Yamauchi, S. Kakubuchi, S. Okada, N. Fujibayashi, R. Okada, H. Murakami, T. Kusano, K. Imeda, S. Hayashi, T. Ishimaru, A. Ninomiya, and A. Tanase (2003): Late Cenozoic volcano activity in the Chugoku area, southwest Japan arc during back-arc basin opening and reinitiation of subduction, *The Island Arc*, **12**, 22-45.
- McKirdy, D. McA., Weaver, J. T. and Dawson, T. W. (1985): Induction in a thin sheet variable conductance at the surface of a stratified earth – II. Three-dimensional theory, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **80**, 177-194.
- Nakajima, J. and A. Hasegawa (2007): Tomographic evidence for the mantle upwelling beneath southwestern Japan and its implications for arc magmatism, *Earth and Planetary Science Letters*, **254**, 90-105.
- Ogawa, Y., and T. Uchida (1996): A two-dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift, *Geophys. J. Int.*, **126**, 69-76.
- Salah, M. and D. Zhao (2003): 3-D seismic structure of Kii Peninsula in Southwest Japan: Evidence for slab dehydration in the forearc. *Tectonophysics* **364**, 191-213.
- Ueno, T., Shibutani, T., and Ito, K. (2008): Configuration of the continental moho and Philippine Sea slab in southwest Japan derived from receiver function analysis: relation to subcrustal earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **98**, 2416-2427.
- Yamaguchi, S., Y. Kobayashi, N. Oshiman, K. Tanimoto, H. Murakami, I. Shiozaki, M. Uyeshima, H. Utada, and N. Sumitomo (1999): Preliminary report on regional resistivity variation inferred from the Network MT investigation in the Shikoku district, southwestern Japan, *Earth, Planets and Space*, **51**, 193-203.

Electromagnetic Observations in Sea and Land to Image Resistivity Structure beneath the Back-Arc Region of Southwest Japan

Naoto OSHIMAN, Hiroaki TOH^{1),2)}, Takafumi KASAYA³⁾, Ichiro SHIOZAKI⁴⁾, Masashi SHIMOIZUMI⁵⁾
 Ryokei YOSHIMURA, Masafumi SHINGAI⁵⁾, Ikuko FUJII⁶⁾, Satoru YAMAGUCHI^{7),11)}, Setsuro NAKAO
 Hideki MURAKAMI⁸⁾, Akira YAMAZAKI⁶⁾, Sei YABE, Kousuke TAKAHASHI⁶⁾, Takashi MORIYAMA⁶⁾
 Norimichi MASHIKO⁶⁾, Junpei SHIMIZU⁶⁾, Yasuhiro MINAMOTO⁶⁾, Takeshi OWADA⁶⁾
 Shuichi TOYODOME⁶⁾, Yuki IWASE⁶⁾, Makoto UYESHIMA⁹⁾, Yoko NISHIYAMA¹⁰⁾
 Kanako SHINMURA¹⁰⁾, Yusuke KAKOI⁵⁾, Yuki HIRANO⁵⁾, Daisuke SUGIYAMA⁵⁾
 Kouichiro TORIKOSHI⁵⁾, Yousuke ITO⁴⁾, Shintaro TAMAI⁴⁾, Yuji MOCHIDO⁴⁾
 Yu TAKAGI²⁾, Takuto MINAMI²⁾, Yoshihiro MARUYA⁵⁾, Hiroki KUDEN⁵⁾
 Kouichiro HIMENO⁵⁾, Junji YASUMATSU⁵⁾, Kazuya TAKEDA⁵⁾, Yuji YAMAMOTO⁵⁾
 Yoshiya USUI¹²⁾, Mariko TERAMOTO²⁾, Kazuhiro NISHIMURA, and Tsutomu MIURA

1) Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama

2) Graduate School of Science, Kyoto University

3) Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

- 4) Graduate School of Engineering, Tottori University
- 5) Kyushu Polytechnic College
- 6) The Kakioka Magnetic Observatory, JMA
- 7) Graduate School of Science, Kobe University
- 8) Research and Education Faculty, Kochi University
- 9) Earthquake Research Institute, University of Tokyo
- 10) Faculty of Science, University of Toyama
- 11) Graduate School of Science, Osaka City University
- 12) Faculty of Science, Kobe University

Synopsis

In the San-in region, Japan (the Tottori and surrounding region in the northern part of Chugoku district, southwestern Japan), epicenters of seismic activities are distributing within a line belt with a width of about 4-9 km along the coastal line of the Sea of Japan. In order to investigate deep resistivity structure beneath the seismic belt and clarify the relationship between subducting Philippine Sea plate and the deeper resistivity structure beneath the San-in region, we have carried out not only seafloor EM measurements using OBEM and OBE but also longer period MT surveys on land since 2006 along two profiles, SW100 and SW200 passing through almost N-S lines of longitudes, 134.3E and 133.4E, respectively. We report the outline of the measurements in the region of sea and land beneath the San-in region, and preliminary results of the data analysis in this manuscript.

Keywords: marine investigation, earthquake, the San-in region, Geoelectromagnetism, crust, mantle, structure of lower crust, resistivity structure, conductivity structure