

鳥取県環境学術研究等振興事業費補助金研究実績報告書

研究期間（2年目/3年間）

研究者 又は 研究代表者	氏名	(ふりがな) しおざき いちろう 塩崎 一郎
	所属研究機関 部局・職	鳥取大学大学院工学研究科・准教授 電話番号：0857 - 31 - 5642 電子メール： shiozaki@tottori-u.ac.jp
研究課題名	地球電磁気学的手法に基づく山陰海岸ジオパーク・ ジオスポット「鹿野・吉岡断層」の地下構造研究 -断層両端部の構造解明を通して地下の「やわらかい領域」の広がりを考える-	
研究結果	<p>[本年度の研究結果（研究方法、実験結果、分析結果等）について、当初の研究計画に沿って端的に記すこと。詳細なデータ等については、別に添付も可。] [非公開としたい部分は、罫線で囲うなどして明確にし、その理由を記すこと。]</p> <p>当初の研究計画書では次の3つの柱を記した。各項目について、研究結果を記す。</p> <p>(1) 電磁場ノイズレベル調査：「研究計画」として説明資料の図1で示される、やや広域の鹿野・吉岡断層東西延長両端地域の2016-17A測線～2014測線で囲まれるエリア内で人工電磁場発生源（例えば、高圧線や商用電源、電話線等からの漏洩電流）に起因するノイズレベルを調べるために、合計33地点においてテストを用いた電磁環境調査を実施した。</p> <p>(2) 地下比抵抗構造調査：「研究計画」として、上述のノイズレベル調査結果をふまえ、自然界に存在する周期10000秒までの広帯域の電磁場変動を観測するMT法調査を行った。本年度は、鹿野・吉岡断層東西延長両端地域ならびに断層直下の下部地殻の不均質構造の実態の解明、すなわち、詳細な構造解明を通して地下の「やわらかい領域」の広がりを考えるために、鳥取県山陰海岸ジオパーク海と大地の自然館安藤和也専門員と共同して、同地域において両断層や現在も続く地震活動の帯を覆うイメージを設定して合計9地点において広帯域MT観測を実施した（図2におけるオレンジ★色で示す地点が本年度の観測点に該当）。</p> <p>(3) 地下比抵抗構造解析：「研究計画」として、既存データとともに統合した構造解析を実施することとし、(a)本研究により取得されたデータを用いて代表的なMT法探査曲線である、見かけ比抵抗曲線および位相差曲線を求め、それを図3に示した。</p> <p>(b) 本事業による2017年度（本年度）ならびに2016年度データおよび既存データを統合し、電場と磁場の比を元に推定されるインピーダンスの不変量という量に着目した1次元比抵抗構造解析を行った。得られた結果をもとに、鳥取県東部から中部にかけての特定の深度についての予察的な空間的な比抵抗構造モデルを描いた図4、ここでは深度2km、5km、10km、15kmについて描画し、同地域の地震活動の帯と対比を試みた。</p> <p>(c) 上の(b)で示すデータを用いて、2017年度(本年度)データおよび既存データを統合し、東西走行を仮定したモデル解析を実施、鹿野・吉岡断層およびその周辺域の3測線に関する暫定的な2次元比抵抗構造断面を得た図5。加えて、2016年度および既存データに関しても同様の解析を行い、2016年鳥取県中部の地震震源域を横断する2次元比抵抗構造断面を得た図6。</p> <p>(d) 遠方地域（四国地方東部）における磁場参照データMT法観測：高知県香美市物部町久保高井において磁場参照データ点を設けMT法観測を実施した。データ処理・解析の際に四国地方の遠地磁場参照データを用いたレファレンス処理の効果を確認した。</p> <p>以上が本研究の結果である。</p>	

研究成果

[本年度の研究成果(知見・技術)について、具体的に記すこと。詳細なデータ等については、別に添付も可。] [非公開としたい部分は、罫線で囲うなどして明確にし、その理由を記すこと。]

ここでは、上述の研究結果(3)を具体的に意味付けることで研究成果の概要を記すが、その研究成果の概要を記す前に、本研究の背景について簡単に説明しておきたい。

山陰地方に、[図7](#)に示されるように線上配列する1943年鳥取地震、1983年鳥取県中部の地震、2000年鳥取県西部地震などの内陸大地震震源域の深部地殻に電気低比抵抗(電気が流れやすい)領域があることを既に筆者らの研究グループは明らかにした([図8-1](#))。その領域を「やわらかい」と仮定すると、その上盤側の地殻にひずみが集中し、内陸地震を発生させる定性的なモデル(飯尾、2009)となる。最近のGPS研究(西村2015、[参考資料1](#))により明らかにされた山陰【ひずみ集中帯】はこのことを支持する。

しかしながら、2014年度に我々が得た新知見をふまえると話は単純ではないことが分かった。なぜなら、鹿野・吉岡断層西方延長部の2次元構造モデル(2014測線モデル、[図8-2](#))はその両側の既存測線で得られたモデルとは異なるから。ひずみをもたらす原因と考えられる「やわらかい」領域が、空間的に連続して線上配列をしていない可能性が出てきた。この研究成果は、同地方における基盤的比抵抗構造研究の重要性を示している。1943年鳥取地震の地震断層である鹿野・吉岡断層西方延長部の「やわらかい」領域が空間的にどのように連続的に分布するのか。偶然にも2016年10月に発生した鳥取県中部の地震との関連を解明するために本年度継続的に実施した研究は、中部地震域では、[図6](#)に示されるように既存の研究結果と調和的な比抵抗構造が得られた。

山陰地方における基盤的比抵抗構造研究から低比抵抗領域をもたらすもの(地殻流体(水))の連続性(規模)を詳細に明らかにすることができれば、災害の軽減に貢献する重要な指標の一つとして提示できる可能性が期待される。

さて、以降に本年度の鹿野・吉岡断層周辺域に関する具体的な研究成果を記す。断層周辺域直下の下部地殻の不均質構造の実態の解明を通して「やわらかい領域」の広がりを考えるために、両断層や現在も続く地震活動の帯を面的に測点を設定して広帯域MT観測を実施した。MT法の代表的な探査曲線である見かけ比抵抗曲線を推定した([図3](#))が、概ね観測期間中、太陽活動が活発な時期に遭遇したため、幅広い周波数にわたり比較的良質のデータを取得することができた。これを第一の研究成果と考える。

本年度の研究対象エリアでは、2013年度以前の地震・火山噴火予知研究計画事業はもとより、2014年度ならびに2016年度鳥取県環境学術研究振興事業により、粗い観測点密度ではあるが広帯域MT観測データが既に取得されているところもある。本年度データを統合して得られた鳥取県全域の深度別の空間的な比抵抗構造モデルは、鳥取県中西部域に構造の不連続があるものの、東部から西部にかけて連続する形態をもって、ほぼ東西方向に帯状に深さ10km前後に低比抵抗領域が分布することを示した([図4](#))。これに同地域で発生する地震活動の帯を対比させると、大局的にみれば、山陰地方の日本海沿岸部にみられる帯状の地震活動帯に沿うように、地殻深部の低比抵抗領域とその北側の高比抵抗領域が形成する境界部の関連が示唆された。

しかしながら、本年度研究をもとに鹿野・吉岡断層周辺域の細部構造をみれば、高/低比抵抗境界部は必ずしも直線上に存在しない可能性が高い。このことは、得られた2次元モデル解析の結果([図5](#))にも表れている。これらの断層域を南北に横断する3つの測線に関する暫定的な2次元構造モデルでは、既存の研究結果(例えば、[図8-1](#))と調和するものは2017-1測線に関して得られたモデルのみであり、他のモデルは、必ずしも、既存の成果と調和していない。これらの不整合に関しては、本質的には3次元構造の存在のもと、観測点分布の偏りや構造の推定精度に関係する測線長の問題など、検討・解決すべき問題もあり、今後の課題としてここに記しておくたい。あくまでも予察的な段階ではあるが、このような大局的ならびに局所的視野で得られたそれぞれの新知見が、本年度の最大の研究成果であるといえよう。

最後に、データ処理に関連した研究について、試みとして四国地方に磁場参照点を設置した場合のリモートリファレンス処理の妥当性について調査した。その結果、条件が整えば提供を受けることができる岩手県沢内村データと比して遜色なく、磁場参照記録として使用できることが示された([図10](#))。

以上より、本年度は、鳥取地震(1943年、M7.2)地震断層である「鹿野・吉岡断層」およびその周辺域において「やわらかい」領域の空間的連続性を解明するために、両断層や現在も続く地震活動の帯を覆うイメージを設定して広帯域MT観測を実施した([図1, 2](#))。その結果、大局的には、山陰地方の日本海沿岸部にみられる帯状の地震活動帯に沿うように、地殻深部の低比抵抗領域とその北側の高比抵抗領域が形成する境界部の調和が示唆された(5月に幕張メッセで開催されるJapan Geoscience Union-American Geophysical Union joint Meeting 2018へこの成果を投稿した。その原稿要旨を添付する)。一方で、局所的には地殻深部の低比抵抗領域は空間的に連続して線上配列をしていない可能性も示唆された。この不整合に関しては、本質的には3次元構造の存在のもと、観測点分布の偏りや構造の推定精度に関係する測線長の問題など、検討・解決すべき問題もあり、今後の課題として記しておくたい。

<p style="text-align: center;">次年度研究 計画</p>	<p>[次年度の研究計画について簡潔に記すこと]</p> <p>鳥取県における既存の広帯域MT法観測は、主に、内陸地震震源域（活断層域も含む）や第四紀火山地域等の活構造地域を対象とした研究計画に基づくものであった。2016年鳥取県中部の地震はそのような場所に該当しないところで発生した。もし、事前にこの地震発生場所に関する知見を得ていたのであれば、例えば、本研究で示される、地殻内の低/高比抵抗領域の境界をひとつの指標として、災害の軽減に貢献するための情報提供の可能性を検討する必要があるかもしれない。ただし、場所の可能性に言及できたとしても「いつ」という情報については、現段階では、この研究の範囲で提示することはできないという課題は依然として残る。</p> <p>このような観点から、山陰海岸ジオパーク・ジオスポットである「鹿野・吉岡断層」延長両端部に関する地下構造を提出することを通して、鳥取地震（1943年、M7.2）を内含する山陰地方東部の地震発生物理モデルの構築に資する基礎データを提出することで地域の防災・減災に貢献するためには、その低比抵抗領域の空間的連続性を東側と西側において、より詳細に追跡することが必要不可欠と考え、調査研究を実施したが、既存の研究成果の妥当性を大局的には確認しつつも、局所的な不整合を新知見として得た。この不整合に関しては、本質的には3次元構造の存在のもと、観測点分布の偏りや構造の推定精度に関係する測線長の問題など、検討・解決すべき問題もあり、今後の課題として記した。</p> <p>従って、今述べた課題もふまえ、2018年度の研究計画として以下4項目を挙げる。</p> <p>(1) 当初計画通り2018測線で広帯域MT観測を実施する。このエリアは、鳥取県全域の深度別の空間的な比抵抗構造モデルから、大局的に見た場合、構造の不連続が示された鳥取県中西部域に隣接する地域である。大山火山山体下域への構造の連続性の解明が期待される。また、当初計画にはない対象域ではある鳥取-岡山県境エリアも既に追加申請した（図9）。この地域は2016年度ならびに2017年度観測データを用いた地震震源域の深部方向の構造推定精度の向上をはかるために必須であると判断した。</p> <p>(2) 本年度得られたデータと既存のデータを統合して、本年度未着手であった鳥取県東部から中部にかけての電磁気学的構造の走向解析を行う。</p> <p>(3) 以上(1)(2)の研究計画を遂行することにより、まずは、山陰地方の（人類にとっても同じことがいえるが）未解決課題である内陸地震が起きる・起こらない地域の地下構造の特徴が比抵抗構造の差異として抽出できるものと期待される。我が国の全く新しい活断層の長期評価（2016/7/1）では、これまでの活断層評価では地表に現れている部分のみとした対象を地下の延長部も推定して評価することとしており（参考資料2）、本研究が目指す内容はその方向を先取りした形で実現できる可能性を示す。</p> <p>すなわち、鹿野・吉岡断層の現在の姿を理解することを通して県民の地域地震災害の軽減に貢献できる基礎資料となるとともに、この取り組みは「地域の持続的な発展と地質遺産の保護の両立」の概念のもと研究・教育・防災等に関するジオパーク活動の土台を作る知見に資するものと期待される。ここで得られた鳥取県東～中部を統合した比抵抗構造モデルを関係機関へ提出する。</p> <p>(4) 共同研究者の飯尾氏が現在、断層に働く力や断層の強度の大きさを解明するために、鳥取・島根県境地域で山陰地方の地震帯の満点計画を実施している。同研究と連携することにより、上述の「いつ」という情報について繋がる研究として、ある断層においてどの程度地震が差し迫っているか否かを、より直接的に評価するための、鳥取の定量的内陸地震発生過程モデルの構築に重要な制約条件を与えるデータに資するものと期待される。</p> <p>これは、人類にとって未解決の挑戦すべき第一級の研究テーマといえる。鳥取地震を含む横ずれ型の内陸地震発生の物理モデルの解明のための基礎的データを提出することにより中長期的な地震防災・減災に貢献するための礎とする。</p> <p>※ 最後に調査手法について簡単に述べる。ここでは電気の流れやすさを調査する方法としてMT法を用いる。MT法は地表で外部起源の地磁気変動とそれにより誘導された地電流を測定し、その両者間の振幅と位相差をもとに地下比抵抗構造を推定する手法である（その概略については添付した参考資料3を添付した）。</p>	
	<p>報告責任者</p>	<p>所属・職 氏名</p>

		電子メール ken-jyosei@ml.adm.tottori-u.ac.jp
--	--	---

- 注1) 表題には、環境部門、地域部門、北東アジア学術交流部門のいずれかを記載すること。
- 2) 「研究期間（ 年目/ 年間）」及び「次年度研究計画」は、環境部門のみ記載すること。
- 3) 研究者の知的財産権などに関する内容等で、非公開としたい部分は、罫線で囲うなど明確にし、その理由を記すこと。
- 4) 研究実績のサマリーを併せて提出すること。

「若いもんには負けられん」。江府町宮市の住民で組織するボランティアグループ「トンカチ屋さん」(14人、末次寛三男会長)の平均年齢は70歳以上

け合う

(江府町)

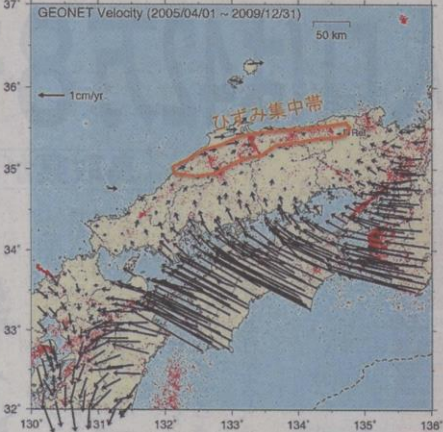
受託作業のほか、医大の学生との交流も師を招いての健康講座一盛んで、昨年は一掃にや料理講習、消火訓練、田植えや稲刈りに汗を流した。祭りのみこを見、大工の技術を持つ物する高齢者のため、重機を操る。最に、広場にはベンチを、高齢の80歳の女性に慰

福広く

できることで協力しながら、活動は今年14年目を迎えた。河上英明幹事長(72)は「一年を取って社会に参加できることが生きがいになっている。作

11月に鳥取市扇町のれあい会館であった高校生第1回手話パフォーマンス甲子園」の模範ターネット配信さ観客の感動を呼んだ高校生による手話表したダンス、劇、朗

手話言語条例を鳥取から手話が可能を発信。予予抜いた全国の高支援学校20校の生た。ダンス、劇、



山陰の「ひずみ集中帯」の位置 (西村卓也准教授提供)



西村卓也准教授

京都大防災研究所地震学知研究センターの西村卓也准教授による全国のGPSの観測データを基にした調査で、山陰地方の地下にひずみがたまって活断層に地震が起りやすい「ひずみ集中帯」があることが分かった。これまで活断層が少なく考えられてきた山陰地方だが、大地震を起す活断層が隠れている可能性があるという。同センターは昨年12月から鳥取県を中心に独自のGPS観測点を設けており、1年間て詳しく調べ。

国土地理院が全国に300カ所に設置しているGPS観測点「電子基準点」のデータを西村准教授が分析した結果、鳥取県から島根県にかけての日本海にずれ、太平洋側は西にずれる動きが観測されている。今回見つかったひずみは太平洋側と離れた所で東にずれ、地下に伏在する断層があって、ゆっくりずれているため」と仮説を立て、未知の活断層が存在する可能性を指摘している。

大地震起こす断層存在か

山陰に「ひずみ集中帯」

京大准教授調査で判明

地域の内部部ではずれが見られず、鳥取県から島根県東部の海岸線から内陸部に入った位置にひずみ集中帯が存在するといっ。

同センターは昨年12月、独自に鳥取県内11カ所、岡山県内2カ所にGPS観測点を設置し、1年間でひずみ集中帯の変動を詳細に調べ、活断層の存在の確認などに努める。

西村准教授は「鳥取は重要」と話している。防災意識を高めること



朗読など、手話表現を入れて仕立てた演目はどれも観客を魅了し、石川県の田鶴浜高校が優勝、鳥取県の鳥取豊(ろう)学校が準優勝に輝いた。今年第2回の開催も決まっている。

実行員会事務局が出場チームの演技と開会式、表彰式の様子を区切って整理した28本を、動画サイト「YouTube」の手話パフォーマンス甲子園チャンネルで公開した。

参考資料1.
 新知見・山陰「ひずみ集中帯」
 (2015年1月15日NHKニュース全国版, 日本海新聞2月4日版を参考資料1として添付)
 京大防災研西村氏による国土地理院GPS電子基準点データ解析により、鳥取・島根北部が南部に対して相対的に東に5mm/年で変位しており、歪みが集中しつつあることが判明した。1995年阪神淡路大震災や2004年新潟中越地震などが、測地学的にはこの「ひずみ集中帯」内で発生したと考えられており、先述の1943年鳥取地震や2000年鳥取県西部地震との関連が示唆された。

「中国地域の活断層の長期評価」(第一版)のポイント (概要1)

地震調査研究推進本部 事務局

1. 活断層の長期評価

地震調査研究推進本部の下に設置されている地震調査委員会は、防災対策の基礎となる情報を提供するため、地震の規模、発生間隔等の長期予測(長期評価)を実施しています。

従来、陸域の主要な活断層帯(M7以上の地震を想定)を対象として個別に評価を行ってききましたが、M7未満の地震でも被害が生じること、地域によって活断層の特性に共通性があること等から、評価対象を広げ、**地域単位で活断層を評価する「地域評価」**を行うこととしています。

九州地域(平成25年)、関東地域(平成27年)の地域評価に引き続き、このたび、**中国地域**を対象として地域評価を実施しました。

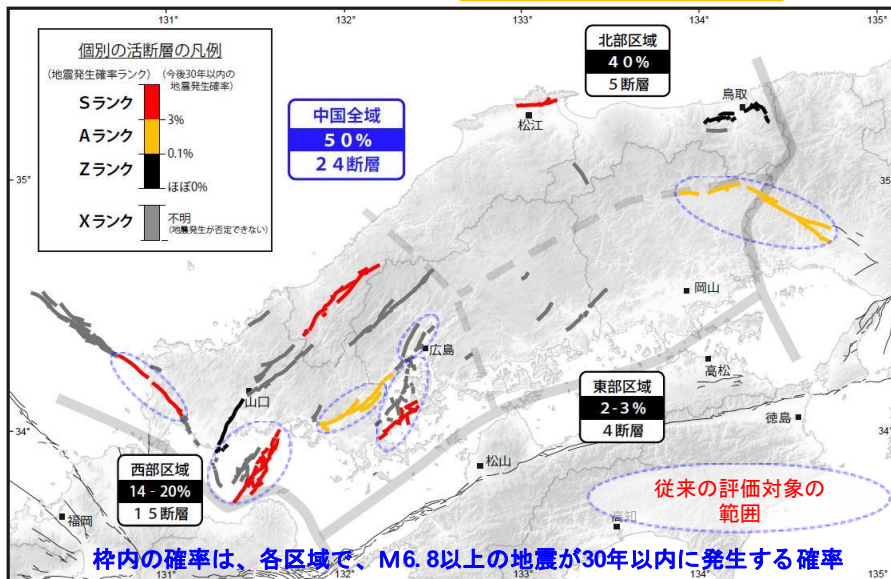
2. これまでの活断層の評価と地域評価の主な違い

		従来の活断層評価	新たな地域評価
対象 活断層	規模	M7.0以上	M6.8以上
	場所	陸域のみ	陸域・沿岸海域
	範囲	地表に現れている部分のみ	地下の延長部も推定して評価
評価方法		個別に活断層を評価	・個別に活断層を評価 ・地域単位で活断層を評価

個々の活断層の評価だけではなく、**地域内で発生する活断層による地震の傾向が見えるようにする。**

3. 評価対象とした活断層

24活断層



※黒細線は評価対象外の活断層

4. 活断層で発生する地震の規模・確率

区域	M6.8以上の地震が30年以内に発生する確率※		活断層	区域内の最大の地震の規模(マグニチュード)
	各区域	中国全域		
北部	40%	50%	鹿野一吉岡断層 ほか4断層	M7.2程度
東部	2-3%		山崎断層帯 ほか3断層	M7.7程度
西部	14-20%		菊川断層帯 ほか14断層	M7.8-8.2程度 もしくはそれ以上

※ これらの確率は、区域内の最大規模の地震が発生する確率を表すものではない

【用語説明】 □□

□比抵抗は、物質に固有な電流の流れにくさを表す物理量でその単位は[Ωm]である。また比抵抗の逆数を電気伝導度と呼び単位は[S/m]である。比抵抗は、物質の違いだけでなく、温度でも変化する。また、比抵抗は、岩石中の間隙水、メルト、低比抵抗間隙充填物（粘度鉱物や炭素皮膜など）の量やその結合のしかたに鋭敏で桁で変化する物理量である（渡辺, 2009）。そのため、比抵抗探査は地震学的な情報とは独立に地殻内の間隙水の存在を推定する有力な手法と考えられている（上嶋, 2009）。 □

□地表で外部起源の地磁気変動とそれにより誘導された地電流を測定し、その両者間の振幅と位相差をもとに地下比抵抗構造を推定する手法を MT法(Magneto-telluric法)という。実際には、地表において電場(E)と磁場(H)を観測し、それらの比であるインピーダンス $Z(E/H)$ を求めて比抵抗の情報を得る。比抵抗 ρ の一様大地では、比抵抗とインピーダンスの関係は次式で与えられる； □

$$r = |Z|^2 / \omega\mu \quad \square$$

ここで、 ω は電磁波の角周波数、 μ は大地の透磁率を表す。 □

地球外部起源の電磁波は、導体である大地に侵入するとそのエネルギーが伝導電流として消費されるので深さと伴に減衰する。比抵抗 ρ の一様大地において電磁波の振幅が地表の $1/e$ に減衰する深さ d を表皮深度（スキンドープス）と呼び、ある周波数の電磁波がどの深さまでの情報を持っているのかの指標となる。 □

$$d = \sqrt{2r / \omega\mu} = 503\sqrt{r / f} \quad \square$$

□このため、地下の比抵抗構造が均一であれば、短周期より超周期の電磁場変動の方が、また、特定の周期に着目した場合、電磁場変動は、地下の比抵抗が高いほどより深部の比抵抗構造に関する情報をもつ。 □

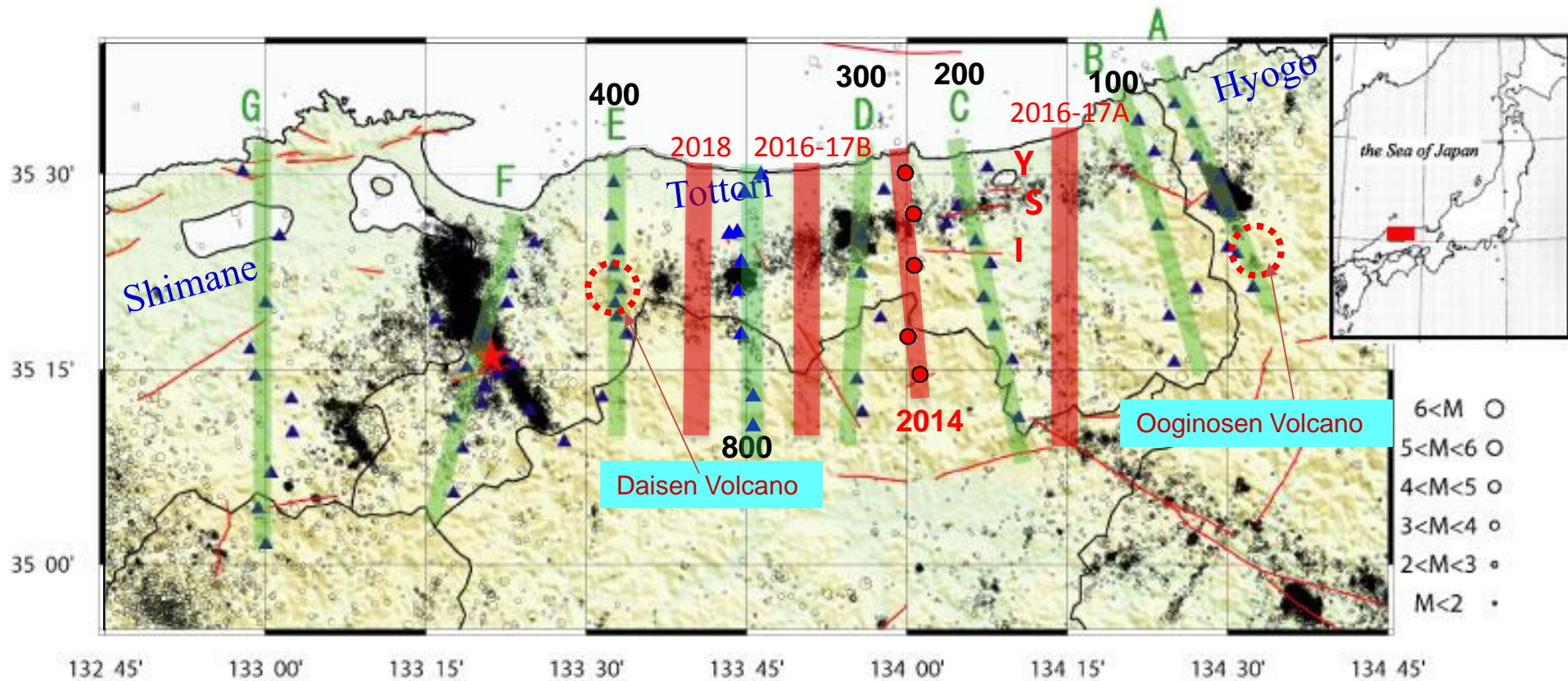


図1. 2013年度以前に取得された山陰地方の既存の比抵抗研究測線A, B(100), C(200), D(300), 800, E(400), F, Gと2014年度鳥取県環境学術研究振興事業研究測線2014を震央分布に重ねて描写したもの。
 ・各測線内の青三角印は観測地点を表し、**赤色で記された記号Y,S,Iはそれぞれ、吉岡、鹿野、岩坪断層の位置を示す**。なお、後に図6で示されるようにこの地域では僅か100年の間にM7クラスの内陸大地震が数個も発生し、かつ地震活動がほぼ1直線上に線上配列している。
 ・本年度の新規MT法観測調査対象とした測線は赤色のハッチで記した2016-17Aと2014で囲まれたエリアである。

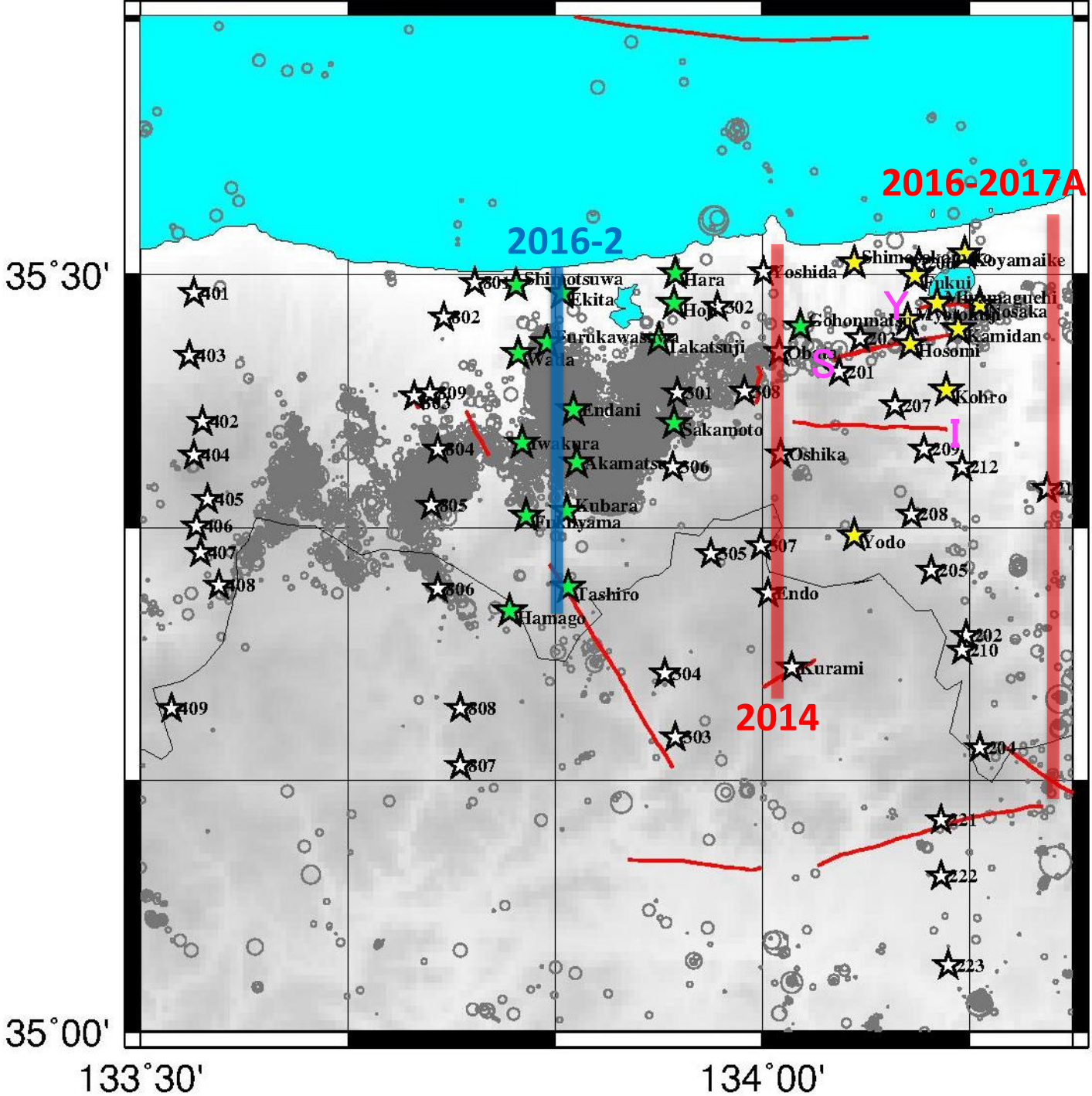
図2. 2017年度鳥取県環境学術研究振興事業により取得された鳥取東部MT観測点分布図(黄色★印)

2017年度は鹿野・吉岡断層を横切るように測点を設定した。

図中のY、S、IIは、それぞれ、吉岡断層、鹿野断層、岩坪断層の位置を示す。

緑色★印は主に2016年度本事業による測点、白★印は既存の本事業以外の測点分布を示す。

また、この地域の震央分布(JMA一元化震源データを引用)も合わせて描画した。



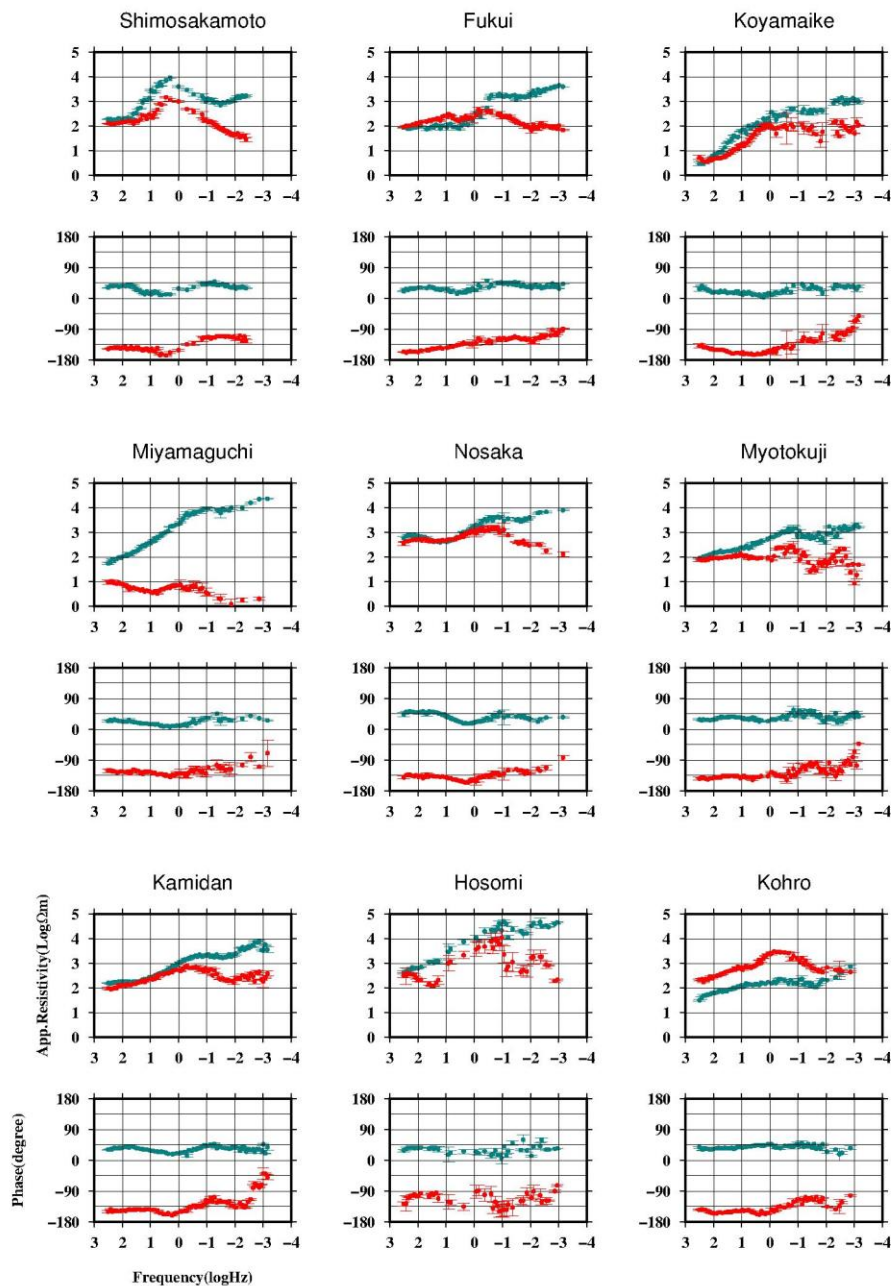


図3. 2017年度広帯域MT観測点ごとの見かけ比抵抗探索曲線(上)と位相差(下):

南北方向の電場と東西方向の磁場変動から推定された見かけ比抵抗を緑丸で示し、東西方向の電場と南北方向の磁場変動の組み合わせで推定されたそれを朱丸で示す。縦軸は見かけ比抵抗(Ωm)ならびに位相差(度),横軸は周波数(Hz)を表し,いずれも対数目盛りで表現されている。

本研究では,概ね観測期間中,太陽活動が活発な時期に遭遇し,地磁気擾乱現象を取得することができたため,高周波帯から低周波帯にかけて幅広い周波数にわたり,比較的良質のデータを取得することができた。

いくつかのサイトで周期100秒以上においてyx成分の位相差に急激な上昇がみられる。この地域の3次元構造の存在が示唆される。

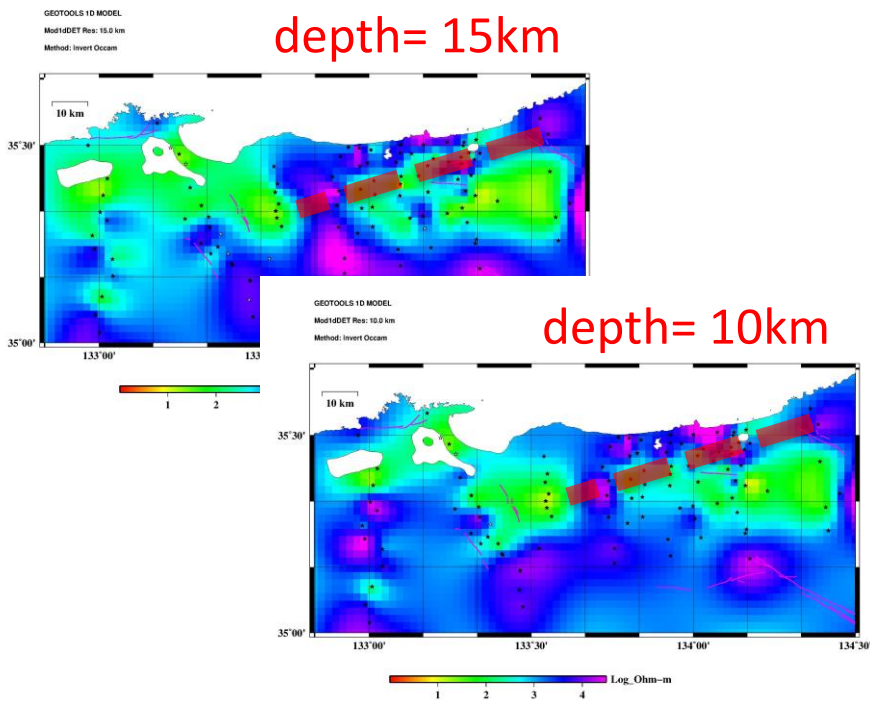
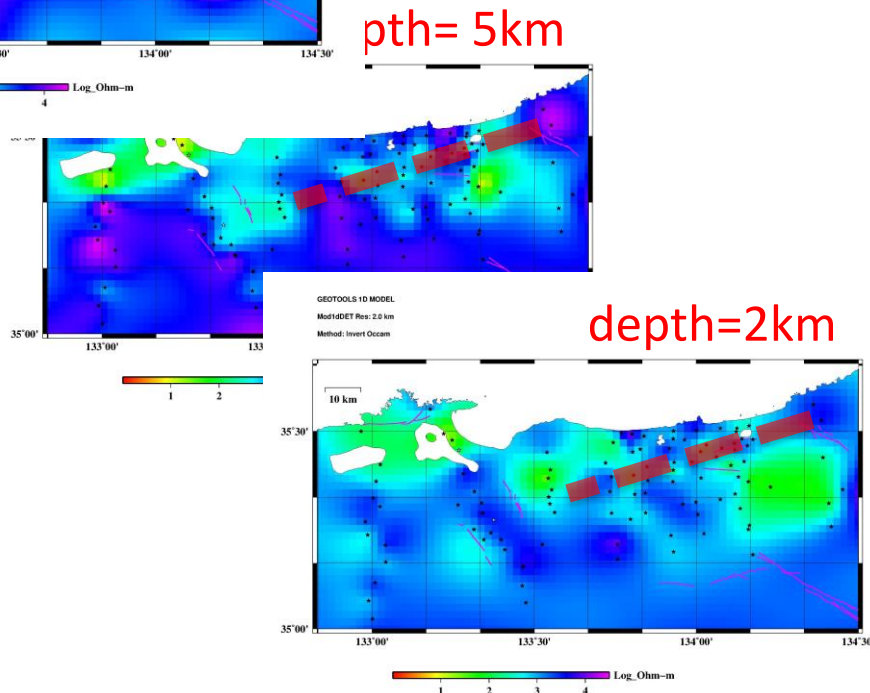


図4. 2017年鳥取県東部の地震震源域周辺の比抵抗データを用いた1次元構造モデル(深度別):

ここでは、得られたデータから推定されるimpedanceの不変量と呼ばれるものを用いて、Occamインバージョン解析という手法から導かれた1次元構造モデルを異なる深度毎の比抵抗構造の空間分布図を示す。(暖色系は低比抵抗、寒色系は高比抵抗を示す)それぞれ、深度2km(右下)から、5km、10km、15km(左上)を示す。

深度2kmでははっきりしないが、深度10km程度になると深部低比抵抗領域と高比抵抗領域の境界が東中部域の地震活動帯(図中赤色の破線で示す)の下に存在することが、本研究により面的な比抵抗データを取得することにより浮かび上がってきた。

この深部低比抵抗領域は中西部で一度途切れるが、西部域でその存在が再び示唆される。



depth= 10km

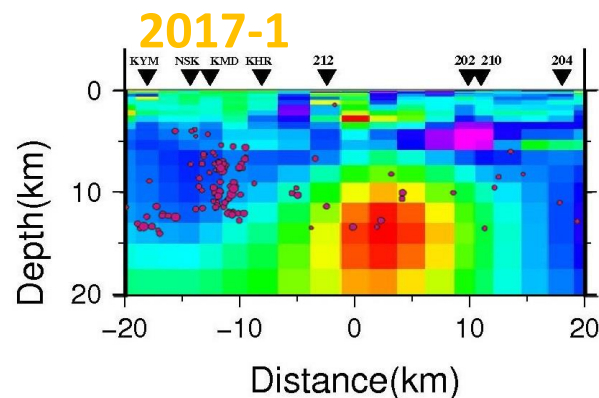
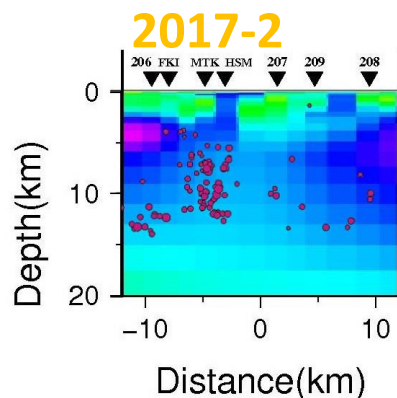
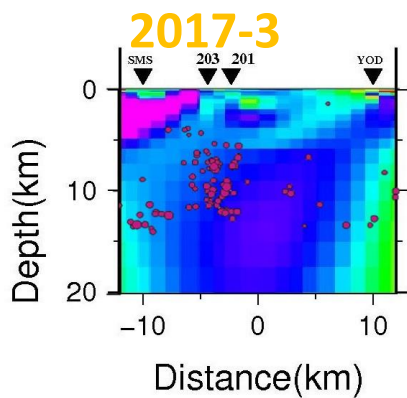
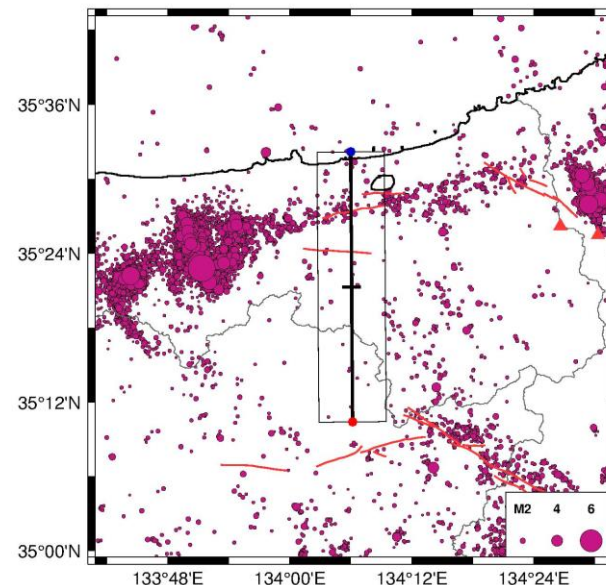
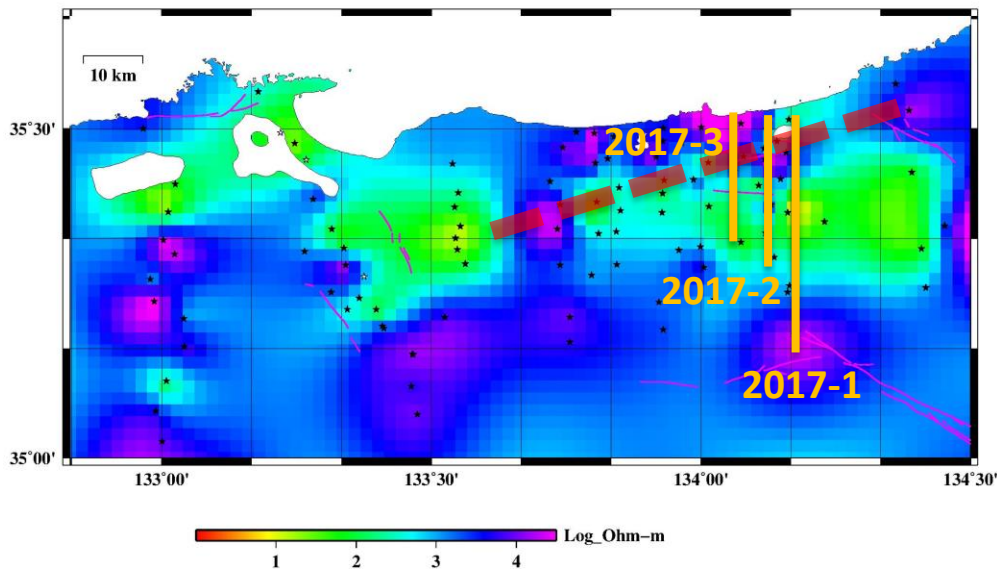
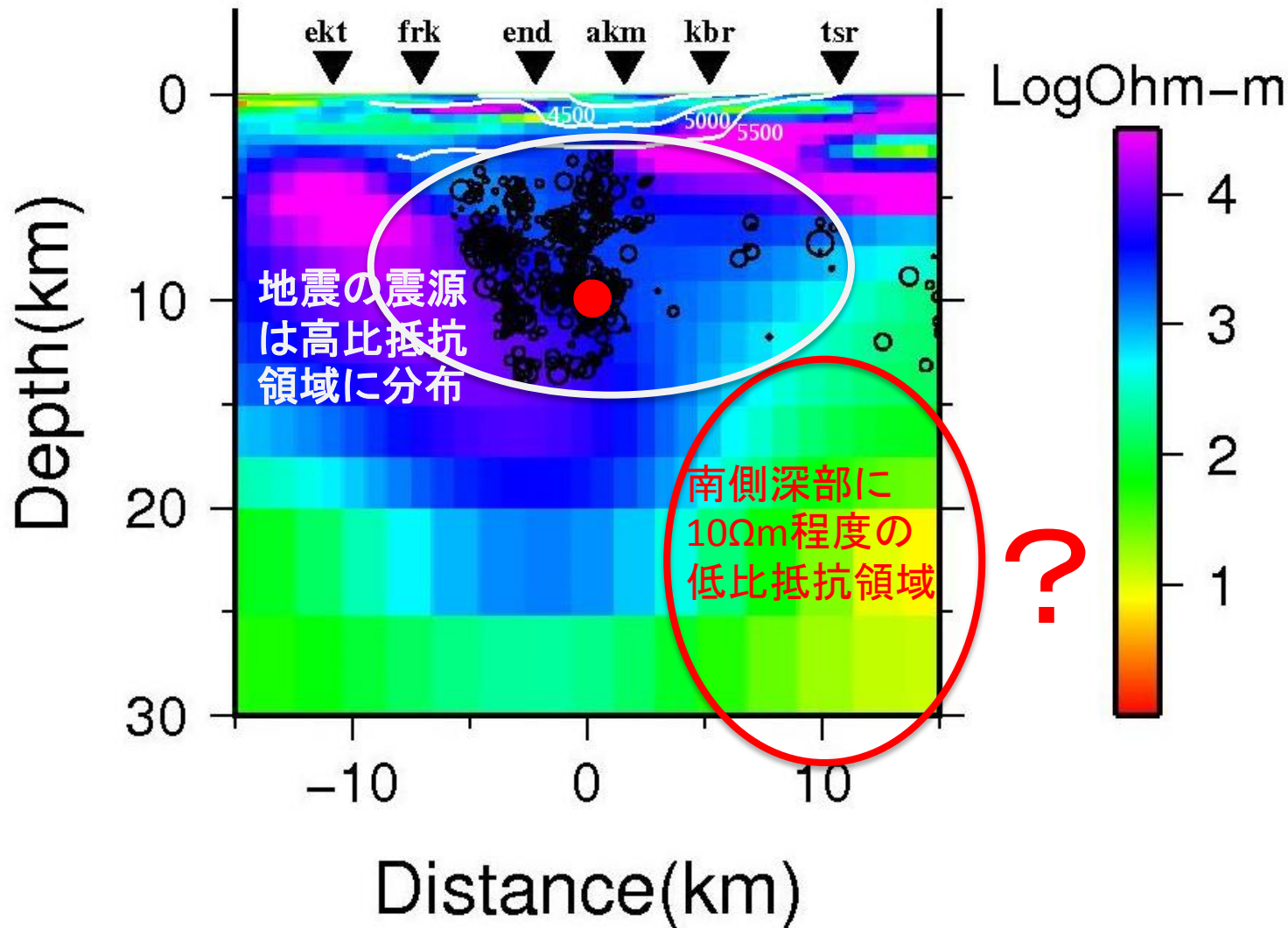


図5. 鹿野・吉岡断層周辺域の二次元比抵抗モデルと各モデルの位置関係:モデル図に震源分布(1997-2017、気象庁一元化震源データを引用)は赤丸で示す。右下図から2017-1、2、3測線の構造断面を示す。暖色系は低比抵抗、寒色系は高比抵抗を示す。断層域を南北に横断する3つの測線に関する暫定的な二次元構造モデルでは、既存の研究成果(例えば、図8-1)と調和するものは2017-1測線に関して得られたモデルのみであり、他のモデルは、必ずしも、既存の成果と調和していない。これらの不整合に関しては、本質的には3次元構造の存在のもと、観測点分布の偏りや構造の推定精度に関する測線長の問題など、検討・解決すべき問題もあり、今後の課題としてここに記しておくたい。なお、ここでは、比抵抗データ以外の地震データ等はAISTの地下構造可視化システムで描画した。

図6. 2016年鳥取県中部の地震の震央akm(Akamatsu、赤松)を横切る2016-2測線データ(図2)を用いた2次元比抵抗モデル:本震位置を赤丸で示し、陸域地震波トモグラフィ結果速度分布(東京大学地震研究所2016)は白線で示す。地震の震源分布は高比抵抗領域で発生しているが、南側深部延長に10 Ω m程度の低比抵抗領域が示される。この低比抵抗領域の規模は、既存の構造モデルとの関連において解明すべき課題であるが、南側に測点がないため現時点ではこれ以上の議論はできない。2018年度(平成30年度)の補観測として検討すべきエリアである。



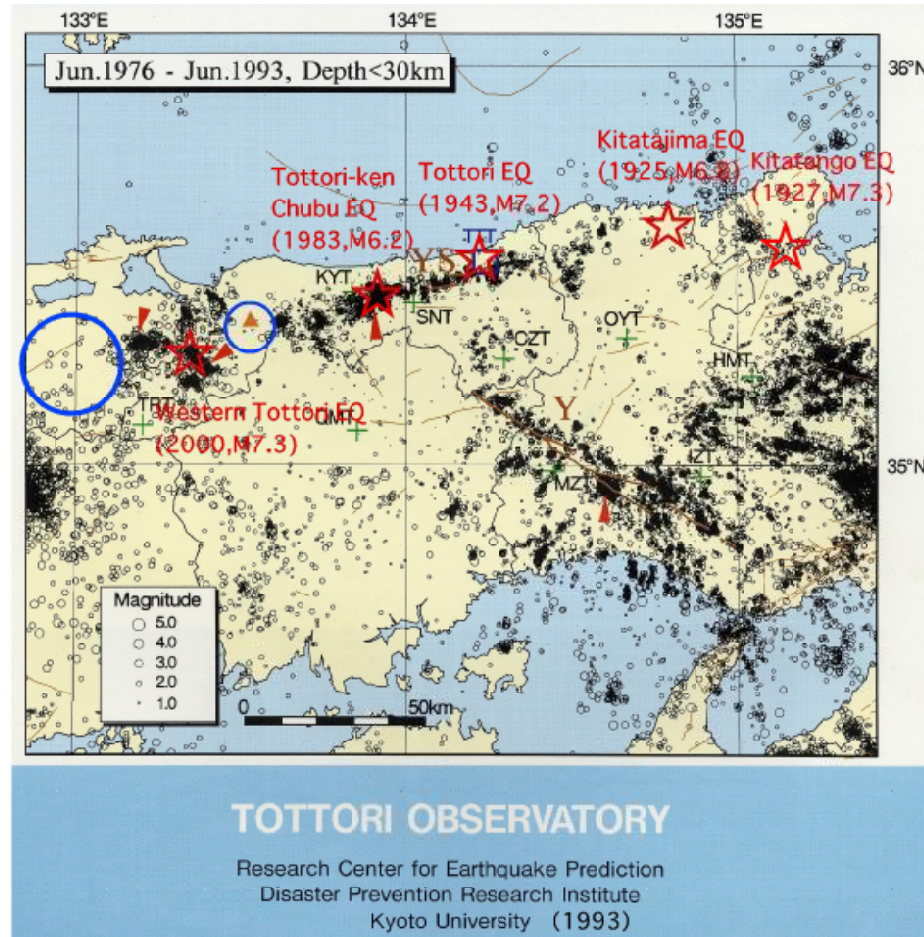
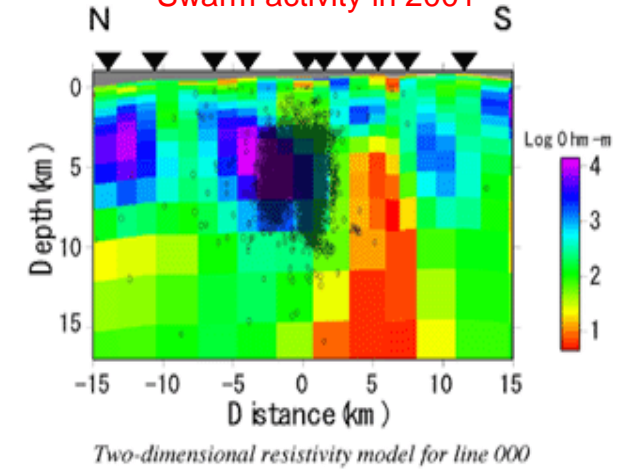


図7. 山陰地方東部の地震活動 最近約100年間にM7級の内陸地震が海岸線に沿うように山陰地方東部を中心に頻発している. 浜田地震(M7.1, 1872), 但馬地震(M6.8, 1925), 北丹後地震(M7.3, 1927), 鳥取地震(M7.2, 1943), 鳥取県中部地震(M6.2, 1983), 鳥取県西部地震(M7.3, 2000)などがそれにあたる. 2016年10月21日鳥取県中部の地震もこの線上配列をなす地震活動の帯の中に入ることが指摘されている

図8-1. 2013年度以前に取得された山陰地方の既存の比抵抗研究測線A, C(200), D(300)で得られた比抵抗造:
 内陸大地震や地震活動が活発な場所の深部地殻には電気低比抵抗(電気が流れやすい, 図では赤く示されている)領域があることを筆者らの研究グループは明らかにしてきた。

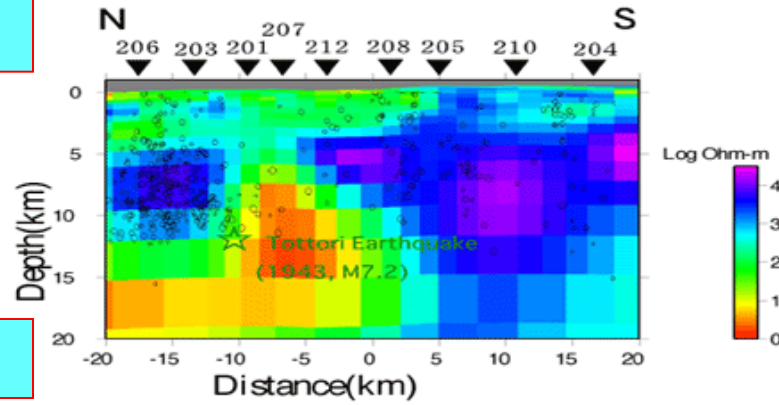
Line A

Swarm activity in 2001



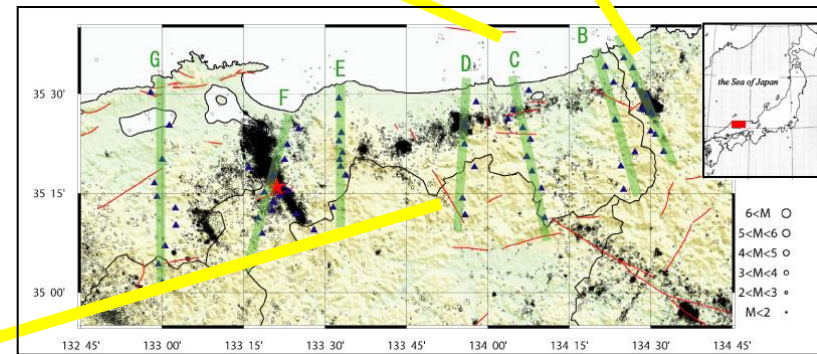
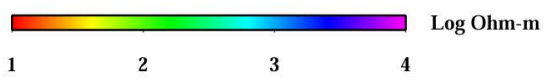
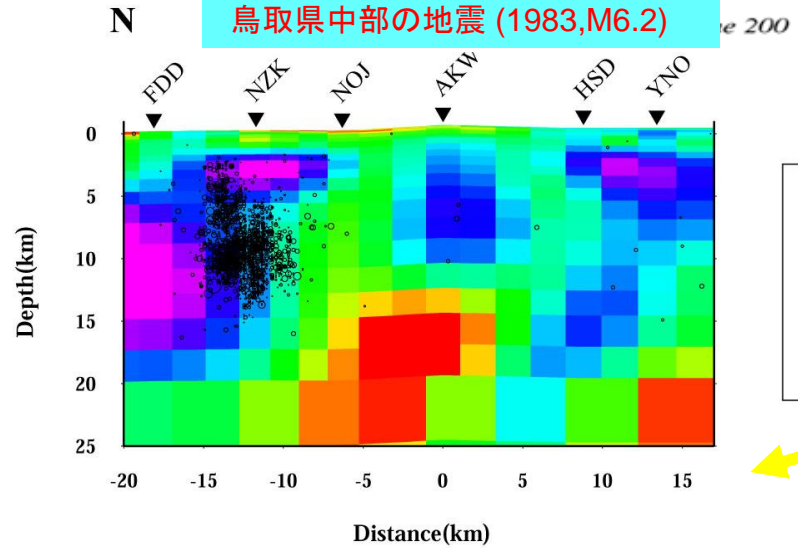
鳥取地震 (1943, M7.2)

Line C



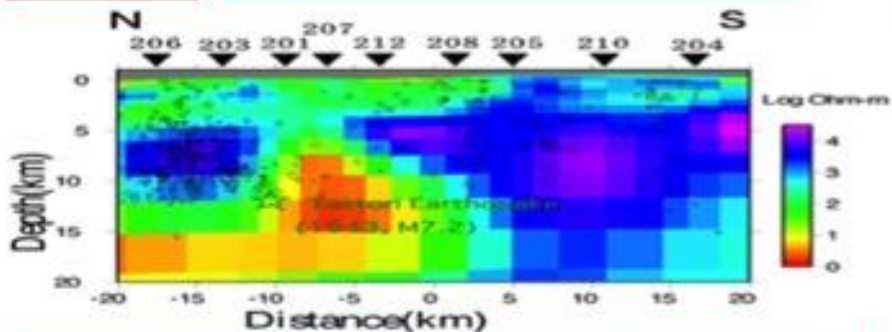
Line D

鳥取県中部の地震 (1983, M6.2)



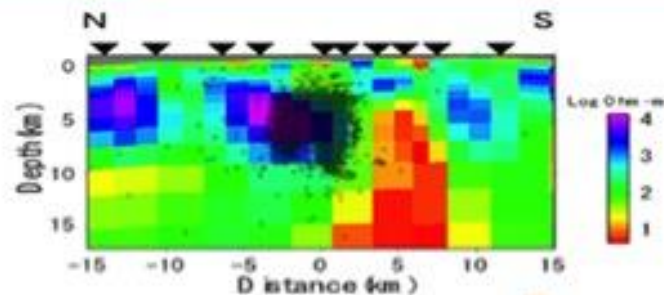
Line C

鳥取地震(1943, M7.2)



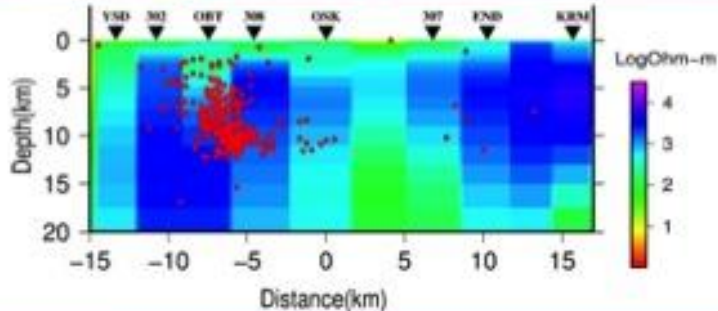
Line A

兵庫県北部の群発地震(2001)



2014年測線

吉岡・鹿野断層の西方延長域



Line D

鳥取県中部の地震(1983, M6.2)

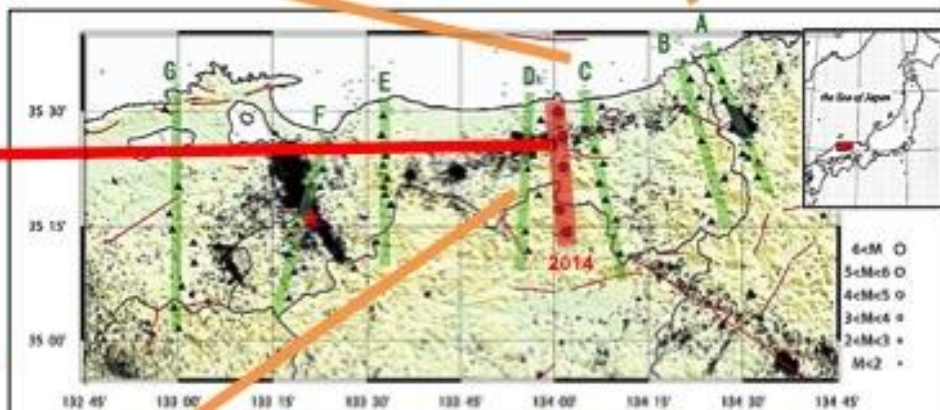
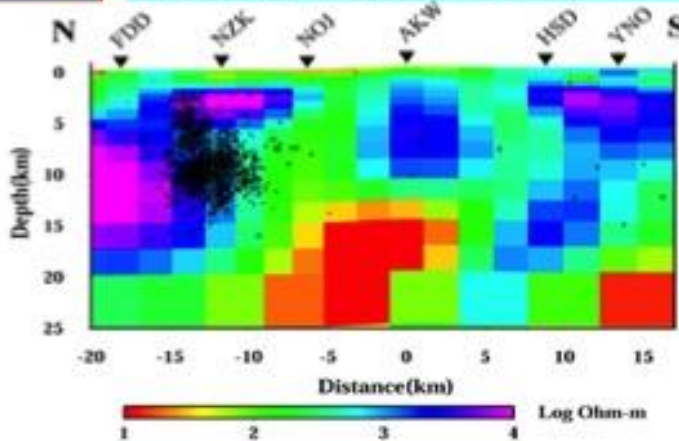


図8-2. 2014年度鳥取県環境学術研究振興事業研究測線2014(鹿野・吉岡断層西方延長域測線)で得られた比抵抗構造断面図(左側中央図)寒色系は高比抵抗, 暖色系は低比抵抗を示す。本研究より鹿野・吉岡断層西方延長地域において得られた比抵抗構造と既存の1943年鳥取地震の地震断層鹿野・吉岡断層及び1983年鳥取県中部の地震震源域を横切る測線で得られた比抵抗構造断面図(左上図及び左下図)とを比較すると, 大局的な比抵抗構造は似ているものの, 比抵抗コントラストが弱いことが示された。これに関連して, 地震学研究よりひずみをもたらす原因と考えられる「やわらかい」領域に対応する可能性が高い低比抵抗領域がこの場所では空間的に連続して線上配列をしていない可能性が示された。

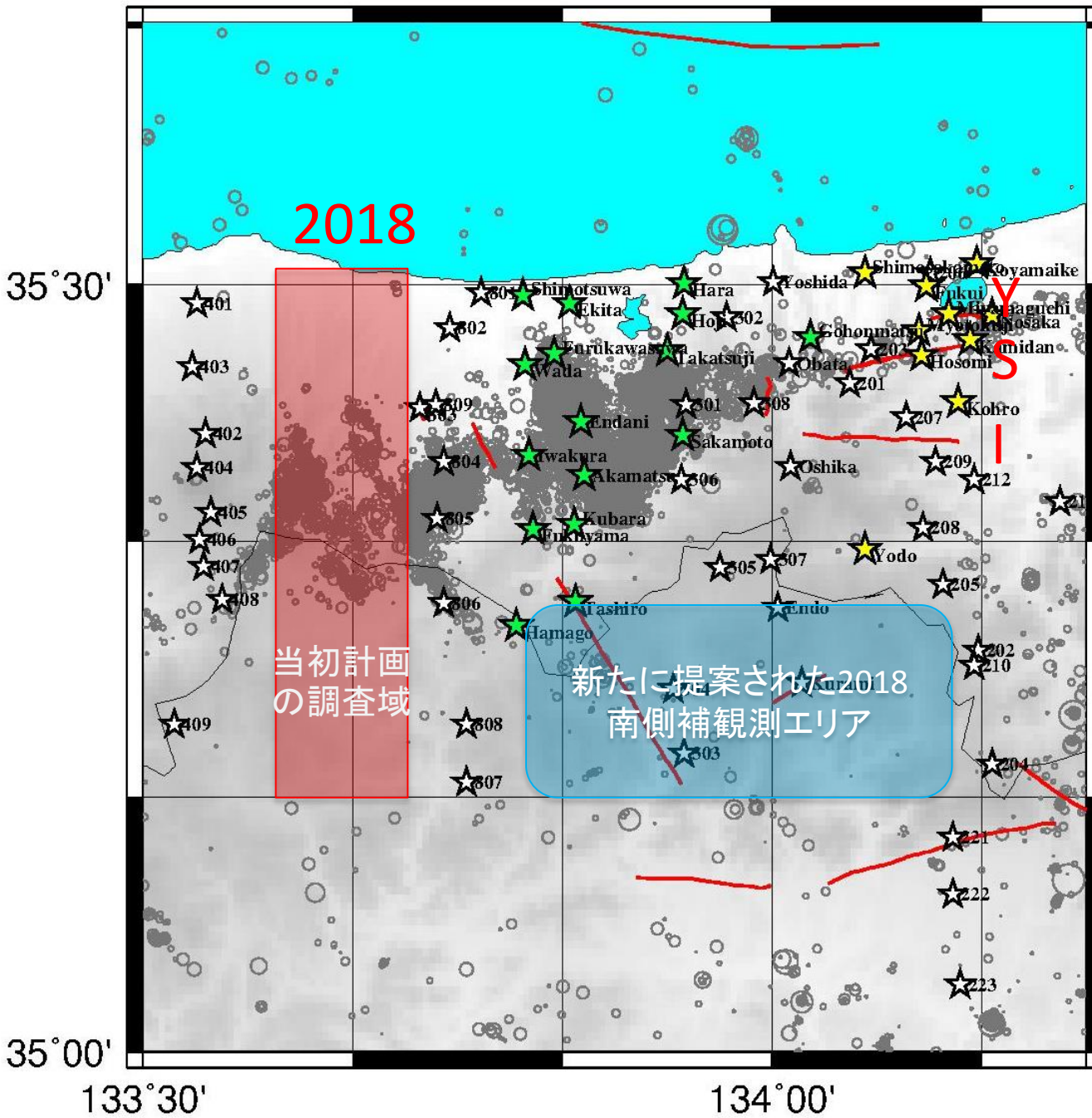


図9. 鳥取県東中部測点分布図と平成30年度MT観測候補地域

平成28年度MT測点分布(緑☆)ならびに平成29年度測点分布(黄☆)を既存の測点分布(白☆)に重ねて描いた。

この地域の活断層(Y:吉岡, S:鹿野, I:岩坪断層)は赤色で示され、震央分布は灰色で描画されている。図から示されるように平成29年度は鹿野(S)・吉岡(Y)・岩坪(I)断層周辺域に測点を設定した。

鳥取県中部の地震域から大山火山に至る地下構造の不均質性の連続性を明らかにするための2018測線を設定する。

さらに、平成28年度ならびに平成29年度観測データを用いた地震震源域の構造推定精度の向上をはかるため、平成28年度ならびに29年度測点の南側延長エリアでの補観測(水色エリア)を提案する。

磁場参照点を四国地方に設置した場合の妥当性について

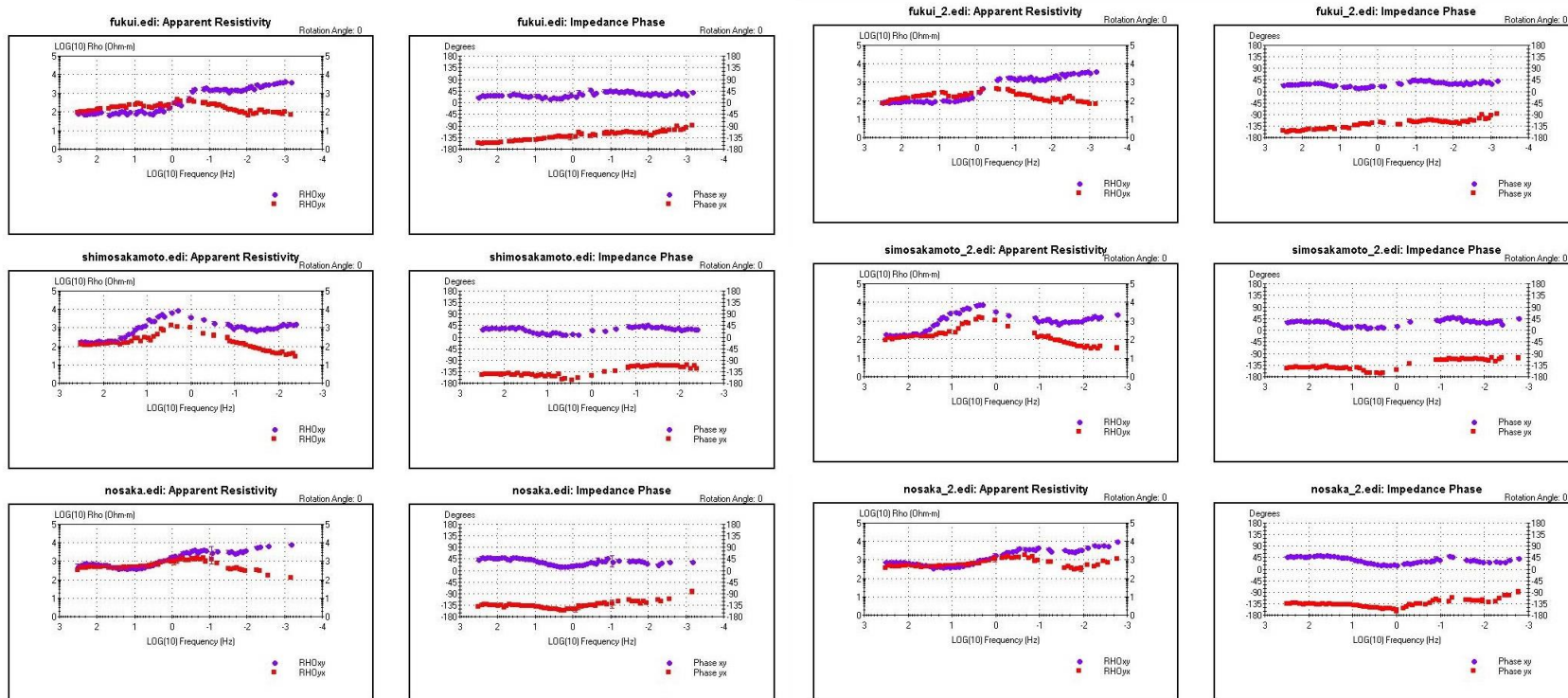


図10. 四国地方(高知県久保高井地点)データを磁場参照点に用いた場合の

MT応答関数(見かけ比抵抗と位相差)の改善に関する検定結果:

右図: 高知県久保高井(本研究)データを利用して推定されたMT応答関数(上から福井下坂本、野坂観測点)

左図: 岩手県沢内村(株日鉄鉱コンサルタント提供)データを利用して推定されたMT応答関数(福井下坂本、野坂観測点)

本研究で設置した高知県久保高井データが岩手県沢内村と比して、磁場参照記録として使用できることが示された。

中国・四国地方の基盤的比抵抗構造調査(2017年度)

*塩崎 一郎¹、宇都 智史¹、山本 真二²、池添 保雄²、畑岡 寛²、野口 竜也¹、小粥 裕之²、中西 勁²、村上 英記³、大志万 直人⁴、飯尾 能久⁴、安藤 和也⁵(1.鳥取大学大学院工学研究科、2.鳥取大学工学部、3.高知大学教育研究部自然科学系、4.京都大学防災研究所地震防災研究部門、5.鳥取県生活環境部山陰海岸ジオパーク海と大地の自然館)

キーワード: 電気比抵抗、中国・四国地方、基盤的構造調査

【背景・目的】本研究では、地震・火山噴火による災害の軽減に貢献するために、中国・四国地方において基盤的な比抵抗構造調査を行い、地殻・マントル上部の空間・構造的不均質性を明らかにすることを目的とする。山陰地域では、歪み集中帯外における地震発生と比較的長い期間に噴火記録のない火山と地殻流体との関連を解明すること、内陸地震発生域と内陸地震空白域および深部低周波地震域の構造的不均質性、また、四国地方では、地殻地震およびスロー地震の発生様式と構造的領域性等について、沈み込む海洋プレートから供給が想定される流体と関連づけることが重要である。これまでに京都大学防災研究所並びに鳥取大学大学院工学研究科を中心とする研究グループは、山陰地方や四国地方外帯において電気比抵抗構造と地震活動の間に密接な関連がみられることを示してきた。例えば、山陰地方東部では、鳥取地震(1943年、M=7.2)の地震断層である吉岡・鹿野断層をはじめとして、顕著な地震の震源域およびそれらを含み日本海沿岸部に沿う帯状の地震活動域を横切る測線でMT調査を実施し、ほぼ東西方向に伸びる地震活動帯に沿って、高比抵抗領域である地震発生層の下、地殻深部に低比抵抗領域の存在を明らかにした。これと調和的な研究成果が測地学研究から示された。国土地理院GPS電子基準点データ解析により、鳥取・島根北部が南部に対して相対的に東に5mm/年で変位しており、歪みが集中しつつあることが判明し、この「ひずみ集中帯」と1943年鳥取地震、1983年鳥取県中部の地震、2000年鳥取県西部地震との関連が示唆された(西村(2015))。しかしながら、先述の山陰地方の比抵抗研究グループが提唱してきたモデルと調和しない比抵抗研究の成果(例えば、塩崎他(2015))も示され、内陸地震が地震活動帯直下の不均質構造に起因する局所的な応力集中により発生する(飯尾、

2009)ならば、この不均質構造について今後はさらなる面的な構造データの充実を図ることが必要である。一方、四国地方においては、主に外帯での調査結果から上部地殻内に顕著な低比抵抗領域が存在し、それと中央部・西部では無地震域との明瞭な関連が示唆された。地震現象の統一的理解のためには、スロー地震の活動様式だけでなく発生環境や発生原理の解明の重要(小原(2017))であるため、大局的な比抵抗構造の地域特性を解明するための基盤的比抵抗構造調査が求められる。

【実施内容】このような背景のもと、山陰地方においては1943年鳥取地震の地震断層である鹿野・吉岡断層下の地殻不均質構造の実態解明をめざし周辺域の10地点において、また、四国地方においては大局的な比抵抗構造の地域特性を解明するために比抵抗調査空白域の8地点において、自然界に存在する電磁場変動を信号源とする広帯域MT観測を実施した。観測にはフェニックス社製の測定器MTU-5及びMTU-5Aを使用し、原則として、地磁気3成分と電場2成分を測定した。本年度の測定エリアの概略的な比抵抗構造を掴むためにdeterminant impedanceをもとにした1次元Occamインバージョン解析を行い、既存のMTデータと統合して予察的な空間的比抵抗構造を推定した。その結果、山陰地方においては、既存の知見とおおむね調和的であるが、断層周辺域では低比抵抗領域が挟まれる構造が示唆された。四国地方では、地殻浅部の比抵抗分布は、四国地方の中央構造線をはじめとする顕著な構造線の走向方向とおおむね調和的である。また、地殻中部の比抵抗分布図は、既存の研究成果と整合して、中央構造線周辺域を境とする相対的な高/低の比抵抗構造の存在を示す。この分布図と地殻地震の震央分布との対応をみれば、中央構造線周辺より北側では高比抵抗域と明瞭な対応関係がみられる。一方、南側では四国地方の中央部を北北東から南南東に抜ける高比抵抗の帯を境としてその東側で、地震は発生しているように見える等、興味深い特徴が示された。分解能をあげた面的な観測をすることでこの高比抵抗領域の実体を追跡する必要がある。

【謝辞】四国地方の観測では主に文部科学省による災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画、また、鳥取県東部の地震域周辺のデータ取得には2017年度鳥取県環境学術研究等振興事業、の支援を受けた。本観測では京都大学防災研究所の共同研究機器を使用した。参照磁場記録は日鉄鉱コンサルタント株式会社の無償提供データである。ここに謝意を表す。

A research report on the fundamental investigations of an electrical resistivity structure beneath Chugoku and Shikoku regions, southwestern Japan(2017)

*Ichiro Shiozaki¹, Tomofumi Uto¹, Shinji Yamamoto², Yasuo Ikezoe², Hiroshi Hataoka², Tatsuya Noguchi¹, Hiroyuki Kogai², Kei Nakanishi², Hideki Murakami³, Naoto Oshiman⁴, Yoshihisa Iio⁴, Kazuya Ando⁵ (1.Graduate School of Engineering, Tottori University, 2.Faculty of Engineering, Tottori University, 3.Research and Education Faculty, Kochi University, 4.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 5.San'in Kaigan Geopark Meuseum of the Earth and Sea)

Keywords : electrical resistivity, Chugoku and Shikoku regions, fundamental investigations

In order to contribute to a reduction in damage caused by earthquakes and volcanic eruptions, heterogeneities of crustal and upper mantle structure should be clarified based on fundamental investigations of electrical resistivity structure in Chugoku and Shikoku regions, southwestern Japan arc.

Our research group has shown that there is a clear relationship between resistivity and seismicity in the San'in and Shikoku regions. In the eastern part of San'in region, it was found that a conductive area exists in the deep crust part under the seismic region, which is a resistive area, along with the seismic activity area stretching nearly in the east and west direction. Recently, harmonious research results have been shown from geodetic GNSS(GPS) data analysis by Nishimura (2015). Assuming that inland earthquakes occur because of local stress concentration caused by heterogeneity beneath a seismic activity band(Iio, 2009), it is necessary to improve spatial data and to clarify the heterogeneity in this area hereafter. On the other hand, in the Shikoku district, it was suggested that the distinctive low resistivity region exists in the upper crust mainly from the survey results in the outer belt, and

that there is a clear relation between the low resistivity and low seismicity in the central and the western area. In order to understand the earthquake phenomenon uniformly, it is important to elucidate the generation environment and the principle as well as the activity style of the slow earthquake (Obara(2017)). Fundamental investigations are required to clarify the regional characteristics of it as a whole. In this background, we aimed to elucidate the crustal heterogeneity structure under the Shikano and the Yoshioka fault which is the 1943 Tottori earthquake fault, wideband MT observation was carried out at 10 points in the surrounding area in San'in region and to grasp the regional characteristics of the large scale resistivity structure, observations conducted at 8 sites in the observations gap area in the Shikoku district. 1D Occam inversion analysis based on determinant impedance was performed and integrated with existing MT data to estimate the preliminary spatial resistivity structure distribution. As a result, in San'in region, it is generally harmonious with the former studies, but a structure in which the low resistivity region is sandwiched in the fault region was suggested. In the Shikoku district, the resistivity in the shallow parts of the crust may seem to be in harmony with the major geologic belts. In addition, the resistivity in the mid crust shows the existence of a relative high/low resistivity boundary in the vicinity of the MTL, consistent with the existing research. It was shown that clear correspondence between the high resistivity and high seismicity on the north side of the MTL. Meanwhile, on the south side, an interesting feature was shown that crustal earthquakes occur mainly on the east side of the high resistivity zone that passes from NNE to SSW in the central part of the Shikoku district. It is necessary to clarify the nature of this high resistivity region by performing fundamental investigations with high resolution. Acknowledgments : This study was supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan, under its Observation and Research Program for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, and also supported by 2017 Tottori Prefecture Environmental academic research promotion project. We would like to express sincere gratitude for the Nittetsu Mining Consultants Co. Ltd. kindly let us use their continuous geomagnetic records as remote references. We used joint research equipment of Kyoto University Disaster Prevention Research Institute for observation of this research.