

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

ネットワーク MT 法観測による広域深部比抵抗構造の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ウ．広域の地殻構造と地殻流体の分布

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

イ．上部マントルとマグマの発生場

エ．地震活動と火山活動の相互作用

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(4) 地震発生・火山噴火素過程

イ．地殻・上部マントルの物性の環境依存性

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

5 か年のうちに、濃尾断層周辺域(福井県東部、岐阜県南西部)と富士火山周辺域(山梨県南東部、静岡県東部、神奈川県西部)においてネットワーク MT 法観測を実施し、同地域での広域深部 3 次元比抵抗構造を推定する。得られた構造と、HiNET や地震予知計画による広域地震波速度トモグラフィをあわせて解析することで、地域の定量的な(水やメルトなどの)流体分布構造の推定を目指す。得られた構造から、同地域での通常の地震、低周波微動などの様々な地震活動や、富士山の火山活動等を、地殻マントル流体がどのように規定しているのかを明らかにする。また、従来まで取得してきたデータに基づいた 3 次元モデリングを試み、北海道、東北、中国四国、九州各地方の大局的な 3 次元比抵抗構造推定、紀伊半島、中部地方における詳細な 3 次元比抵抗構造推定を行う(両者の解像度の違いは、観測で用いた周期、基線長の違いによる)。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度：濃尾断層周辺域での観測を実現するための諸準備(NTT との交渉、観測ネットワークを決定し電極点の決定と埋設、磁場観測点の敷設)を行うと共に、従来得られてきたデータの 3 次元解析を実施する。

平成 22 年度：濃尾断層周辺域(福井県東部、岐阜県南西部)での観測を実施するとともに、従来得られてきたデータの 3 次元解析を継続する。

平成 2 3 年度：前年度までに得られたデータの 3 次元解析を継続するとともに、富士山周辺域での観測の準備を行う。

平成 2 4 年度：富士火山周辺域（山梨県南東部、静岡県東部、神奈川県西部）での観測を実施するとともに、従来得られてきたデータの 3 次元解析を継続する。

平成 2 5 年度：前年度までに得られたネットワーク MT 観測データより、広域深部 3 次元比抵抗構造を推定する。得られた構造と、HiNET や地震予知計画による広域地震波速度トモグラフィをあわせて解析することで、地域の定量的な（水やメルトなどの）流体分布構造の推定を目指す。

（ 7 ）計画期間中（平成 21 年度～25 年度）の成果の概要：

（ 1 ）跡津川断層周辺域におけるネットワーク MT 観測データの解析

既存の Ogawa and Uchida, 1996 による広帯域 MT 2 次元コードを改良し、広帯域 MT - ネットワーク MT 2 次元ジョイントインヴァージョンコードの開発を行った。従来の広帯域 MT データでは、数 100Hz から 1000s 程度の帯域で MT 応答関数を決定するために地殻程度の深度までは精度よく構造を決定できた一方、static shift の問題による構造の不定性や、長周期の応答関数を決定する困難さから上部マントルに至る深部構造を決定しづらいつらいつらという難点があった。一方、ネットワーク MT には、static shift を含まぬ応答関数が得られることや、数万 s に至る長周期が得られるため深部構造決定に有利であるという長所があるものの、8s 以下の短周期応答関数の決定が困難であるため、浅部構造の不定性が問題となっていた。ジョイントインヴァージョンは、この双方の難点を克服するものである。

開発したジョイントインヴァージョンコードを用いて、跡津川断層域を NNW-SSE に切る測線でのデータの解析を行った。従来の広帯域 MT データとネットワーク MT データをあわせて解析することにより、static shift が正しく推定され、測線が御岳西方の秋神まで伸び、当該地域の表層から上部マントルに至る構造が決定された。その結果、新潟 - 神戸ひずみ集中帯中軸部の 3 つの主要な断層：牛首断層、跡津川断層、高山・大原断層帯下の下部地殻に、上下に伸びた局在した低比抵抗域の存在が明らかとなった。また、上部マントルでは、北側（牛首断層 - 跡津川断層下）でやや高比抵抗、南側（高山・大原断層帯下）で低比抵抗となるコントラストが認められた。

室内実験の結果 (Yoshino, 2002) によると、静水平衡状態での間隙水のぬれ角は、上部地殻、下部地殻とも 60 度以上となり、間隙水は孤立して存在しやすい。孤立した間隙水は電気伝導に殆ど寄与しないので、比抵抗モデルのうち下部地殻の高比抵抗部分（それぞれの断層（帯）の間）でも、その比抵抗を説明するためにほぼ 100% に近い含水率が必要となる。一方、Nakajima et al. (2010) では、地震波速度構造の解析から、ひずみ集中帯中軸部全体として下部地殻の含水率は 5-7% 程度であると推定している。従って、下部地殻の比抵抗のコントラストは、孤立した間隙水の含水率によるコントラストをみていると考えるより、連結度のコントラストをみているものと解釈した方がもっともらしい。従って、各断層下の低比抵抗域は、間隙水の連結度の高い領域であると推定できる。平衡状態で孤立する間隙水を連結させるためには、何らかの平衡状態を破る作用が必要である。このことから、Yoshino (2002) は、下部地殻の低比抵抗域は塑性せん断域の存在を示唆すると議論している。この議論に従えば、新潟 - 神戸ひずみ集中域の主要 3 断層下の下部地殻に存在する局在した低比抵抗域は、せん断変形域の局在を示唆することになる。さらに、Nakajima and Hasegawa, 2007 による上部マントルの地震波速度構造では、地下 100km（南側：高山・大原断層帯下）から 200km（北側：富山平野下）に存在するフィリピン海プレートの上盤側にプレートに沿う低速度層が検出されているが、上記の上部マントル比抵抗のコントラストはその描像と調和的である。

（ 2 ）濃尾地震断層周辺域におけるネットワーク MT 観測の継続とデータ解析

本課題の計画策定の段階では、濃尾地震断層周辺域と富士火山周辺域においてネットワーク MT 法観測を実施する予定であった。しかし、観測を実施するために必須の電話会社（NTT）の観測への協力体制の変化から濃尾地震断層周辺域での観測開始が当初計画に比べて大幅に遅れ、岐阜県では 1 3 交換所エリアにおいて平成 2 3（2011）年 3 月末より、福井県においては 7 交換所エリアにおいて同年 6 月中旬より観測実施が可能となった。また、同地域は夜間も休みなく運行する直流電化路

線からの漏れ電流ノイズが著しいうえに、地磁気活動が予想に反して活発化しなかったため、1万秒程度までの長周期にわたって良好な周波数応答関数を推定できるようになるまでに1年以上観測を継続しなければならぬことが判明した。このため、2013年12月に至るまで濃尾地震断層周辺域での観測を継続することにし、本課題において富士火山周辺域での観測を実施することは不可能となった。

全20エリアについて、各地電位差と根尾における水平磁場との間のネットワークMT周波数応答関数を推定した。この際、根尾観測点周辺のローカルな磁場ノイズによる応答関数のひずみを除去するため、輪島観測点の水平磁場を遠隔参照点として用いた。福井県のほぼ全域にわたって、電位差測定基線方向に直交する磁場と電位差との応答関数の位相が千秒より長周期側で90度を超えて大きくなる、いわゆる「異常位相」が見出された。

(3) 濃尾地震断層周辺域での3次元構造解析

2次元以下の比抵抗構造では、上記の「異常位相」が説明できないことがわかっているため、3次元インバージョンを行うことにした。各基線の地電位差-磁場応答関数から、各エリアについて適当な三角エリアを選定して、その各三角エリアの平均的な電場-磁場応答関数(インピーダンステンソル)を計算し、Siripunvaraporn et al., 2005による3次元MTインバージョンコードを用いて構造推定を行った。濃尾地震断層とその延長方向に沿って推定された(3次元構造から作成した)構造断面を図1に、その構造に基づく感度分布を図2に示し、得られた構造に対する地球科学的意義を下に箇条書きにする。

a) 上記の「異常位相」は、福井市周辺の日本海につながる低比抵抗堆積盆地、および、d)で述べる深部マントル低比抵抗帯によって説明することが可能であった。

b) 地下浅部構造では、濃尾地震発震域である福井県池田町から南に、地震断層に沿って伸びる低比抵抗域が決定された。これは、断層破碎帯中の水、ないしは、粘土鉱物を見ているものと思われる。

c) 中部地殻においては、濃尾地震断層域直下において、 $1\text{ km}^{-\text{m}}$ を超える高比抵抗域に決定された。前計画における跡津川断層周辺域での構造研究の考察から、地震発生域は高地震波速度、高比抵抗であり、流体の存在を示すと考えられる中部地殻に上昇した低地震波速度、低比抵抗層がバリアとなって地震のサイズを決定するのではないかとの議論がなされたことを考慮すると、濃尾地震断層が走った南南東方向にバリアとなる流体存在域がなかったことが、濃尾地震がM8クラスの大地震になった一つの要因としてあげられるのかも知れない。

d) 図1に示すように、池田町直下のフィリピン海プレート上面に低比抵抗帯が見出された。さらに、その深部の福井-岐阜県境付近の上部マントル内に東西に連なる低比抵抗域が決定された。低比抵抗域は、100km以深の深部から立ち上るかのような形状を示していて、沈み込むスラブからの脱水によるものである可能性が高く、その流体の存在が、本研究エリアでは福井-岐阜県境を走る新潟-神戸ひずみ集中帯のひずみ集中に関わっている可能性がある。同様のマントルウェッジ内低比抵抗帯は、前計画での跡津川断層を切る2本の2次元断面にも見出されていて(臼井ほか, 2010(1)で記述), 最上, 2011)フィリピン海スラブからの脱水を見ているものと解釈していたが, Hirose et al., 2008によると, 本ターゲットエリアではフィリピン海スラブはその撓曲のために40-60kmにその上面が決定されていて, 明らかに低比抵抗域の最深部はその下部に位置している。このため, 本地域での深部低比抵抗帯は, フィリピン海スラブの下に横たわる太平洋スラブからの脱水を示唆する。火山岩中に含まれる流体の同位体比を解析した結果である Nakamura et al., 2008によると, 同地域の特に背弧側では太平洋スラブ起源の流体の比率が高いとされていて, 本研究の比抵抗構造とは矛盾しない結果となっている。

(4) 既存データの解析

1992-1998年にかけて実施された九州地方でのネットワークMT2, 3次元解析から九州地方全域にわたる広域深部構造を決定し, 火山発生と深部構造との関連性を議論した(Hata et al., 2012, 畑, 2013)ほか, 北海道, 東北などその他の地域についてもデータのコンパイルやインバージョン解析を行った。

九州において, 南部火山帯(桜島, 霧島など)では沈み込むフィリピン海スラブ深部から火山に向けて立ち昇るかのような低比抵抗帯が認められたが, 中北部火山帯(阿蘇, 九重など)では低比抵抗帯の根があまり深く決定されなかった。この構造の差を確かめ, ネットワークMTデータの空白域と

なっていた中部九州をうめるため，Handa et al., 1992, Shimoizumi et al., 1997, Munekane et al., 1997 などで紹介されている，九州全域にわたる従来のMT法や地磁気変換関数観測データのコンパイルや再解析を行った．予察的な順計算から，ネットワークMT法データから推定された3次元構造では，地磁気変換数の性質を再現できないことが明らかとなり，今後，両データをあわせた3次元解析を行っていく予定としている．

- (8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Hata, M., Oshiman, N., Yoshimura, R., Tanaka, Y. and Uyeshima, M., Interpretation on magmatism beneath the Kyushu subduction zone with 3D electrical resistivity image. 3DEM workshop(札幌), 5月 2013.
- Uyeshima, M., Yamaguchi, S., Murakami, H., Tanbo, T., Yoshimura, R., Ichihara, H. and Omura, K. On elucidation of the regional anomalous phase contained in the Network-MT data in the Chubu district, central Japan. 3DEM workshop(札幌), 5月 2013.
- 上嶋 誠, 山口 覚, 村上 英記, 丹保 俊哉, 吉村 令慧, 市原 寛, 小村 健太郎, Network-MT 法による中部地方背弧の電気伝導度構造. 2013 年合同大会(幕張), 5月 2013 .
- 上嶋誠, Network-MT 法の紹介 - 広域深部電気伝導度構造解明を目指して - . 2013 年合同大会(幕張), 5月 2013 .
- Hata, M., Oshiman, N., Tanaka, Y. and Uyeshima, M., Upwelling Fluids interpreted by 3D Electrical Resistivity Structure beneath island-arc volcanoes in Kyushu, southern Japan, IAVCEI 2013, 7月 2013.
- 畑 真紀, 上嶋 誠, 下泉 政志, 田中 良和, 鍵山 恒臣, 歌田 久司, 大志万 直人, 吉村 令慧, 市来 雅啓, 九州地方における磁場変換関数データのコンパイル: Network-MT データと磁場変換関数データの統合解析に向けて, 地球電磁気・地球惑星圏学会秋季大会(高知), 11月 2013.

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所(代表): 上嶋誠・小河勉・小山茂・望月裕峰

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学 : 茂木透

秋田大学 : 西谷忠師, 坂中伸也

東海大学 : 長尾年恭

京大防災研 : 大志万直人, 吉村令慧

神戸大学 : 山口覚

高知大学 : 村上英記

鳥取大学 : 塩崎一郎

- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター

電話 : 03-5841-5739

e-mail : uyeshima@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

- (11) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 上嶋誠

所属 : 東京大学地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター

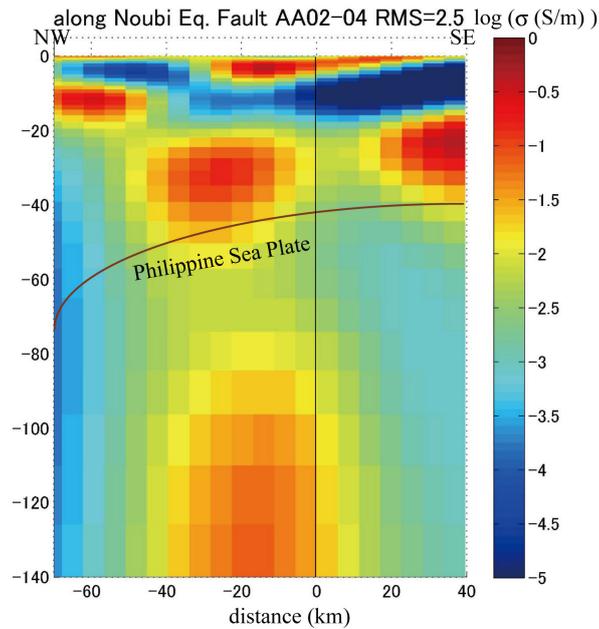


図1．濃尾地震断層の延長方向での電気伝導度断面図

暖色系ほど電気が流れやすいことを示す．茶色の曲線はフィリピン海プレートの上面を示す．横軸の0kmは樽見の位置を示し，福井県池田町の発震地点は約-40kmに位置する．

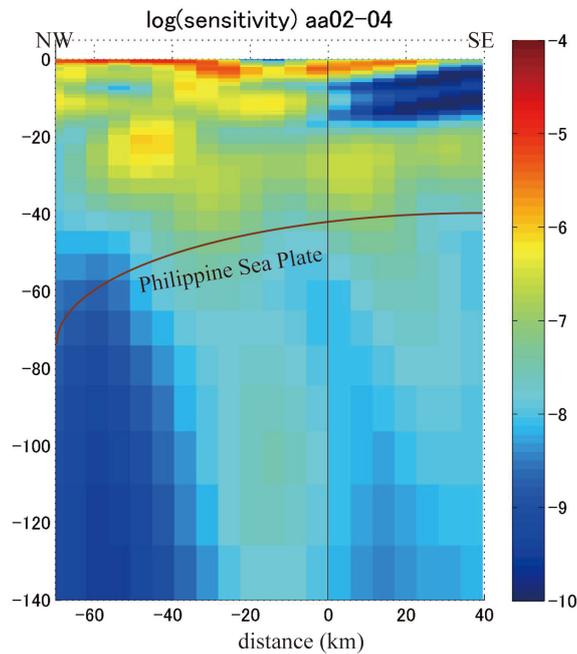


図2．図1の構造に基づく累積感度分布

暖色系ほど累積感度が高いことを示す．茶色の曲線はフィリピン海プレートの上面を示す．横軸の0kmは樽見の位置を示し，福井県池田町の発震地点は約-40kmに位置する．フィリピン海上面の発震点直下の低比抵抗帯の感度は高いことが読みとれる．