Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-01 会場:102A 時間:5 月 26 日 09:00-09:15

地殻活動に伴って励起された電磁波の地中から地上への放射
Electromagnetic waves radiated from the ground

筒井 稔[1*]
TSUTSUI, Minoru[1*]

[1] 京都産業大学
[1]Kyoto Sangyo University

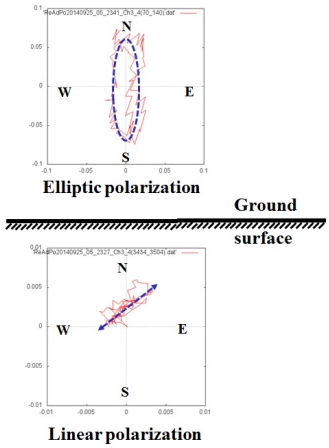
京都産業大学では以前から地中で電磁波が励起されるかどうかを確かめるための観測研究を行ってきたが、地中励起の電磁波を全く見つける事が出来なかった。これは、たとえ地中で電磁波が励起されても、地中媒質の電気伝導度が高いために、距離と共に急激に減衰してしまい、地中電磁波センサーの位置においてはセンサーの検出感度以下となっていたと考えられた。そこで 2011 年の 12 月からそのモニターする周波数範囲を 5kHz からその 1/200 の 25 Hz 以下にしたところ、電磁波を検出する事が出来るようになった。この電磁波は地震波の振動により、地中岩盤内での圧電効果により励起されていると考えられ、電磁波観測点において震度が 1 以下であっても、電磁波が検出される事が判った。これは地震波の波頭に電磁波放射源が載っていて、電磁波を放射しながら地震波の速度で移動している形態を採っていると考えられる。しかし地震波により励起された電磁波は容易に地上にも放射されている事が確実となった。これが MT 法での測定でも co-seismic 信号として検出される理由である [1]。

この地中励起の電磁波が地上方向に伝搬している事を示す方法として、一般的には地中と地上の両方での電磁波検出の時間差を測る事を考えるが、適当ではない。即ち、地中媒質と地上の空気という誘電率の異なる二つの媒質の境界面を横切って伝搬してきた結果の波形を見る事であり、その両者の波形を比較しても正しい結果は得られない。ただしく検証するには地中と地上の両方での電磁波の偏波解析をする事である。過去におこなった地上での雷放電が地中に侵入した時の電磁波の波形の同時測定から、その偏波解析を行った時、地上での雷放電は直線偏波をしていたのに対して地中での電磁波の偏波は楕円偏波をしていた [2]。この方法を採用して、電磁波観測点の直下で発生した地震時の地中と地上で検出した電磁波の波形から、その特定の時間での偏波特性を図に示している。図から、地中では直線偏波を示しているが、地上では楕円偏波を示している。これは直線偏波をしていた電磁波が二つの媒質の境界面（地表面）を通過する事により楕円と変化したことを示しており、地中から地上への放射を示唆している。

衛星観測において、地震発生前に電離層状況に変化が現れる点について、それを引き起こす物理現象についても、地表面を境とした地中から地上へ放射をしている何らかのエネルギーを見つける事が急務であると感じている。

[1] Minoru Tsutsui, Behaviors of Electromagnetic Waves Directly Excited by Earthquakes, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 11, No. 11, pp 1961-1965, 2014.
[2] M. Tsutsui, T. Nakatani, M. Kamitani and T. Nagao, Polarization and propagation property of electromagnetic pulses in the earth, in Proc. IGARSS, 2011, pp. 838-841.

キーワード: 電磁波パルス観測, 偏波計測, 大地からの放射
Keywords: observation of electromagnetic pulses, polarization analysis, radiation from the ground



Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-02 会場:102A 時間:5 月 26 日 09:15-09:30

メッシュレス粒子法を用いたMT法3次元フォワード計算
Three-dimensional forward calculation of magnetotelluric responses using a mesh-free particle method.

後藤 忠徳 [1*]
GOTO, Tada-nori[1*]

[1] 京都大学大学院工学研究科
[1]Graduate School of Engineering, Kyoto University

Accurate forward calculation of electromagnetic induction in the earth is essential for quantitative modeling of subsurface resistivity structure. The expression of complicated topography and bathymetry in the three-dimensional (3D) model should be carefully handled for accurate numerical calculations, but frequently ignored, unfortunately. For example, a widely-used 3D inversion code of magnetotelluric (MT) data is based on the finite difference method (FDM), in which the 3D model consists of assembly of rectangular blocks. Therefore, a smooth relief on the ground can be expressed as stair-like hills and valleys. Previous studies indicated that such step-wise approximation of topography yields large calculation error of MT responses. The finite element method (FEM) can include the smooth topographic relief in the 3D model, while the selection of proper mesh configuration for FEM is a hard task for users.

In this research, I developed an new 3D MT forward calculation method with

with MPS(Moving Particle Semi-implicit) method, one of the mesh-free calculation methos. The main purpose is the proper expression of topography / bathymetry in the 3D resistivity model. The MPS method is a particle method and is developed for the simulation of incompressible flow by Koshizuka and Oka (1996), and has been tried to apply for the one-dimensinal and two-dimensional MT problems. I use the MPS method for the 3D simulation of electromagnetic induction in this study. In the forward calculation, electric field and magnetic field are defined at each particle in a calculation model. MT responses are then calculated on an arbitrary point (on the surface, on the seafloor, and even in the earth). The results of MT forward calculation indicate enough accuracy and capability to calculate MT responses with complicated topography.

キーワード: 粒子法, MT 法, フォワード計算, 数値計算, メッシュレス
Keywords: particle method, magnetotellurics, forward calculation, numerical calculation, mesh-free

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-03 会場:102A 時間:5 月 26 日 09:30-09:45

MT 法における粒子法の計算精度評価の研究
Accuracy evaluation of MT response calculated with Particle Method

石須 慶一[1*] ; 三ケ田 均[1] ; 後藤 忠徳[1] ; 武川 順一[1]
ISHIZU, Keiichi[1*] ; MIKADA, Hitoshi[1] ; GOTO, Tada-nori[1] ; TAKEKAWA, Junichi[1]

[1] 京都大学大学院工学研究科
[1]Graduate School of Engineering, Kyoto University

近年、海底下の石油・天然ガス資源が有望視されており、その探査手法として、電磁探査の一種である MT 法が注目されている。従来の MT 法による地下構造解析では、電磁場伝播の数値計算法として有限差分法や有限要素法が使用されることが多い（例えば、Baba and Seama,2002; Minami and Toh, 2012）。有限差分法では、計算格子で解析領域を区切り、メッシュの節点に物理量を格納する。しかしながら、規則的な計算格子を用いる手法の問題点として、地表面形状や地下の不均質構造のように複雑な形状をモデルに取り入れることが難しい点があげられる。　そのような背景から、数値計算時にメッシュを生成する必要がなく、任意の地表面形状などに容易に対応しつつ微分方程式を解くことができる手法として、近年、粒子法が注目されている。粒子法は、格子やメッシュではなく自由配置された粒子を使用して微分方程式を離散化する手法である。しかし、粒子法は比較的新しい手法であるため、その解析精度に寄与すると考えられる計算条件やパラメータの設定に関して十分な検証がなされていないのが現状である。例えば、そのパラメータの一つとして粒子法における影響半径が挙げられる。

どの程度の影響半径を設定すれば、どの程度の解析精度が得られるかを事前に把握しておくことは、現在、揺籃期を迎えるこの手法にとって重要かつ喫緊の課題である。そこで本研究では、MT 法における電磁場の解析に粒子法を適応した際に、影響半径の設定が解析精度に与える影響についての検討を行った。

その結果、高周波数では、影響半径が小さいほど計算誤差が小さくなる傾向が見られた。また、電場減衰の大きさと、計算誤差が最も小さくなる影響半径の間に関連性があることが示唆された。今後、影響半径の最適化や、上述した粒子法での重み関数の最適化について改善を行う必要性が示唆された。

キーワード: 粒子法, 電磁探査, 電気探査, 地下構造
Keywords: MT, Particle Method

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-04 会場:102A 時間:5 月 26 日 09:45-10:00

実地形を考慮したMT法観測データのフォワード/インバージョン計算
3-D forward calculation and inversion of magnetotelluric data using the meshes including the actual topography

臼井 嘉哉 [1*]
USUI, Yoshiya[1*]

[1] 東京工業大学理学系研究科地球惑星科学専攻
[1]Department of Earth and Planetary Science, Tokyo Institute of Technology

The author developed a 3-D MT inversion code using unstructured tetrahedral elements and a tool to make computational meshes including the actual topography from digital terrain data.

It is important to consider topographic effects in interpreting observed data of magnetotelluric (MT) method. Without ignoring these effects, it is, therefore, possible to misinterpret subsurface structures because the observed data from MT surveys can be strongly affected by the topography around the survey area. The most straightforward way to take account of these effects is to incorporate the topography explicitly in the computational grid used in forward calculation and inversion, and this method can be applicable to a wider range of surveys.

Among space discretization methods, the finite element method using the unstructured tetrahedral element is considered to be one of the most effective method to include topography in computational grids, because it can represent topography precisely without using too many elements, and a number of robust meshing algorithms have been proposed such as Delaunay triangulation method and the advancing front method.

The forward part of the developed inversion code uses the edge-based tetrahedral element to calculate the electromagnetic field on the earth's surface. The inversion code can use the impedance tensor, the vertical magnetic transfer function and the phase tensor as observational data, and it estimates the subsurface resistivity values by updating them using Gauss-Newton method.

To make 3-D computational mesh of model, the tetrahedral mesh generator TETGEN (Si 2007) was used. This program constructs a tetrahedral mesh by the constrained Delaunay triangulation method from an inputted piecewise linear complex (PLC). Thus, in order to make a 3-D mesh containing topography, the author developed the program which makes the PLC including the topography. First, this program makes the 2-D mesh including land-sea boundaries by the 2-D constrained Delaunay triangulation method from the data of coast lines. Next, the altitude of the water depth of each node of the mesh is interpolated from topographic data by the inverse distance weighting method, and then outputs the 3-D PLC containing the topography.

With the aid of the inversion code and the meshing tool, the author will perform forward calculation and inversion using the mesh including actual topography to evaluate the topographic effects precisely and interpret subsurface resistivity structures accurately.

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-05 会場:102A 時間:5 月 26 日 10:00-10:15

磁場変換関数データと Network-MT データによる九州地方の 3 次元比抵抗構造
3D Electrical Resistivity Imaging beneath Kyushu by Geomagnetic Transfer Functions and Network-MT Response Functions

畑 真紀[1*] ; 上嶋 誠[1] ; 半田 駿[2] ; 下泉 政志[3] ; 田中 良和[4] ; 橋本 武志[5] ; 鍵山 恒臣[4] ; 歌田 久司[1] ; 宗包 浩志[6] ; 市來 雅啓[7] ; 藤田 清士[8]
HATA, Maki[1*] ; UYESHIMA, Makoto[1] ; HANDA, Shun[2] ; SHIMOIZUMI, Masashi[3] ; TANAKA, Yoshikazu[4] ; HASHIMOTO, Takeshi[5] ; KAGIYAMA, Tsuneomi[4] ; UTADA, Hisashi[1] ; MUNEKANE, Hiroshi[6] ; ICHIKI, Masahiro[7] ; FUJI-TA, Kiyoshi[8]

[1] 東京大学地震研究所, [2] 佐賀大学農学部, [3] 九州職業能力開発大学校, [4] 京都大学理学研究科, [5] 北海道大学大学院理学研究院, [6] 国土地理院, [7] 東北大学大学院理学研究科, [8] 大阪大学院工学研究科
[1]Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, [2]Faculty of Agricultural Science, Saga University, [3]Kyushu Polytechnic College, [4]Graduate School of Science, Kyoto University, [5]Graduate School of Science, Hokkaido University, [6]Geographical Survey Institute, [7]Graduate School of Science, Tohoku University, [8]GSE, Osaka University

The Kyushu Island in the Southwest Japan Arc has many Quaternary active volcanoes, which exist along the volcanic front of N30^{o}E-S30^{o}W, in relation to the subduction of the Philippine Sea Plate (PSP). The volcanoes are located in northern and southern regions of the island, and no volcano is located in the central region between the two volcanic regions of the island. We have performed three-dimensional (3-D) inversion analyses to obtain a lithospheric-scale electrical resistivity structure (model) beneath the entire Kyushu Island by using a data set of Network-Magnetotelluric (MT) response functions [*Hata et al.*, 2015]. One of two major findings from a distribution of conductive anomalies in the model is that the volcanoes in the northern and southern volcanic regions have two different origins bordering the non-volcanic region at deep depths. Secondly, the degrees of magmatism and the relative contributions of slab-derived fluids to the magmatism vary spatially in the one non-volcanic and two volcanic regions.

A shallow depth resolution of the lithospheric-scale resistivity model, however, was too low to examine small-scale resistivity structures of the crust because of the period range between 480 and 40,960 s of the Network-MT data. Thus we have started to perform 3-D inversion analyses by using a data set of geomagnetic transfer functions whose period range is from 20 to 960 s to obtain a resistivity structure model, in which we can examine smaller-scale structures. The geomagnetic transfer functions were determined at 167 sites in the Kyushu district. Original raw data sets for the geomagnetic transfer functions were measured at the entire Kyushu island and several islands off the western coast of Kyushu from 1980·s to 1990·s [e.g., *Handa et al.*, 1992; *Shimoizumi et al.*, 1997; *Munekane et al.*, 1997]. In this presentation, we will show a new electrical resistivity model, which is obtained through a two-stage inversion process as follows. We determine a resistivity structure mainly at a shallow depth by applying 3-D inversion analyses for the geomagnetic transfer functions of 20-960 s first and then determine a lithospheric-scale resistivity structure by applying 3-D inversion analyses for the Network-MT response functions of 480-40,960 s, which is based on values of the previous resistivity model determined by using the geomagnetic transfer functions. In the two-stage inversion process, we use two types of DASOCC inversion code [*Siripunvaraporn et al.*, 2004; *Uyeshima et al.*, 2008; *Siripunvaraporn and Egbert*, 2009].

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-06 会場:102A 時間:5 月 26 日 10:15-10:30

東北地方太平洋沖地震前後の地殻比抵抗変動検出の試み
Temporal Resistivity Change of Crustal Resistivity Structure Before and After the 2011 Tohoku Earthquake

齋藤 全史郎[1*] ; 小川 康雄[2] ; 長谷 英彰[2] ; 神田 径[2] ; 本蔵 義守[2] ; 関 香織[1] ; 坂中 伸也[3] ; 浅森 浩一[4]
SAITO, Zenshiro[1*] ; OGAWA, Yasuo[2] ; HASE, Hideaki[2] ; KANDA, Wataru[2] ; HONKURA, Yoshimori[2] ; SEKI, Kaori[1] ; SAKANAKA, Shin'ya[3] ; ASAMORI, Koichi[4]

[1] 東京工業大学地球惑星科学専攻, [2] 東京工業大学火山流体研究センター, [3] 秋田大学, [4] 日本原子力機構
[1]Department of earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, [2]Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, [3]Akita Universoty, [4]JAEA

The NE Japan was under the EW compression and localized strain distributions were observed along the Ou backbone ranges, which were responsible for generating the large inland earthquakes. The coseismic displacement of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9) released EW compressional strain and generated EW extension over the region. This earthquake had a great influence crustal dynamics in NE Japan. In particular, the seismicity around the Naruko area has sharply decreased. The GPS displacement show extension deficit (Ohzono et al, 2012), i.e. the Ou backbone rage shows less EW extension compared to the surroundings, because of the anomalous viscosity under the Ou backbone range. InSAR detected the subsidence of the geothermal regions around the Naruko area (Takada and Fukushima,a 2013). These suggest existence and migration of crustal fluids after the M9 earthquake.

MT is suitable to detect the fluid migration in the crust, as the resistivity is sensitive to the existence an connectivity of fluids, although they are minor components in the fluid bearing rocks. The previous profile MT dataset over Naruko volcano were obtained in 2003 (Asamori et al., 2010) and we tried to repeat MT measurements at the same places in 2013. Altough we tried to measure at the same spots, the locations are not exactly the same. In particular, we worry about the difference in the near surface local structures of the 2003 and 2013 sites. To overcome this difficulty, we used phase tensor (Caldwell et al, 2004) as response functions, which are insensitive to galvanic distortions of the near-surface local structure. To evaluate the temporal changes, it is important to show the errors of the phase tensors. For this, we used boot-strap method with 1000 realizations. We compiled the difference of α, β, ϕmax, ϕmin with error bars for all the period range. We found some consistent differences in the phase tensor parameters.

キーワード: 比抵抗, 時間変化, マグネトテルリクス, 位相テンソル, 流体
Keywords: resistivity, temporal variation, magnetotellurics, phase tensor, fluid

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-07 会場:102A 時間:5 月 26 日 11:00-11:15

「ふつう」の海洋マントルの電気伝導度構造イメージング
Electrical conductivity imaging of "Normal Oceanic Mantle"

馬場 聖至[1*] ; 多田 訓子[2] ; 松野 哲男[1] ; liang pengfei[1] ; Zhang Luolei[3] ; 清水 久芳[1] ; 歌田 久司[1]
BABA, Kiyoshi[1*] ; TADA, Noriko[2] ; MATSUNO, Tetsuo[1] ; LIANG, Pengfei[1] ; ZHANG, Luolei[3] ; SHIMIZU, Hisayoshi[1] ; UTADA, Hisashi[1]

[1] 東京大学地震研究所, [2] 海洋研究開発機構, [3] 同済大学
[1]Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, [2]Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, [3]Tongji University

マントル対流のわき出しと沈み込みの間の水平流の区間、表面積としては海洋底の大半を占める部分は、プレート境界のテクトニックな活動からはなれた「ふつう」のマントルを代表すると考えられる。東大・地震研究所と JAMSTEC の研究者で構成する Normal Oceanic Mantle Project 研究グループは、「ふつう」の海洋マントルを地震学的・電磁気学的に観測することで、1) アセノスフェアの流動性の原因は何か？　2) マントル遷移層は地球の巨大な貯水槽か？　という二つの謎の解明へ迫ろうとしている。我々は、観測対象海域を北西太平洋シャツキー海台の北西（A 海域）および南東（B 海域）に設定し、2010 年より段階的に観測機器を設置してデータを取得した。A 海域には 17 観測点にのべ 26 台の海底電位磁力計 (OBEM) を設置し、このうち 15 観測点 22 台の OBEM から解析に有効なデータを取得した。B 海域については、8 観測点にのべ 10 台の OBEM を設置し、7 観測点 8 台の OBEM から有効データを得た。

一昨年の連合大会において、我々は、2010〜2012 年のパイロット観測により A 海域の 4 観測点で得られたデータの解析結果と上部マントル 1 次元電気伝導度構造モデルを提示した。また昨年の連合大会と SGEPSS の秋学会では、2011〜2013 年の観測で得られた B 海域 7 観測点のデータ解析結果を加え、A、B 海域の 1 次元電気伝導度構造の違いを議論した。本発表では、その後の観測で加わったデータを合わせて全データを再解析し、A、B 海域の 1 次元構造を再推定した結果について報告する。

2012 年度〜2014 年にかけて行った観測では、新たな試みとしてタイマーによる測定間隔の切替えを行った。測定間隔は、観測開始から約 1 ヶ月は 10 秒、それから約 10 ヶ月を従来と同じ 60 秒、その後再び 10 秒に切替えるよう設定した。これにより、推定する MT レスポンスを短周期側へ延長することと、バッテリーの効率的な利用を期した。MT レスポンスの推定には、BIRRP(Chave & Thomson, 2004) を用いた。観測海域の水深は 5200〜6200 m で、海水中での電磁場の減衰効果により数 100 秒より短周期側は S/N 比が悪い。10 秒間隔で測定した期間は大きな磁場擾乱もなく、従来通り柿岡をリモートリファレンスとした解析では、MT レスポンスの短周期側への延長はできなかった。しかしながら、BIRRP のオプションである 2 段階推定法を適用したところ、その後の解析に耐えうる有効な MT レスポンスを短周期側約 50 秒まで得ることができた。A 海域、B 海域でそれぞれ 9、1 観測点で 10 秒計測データから MT インピーダンスが推定できた。また 10 秒計測データから 60 秒計測を模してリサンプリングしたデータとアンチエイリアシングフィルタを適用して 60 秒間隔にリサンプリングしたデータの比較から、従来の 60 秒計測データで推定した MT レスポンスの 400 秒より短周期側は見掛け比抵抗が下方にバイアスされる事が判明した。よって周期 400 秒以下については 10 秒計測データ、それより長周期側では 60 秒計測データを解析して得られた MT インピーダンスをその後の解析に用いた。

得られた MT インピーダンスを海域ごとに平均をとり、海陸境界と地形効果を補正しつつ 1 次元構造を推定した。A 海域については、パイロット観測アレイのみから推定した旧モデルよりもリソスフェア最上部（海洋地殻）の良導層がより精度よく決まった。これは MT インピーダンスが短周期側へ約半桁伸びた効果であると考えられる。一方 B 海域については、10 秒計測データが取得できたのが 1 点だけなので、海域の平均レスポンスの推定には、60 秒計測データのみの周期 480 秒以上のデータを用いた。その結果、旧モデルに見られた深さ約 50km から 100km にかけての曲率変化がなくなり、深さ約 170km の電気伝導度のピークが弱くなった。旧モデルの特徴は、下方バイアスした最短周期の見掛け比抵抗に影響されていたものと考えられる。旧モデルと新モデルには以上のような差があるものの、リソスフェアマントルに相当すると考えられる低電気伝導度の厚さという点で見ると、A 海域よりも B 海域のほうが若干厚い傾向にあり、両者は先行プロジェクトで得られた小笠原沖太平洋（C 海域）下のモデルに比べると有意に薄い、という特徴は従来の結果と同様である。

A、B、C 海域の平均的な海洋底年代は、それぞれ約 130、140、147Ma である。プレート冷却モデルに基づくと、これらの年代差による温度構造の違いは非常に小さい。したがって 3 海域の電気伝導度構造モデルの差を、均一なマントルのプレート冷却モデルの年代差で説明することは難しい。

キーワード: 海洋上部マントル, 北西太平洋, 海底電位磁力計, マグネトテルリック法, 電気伝導度構造
Keywords: oceanic upper mantle, northwestern Pacific, ocean bottom electromagnetometer, magnetotellurics, electrical conductivity structure

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-08 会場:102A 時間:5 月 26 日 11:15-11:30

「ふつうの海洋マントル」プロジェクトにおけるマントル遷移層電気伝導度構造の解明
Electromagnetic investigation into the mantle transition zone in the Normal Oceanic Mantle project

松野 哲男 [1*] ; 歌田 久司 [1] ; 馬場 聖至 [1] ; 清水 久芳 [1] ; 多田 訓子 [2]
MATSUNO, Tetsuo[1*] ; UTADA, Hisashi[1] ; BABA, Kiyoshi[1] ; SHIMIZU, Hisayoshi[1] ; TADA, Noriko[2]

[1] 東京大学地震研究所, [2] 海洋研究開発機構
[1]Earthquake Research Institute, University of Tokyo, [2]Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

北西太平洋のマントル遷移層の電気伝導度構造を明らかにするため「ふつうの海洋マントル」プロジェクトで観測した海底電磁気データの解析結果について発表する。本研究の第一の目的は、固体地球科学における問いの一つ「マントル遷移層は地球の巨大な貯水槽か？」への回答を、最新鋭の海底観測機器による観測をつうじ電気伝導度構造から明らかにすることである。マントル遷移層の電気伝導度構造を明らかにするためには、データ感度の点から電磁気応答関数の周期は 10^5 秒（およそ 1 日）である必要がある [Fukao et al., 2004]。地球電場観測装置 (EFOS) は、長い電極間距離（およそ 2 km）のために目標となる周期帯の電位差観測において海底電位差磁力計 (OBEM) よりもシグナル・ノイズ比の高いデータを取得することができる [Utada et al., 2013]。そのことから電場計測に EFOS を用いた。さらに、この EFOS と OBEM の観測を複数年継続して行うことで、長期間の海底電磁場変動データ（EFOS は最長 2 年、OBEM は最長 4 年）を得ることができた。これら長期間の電磁場データをもちいることで、目標となる周期帯の電磁場応答関数を精度よく推定することができる。

三つの EFOS を 2012 年 9 月に設置し、2014 年 9 月に回収した。一つの EFOS は全観測期間 2 年間において品質のよいデータを記録し、残りの二つの EFOS はそれぞれ 1 年間分のデータを記録した。EFOS の電場計測間隔は 1 秒で、機器の時刻のずれ（120 秒以下）は補正した。MT 応答関数は、これらの EFOS データと、同じ観測点の OBEM の磁場データをもちいて推定し、GDS 応答関数は OBEM の磁場データから推定した（OBEM 磁場データの詳細については、同じセッションでの馬場ほかの発表による）。これらの応答関数の周期帯は、主として 10^5 から 10^6 秒である。MT 応答関数は A 海域（シャツキー海台の北西域）で 3 観測点、GDS 応答関数は A 海域で 15 観測点、B 海域（シャツキー海台の南東域）で 7 観測点において推定した。

推定した応答関数を、既知の北太平洋下の 1 次元電気伝導度構造と地球表面の海陸分布を考慮したモデル [Shimizu et al., 2010] から計算される応答関数と比較した。その比較の結果、A 海域のマントル遷移層は参照とした北太平洋の 1 次元電気伝導度構造よりも低電気伝導度である可能性、また、A 海域のマントル遷移層の電気伝導度構造の南北方向の変化はほとんどない可能性が示唆された。現在さらなるデータ解析を行っており、その結果、および、結果にもとづくマントル遷移層の温度・含水量などについての解釈も発表する予定である。

キーワード: マントル遷移層, 電気伝導度構造, 北西太平洋
Keywords: mantle transition zone, electrical conductivity structure, northwestern Pacific

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-09 会場:102A 時間:5 月 26 日 11:30-11:45

主成分分析を用いた地磁気全磁力モデルの開発
Development of geomagnetic total force models by applying Natural Orthogonal Component (NOC) method

阿部 聡 [1*] ; 宮原 伐折羅 [1] ; 小山 崇夫 [2] ; 小河 勉 [2]
ABE, Satoshi[1*] ; MIYAHARA, Basara[1] ; KOYAMA, Takao[2] ; OGAWA, Tsutomu[2]

[1] 国土交通省国土地理院, [2] 東京大学地震研究所
[1]GSI of Japan, [2]ERI, the Univ. Tokyo

国土地理院は，日本全国の地磁気の地理的分布と永年変化を把握するため，1970 年代から日本全国を網羅する地磁気測量を実施してきた．1990 年代の後半からは，3 つの観測所，全国 11 箇所の連続観測施設において地磁気ベクトルの連続観測を実施している．これらの連続観測データと一等磁気測量の成果から，日本全国の磁場分布を図に示した磁気図が作成・公表されている．磁気図は「地磁気時空間モデル」という手法を用いて作成されている．このモデルは，日本全国の磁場の時間変化量を，複数の連続観測データと一等磁気測量のデータから推定する手法によって作成されるモデルで，入力には観測点の地磁気の年平均値を用いている．そのため，磁気図の時間分解能は年単位となっており，年毎の値は参照できるが短期の観測時期に対して参照値を与えることはできない．そこで今回，本手法を拡張することによって，より細かな時間分解能を持つモデルの作成を試みた．モデル化対象を全磁力とし，異なる 2 種類のデータ（全磁力データ，地磁気三成分データ）から 2 種類の全磁力モデルを作成し，それぞれをスカラーモデル，ベクトルモデルとした．モデル精度の検証のため，一個抜き交差検証を行った結果，スカラーモデルでは 2.6nT の精度が，ベクトルモデルでは 3.7nT の精度が得られた．作成したモデルを，富士山周辺の全磁力観測点のデータのトレンド除去に用いたところ，複数の観測点で，2011 年 3 月 15 日の静岡県東部地震によって起こったピエゾ磁気効果によるものと思われる磁気変化が明瞭に確認できるようになった．

キーワード: 主成分分析, 全磁力モデル, 自然直交基底法, 磁気図
Keywords: Principle Component Analysis, Geomagnetic total force model, Natural Orthogonal Component, Geomagnetic charts

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-10 会場:102A 時間:5 月 26 日 11:45-12:00

日本周辺の地磁気経年変化率の空間分布を表現するひとつの方法
A method of representing standard secular variations around such as Japan

山崎 健一 [1*]
YAMAZAKI, Ken'ichi[1*]

[1] 京都大学防災研究所地震予知研究センター宮崎観測所
[1]Miyazaki Observatory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

地磁気を位置の関数としてあらわしたものは地磁気モデルと呼ばれ、特に観測点密度の高い領域だけを対象としたものは地域地磁気モデルと呼ばれている。離散的な観測点で得られた地磁気観測値から地磁気モデルを作成する操作は観測値に対する内挿とみなせるが、同時に、適当な関数系をあてはめる場合には空間的長波長成分のみを抽出するフィルタとみなすこともできる。地磁気モデル作成には、古くからさまざまな方法が用いられている [たとえば Haines, 1985]。古典的な方法は多項式による表現である。たとえば、Tazima et al. [1976, JGG] は 1970 年前後に国土地理院の一等磁気測量で得られた全国約 100 点での経年変化率を成分ごとに緯度経度の 2 次式で表現している。より新しいものでは、Ji et al. [2006, EPS] が国土地理院の地球電磁気連続観測記録を表現するために Spherical Cap Harmonic function Analysis (SCHA) [Haines, 1985] を用いた結果を報告している。海外では、近年 SCHA の欠点である直交性の欠落を修正したものとして R-SCHA が提案され [Thebault et al. 2006, JGR] 、地域モデリングに応用されている。

地磁気モデルが活躍しうる場面のひとつが地殻起源地磁気変動の検出である。地殻起源地磁気変動は地磁気モデルが表現するものよりも小さな空間波長をもつと期待される。そこで、各観測点で得られる地磁気変動観測値と地磁気モデルの予測値の差として異常変動を定義すると、異常変動は地殻起源の地磁気変動を表現する、と期待できる。

地殻起源の地磁気変動の抽出を目的とする場合、既存の地磁気モデル作成方法には不満足な点がある。成分ごとに多項式をあてはめる方法では、得られた場は、電流のない領域の磁場が満たすべき非回転条件を一般には満たさない。また、何次の多項式を使うとどの程度の精度で非地殻起源の地磁気変動が表現できるのかを議論することもできない。SCHA や R-SCHA を用いた場合は、日本のように長細い領域においては必ずしも基底関数の直交性は満たされず、そのため、高次のモデルパラメータ（球面調和関数解析のガウス係数に相当するもの）は正しく決定できない。実際、Ji et al. [2006] の結果では、対象領域の縁の近くでは不自然に大きな経年変化が予測されている。

本報告では、対象領域内（たとえば日本列島）に定義域を限定した球面調和関数を主成分分析して得られる結果を基底関数とする方法を提案する。この方法では、表現される場は自動的にラプラス方程式を満たす。また SCHA 等を利用する場合と異なり、対象領域の形状が円盤状でなくても直交性が保たれ、その結果としてモデルパラメータを安定して求めることができる。さらに、全球での地磁気解析から経験的に知られているガウス係数のスペクトル則を仮定することで、打切り誤差の大きさを先験的に評価することができる。

キーワード: 地磁気経年変化, 地域地磁気モデル, 空間分布, 球面調和関数, 主成分分析
Keywords: geomagnetic secular variation, regional geomagnetic field model, spatial distribution, Spherical Harmonic Functions, Principal Component Analysis

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-11 会場:102A 時間:5 月 26 日 12:00-12:15

タール火山（フィリピン）における 2010 － 2011 年活動に伴う全磁力変化
Total Magnetic Field Changes associated with the 2010-2011 seismo-volcanic crisis at Taal Volcano (Philippines)

笹井 洋一[1*] ; アラニス ポール・K・B[2] ; 長尾 年恭[1] ; ズロトニキ ジャック[3] ;
ジョンストン マルコム・J・S[4]
SASAI, Yoichi[1*] ; ALANIS, Paul k. B.[2] ; NAGAO, Toshiyasu[1] ; ZLOTNICKI, Jacques[3] ;
JOHNSTON, Malcolm j. S.[4]

[1] 東海大・海洋研, [2] フィリピン火山地震研, [3] 国立科学研究センター (仏), [4] 合衆国地質調査所 (アメリカ合衆国)
[1]IORD, Tokai Univ., [2]PHIVOLCS (Philippines), [3]CNRS (France), [4]USGS (USA)

我々は 2005 年以来，フィリピン・ルソン島のタール火山において火山活動監視のため，プロトン磁力計による全磁力観測や自然電位の観測を行ってきた．2010 年 4 月にタール火山 Volcano 島において地震回数が急増して，7 月には島の住民が全島避難する事態になった．地震回数には 2011 年後半までに 4 回のピークがあり，警戒レベルの判定に PHIVOLCS は苦労した．Volcano 島の北側斜面に我々のプロトン磁力計と傾斜計が設置されており，そのデータを用いて一連の活動を説明する力学的モデルを作成した．Volcano 島の中央部の地下 1km から 4km に直径 3km の大きな熱水溜があり，その膨張・収縮が全磁力変化に大きく寄与していると判った．この活動は深さ 5km にマグマ貫入と思われる膨張力源が発生し，そこから火山性流体が深さ 2.5km を中心とする熱水溜に供給されて，熱水溜の膨張と周囲への間隙流体圧の増加によって地震活動が励起されたと考えられる．活動に伴い，明瞭な全磁力の減少が観測された．タール火山周辺の伏角は 14° と浅く，熱消磁を考えるとその真上では全磁力はかえって増加する．地殻変動と地磁気変化は見事に対応するので，ピエゾ磁気効果が原因と考えられる．我々の力源モデルは回転楕円体 (Davis, 1986) であるが，対応するピエゾ磁気モデルは未完成なので茂木モデルで代用する．浅い火山性地殻変動なので，地殻の剛性率を $1x10^3$MPa と一桁小さく仮定するが，磁気応力係数は $2MPa^{-1}$ と一桁大きくなると推定され，両者の積で決まるピエゾ磁場の大きさは変らない．キュリー点深度 (H) が最も不明なパラメータであるが，タール火山が地溝帯に位置していて地下は高温であることを考慮して多数のモデルを試した結果，H=2.5km を採用した．深部力源によっては地磁気変化はほとんど生じないが，熱水溜の膨張によって全磁力変化はうまく説明できる．熱水溜の圧力変化は 1MPa 以下と推定される．このように低圧力での熱水溜の膨張は，火山性流体が非凝縮性である CO_2 ガスを大量に含むことで，気液二相状態が生じるためと考えられる．この推測は主火口湖からの CO_2 放出量の測定結果によって支持される．

キーワード: タール火山, 2010 － 2011 年活動, 全磁力変化, 熱水溜, キュリー点等温面, ピエゾ磁気効果
Keywords: Taal Volcano, 2010-2011 seismo-volcanic crisis, Total Magnetic Field Change, Hydrothermal Reservoir, Curie Point Isotherm, Piezomagnetic Effect

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-12 会場:102A 時間:5 月 26 日 12:15-12:30

いわき観測点における地磁気観測用 HTS-SQUID 磁力計の比較評価
A Comparison Evaluation of Geomagnetic Observation Signal Using HTS-SQUID Magnetometers at Iwaki Observation Site

香取 勇太[1*] ; 大久保 寛[1] ; 波頭 経裕[2] ; 塚本 晃[2] ; 田辺 圭一[2] ; 大西 信人[3] ; 古川 克[3] ; 磯上 慎二[4] ; 竹内 伸直[5]
KATORI, Yuta[1*] ; OKUBO, Kan[1] ; HATO, Tsunehiro[2] ; TSUKAMOTO, Akira[2] ; TANABE, Keiichi[2] ; ONISHI, Nobuhito[3] ; FURUKAWA, Chikara[3] ; ISOGAMI, Shinji[4] ; TAKEUCHI, Nobunao[5]

[1] 首都大学東京, [2] 国際超電導産業技術研究センター, [3] テラテクニカ, [4] 福島工業高等専門学校, [5] 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター
[1]Tokyo Metropolitan University, [2]International Superconductivity Technology Center, [3]Tierra Tecnica, [4]Fukushima National College of Technology, [5]Tohoku University

本発表では，福島県いわき市において稼働している 2 機の HTS-SQUID 磁力計を用いた高感度地磁気観測システムの比較評価を行った結果を報告する．

地震発生時における断層運動による震源付近の圧力変化が要因であるピエゾ磁気効果による磁場変化は非常に微小な信号であると考えられる。この信号を明確に観測し，検出するためには屋外での高感度磁力計による連続観測を行う必要がある．

本研究グループでは 2012 年 3 月より HTS-SQUID 磁力計を用いた観測を実施している．本発表では，いわき観測点において同時観測された 2 機の HTS-SQUID 磁力計とさらに，フラックスゲート磁力計の信号と比較解析し，新たに導入した HTS-SQUID 磁力計（2 号機）の野外観測時における性能の評価結果を報告し，超高感度地磁気観測の可能性を示す．

キーワード: HTS-SQUID 磁力計, 地磁気観測, 地震ピエゾ磁気効果
Keywords: HTS-SQUID Magnetometer, Geomagnetic Observation, earthquake piezomagnetic effect

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P01 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

広帯域 MT 探査による九重連山周辺の比抵抗構造推定
Wide-band Magnetotellurics Survey on Kuju volcanic Group, Kyushu iland

塩谷 太郎 [1*] ; 宇津木 充 [1] ; 相澤 広記 [2] ; 上嶋 誠 [3] ; 小山 崇夫 [3] ; 神田 径 [4]
SHIOTANI, Taro[1*] ; UTSUGI, Mitsuru[1] ; AIZAWA, Koki[2] ; UYESHIMA, Makoto[3] ; KOYAMA, Takao[3] ; KANDA, Wataru[4]

[1] 京都大学理学研究科, [2] 九州大学大学院理学研究院附属・地震火山観測研究センター, [3] 東京大学地震研究所, [4] 東京工業大学火山流体研究センター
[1]Graduate School of Science, Kyoto University, [2]Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University., [3]Earthquake Research Institute, University of Tokyo, [4]Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

九州の大分県と熊本県の県境には久住山、星生山などが連なっており、九重連山と呼称される。星生山周辺では活発な噴気活動が見られ、1995 年にその北側斜面で蒸気爆発を起こしている。この活動で、従来の噴気活動のあった南東部に新たな噴気孔が形成されている（井村・鎌田,1996）。また吉川他 (2004) は地震波トモグラフィによって九重火山南部の地下 11km 程度の領域においてマグマ溜まりが存在する可能性を指摘している。九重火山における近年の火山活動、及び過去の研究成果を受け、本研究では火山体浅部から深部 (10km 程度) に至る詳細な 3 次元比抵抗構造を推定し

● 火山体浅部の熱的状態の推定すること
● 深部のマグマ供給系を捉えること

を目的として広帯域 MT 法 (Wide-band Magnetotellurics）による調査を実施した。

観測は 9 月初頭から 10 月 末日までの期間に 5 日間のキャンペーン観測を 5 回行い、九重連山を中心とした約 30km 四方において計 67 観測点を設置した。使用機材は Phenix 社製電磁探査装置 MTU-5A(京大火山研究センター所有 2 台、防災研所有 1 台)、Metoronix 社 製電磁探査装置 ADU（東大地震研所有 7 台)、ELOG（九州大学所有 10 台）を用いた。各観測点では機材を約 10 日?2 週間程度設置し、電磁場の連続観測を実施した。MTU-5A 及び ADU は電場 2(東西、南北) 成分及び磁場 3(東西、 南北、上下) 成分を計測するのに対し ELOG は電場 2 成分のみを計測する。アクセスの難しい九重火山山頂部では、機材が軽く設置作業が簡便な ELOG を用いて電場観測のみを、その他のアクセスの容易な点では MTU-5A、ADU を用いて電場・磁場観測を行った。得られた時系列データに FFT をもちいて周波数領域に変換し，周波数ごとのインピーダンスを求めた．また Gamble et al. (1979) のリモートリファレンス処理を、MTU5A については国土地理院が公開している岩手県江刺の磁場連続観測データ、ADU については GERD 社より提供頂いた岩手県安代の磁場データを用いて行った。発表では観測の詳細を示すとともに、得られたデータの一次処理結果を中心に報告する。

本観測は「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の一環として行った。京都大学技官の井上寛之様、九州大学技官の内田和也様、 塚島祐子 様、九州大学学生の橋本直幸様、山本隆寛、山下俊介様、杉田隼人様、山下陽平様、蝦名直也、戸塚修平様、岩佐光太郎様には観測時に多大な貢献を頂いた。また長谷様、佐波様をはじめ GERD 社の皆様には快くリモート点の磁場データ利用に承諾頂いた。ここに厚くお礼申し上げます。

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P02 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

鴨川低地断層帯周辺の AMT 法による比抵抗構造
AMT resistivity soundings across the Kamogawa-teichi fault zone, Boso Peninsula

山谷 祐介 [1*] ; 伊藤 忍 [1] ; 宮川 歩夢 [1] ; 住田 達哉 [1] ; 小森 省吾 [1]
YAMAYA, Yusuke[1*] ; ITO, Shinobu[1] ; MIYAKAWA, Ayumu[1] ; SUMITA, Tatsuya[1] ; KOMORI, Shogo[1]

[1] 産業技術総合研究所
[1]Geological Survey of Japan, AIST

鴨川低地断層帯は，房総半島南部を東西に横切る断層帯である．この断層帯は，主に鴨川低地北断層および南断層からなるが，過去の活動履歴に関する資料や活断層である証拠が乏しく，実態が不明確であるとされている（地震調査委員会，2004）．これまで，これらの断層を調査する目的で浅部の弾性波探査，電気探査やボーリングなどが行われているが，活断層の存在を示す証拠は得られていない（たとえば，千葉県，2001）．ただし，第四紀あるいは過去数十万年以降に活動した可能性については否定されていない．一般に，断層活動に伴う破砕帯周辺は透水性が高く，水が浸入することにより低比抵抗領域として検出される可能性がある．我々は，当断層帯の過去の活動性を議論するための情報の一つを得るために，比抵抗構造探査を計画した．

北断層および南断層を横切る約 12 km の測線上で AMT 法による比抵抗探査を 2014 年 12 月に実施した．各観測点で得られた電磁場変動の時系列データから，10400-0.35 Hz の周波数帯において MT インピーダンスを求めた．これらのインピーダンスから算出される見かけ比抵抗および位相を入力として，２次元構造を仮定したインバージョンによる構造推定を行った．

予備的な解析結果による深さ 1.5 km までの比抵抗断面は，1-100 Ω m 程度と比較的比抵抗が低く，主に海成層で構成されたこの地域の地質を反映している．比抵抗はコントラストは大きくないが，地質区分との対応が良く，地質区分の新しい順に，三浦層群が低比抵抗（3 Ω m 以下），保田層群が低-中比抵抗（3-30 Ω m）および嶺岡層群が高比抵抗（30 Ω m 以上）と解釈できる．一方，推定活断層の直下あるいは周辺には顕著な低比抵抗体は認められず，少なくとも探査深度の範囲では，断層活動に関連する水が検出しうる量で存在する可能性は低い．Miyauchi et al. (2006) は，反射法探査の結果から，従来活断層とされてきた断層は，組織地形として成立したものであり，活断層は存在しないか活動度が極めて低いと結論した．今回得られた比抵抗断面は彼らの主張と矛盾せず，この地域では地震を伴うような断層活動の経験がないか，あるいはその時期は不明であるが活動後長期間が経過し，すでに固着している状態が考えられる．

キーワード: 比抵抗, 活断層, 鴨川低地断層帯, マグネトテルリク法
Keywords: resitivity, active fault, Kamogawa teichi fault zone, magnetotellurics

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P03 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

房総半島外房地域の比抵抗構造
Resistivity structure of the Sotobo area in Boso Peninsula, Central Japan

奥田 真央[1*] ; 茂木 透[2] ; 小泉 直輝[3] ; 服部 克巳[3] ; Han Peng[3] ; 山崎 智寛[3] ; 吉野 千恵[3]
OKUDA, Mao[1*] ; MOGI, Toru[2] ; KOIZUMI, Naoki[3] ; HATTORI, Katsumi[3] ; HAN, Peng[3] ; YMAZAKI, Tomohiro[3] ; YOSHINO, Chie[3]

[1] 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻, [2] 北海道大学大学院理学研究院付属地震火山研究観測センター, [3] 千葉大学大学院理学研究科
[1]Graduate School of science, Hokkaido University, [2]Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, [3]Department of Earth Sciences, Graduate School of Science, Chiba University

Boso peninsula is located in a tectonically complicated area where the Pacific plate, the Philippine Sea plate and the North-American plate converge. The Philippine Sea plate is subducting along the Sagami trough, where megathrust earthquakes have repeatedly occurred. Near the megathrust earthquake source region, slow slop events (SSEs) have occurred at least five times within 20 years and the recurrence interval has decreased [Ozawa et al., 2014]. The studies of SSEs have been advanced actively. For example, it was indicated that SSE is a major driving process for earthquake swarms [Hirose et al., 2014]. On the other hand, Obara [2007] argued that SSE may be related to fluid liberated from down-going slab by dehydration process. But the details of the subsurface structure where it occurred have not still understood well.

A magnetotelluric (MT) survey was carried out between November and December in 2014 to investigate the structure relating to SSE and subduction of the Philippine Sea plate under the continental plate. Time series of the MT data were recorded using the MTU-5 system manufactured by Phoenix Geophysics Co. Large artificial electromagnetic noise was observed in this area during operation time of DC trains. Reduction of the serious noise will be essential to investigate deeper depth. In this preliminary stage, we analyzed only data for two hours per a day that was obtained from 2 to 4 a.m. to avoid the DC train noise. However the lower frequency bands (0.1 - 0.001 Hz) data still have not well identified due to local noise. We used the data at the frequency band of 320 to 1 Hz and applied the remote reference method referring the other site observed in same time. We acquired apparent resistivity and phase on each site based on the above process, and we also computed the phase tensor and induction vectors. The phase tensor was nearly circle at each frequency, and the induction vectors have not point to the specific direction in the frequency range. Finally we inverted the apparent resistivity and phase data and drew out a MT model.

MT images have showed basically three layer structure. Top layer, having 10 Ω-m, is extending to the several hundred meter depth and underlying the very low resistivity layer (>1 ohm-m). According to the drilling data, these two layers are interpreted as Shimosa and Kazusa Group respectively. The bottom of Kazusa group in the west area seems to be deeper than that of the east area of the survey area and has showed basin like structure. The resistive layer is distributed at several kilo-meters depths in the northeast area. This layer was interpreted as pre-Tertiary bed rocks. As shown here, we imaged subsurface structure of the Sotobo area at depths of several kilo-meters in this stage using noise free frequency band data. However we would like to delineate image the deeper area than the result of this survey to elucidate the structure of SSE or the relation of the two plates, so we need to remove noises from obtained data and observe wider area in the next stage.

Keywords: Magnetotelluric, Resistivity structure, Boso Peninsula, Kazusa Group

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P04 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

地電位差計を用いた大分県中南部の広帯域 MT 観測
Broad-band telluric and magnetotelluric measurements in Oita prefecture, Kyushu, Japan

相澤 広記 [1*] ; 上嶋 誠 [2] ; 高村 直也 [3] ; 宇津木 充 [4] ; 井上 寛之 [4] ; 塩谷 太郎 [4] ; 内田 和也 [1] ; 塚島 祐子 [1] ; 若林 翌馬 [1] ; 藤田 詩織 [1] ; 松島 健 [1] ; 小山 崇夫 [2] ; 神田 径 [5] ; 吉村 令慧 [6] ; 山崎 健一 [6] ; 小松 信太郎 [6] ; 志藤 あずさ [7]
AIZAWA, Koki[1*] ; UYESHIMA, Makoto[2] ; TAKAMURA, Naoya[3] ; UTSUGI, Mitsuru[4] ; INOUE, Hiroyuki[4] ; SHIOTANI, Taro[4] ; UCHIDA, Kazunari[1] ; TSUKASHIMA, Yuko[1] ; WAKABAYASHI, Asuma[1] ; FUJITA, Shiori[1] ; MATSUSHIMA, Takeshi[1] ; KOYAMA, Takao[2] ; KANDA, Wataru[5] ; YOSHIMURA, Ryokei[6] ; YAMAZAKI, Ken'ichi[6] ; KOMATSU, Shintaro[6] ; SHITO, Azusa[7]

[1] 九州大学地震火山観測研究センター, [2] 東京大学地震研究所, [3]NT システムデザイン, [4] 京都大学火山研究センター, [5] 東京工業大学火山流体研究センター, [6] 京都大学防災研究所, [7] 京都大学地球熱学研究施設
[1]Kyushu University, [2]ERI, University of Tokyo, [3]NT system design, [4]Aso Volcanological Laboratory, Kyoto University, [5]KSVO, TITECH, [6]DPRI, Kyoto University, [7]Institute for Geothermal sciences, Kyoto University

ここ 10 年間、3 次元インバージョンコード (e.g., Siripunvaraporn et al., 2009; Kelbert et al., 2012) が相次いで開発、公開されたことにより、地磁気ー地電流 (MT) データから 3 次元比抵抗構造を推定することが可能になった。信頼性の高い 3 次元構造を得るためには対象領域を稠密に覆うよう多数の観測点でデータを取得する必要がある。さらにターゲット領域外の構造も見たい領域に大きな影響を及ぼす可能性があるため、広い領域で MT データを取得することが望ましい。しかしながら現在でも観測によって 100 を超えるような多くの観測点で MT データを得ることはそれほど簡単ではない。特に深さ数 10 km までに感度がある広帯域 (1000~0.0001Hz) のデータを得ようとすると、器材の手配、土地交渉、設置、電源の維持、撤収と多大な労力を要する。これは広帯域 MT の観測装置が高額で探査で使用できる台数が限られること、1 セット 30 kg 以上と器材が重いこと、消費電力が 12~18W と大きいことによる。

MT 法の比抵抗構造推定においては、通常、各観測点での電場―磁場の応答関数 (インピーダンス)、水平磁場ー鉛直磁場の応答関数 (ティッパー) をインバージョンの入力データとして用いる。ここで観測の労力を少しでも減らすため、電場ー磁場両者を取得する観測点数を減らし、電場だけの観測点を多く設置し、異なる地点の電場ー磁場間のインピーダンスを用いて比抵抗構造を推定する「磁場電場分離型 MT 法」が提案、実施されている (e.g., Unsworth et al., 1997, 後藤, 1999)。「磁場電場分離型 MT 法」においては電場と磁場を記録できる従来の広帯域 MT 探査ロガーが用いられてきたが、安価で省電力な電場ロガーがあれば多点観測の労力を大幅に削減できると考え、新たな地電位差計を開発した。地電位差計は 24bitAD 変換でオーバーサンプリング (14.336KHz) したデータを FIR フィルタで処理し、高速 (1024Hz) および低速 (32Hz) で SD カードに記録する。ゲインは ± 2.5V 固定で入力インピーダンス 200 Gohm の下、GPS 時計による正確な時刻情報を付加した 2ch の地電位差データを記録する。データを取得する時間帯、FIR フィルタの特性はユーザーによって自由に変えることが出来る。本発表では開発した地電位差計と従来の広帯域 MT 探査装置を同じ場所で並行観測した結果、ならびに実際のフィールドへ適用した結果を示す。電位差計を用いた広帯域 MT 観測は 2014 年 9~10 月に九重山周辺のおよそ 70 点で初めて行われた。2015 年 2~3 月には大分県南部の 40 点で探査を新たに実施予定である。

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P05 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

山崎断層帯主部南東部を構成する琵琶甲断層の地下比抵抗構造の高精度化
Modification of resistivity structure beneath the Biwako fault, the southeastern part of the Yamasaki fault system

伊東 修平[1*] ; 山口 覚[2] ; 小田 佑介[2] ; 村上 英記[3] ; 加藤 茂弘[4] ; 上嶋 誠[5] ; 片上 智史[1]
ITO, Shuhei[1*] ; YAMAGUCHI, Satoru[2] ; ODA, Yusuke[2] ; MURAKAMI, Hideki[3] ; KATOH, Shigehiro[4] ; UYESHIMA, Makoto[5] ; KATAKAMI, Satoshi[1]

[1] 大阪市立大・理・地球, [2] 大阪市立大院・理・地球, [3] 高知大・自然科学系・理学部門, [4] 兵庫県立人と自然の博物館自然・環境評価研究部, [5] 東京大学地震研究所
[1]Department of Geosciences, Osaka City Univ., [2]Department of Geosciences, Graduate school of Science, Osaka City Univ., [3]Natural Sciences Cluster-Science Unit, Kochi Univ., [4]Division of Natural History, Hyogo Museum of Nature and Human Activities, [5]Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

はじめに

山崎断層帯は，那岐山断層帯，山崎断層帯主部，草谷断層からなり，さらに山崎断層帯主部は最新活動時期の違いと平均変位速度から北西部と南東部に分けられる（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2013）．北西部は大原断層，土万断層，安富断層，暮坂峠断層からなり，南東部は琵琶甲断層と三木断層からなる．琵琶甲断層は，走向 N50W のほぼ垂直傾斜で北東側隆起の成分を持つ左横ずれ断層である．

地下数 km の活断層の構造を知るのに audio-frequency magenetotelluric 法 (AMT 法) は，強力な手法である．特に，高角な断層面や断層周辺に破砕帯の存在が期待される横ずれ断層の地下構造を求めるのに優れている．

これまでに，山崎断層帯主部での地磁気地電流調査は北西部で 7 測線，81 観測点で行われてきた．一方，南東部では 1 測線，8 観測点でしか行われていない．そのため南東部，さらには山崎断層帯主部全体の地下構造を議論するには，不十分であると判断される．そこで，琵琶甲断層で地磁気地電流調査を追加し，詳細な比抵抗構造モデルの構築を試みた．

観測

観測は，琵琶甲断層のトレンチ調査 (産業技術総合研究所, 2013) が行われた兵庫県加西市琵琶甲地点を中心として，琵琶甲断層と直交する長さ 8km の測線上で行った．MT 応答関数の算出に Remote reference 法 (Gamble *et al*., 1978) を用いるため，測線北端から 15km 離れた人工的電磁気ノイズの少ない場所に磁場参照点を設置した．各観測点で，電場水平 2 成分と磁場 3 成分の測定を行った．昼間に観測機器の設置，回収を行い，夜間に計測を行った．

解析

電場，磁場のそれぞれ水平 2 成分から，Remote reference 法に基づいて，MT 応答関数を算出した．そして，Phase tensor 法 (Caldwell *et al*., 2004) を用いて比抵抗構造の次元と走向を求め，Akaike's Bayesian Information Criterion (ABIC) による平滑化拘束付き 2 次元比抵抗インバージョンコード (Ogawa and Uchida, 1996) を使用し，2 次元比抵抗モデルを求めた．得られたモデルは，断層近傍北側の浅部に低比抵抗領域，深部に高比抵抗領域，断層近傍南側の浅部に高比抵抗領域，深部に低比抵抗領域の存在で特徴付けられる．

解釈

断層近傍では，地下の低比抵抗領域と高比抵抗領域の顕著な比抵抗境界が，琵琶甲断層西セグメントの地表トレース，東セグメントの地表トレースの延長位置と対応していることが見出された．さらに，測線北側には低比抵抗領域が卓越していることが確認された，これら比抵抗構造の特徴を琵琶甲断層と関連付けて，次のように解釈した．琵琶甲断層は，複数のセグメントに分けられ，東側のセグメントはより北東に位置する．本断層は左横ずれ断層であるので，2 つのセグメント間は引張場となり，破砕が発達しやすい．ここで本研究の測線は西側のセグメントの東端近くに位置していることを考えると，この破砕帯に水が入ることと，本断層の Fault core が，断層を横切る水の流れを妨げることで，低比抵抗領域になったと解釈した． 一方で，断層南側は，低比抵抗領域の原因を明確には特定できなかったが，未知の断層破砕帯が存在することが示唆された．

キーワード: 琵琶甲断層, 山崎断層帯, 活断層, 比抵抗構造, 地磁気地電流法
Keywords: Biwako fault, Yamasaki fault system, active fault, resistivity structure, Magnetotelluric method

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P06 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

中国・四国地方の基盤的比抵抗構造研究（序報）
A report on the fundamental investigations of an electrical resitivity structure beneath Chugoku and Shikoku regions

塩崎 一郎[1*] ; 山本 健直[1] ; 濵田 哲好[2] ; 村上 英記[3] ; 吉村 令慧[4] ; 大志万 直人[4] ; 飯尾 能久[4] ; 上嶋 誠[5]
SHIOZAKI, Ichiro[1*] ; YAMAMOTO, Takenao[1] ; HAMADA, Akiyoshi[2] ; MURAKAMI, Hideki[3] ; YOSHIMURA, Ryokei[4] ; OSHIMAN, Naoto[4] ; IIO, Yoshihisa[4] ; UYESHIMA, Makoto[5]

[1] 鳥取大学大学院工学研究科, [2] 鳥取大学工学部, [3] 高知大学理学部, [4] 京都大学防災研究所, [5] 東京大学地震研究所
[1]Graduate School of Engineering, Tottori University, [2]Faculty of Engineering, Tottori University, [3]Faculty of Science,Kochi University, [4]Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, [5]Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

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（第３種及び第四紀火山下）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，地殻地震および深部低周波地震の発生様式と構造的地域性等について，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．本講演では，新たに得られたデータを取り入れた中国・四国地方における基盤的比抵抗構造調査の概要を報告する．

これまでに京都大学防災研究所並びに鳥取大学工学部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．

しかしながら，上述のこれまでに筆者を含む山陰地方の電気比抵抗を研究するグループが提唱してきたモデルと調和しない研究成果（例えば，尾崎他，2011）も示され，深部低比抵抗領域は連続して存在しない可能性が出てきた．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とともに既存データをもとにした広域の比抵抗構造の空間的特徴を明らかにする必要がある．

そこで，本研究では鹿野・吉岡断層西方延長地域において広帯域 MT 観測を行った．観測地域は鳥取地震（1943 年，M7.2）の震源域と鳥取県中部の地震（1983 年，M6.2）の中間に位置する．観測には，フェニックス社製の測定器 MTU-5 及び 5A を使用し，地磁気 3 成分ならびに電場 2 成分を測定した．観測は，2014 年 9 月下旬から 10 月上旬にかけて 5 地点で行った．見かけ比抵抗探査曲線及び位相差曲線および，東西走向を仮定した鹿野・吉岡断層西方延長部の予察的な 2 次元構造解析から，大局的に見た場合，既存の鳥取東部測線や鳥取中部測線で得られた比抵抗構造と同様の構造であるが，詳しくみると地殻内の低比抵抗領域の位置が少し南へずれているという結果を得た．

一方，四国地方においては，これまでの筆者らの研究から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すること，それが中央部・西部では無地震域と明瞭な関連が見られることが示唆された．この観測成果は，低比抵抗領域をもたらすもの，おそらくは地殻流体（水）が，地震発生に関して重要な役割を果たす可能性を示す．その地殻流体の供給源の一つの候補として沈み込むフィリピン海プレートの脱水反応に伴う水が想定されるが，西南日本弧では，北部地域において海洋プレートの沈み込みの様子がまだ完全にわかっていない．西南日本弧において海溝から背弧側までの全体像をつかむ上でも，中国・四国地方広域の深部比抵抗構造探査をもとにした定量的な議論の展開が望まれる．

四国地方の比抵抗調査空白域において大局的な比抵抗構造の地域特性を解明するために，経度及び緯度方向に 10 分毎のメッシュを設定し，基盤的比抵抗構造研究を開始した．観測点周辺の電磁ノイズ環境調査結果をふまえ，四国地方東部から中央部にかけて 5 地点を選び，2014 年 11 月下旬から 12 月中旬にかけての約 2 週間，上述の広帯域 MT 法観測を実施した．観測の結果得られた見かけ比抵抗及び位相差の探査曲線の特徴は，見かけ比抵抗値の全体的なシフト成分を除けば，全観測点で探査曲線の周波数方向の変化の傾向は共通していることが明らかになった．

参照磁場として使用させて頂いた岩手県沢内村の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．新たに得られた山陰地方のデータは 2014 年度鳥取県環境学術研究事業により取得された．また，四国地方の研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の支援を受けた．最後に，鳥取大学工学部の宇都智史，畑岡寛，山本真二，池添保雄，福成将之，津吉祐典、吉田昌平の各氏には観測をサポートして頂いた．ここに謝意を表す．

キーワード: 電気比抵抗, 基盤的研究, 中国・四国地方

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

Keywords: electrical resitivity, fundamental investigation, Chugoku and Shikoku region

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P07 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

中央構造線断層帯（和泉山脈南縁）での稠密 AMT 観測の概要
Dense AMT observations across the Japan Median Tectonic Line Izumi fault zone

大内 悠平[1*] ; 吉村 令慧[2] ; 田中 大資[2] ; 米田 格[2] ; 山崎 友也[2] ; 大志万 直人[2]
OUCHI, Yuhei[1*] ; YOSHIMURA, Ryokei[2] ; TANAKA, Daisuke[2] ; YONEDA, Itaru[2] ; YAMAZAKI, Tomoya[2] ; OSHIMAN, Naoto[2]

[1] 京都大学大学院理学研究科, [2] 京都大学防災研究所
[1]Graduate School of Science, Kyoto University, [2]Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

中央構造線断層帯は、近畿地方の金剛山地東縁から伊予灘にかけて約 360km にわたってのびる領家帯と三波川変成帯の地質境界に位置する活断層帯である。中央構造線断層帯（和泉山脈南縁）では、吉村他（2014）によって広帯域 Magnetotelluric（MT）観測が行われ、地下数 10km を対象とする比抵抗構造の推定が行われている。推定された比抵抗断面では、断層帯を境に比抵抗コントラストが確認できるが、測点間隔が数 km と粗いこともあり地下浅部の解像度が十分とは言えない。この測線は活動時期の新しい五条谷断層と活動時期の古い菖蒲谷断層をともに横切る設定となっている。活断層周辺での比抵抗構造に関するこれまでの研究によれば、断層のダメージゾーンに沿って顕著な低比抵抗領域が存在することが報告されている（例えば Unsworth *et al*., 1997; Yamaguchi *et al*., 2010）。断層の活動時期の違いによる比抵抗の相違が確認できると考える。ダメージゾーンのより詳細な構造を推定するため、稠密な Audio-frequency MT（AMT）観測を行った。

本研究の AMT 観測では、五条谷断層と菖蒲谷断層を横切るように南北約 5km の測線を設定し、2014 年 11 月 9 日～16 日に昼間の数時間分のデータと昼間から翌朝にかけてのデータを合計 38 の測点で電磁場 5 成分の測定を行った。結果として測点間距離が平均 130m という高密度な測定を実現することができた。

各観測点で得られた電場と磁場の時系列データから、10400Hz～0.35Hz の MT 応答関数を算出した。各観測点では相互的にリモートリファレンス処理を行っている（Gamble *et al*., 1979）。参照点は、同時間帯に測定した相対的にノイズの少ない観測点を使用するのに加え、さらに、長周期側の応答推定の品質改善を行うため、国土地理院江刺観測点の MT 連続観測データも用いた。これらの処理により、各観測点で比較的良好な探査曲線が求まった。

本発表では、最終的な観測点ごとの MT 応答関数を示すとともに予察的な比抵抗構造についても報告する予定である。

キーワード: 中央構造線断層帯, 地磁気地電流法, ダメージゾーン, 浅部比抵抗構造
Keywords: the Japan Median Tectonic Line Fault Zone, magnetotelluric, damage zone, shallow resistivity structure

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P08 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

L1 正則化によるスパース推定法を用いた磁場 3 次元構造イメージング・その 2
The 3-D magnetic imaging using the L-1 norm regularization, Part II.

宇津木 充 [1*]
UTSUGI, Mitsuru[1*]

[1] 京都大学
[1]Kyoto Univ.

近年、空中磁気観測で得られる磁場データから地下の 3 次元磁化構造を求める為の新たな解析手法がいくつか提案されている。これらのうち Li and Oldenburg,1996、Portniaguine and Zhdanov,1999、Portniaguine and Zhdanov,2002, Pilkington,2013 はスパースな解を求める為の制約を課した解析手法を用いている。磁場 (または重力) データから地下構造を求める場合、一般にデータよりも未知パラメータの数が多く、解くべき方程式は ill-posed な線形方程式となる。このためインバージョンを行う際に解を安定させるため解に制約を与える事が広く行われるが、その条件にどのようなものを採るかにより得られる解の性質は大きく異なる。例えば一般的によく用いられる平滑化条件を課した場合、解の一意性が保障されない事と相まって実際の構造をぼかした unfocused な解が得られてしまい、構造の解釈を行う事が困難になってしまう。こうした事を是正する為、上に挙げた研究では、観測データを再現できるよりスパースな (即ち非ゼロ成分が少ない) 解が得られるような制約を課し、結果解像度の高い解を得ようと試みている。ところで近年、Lasso(Tibshirani,1995) と呼ばれるスパース推定方が注目され機械学習、画像解析やゲノム情報解析などの分野で用いられている。この方法は解の L1 ノルム (解ベクトルの各成分の絶対値の和) が最小となる制約を課した最適化方法で、この方法によりスパースな解が得られることが知られている。但し Lasso では解の非ゼロ成分の数が観測データの次元以下に制限される、相関の高い説明変数群が有った場合そのうちの一つに解が集約されてしまう (磁化構造解析の場合、この性質により、例えば有限な広がりを持つ帯磁領域が有った場合にその重心に磁化がコンセントレイトされてしまう) など、実用上、特に磁化構造解析のような p<<n 問題 (未知パラメータ数 n が観測データ数 p より大きい) に適用する場合に欠点となる点があることが報告されている。こうした点を改良した L1 推定方法として L2 ノルム制約を併用した Elastic Net(Zou and Hastie,2005)、平滑化を併用した S-Lasso(Hebiri and van de Geer,2010) などが挙げられる。

昨年度の合同大会では Elastic Net を磁化構造解析のスキームに導入した結果について報告したが、その後の検討からこの解析方法では有限な大きさを持つ磁気源による磁気異常を入力としてインバージョンを行うと、磁気源の重心位置に非ゼロ解が集中し正しい磁気源の大きさを再現できない場合がある事が分かった。そこで L1 ノルム制約と平滑化を併用した S-Lasso の導入、深さ方向のレゾリューションを向上させるため深さ方向に L1 正則化パラメータを変化させる (adaptive lasso の応用) といった改良を加えた。本研究ではこうした L1 ノルム制約に基づいたスパース推定法を磁化構造解析に適用した結果を報告する。

キーワード: L1 正則化, 磁化構造解析, 空中磁気
Keywords: L1 regularization, magnetc inversion, aeromagnetic survey

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P09 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

北海道東部地域における地磁気三成分永年変化
Geomagnetic three-component secular changes in eastern Hokkaido, NE Japan

三嶋 渉[1*] ; 橋本 武志[2] ; 茂木 透[2]
MISHIMA, Wataru[1*] ; HASHIMOTO, Takeshi[2] ; MOGI, Toru[2]

[1] 北海道大学大学院理学院, [2] 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター
[1]Graduate School of Science, Hokkaido University, [2]Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University

北海道東部地域（道東地域）では，全磁力の永年変化に地域性があることが知られている（大島・他, 1994; 橋本・他, 2012）．この地域は，太平洋プレートの沈み込みを反映して西北西?東南東方向の短縮歪みの場にある（例えば，石川・他, 1999）．また，南岸域には顕著な高磁気異常があり，磁化の強い岩体が分布していることが示唆されている（Sugisaki et al., 2001）．これらのことから，Nishida et al. (2004) は，この地域の全磁力永年変化に見られる地域性の原因が，プレートの沈み込みに伴う応力積荷を反映したピエゾ磁気効果ではないかと考えた．北海道大学では，この仮説を検証することを念頭に，従来から展開している 8 カ所の全磁力連続観測点において，2009 年から三成分絶対測量を実施している．2014 年秋までに各地点で 2 回ないし 3 回の絶対測量を行い，成分ごとの変化傾向が捉えられたのでその概要を報告する．

全磁力については，従来から気象庁の女満別観測所を参照点として，単純差による外部起源磁場の除去処理を行っているが，本研究では，偏角・水平分力・鉛直分力についても，同様に女満別を参照点として成分ごとの単純差を求めた．その結果，各成分についてもその永年変化率に地域性が見られることが明らかになった．このことから，従来から指摘されてきた全磁力永年変化率の地域性は，オリエンテーション効果による見かけのものではないことが確実となった．各成分の特徴を概観すると，水平分力と鉛直分力は，全磁力と同じく，変化率の大きい観測点は南岸域に偏っている．また，偏角については，南岸域と内陸部で変化傾向のセンスが逆になっている可能性がある．

観測回数が少ないため，現時点での考察はまだ予察的なものであり，議論の精度を上げていくためには，今後も根気強く絶対測量を継続する必要がある．また，Nishida et al.（2004）が全磁力について行ったのと同様に，ピエゾ磁気効果モデルの数値計算を三成分について行うことで，仮説に対する検証の可能性が広がると考えている．

キーワード: 地磁気三成分絶対測量, 地磁気永年変化, 北海道東部地域
Keywords: geomagnetic three-component absolute measurements, geomagnetic secular change, eastern Hokkaido

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P10 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

日本における誘導電磁場の分布
Distribution of electromagnetic fields induced in Japan

富永 博紀 [1*] ; 遠藤 新 [1] ; 藤田 茂 [2] ; 藤井 郁子 [2]
TOMINAGA, Hiroki[1*] ; ENDO, Arata[1] ; FUJITA, Shigeru[2] ; FUJII, Ikuko[2]

[1] 気象庁, [2] 気象庁気象大学校
[1]Japan Meteorological Agency, [2]Meteorological College, Japan Meteorological Agency

日本は中緯度帯に位置するため地磁気誘導電流の振幅は小さいと考えられており、これまで地磁気誘導電流による災害の報告例はない。しかしながら、日本は海に囲まれており、海岸付近では海水と岩石が接して電気伝導度が急激に変化するため大きな電位差が誘導されることが予想される（海岸線効果）。社会インフラが整った過去数十年間には体験したことがないような大規模な地磁気擾乱が発生した場合に、どこでどのような地磁気誘導電流が生じるのか、あらかじめ調べておく必要がある。そのために、まずは、地表に誘導される電磁場の現実的な分布を調べることにした。

我々は、Uyeshima and Schultz (2000) の有限差分法コードを利用して、磁気圏の地磁気変化が 3 次元的な電気伝導度分布を持つ地球表面に誘導する地磁気・地電場を周波数領域で計算した。計算に用いた周期は、200 秒、800 秒、3600 秒である。グリッドに関しては、日本地域の詳細な地磁気・地電場分布を調べるのが目的であるので、25^{o}N-50^{o}N、125^{o}E-150^{o}E の範囲については 12.5km x12.5km の一様グリッド、この範囲外では徐々に大きくなるグリッドを用いている。

地球の電気伝導度分布については、海底地形データ（ETOPO1）と堆積物の厚さ分布データ（Laske and Masters, 1997）を用いて地表面から深度 12.5km までの 3 次元的な電気伝導度分布を求め、12.5km 以深については成層構造を仮定した。深度 12.5km までは、海水と堆積物の電気伝導度をそれぞれ 3、0.1S/m とし、岩石の電気伝導度は 0.01、0.001S/m の 2 通りを用いて、グリッド内に異なる物質の境界があるときにはグリッド内でコンダクタンスが保存するように電気伝導度を定めた。

誘導源となる地磁気擾乱は、地球半径の 10 倍の位置に環電流を置いた場合に生じる磁場を用いた。赤道環電流であれば、日本地域には南北方向の変動をもたらすことになる。あらゆる方向の変動に対応させるために、環電流の方向を赤道面に対し 30 度あるいは 60 度傾けた場合の計算も行った。

周期ごと、岩石の電気伝導度ごとに、ある場所において、すべてのソース電流パターンでの計算の中から最も振幅が大きな誘導電場を選び、それらを統合して、日本地域の最大誘導電場分布図を作成した。それによると、日本の海岸を縁取るように大きな振幅の誘導電場が得られ、岩石の電気伝導度が 0.01S/m よりも 0.001S/m の場合のほうが振幅が大きかった。電場の最大振幅は、0.001S/m で半無限一様な地球の場合と比べて、約 2 倍となる。また、振幅は短周期のほうが大きい場合が多い。これは海岸線効果から予想される誘導電場と調和的である。特に、津軽～渡島半島、富山湾、伊豆半島、南九州東岸において大きな誘導電場が得られたが、これらの地域では、いずれも海が遠浅ではないという特徴があった。加えて、（1）ソース磁場が海岸線の方向と平行なときに海岸線沿いに大きな振幅が現れる、または、（2）湾型構造の走行がソース磁場と平行なときに湾奥で電流の集中が起こる、という現象が見られた。

磁場について分布を見ると、電気伝導度の不均質を反映して、非一様な分布となった。赤道環電流ソースの場合、日本の地表面での東西方向の磁場変化は非常に小さいが、鉛直方向には海岸線を中心とし振幅が大きな場所が見られる。南北成分については、海岸線が南北方向に分布する東北や九州では一様電気伝導度の場合に似ているが、関東～中国地方にかけて一様な場合よりも弱められている。

続いて、計算で得られた地磁気・地電位からインピーダンステンソルを計算し、日本地域での分布を求めた。このモデルでは地形と堆積物分布による不均質しか考慮していないにも関わらず、複雑な応答関数分布が得られ、海水・堆積物の分布が誘導電磁場に非常に大きな影響を及ぼしていることがわかる。例えば、北海道では、道南、道北、日高・十勝、道東のように、インピーダンステンソルの振る舞いがブロック化されており、ネットワーク MT による電場分布の特徴（Uyeshima et al., 2001) を大雑把に表現しているように見える。全体的に、磁場ソースが海岸線に平行な場合と垂直な場合で応答関数の振る舞いが異なっており、結果的に地方ブロックが構成されている。日本での構造探査における 3 次元的な観測や解釈の必要性が改めて示された。

柿岡、鹿屋、女満別の MT 応答関数の実測（Fujii et al., submitted）と比較すると、定性的には特徴を再現できているが、振幅や項ごとの振る舞いには差があることがわかった。各地域の正確な地磁気・地電場が必要な場合は、より詳細な 3 次元モデルが必要であると考えられる。そのためには、日本各地の電気伝導度分布のデータベース化が望まれる。

キーワード: 電磁誘導, 地磁気誘導電流, インピーダンステンソル
Keywords: electromagnetic induction, geomagnetically induced currents, impedance tensor

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P11 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

最尤法を用いた地球内部電気伝導度分布の推定
Estimating the distribution of electrical conductivity in the earth with the maximum-likelihood method

岩下 耕大 [1*] ; 藤 浩明 [2]
IWASHITA, Kodai[1*] ; TOH, Hiroaki[2]

[1] 京都大学大学院理学研究科, [2] 京都大学大学院理学研究科付属地磁気世界資料解析センター
[1]Graduate School of Science, Kyoto University, [2]Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Kyoto University

我々は、モデル誤差を反映する目的関数を用いたインバージョンにより、地球内部の電気伝導度分布の推定を行った。
逆問題を解くにあたって広く用いられている最小二乗法では、目的関数をデータのミスフィットとモデルパラメータに関する罰則項の線型結合とし、これを最小にするようなモデルパラメータの推定値を求められる事が多い。データの予測値は、モデルに、このモデルパラメータの推定値を当てはめ、順計算を行うことにより得られる。しかしながらこの手法は、確率論の観点からすれば、モデルに誤差が無いという条件が暗に仮定されている。
我々はこの仮定を用いずに、最尤法を使って逆問題を解くことを試みた。最尤法を用いて得られた結果は、モデルの不確かさも反映しており、一般には最小二乗法で得られた結果と必ずしも一致しない。具体的には、2003 年 11 月に起きた磁気嵐の地上観測網によるデータにこの手法を適用し、表層に既知の海陸分布を持つ球対称導体球の電気伝導度を推定した。すなわち，まず磁気嵐を含む三日間の 69 観測所における全球毎分値からその月の五静穏日を用いて求めた平均地磁気静穏日変化を差し引き，得られた変化磁場を内外分離した。分離した外部磁場変化を海陸分布を表す電気伝導度不均質を表層に貼付けた球対称導体球に印加し，内部磁場を計算した。この内部磁場が観測データから分離した実際の内部磁場と一致するように球対称構造を変化させれば，最適な地球内部電気伝導度構造を求める事ができる。
これまでに行った予備的な合成インバージョンでは，最尤法は最小自乗解とは異なる解を与える事，また，最尤法によってモデルの良し悪しをある程度判定できる事などが明らかになった。しかし，実データを用いた逆問題においては，適用可能な先験情報（例えば，電気伝導度は負でない実数である事など）を可能な限り組み込む事や有効な罰則項を目的関数に含める必要がある。
講演では，合成データへの誤差の加え方や初期モデルが結果に及ぼす影響などについても議論する。

キーワード: 電気伝導度, 磁気嵐, 逆問題
Keywords: electrical conductivity, magnetic storm, inversion

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P12 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

固気液 3 相を考慮した多孔質体モデルの比抵抗値の直接計算
Direct simulation of resistivity on porous model obtained from high-resolution X-ray CT

竿本 英貴 [1*] ; 片桐 淳 [1] ; 高田 尚樹 [1] ; 高橋 学 [1]
SAOMOTO, Hidetaka[1*] ; KATAGIRI, Jun[1] ; TAKADA, Naoki[1] ; TAKAHASHI, Manabu[1]

[1] 産業技術総合研究所
[1]National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

比抵抗を利用した地下のイメージングは，物理探査の分野で従来から活発に行われており，地盤内における液状化領域の推定や地下水流動に伴う地下汚染領域の推定，薬液注入による地盤改良領域の確認など，その簡便さと面的情報を得られる利点から幅広い用途に用いられてきた．多孔質体である岩石や地盤材料の比抵抗値は，間隙に流体が混入されていることから，間隙率や飽和度，多孔質体を構成する粒子の形状，間隙流体の比抵抗値など，多くの物性に依存することが知られている．

この依存関係を利用して，得られた比抵抗値からこれまでの実測結果や室内実験結果との対比や経験式との比較によって，比抵抗値の分布が岩石や粘土といった地盤材料種別の分布や，地盤の飽和度の分布として変換される．当然ながら，実測した条件や経験式が成り立つ範囲内では比抵抗からの変換は有効であるが，適用範囲外である場合には注意が必要である．上記の依存関係は，基本的には多孔質体内における電流の流れ方に依っているため，間隙率や飽和度が変わることによって多孔質体内の電流密度分布がどのように変化するのかを把握することは重要である．

ここでは比抵抗値と間隙率や飽和度といった地盤物性の依存関係を，微細構造を考慮した上で定量的に把握することおよび経験式の適用範囲外における比抵抗値に関する知見を得ることを目的として，多孔質体の微細構造を考慮した数値解析によって比抵抗値を直接算出することを試みる．具体的には，これまで著者らが蓄積してきた高解像度 X 線 CT に基づく詳細な 3 次元多孔質体モデルに対し，定常電流場の方程式を数値的に解くことで多孔質モデル内の電流密度分布を把握し，電流密度分布の体積平均とオームの法則を用いることで，マクロ物性としての比抵抗値を求める．

このアプローチは，微細構造を X 線 CT などの何らかの方法で事前に入手しておく必要があるものの，電磁気学に基づいて決定論的・定量的に多孔質体の比抵抗値を求めることができるという利点がある．加えて，微細構造を把握しているため，経験式中のパラメータと微細構造の関連性を考察しやすい点，境界条件を変更して通電する方向を変化させることにより比抵抗の異方性を議論できる点なども特長として挙げられる．

本報告では，多孔質体の微細構造を有限要素メッシュによって表現し，間隙比，飽和度，通電方向を変化させた場合についてのパラメトリックスタディーを行い，これらのパラメータの変化とともに比抵抗がどのように変化するのかを求めた．得られた数値解析結果を既往の実測結果と比較・検討することで本手法の妥当性を検証した．また，微細構造内の電流密度分布や電流線解析を併せて実施し，実験では取得できない情報の抽出を試みた．

キーワード: 比抵抗, 多孔質体, 有限要素法, X 線 CT, 屈曲度
Keywords: resistivity, porous media, finite element method, X-ray CT, Tortuosity

Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)
©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.

SEM33-P13 会場:コンベンションホール 時間:5 月 26 日 18:15-19:30

岩石試料の高密度比抵抗測定に向けた数値計算手法の開発
Development of resistivity modeling code designed to high-density electrical prospecting for cylindrical rock samples

鈴木 健士 [1*] ; 吉村 令慧 [2] ; 大志万 直人 [2]
SUZUKI, Takeshi[1*] ; YOSHIMURA, Ryokei[2] ; OSHIMAN, Naoto[2]

[1] 京都大学理学研究科地球惑星科学専攻, [2] 京都大学防災研究所
[1]Graduate School of Science, Kyoto University, [2]DPRI, Kyoto University

近年、地震発生場や火山活動場などの電気伝導度構造を明らかにするための電磁気探査が広く実施されている (例えば、Ogawa et al., 2001; Yoshimura et al., 2009)。電気伝導度という物性値は、流体をはじめとする良導体の存在に対して敏感な反応を示すので、地殻における水の分布を探るには特に有効な情報であると言える。

得られた電気伝導度構造の解釈には、良導相がもつ電気伝導度の値・良導体の量・連結の程度などの情報が必要である。室内実験による、ある条件下での母岩や間隙水の電気伝導度については多くの報告があるが、その量と連結の程度については一意に決めることが難しい。従って、比抵抗構造を解釈するときにはいくつかの混合側や実験式 (例えば、Archie, 1942; Hashin and Shtrikman, 1962; Glover et al., 2000) などを用いて、どちらか一方を仮定することでもう一方を推定するという手順を踏んでいる。この仮定が構造解釈に幅を生んでいるため、仮定した良導体のつながり方が正しいか否かについては検証を行う必要があるが、これまでに十分な検証がなされていないのが現状である。

この問題の検証のためには、地中において良導体がどのようにつながっているかを調べることが理想だが、実際に観察するという手段は現実的ではない。そこで次に考えられるのは、様々な手法によるイメージングの対比が可能な岩石試料を用いた検証である。高密度な電気探査によって高い分解能をもつ比抵抗構造を求め、ここから推定される物性値を他のイメージング手法で得られた値と詳細に対比することができれば、上述した問題を検証することができるだろう。

本研究では岩石の比抵抗イメージングの前段階として、不均質構造を電気的に検知することが可能かどうか数値実験による事前検討を行った。3 次元の有限差分法による比抵抗モデリングは、現在に至るまでに様々な数値計算コードの開発が報告がされているが (例えば、Dey and Morrison, 1979; Spitzer, 1995; Zhang et al, 1995, Loke and Barker, 1996)、これらはすべて実際のフィールドを探査対象とした半無限媒質を想定するコードであり、今回想定するケースのように有限の体積を持ち、円筒形状をした媒質に対しては適用するのが難しい。そこで本研究では、岩石試料の外部形状である円筒形を正確に扱えるコードを開発した。

コードの性能を確認するにあたり、円筒形状を考慮した解析解との比較は困難である。加えてデカルト座標系でコーディングされた数値計算との解の比較は、境界形状の正しい取扱いの評価に向かない。そこで、導電性プラスチックと導電性エポキシ樹脂を用いたアナログ実験結果との対比という形で性能評価を行った。その結果、新しく開発した計算コードによる外部境界、特に円筒形状のエッジ部近傍の計算結果は、アナログ実験による測定結果と調和的であることを確認した。さらにアナログ実験によって厚さ 1mm 以下の層状不均質構造を検出し、開発したコードによるフォワードモデリングを行うことで、その比抵抗値の推定を行った。

キーワード: 岩石実験, 電気比抵抗, 数値実験
Keywords: rock experiments, electrical resistivity, numerical simulations