

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25Hz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事実となった。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。

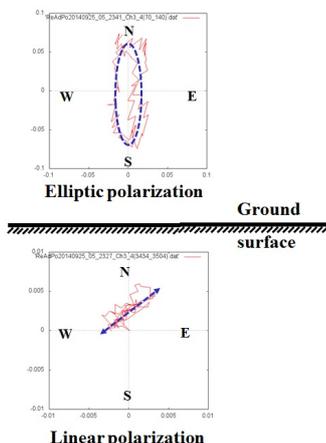
衛星観測において、地震発生前に電離層状況に変化が現れる点について、それを引き起こす物理現象についても、地表面を境とした地中から地上へ放射をしている何らかのエネルギーを見つかる事が急務であると感じている。

[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



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 a new 3D MT forward calculation method with MPS (Moving Particle Semi-implicit) method, one of the mesh-free calculation methods. 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-dimensional 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

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*}; 三ヶ田均¹; 後藤忠徳¹; 武川順一¹
ISHIZU, Keiichi^{1*}; MIKADA, Hitoshi¹; GOTO, Tada-nori¹; TAKEKAWA, Junichi¹

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

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

¹Department 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.

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, Makoto¹; HANDA, Shun²; SHIMOIZUMI, Masashi³; TANAKA, Yoshikazu⁴;

HASHIMOTO, Takeshi⁵; KAGIYAMA, Tsuneomi⁴; UTADA, Hisashi¹; MUNEKANE, Hiroshi⁶; ICHIKI, Masahiro⁷;

FUJI-TA, Kiyoshi⁸

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科, 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

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Faculty of Agricultural Science, Saga University, ³Kyushu Polytechnic College, ⁴Graduate School of Science, Kyoto University, ⁵Graduate School of Science, Hokkaido University, ⁶Geographical Survey Institute, ⁷Graduate School of Science, Tohoku University, ⁸GSE, Osaka University

The Kyushu Island in the Southwest Japan Arc has many Quaternary active volcanoes, which exist along the volcanic front of N30°E-S30°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].

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, Yasuo²; HASE, Hideaki²; KANDA, Wataru²; HONKURA, Yoshimori²;
SEKI, Kaori¹; SAKANAKA, Shin'ya³; ASAMORI, Koichi⁴

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
¹Department of earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, ²Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, ³Akita University, ⁴JAEA

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 range 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 and 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. Although 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 , ϕ_{max} , ϕ_{min} 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

「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 pengfei¹; Zhang Luolei³; 清水 久芳¹; 歌田 久司¹
BABA, Kiyoshi^{1*}; TADA, Noriko²; MATSUNO, Tetsuo¹; LIANG, Pengfei¹; ZHANG, Luolei³;
SHIMIZU, Hisayoshi¹; UTADA, Hisashi¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 海洋研究開発機構, ³ 同済大学

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Tongji 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 SGEPS 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、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、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

「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, Hisashi¹; BABA, Kiyoshi¹; SHIMIZU, Hisayoshi¹; TADA, Noriko²

¹ 東京大学地震研究所, ² 海洋研究開発機構

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Japan 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 年間に於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

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, Basara¹; KOYAMA, Takao²; OGAWA, Tsutomu²

¹ 国土交通省国土地理院, ² 東京大学地震研究所
¹GSI of Japan, ²ERI, 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

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

¹Miyazaki 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のものとして R-SCHA が提案され [Thebaud 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地磁気変動を表現する、と期待できる。

地殻起源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、得られた場合は、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、表現される場合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、打ち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

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・B²; 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・S⁴
SASAI, Yoichi^{1*}; ALANIS, Paul k. B.²; NAGAO, Toshiyasu¹; ZLOTNICKI, Jacques³;
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 1×10^3 MPa と一桁小さく仮定するが、磁気応力係数は 2 MPa^{-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わらない。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、 $H=2.5 \text{ km}$ 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。この推測は主火山口湖からの 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

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, Kan¹; HATO, Tsunehiro²; TSUKAMOTO, Akira²; TANABE, Keiichi²; ONISHI, Nobuhito³; FURUKAWA, Chikara³; ISOGAMI, Shinji⁴; TAKEUCHI, Nobunao⁵

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

¹Tokyo Metropolitan University, ²International Superconductivity Technology Center, ³Tierra Tecnica, ⁴Fukushima National College of Technology, ⁵Tohoku 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