

富士山全磁力連続観測データの解析手法の開発 Development of analysis strategy for continuous total geomagnetic field data around Mt. Fuji

阿部 聡^{1*}; 宮原 伐折羅¹; 森下 一¹; 小林 勝博¹; 豊福 隆史¹; 小山 崇夫²; 小河 勉²
ABE, Satoshi^{1*}; MIYAHARA, Basara¹; MORISHITA, Hitoshi¹; KOBAYASHI, Katsuhiko¹; TOYOFUKU, Takashi¹; 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, ²Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

国土地理院では、平成 12 年秋から急増した富士山直下の低周波地震に対応した観測を強化するため、富士山北東部（富士吉田観測点）および富士山南方（富士市観測点）に全磁力連続観測点を設置し、以降現在に至るまで観測を継続してきた。また、平成 23 年に富士山北西部（富士御庭観測点）に GNSS 火山変動リモート観測装置（REGMOS）を設置する際に全磁力計測機器を併設し、全磁力連続観測を開始した。さらに、東京大学地震研究所は富士山周辺に全磁力連続観測点（富士吉田）、地球電磁気観測所（八ヶ岳）を運用しており、これらのデータも富士山周辺の磁気変化を把握するために有用である。

従前より、富士市観測点を参照点とし、富士山北部の観測点との間で全磁力の単純差をとることで磁気変化を監視してきたが、火山帯における地磁気観測では、主磁場や外部磁場に加え、火山活動に起因する成分と、観測点固有の局所成分が同時に観測されるため、火山性の変動のみを識別することが困難である。そこで、今回、富士山周囲の地磁気観測点データを用いて、主成分分析をはじめとした手法により火山活動に起因したシグナルの抽出を試みるとともに、主成分分析を用いた富士山周辺の地磁気による監視手法の開発を検討したのでここに報告する。

キーワード: 全磁力観測, 富士山, 主成分分析

Keywords: Total geomagnetic field, Mt.Fuji, principal component analysis

水深に基づく津波ダイナモ現象の分類 Classification of tsunami dynamo phenomena in terms of ocean depths

南 拓人^{1*}; 藤 浩明¹
MINAMI, Takuto^{1*}; TOH, Hiroaki¹

¹ 京都大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto University

良導体である海水が地球主磁場中を運動すると、ダイナモ効果が生じ電磁場が誘導される。この効果は海洋ダイナモ効果として古くから（例えば Faraday, 1832）よく知られており、主に潮汐や準定常海流などの長周期現象について研究が行われてきた。しかし近年、海底電磁場観測技術の進歩により、津波も顕著な海洋ダイナモ効果を伴うことが明らかになった。Toh et al. (2011) は、2006 年及び 2007 年千島列島沖地震津波により誘導された電磁場を、北西太平洋の海底で実際に観測した例を報告した。Toh et al. (2011) 以降現在まで、多くの津波起因の海洋ダイナモ現象例（以下、津波ダイナモ現象）が報告されている（e.g., Manoj et al. 2011; Suetsugu et al., 2012; Ichihara et al., 2013）。これらの津波ダイナモ現象を説明するために、先行研究では主に Tyler (2005) による解析解が用いられてきた。Tyler (2005) による解析解は非常に簡便かつ有用であるが、解析解だけでは現象の物理的理解には繋がらない。

そこで本研究では、解析解に基づいた理論と孤立波を扱った数値計算との比較により、津波ダイナモ現象が磁場の誘導方程式における拡散項の大小で分類できることを明らかにした。津波ダイナモ現象の場合、拡散項の大小は、主に水深によって変化する事を二次元の計算結果は示した。すなわち、水深の浅い海域では、拡散項が大きくなる一方、自己誘導の影響が小さくなるため、海水運動 \mathbf{v} と地球主磁場 \mathbf{F} とのカップリング ($\mathbf{v} \times \mathbf{F}$) によって生じる磁場は、ほとんど減衰されることなくそのまま海底や海面で観測される。この場合の津波ダイナモ現象は、アンペールの法則のみによっても現象の説明がほぼ可能である。一方、水深が深くなると、拡散項が小さく、同時に自己誘導の効果が大きくなるため、 $\mathbf{v} \times \mathbf{F}$ によって生じた磁場は大きく減衰される。特に、水深が 5000m を越えた海域では、 $\mathbf{v} \times \mathbf{F}$ によって生じた磁場に比べて観測される海底磁場変化は、振幅にして七割以下、位相角にして 70 度以上遅れることとなる。Minami and Toh (2013) で報告された津波ダイナモ現象の場合、北西太平洋に設置された観測点の水深が約 5600m であったため、自己誘導が支配的な現象を観測していたものと判断できる。このことは、観測された磁場鉛直成分の変化波形が、電磁場観測点最寄りの海底圧力変化（＝波高変化）と位相を含めて酷似していたことと整合する。さらに、解析解を用いた理論計算では、津波波高を 1m に固定した場合、津波の引き起こす磁場の振幅は、水深に対する依存性が異なる拡散項と自己誘導項とのバランスにより、水深 2000m 付近で最大になることが明らかとなった。

本発表では、津波ダイナモ現象の分類法、及び、水深に応じてどのように津波電磁場が変化するかについて、考察結果を報告する。また、Minami and Toh (2013) で報告された、津波到来に先んじて観測される磁場水平成分の変動 (initial rise) の水深依存性についても議論する。

キーワード: 津波, ダイナモ, 孤立波, 海底観測, 有限要素法

Keywords: tsunami, dynamo, solitary wave, seafloor observation, finite element method

地震で励起された電磁波から地中媒質の電気的パラメータの算出 Electric conductivity of earth's medium derived from earthquake-excited electromagnetic signals

筒井 稔^{1*}

TSUTSUI, Minoru^{1*}

¹ 京都産業大学 コンピュータ理工学部

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、周波数が数 kHz については殆ど全てが雷放電によるもので、地中起源の電磁波は全く見つける事が出来なかった。しかし、2011 年の 12 月から検出対象周波数を 25 Hz 以下にしたところ、電磁波観測点での震度が 1 以上であれば地震により励起された電磁波を検出確認できる事を明らかにした。2013 年の 3 月以降は地震励起電磁波と地震波の波形同時観測を行ってきた結果、地震波が伝搬している近傍では常に電磁波も励起されている事を示した [1]。地中では電気伝導度が高いために、残念ながら励起された電磁波は遠距離まで伝搬出来ないが、周波数の低い (25 Hz 以下) 電磁波は、地中でもある程度伝搬出来る事が明らかとなってきた。

2013 年 12 月 25 日に電磁波観測点から極めて近い 5.4 km 北の、深さ 10 km という場所で M3.0 の地震が発生した。これは震源が観測点に対して伏角が約 60 度の方角にあった。この時、京都産業大学構内での電磁波観測点で地震波 3 軸成分と電磁波の磁界 3 軸成分の波形を同時に取得できた。震源に対する伏角が約 60 度と極めて大きいため、地震波はほぼ上向きに伝搬しており、振動波形の垂直成分観測では P-波 (縦波) 成分が極端に卓越しており、S 波との分離は困難な状態であった。一方、水平振動成分の測定では、P-波が約 1.8 秒続いた後に明瞭な S-波の到来を示す典型的な波形が得られた。これを Fig.1(a) に示す。図から明らかなように、S-波は極めてシャープでしかも短時間で終了している。これは地震が極めて近いため、他の地層境界からの反射波等が含まれていないためと思われる。これに対してほぼ同時に検出された地中電磁波の磁界の水平成分の振動には興味のある波形が現れている。それを Fig.1(b) に示す。これによると電磁波の磁界成分は S-波の到来する約 1 秒前からその振幅が指数関数的に増加し、S-波の到来時点で最大となり、それを過ぎると徐々に減小する形となっている。この現象は以下のように説明する事ができる。

岩盤内では P-波であれ S-波であれ、地震波が存在すると圧電効果により常に電磁波が励起されており、岩盤からは電磁波が放射されている。S-波は特に強い電磁波を放射する波源と見なす事ができ、これが S-波の速度で伝搬してくる。しかし、地中内では電気伝導度が高いため、放射された電磁波の振幅は空間的には指数関数的に減衰する形をしている。このため電磁波観測点に向かって一定速度 (S 波の) で到来する電磁波源からの電磁波振幅を観測点で見ると時間的に指数関数的に増加する形をとる。更にその観測点を過ぎた電磁波源からの電磁波振幅は指数関数的に減衰する形となる。これが Fig. 1(b) に現れた電磁波振幅の時間変化を示しているものと思われる。これにより、地中における電磁波振幅の空間距離依存性が得られるので、それを対数グラフにプロットする事により、地中媒質の電磁波に対する表皮の厚さ (Skin depth) を算出する事ができる。Fig.1(b) のデータについてこれを適用した結果、周波数 20 Hz のこの地中での Skin depth は約 850m であり、電気伝導度は 0.0175 S/m が得られた。またこの時、電磁波は約 2 km の深さから放射された電磁波を検出できた事を示している。

[1] M. Tsutsui, submitted to IEEE Geoscience, Letters, 2014.

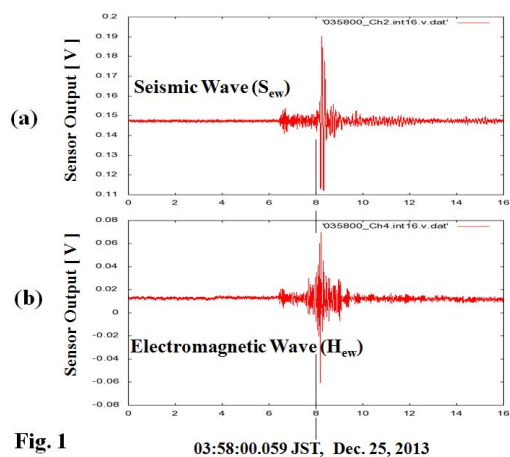
キーワード: 地震波, 電磁波, 地中観測, 表皮の厚さ, 電気伝導度

Keywords: seismic wave, electromagnetic wave, observation in the earth, skin depth, electric conductivity

SEM36-03

会場:413

時間:4月30日15:45-16:00



マグマの脱ガスフラックス推定のための電気伝導度構造の利用 Electrical conductivity structures of volcanic areas: a proxy for volcanic gas fluxes

小森 省吾^{1*}; 鍵山 恒臣²; フェアリー ジェリー³
KOMORI, Shogo^{1*}; KAGIYAMA, Tsuneomi²; FAIRELY, Jerry³

¹ 中央研究院地球科学研究所 (台湾), ² 京都大学火山研究センター, ³ アイダホ大学

¹Institute for Earth Sciences, Academia Sinica (Taiwan), ²Aso Volcanological Laboratory, Kyoto University, ³University of Idaho

火山活動は、マグマが地表まで急速に上昇し爆発的噴火に至る活動から、マグマが途中で上昇を停止し地表に地熱兆候をもたらすのみで終息する活動まで様々である。マグマの上昇のしやすさは、マグマの粘性・周囲との密度差に依存する。マグマの粘性・密度を規定する要因の1つである火山ガス(揮発性物質)は、マグマの上昇過程で含有量を大きく変化させる。それゆえ、マグマからどれだけ効率的に揮発性物質の放出がなされているかを明らかにすることが、上記の様な火山活動の多様性を考える上で重要である。

火山ガスは、地下水に溶解すると地下水の成分濃度・温度を増加させ、間隙水の導電性を高める。また、変質作用が高導電性の粘土鉱物(スメクタイト)の生成を促すため、熱水に晒された岩石もまた導電性(表面伝導度)を増加させる。それゆえ、高電気伝導度領域の広がり、マグマからの火山ガスの散逸の指標になる可能性がある。我々はこのことに着目し、下記に示すように、火山体の電気伝導度分布を利用した火山ガスフラックスの推定法の開発に取り組んできた。

[熱水温度が母岩の表面伝導度に与える影響の定量的検討]

間隙水の電気伝導度は、既存研究により熱水の温度と溶存成分濃度の関数として定式化されている。一方で、表面伝導度とそれを制御するスメクタイトの生成・安定条件(特に温度)との対応関係は、今まで必ずしも明確に定量化されていなかった。そこで我々は、温泉・火山体掘削等で得られたコアサンプルを利用した電気伝導度測定試験により母岩の表面伝導度を推定し、これを曝露された熱水温度の関数としてプロットすることを試みた。本研究には、低温熱水系として雲仙火山 USDP-1 サイトにおける掘削コアを、比較的高温の熱水系として別府地域の掘削コアを用いた。その結果、母岩の表面伝導度は、スメクタイトの生成・安定条件に対応する熱水温度の簡単な関数として表現できる可能性が明らかになった(Komori et al., 2010, 2013)。

[雲仙火山地域への適用を目指した火山ガス散逸モデルの構築]

雲仙火山地域では多くの地球物理・化学的研究がなされ、1990—1995年の噴火活動期を含めたマグマの移動や脱ガス・温泉生成機構に関する様々なモデルが提案されている。Ohba et al. (2008)によれば、雲仙火山のマグマは3段階の脱ガス過程を経ており、第1段階の脱ガスは深度4—6kmで起こると考えた。この脱ガス深度は、Kohno et al. (2008)によって得られている島原半島西部の圧力源群の位置と一致する。さらに前述の圧力源の直上には、200℃以上の高温領域が存在していることが知られており(NEDO, 1988)、この領域とほぼ一致するように電気伝導度の高い領域が存在することがSrigutomo et al. (2008)のTDEM調査により明らかにされている。

本研究では、大沢(2006)による島原半島の温泉生成機構も参考に、上記研究に基づいた簡単な火山ガス散逸モデルを構築しTDEMによる電気伝導度構造を用いることで、火山ガスフラックスを推定することを試みた。単純な形状・物性を持つ帯水層を仮定し、火山ガスの付加に伴い生じる熱水の溶存成分濃度・温度・フラックスの条件などを変えた数値計算を行った。これにより、熱水流動に対応した間隙水の溶存成分濃度・温度の空間分布が求められる。これらの分布は、間隙水の電気伝導度・母岩の表面伝導度に変換される。さらに、これら2つの導電性成分をバルク電気伝導度に合成することで、熱水流動とバルク電気伝導度構造とを対応付けた。その結果、雲仙火山地域において、高電気伝導度領域の空間分布は、天水付加量・火山ガスフラックスの2者で本質的に決まる可能性が明らかになった(Komori et al., under review)。

[推定された火山ガスフラックスから考える脱ガス効率性・火山活動様式]

上記で得られた知見をTDEMによる島原半島西部の電気伝導度構造に適用した。その結果、火山ガスフラックスが $10^{4.8 \pm 0.5}$ t/yr と推定された。この値から計算されたマグマ性CO₂フラックス($10^{3.1 \pm 0.5}$ t/yr)・マグマの貫入レート($10^{0.1 \pm 0.5}$ million t/yr)は、他の地球化学・物理学的手法によって得られている値と整合的であることが分かった。本研究により、雲仙火山では、数十年間隔で起こる間欠的なマグマ貫入の度に地下でマグマが効率的に脱ガスしている可能性があり、これがドーム形成のようなeffusiveな噴火活動が卓越する要因の1つになっているかもしれないことが定量的に示唆された(Komori et al., under review)。

キーワード: バルク電気伝導度, 間隙水電気伝導度, 表面伝導度, 火山ガスフラックス, 雲仙火山地域

SEM36-04

会場:413

時間:4 月 30 日 16:15-16:45

Keywords: Bulk electrical conductivity, Pore water conductivity, Surface conductivity, Volcanic gas fluxes, Unzen volcanic area

Audio frequency magnetotelluric imaging and tectonic activity evaluation of the Cimandiri Fault, West Java, Indonesia

Audio frequency magnetotelluric imaging and tectonic activity evaluation of the Cimandiri Fault, West Java, Indonesia

Febriani Febty^{1*}; 山谷 祐介²; 服部 克巳¹; Widarto Djedi S.³; Han Peng¹; Yoshino Chie¹; Nurdianto Boko⁴; Effendi Noor⁴; Maulana Iwan⁴; Gaffar Eddy⁵
FEBRIANI, Febty^{1*}; YAMAYA, Yusuke²; HATTORI, Katsumi¹; WIDARTO, Djedi S.³; HAN, Peng¹; YOSHINO, Chie¹; NURDIYANTO, Boko⁴; EFFENDI, Noor⁴; MAULANA, Iwan⁴; GAFFAR, Eddy⁵

¹Chiba University, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Upstream Technology Center, ⁴Indonesian Geophysical, Meteorological, Climatological Agency (BMKG), ⁵Research Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences (LIPI)

¹Chiba University, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Upstream Technology Center, ⁴Indonesian Geophysical, Meteorological, Climatological Agency (BMKG), ⁵Research Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences (LIPI)

The tectonic activity around the Cimandiri fault zone, Pelabuhan Ratu, West Java, Indonesia, has been analyzed for 30 years (1973-2013). The subsurface electrical resistivity structure close to the Cimandiri fault has been also investigated by twenty five audio-magnetotelluric (AMT) sites. The AMT exploration was carried out during two weeks, from July 27, 2009 to August 8, 2009. The sites were distributed on two lines along about 13 km x 6.5 km profile. There are two profiles of the AMT: (1) the A-A' line of the AMT which is perpendicular to the fault (2) the B-B' line of the AMT which is parallel to the fault. Two-dimensional modelling using the code developed by Ogawa and Uchida 2-D inversion has been applied in the AMT data. The result of tectonic activity analysis shows that the Cimandiri fault is the active fault. The subsurface electrical resistivity structure of the Cimandiri fault zone is characterized by (1) the A-A' and B-B' lines present a conductive zone (1-100 Ω m) from the surface up to the depth of 1 km, which is possibly associated with quaternary volcanics. At the surface, there are also some very conductive spots (1-5 Ω m) which are indicating the existence of the marine sediments in the study area. (2) The gradual conductive-resistive (500-1,000 Ω m) zone at the depth of 1-3.5 km overlays above a low resistivity zone (10-100 Ω m). This low resistivity zone may reflect the combined influences of a fluid network and the presence of the young and less compact sediments with the 500-1,000 Ω m zone as a cap rock that defines the upper boundary of the low resistivity zone (10-100 Ω m). Finally, the result of both methods presents that the Cimandiri fault is the strike-slip fault.

キーワード: audio frequency magnetotelluric, subsurface electrical resistivity structure, 2-D inversion, Cimandiri Fault, Indonesia

Keywords: audio frequency magnetotelluric, subsurface electrical resistivity structure, 2-D inversion, Cimandiri Fault, Indonesia

統計学的に頑健な MT インバージョン Robust magnetotelluric inversion

松野 哲男^{1*}; Chave Alan²; Jones Alan³; Muller Mark³; Evans Rob²
MATSUNO, Tetsuo^{1*}; CHAVE, Alan²; JONES, Alan³; MULLER, Mark³; EVANS, Rob²

¹ 国立極地研究所, ² ウッズホール海洋研究所, ³ ダブリン高等研究所

¹National Institute of Polar Research, ²Woods Hole Oceanographic Institution, ³Dublin Institute for Advanced Studies

A robust magnetotelluric (MT) inversion algorithm has been developed on the basis of quantile-quantile (q-q) plotting with confidence band and statistical modelling of inversion residuals for the MT response function (apparent resistivity and phase). Once outliers in the inversion residuals are detected in the q-q plot with the confidence band and the statistical modelling with the Akaike information criterion, they are excluded from the inversion data set and a subsequent inversion is implemented with the culled data set. The exclusion of outliers and the subsequent inversion is repeated until the q-q plot is substantially linear within the confidence band, outliers predicted by the statistical modelling are unchanged from the prior inversion, and the misfit statistic is unchanged at a target level. The robust inversion algorithm was applied to synthetic data generated from a simple 2-D model and observational data from a 2-D transect in southern Africa. Outliers in the synthetic data, which come from extreme values added to the synthetic responses, produced spurious features in inversion models, but were detected by the robust algorithm and excluded to retrieve the true model. An application of the robust inversion algorithm to the field data demonstrates that the method is useful for data clean-up of outliers, which could include model as well as data inconsistency (for example, inability to fit a 2-D model to a 3-D data set), during inversion and for objectively obtaining a robust and optimal model. The present statistical method is available irrespective of the dimensionality of target structures (hence 2-D and 3-D structures) and of isotropy or anisotropy, and can operate as an external process to any inversion algorithm without modifications to the inversion program.

Keywords: Inversion, Probability distribution, Magnetotellurics

野島断層 1800m 深注水実験時における自然電位観測序報 Preliminary report of self-potential observation during a water injection experiment at 1800 m depth in Nojima fault

村上 英記^{1*}; 比嘉 哲也²; 鈴木 健士²; 吉村 令慧²; 後藤 忠徳³; 川崎 慎吾⁴; 大内 悠平⁵; 山口 覚⁶
MURAKAMI, Hideki^{1*}; HIGA, Tetsuya²; SUZUKI, Takeshi²; YOSHIMURA, Ryokei²; GOTO, Tada-nori³; KAWASAKI, Shingo⁴; OUCHI, Yuhei⁵; YAMAGUCHI, Satoru⁶

¹ 高知大学教育研究部自然科学系理学部門, ² 京都大学大学院理学研究科, ³ 京都大学大学院工学研究科, ⁴ 京都大学防災研究所, ⁵ 大阪市立大学理学部, ⁶ 大阪市立大学大学院理学研究科

¹Natural Sciences Cluster-Science Unit, Research and Education Faculty, Kochi University, ²Graduate School of Science, Kyoto University, ³Graduate School of Engineering, Kyoto University, ⁴Disaster Prevention Research, Kyoto University, ⁵Faculty of Science, Osaka City University, ⁶Graduate School of Science, Osaka City University

1995 年兵庫県南部地震 (Mw6.9) の地表地震断層である野島断層の深さ 1800m の断層破砕帯に対する注水実験期間中に、1800m 注水孔および地表断層に近い 500m 孔の周辺にて自然電位の観測を実施した。注水期間は 2013 年 9 月 15 日から 29 日までで、注水の平均流量は 2 リットル/分、圧力 5MPa でおこなわれた。野島断層における注水実験は、断層の回復過程をモニタリングする目的で 1997 年、2000 年、2003 年、2004 年、2006 年、2008 年と実施されてきたが、いずれの実験でも深さ 540m 付近のパイプの継手部分からの流出であったことが孔内温度計のデータから推定されている。今回の注水実験では、540m からの漏水防止の工事をおこない注水を実施したので 1800m の注水孔先端部から断層破砕帯への注水がおこなわれたものと推測される。しかし工事途中のトラブルのため孔内温度計による計測が実施されていないので注水深度に関する直接的な情報はない。

自然電位の観測を 2013 年 9 月 6 日から 10 月 21 日まで、従来の注水実験同様に 1800m 注水孔周辺にて実施した。また、今回初めて注水孔の北西約 250m に位置する 500m 孔の周辺でも自然電位の観測をおこなった。1800m 注水孔の周辺では 18 箇所 (1800m 孔、800m 孔を電極とする 2 点を含む)、500m 孔周辺では地表の 9 箇所および 500m 孔の中の 4 箇所の電極 (深さ 500m、440m、380m、および 320m) を使い測定を実施した。1800m 孔および 800m 孔のケーシング・パイプおよび 500m 孔内の電極を除く地表に設置した電極には銅-硫酸銅電極を使用した。1800m 注水孔周辺の 18 箇所の自然電位については 1 秒間隔、500m 孔周辺の 13 箇所については 1 分間隔で記録した。

1997 年から 2008 年までの注水実験時の自然電位観測では、3 つの特徴的な自然電位変動が観測されていた: 1) 注水の開始・停止に同期した自然電位変動、2) 注水孔周辺が負に変動する、3) 注水孔からの距離が大きくなると変動量が小さくなる。これらの自然電位の特性から、観測している自然電位変動は注水に伴う流動電位を観測しているものとして、同レベルの流量・圧力に対する自然電位変動が年々大きくなることを地下の水理パラメータが年々小さくなっていくものと推定した。この結果は、同時に観測している 800m 孔の湧水量の変化や歪データなどから推定されている結論と調和的であった。ただし、2006 年くらいから一部の電極で逆センスの変動がみられるようになり、1800m ケーシング・パイプも逆センスに変動することがわかっている。

今回の注水実験期間中に観測した自然電位変動は、最近の観測結果と異なり生データで注水の開始と停止との明瞭な対応が見られない。S/N 比が悪いので断定できる状況にはないが特に停止に対応した回復が明瞭ではない。また、今回初めて観測した 500m 孔周辺でも 1800m 孔周辺と同期した自然電位変動が観測されている。これらの自然電位変動は地磁気変動による誘導電流によるものではないことは確認できている。

独立成分分析を用いた予察的な解析では、注水期間前半は振動的な変動であり後半には 2mV 程度の負側への自然電位変動が 1800m 注水孔近傍の電極では見られるがこの大きさは従来の変動と比べて極めて小さい。一部の電極や 1800m ケーシング・パイプでの電位が逆センスであることは 2006 年以降の観測と調和的である。注水作業に伴うノイズの影響と考えられる変動が大きくさらなるノイズ軽減策が必要であるが、従来の数 mV から 10mV を超える変動に比べて極めて小さな変化であった。今回観測されている注水期間中の自然電位変動の特性は、深さ 1800m の断層破砕帯においてはまだ水が通りやすい状況にあるために発生する流動電位が小さいのか、1800m 注水孔のケーシング・パイプが理想的な導体ではなく有限な比抵抗値を持つために地表での値が小さくなっているのかは、今後の検討課題である。

キーワード: 野島断層, 1995 年兵庫県南部地震, 自然電位, 注水実験, 流動電位

Keywords: Nojima fault, 1995 Hyogoken-nanbu earthquake, self-potential, water injection experiment, streaming potential

SEM36-P01

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 30 日 18:15-19:30

日本各観測所の地磁気変換関数の長期変化 Long-term variation of geomagnetic transfer function in Japan

竹田 雅彦^{1*}

TAKEDA, Masahiko^{1*}

¹ 京都大学大学院理学研究科地磁気センター

¹Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Kyoto Univ.

日本の観測所での地磁気変換関数の長期変化をデジタル 1 分値が利用できるようになった主に 1985 年以降について求めその長期変化を調べた。解析には外部場の変化の影響を小さくし、各日 4 時間ずつのデータを用いて月別に計算し、さらにそれらの年平均を算出した。その結果、各観測所とも夜間 0h-4hLT のデータを用いると季節変化はあるものの年平均をとることによりかなり安定した長期変化を見ることができた。その結果として長期的変化は概してほぼ全ての観測所に共通であり、それらには太陽活動度の変化を反映しているとみられるものも多いが、いくつかの観測所では特定の期間に特異的に変化しているケースも見出され、それらは地球内部電気伝導度変化に起因する誘導電流の変化を反映している可能性がある。詳しくは学会時に報告する予定である。

キーワード: 地磁気, 変換関数, 長期変化, 地球内部誘導電流, 地域差

Keywords: geomagnetism, transfer function, long-term variation, induced current, locality

岩石サンプルの高解像度比抵抗イメージングに向けた数値実験 Numerical simulations for the electrical prospecting of the rock samples

鈴木 健士^{1*}; 吉村 令慧²; 大志万 直人²
SUZUKI, Takeshi^{1*}; YOSHIMURA, Ryokei²; OSHIMAN, Naoto²

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, ² 京都大学防災研究所地震防災研究部門

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Earthquake Hazards Division, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

地震発生域における活断層調査や熱水鉱床・石油資源開発を目的として、電気・電磁探査による比抵抗構造のイメージングが広く実施されている。電気・電磁探査は、他の物理探査手法に比べ流体に関する感度がよいという特徴があり、地殻における水の分布や熱構造などを探るための強力な探査手法である。

得られた比抵抗イメージから地下の情報を引き出す際には、母岩に対し、間隙水などの良導相のつながり方を仮定することで、比抵抗と地下構造の関係を推定している。このような解釈のプロセスでは、いくつかの分布モデルに従って良導体が連結し、バルクとしての性質を規定するという仮定のもと議論が行われている。そこで我々は、このような仮定をフィールドスケールにまで拡張するプロセスは、どのスケールまで適用可能であるのか議論したいと考えた。具体的には、ハンドサイズの岩石サンプル (大きさ 10cm × 10cm × 10cm 程度) に対する高解像度の比抵抗イメージングと、ほかの構造情報との対比による検証を計画している。検証に用いる岩石サンプルについては、X 線 CT スキャンによる非破壊岩石内部クラック構造観察が比較的容易に行えるほか、外力に対する AE 波震源の詳細なマッピングなどが報告されており、比抵抗イメージとの多面的な対比が可能であると考えられる。このような内部構造情報から、どの程度の比抵抗が算出されるかをモデリングにより見積もることで、比抵抗イメージとどの程度の整合性がとれるのかを検証することができるだろう。

比抵抗イメージングには、高密度の電気探査を用いることを予定しているが、実験を行う前段階として、ハンドサイズの岩石サンプルに対する検出可能な不均質構造のスケールや、モデリングに最適な電極配置を見積もる必要がある。そこで本研究では、3 次元電気探査の数値計算コードを開発し、数値実験による検討を進めている。開発したコードは Dey and Morrison(1979) の手法を参考にしたものであり、任意の比抵抗 3 次元構造・電流ソースに対する、ポテンシャル場を有限差分法により計算するコードである。本発表では、数値コードの詳細と検討の結果を報告するとともに、今後の岩石実験について紹介する予定である。

キーワード: 岩石実験, 電気伝導度, 数値実験

Keywords: rock experiments, electrical conductivity, numerical simulations

草津白根火山における Volcano Loop 観測 Volcano-Loop observation at Kusatsu-Shirane volcano

日野 裕太¹; 小川 康雄^{2*}; 神田 径²; 長谷 英彰²; 関 香織¹
HINO, Yuta¹; OGAWA, Yasuo^{2*}; KANDA, Wataru²; HASE, Hideaki²; SEKI, Kaori¹

¹ 東京工業大学理学部地球惑星科学科, ² 東京工業大学火山流体研究センター

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, ²Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

We have made successful measurement of time domain electromagnetic signals using transmitting and receiving loops at the same location. This system is being planned to work for monitoring the volcano vent.

The test measurement was conducted in the Kusatsu-Shirane volcano where detailed resistivity structure is known by audio-magnetotelluric method. The stepwise waveform was used and off-time response was measured using a transmitting and receiving loop both with 33m radius. The induced voltage was measured from the 0.1ms to 30ms. The observed voltages as a function of time in logarithm were inverted using Occam's algorithm and the model resistivity and resolution of the model were investigated. We also compared the result with those obtained by magnetotelluric method and found that the upper surface layers which have 1d structure are consistent with volcano loop results. We plant to use the system for repeated measurements or continuous monitoring the volcano in the future.

キーワード: 電磁誘導, 時間領域, ループ, 火山, モニタリング

Keywords: Electromagnetic induction, time domain, loop, volcano, monitoring

山田断層帯郷村断層（京都府京丹後市）の地下比抵抗構造の特徴 Electrical conductivity structure beneath the Gomura Fault (Kyotango, Kyoto)

大内 悠平^{1*}; 山口 寛²; 三島 稔明²; 小田 佑介²
OUCHI, Yuhei^{1*}; YAMAGUCHI, Satoru²; MISHIMA, Toshiaki²; ODA, Yusuke²

¹ 大阪市立大学理学部地球学科, ² 大阪市立大学大学院理学研究科

¹Department of Geosciences, Osaka City University, ²Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University

はじめに

断層には規模の大小にかかわらず Damage zone が伴われる。Damage zone とは断層ガウジの外側に発達し、断層運動に関連したすべての変形を含む領域である (Vermilye and Scholz, 1998)。Damage zone では空隙率が高く、水が浸入すると周りの岩石よりも比抵抗値が低くなる。そのため、地下の比抵抗構造を調べることで、地下の断層構造を推定することができる。

地下の比抵抗構造を調べる手法の 1 つに地磁気地電流法 (Magnetotelluric 法: MT 法) がある。MT 法とは、地球磁場の変動と、それによって大地に誘導される電場の変動とを同時に観測し、両者の振幅比と位相差から地下の比抵抗構造を推定する方法である。可聴波数帯 (10000Hz~1Hz 程度) の磁場変動を信号源とする MT 法を Audio-frequency Magnetotelluric 法 (AMT 法) と呼ぶ。AMT 法では、高い周波数帯の電磁場の変動を信号源として用いるため、地下数 km までの比較的浅い部分の比抵抗構造を高い分解能で描くことができる。また、1 つの地点での観測に必要な時間が短いため、多数の観測点で観測を行うことができる。

山田断層帯は山田断層帯主部と郷村断層帯に分けられる。郷村断層帯は、郷村断層、丹後半島北西沖合の断層、仲禅寺断層などで構成される (地震調査委員会, 2004)。郷村断層は、京都府京丹後市に位置し、北北西-南南東方向に延びる断層である。1927 年、マグニチュード 7.3 の北丹後地震に伴って出現した。陸上で確認される部分の長さは 13km に及び、郷村断層の延長上の沖合約 13km にも郷村断層と同じ走向の断層が認められている。また、岡田 (2002) より、破碎帯幅が 0.1m から 0.9m であることが確認されている。

郷村断層の東側約 2~3km のところには仲禅寺断層が、郷村断層の西側約 800m のところには郷西方断層が並走している。松田 (1990) の起震断層の定義に基づけば、郷村断層、丹後半島北西沖合の断層、仲禅寺断層、郷西方断層は、1 つの断層帯を構成していると考えられる。

本研究では、郷村断層を横切る測線に沿って行った。AMT 探査の概要と地下比抵抗構造について報告する。

観測と解析

郷村断層を横切る約 4km の測線上に 12 点の観測点を設けた。また、Remote reference 処理を行うため、最東端の観測点から北東に 10km のところに磁場参照点を設置した。

それぞれの地点での夜間の観測データを基に、Phoenix 社 (カナダ) の解析ソフト SSMT2000 を用いて MT 応答関数を算出した。次に、Phase Tensor 法 (Caldwell et al., 2004; Bibby et al., 2005) を用い、比抵抗構造の次元を判定した。その結果を基に、Ogawa and Uchida (1996) による平滑化拘束付き 2 次元比抵抗構造モデルインバージョンコードを用いて深さ 1.5km までの 2 次元比抵抗モデル (GMR モデル) を求めた。

GMR モデルの特徴

GMR モデルは 4 つの低比抵抗領域と 2 つの高比抵抗領域で特徴づけられる。

- C1: 郷村断層地表トレースの南西側約 2km の深さ 0.15km 以深に存在する幅 1km の低比抵抗領域 ($10^{2.5} \Omega \text{ m}$ 以下)
- C2: 郷西方断層地表トレース直下の深さ 0.15km~0.3km に存在する幅 0.75km の低比抵抗領域 ($10^{2.5} \Omega \text{ m}$ 以下)
- C3: 郷村断層地表トレース直下の深さ 0.45km~1km に存在する幅 1.3km の低比抵抗領域 ($10^{2.5} \Omega \text{ m}$ 以下)
- C4: 郷村断層地表トレースの北東約 2km の深さ 0.5km~1.4km に存在する幅 0.7km の低比抵抗領域 ($10^{2.5} \Omega \text{ m}$ 以下)
- R1: 郷西方断層地表トレース直下深さ 0.4km の深さ 0.3km~1km に存在する幅 1.1km の高比抵抗領域 ($10^3 \Omega \text{ m}$ 以上)
- R2: 郷村断層地表トレースの北東約 1km の深さ 0.25km~0.7km に存在する幅 1.6km の高比抵抗領域 ($10^3 \Omega \text{ m}$ 以上)

考察

郷村断層地表トレース直下の低比抵抗領域 C3 の幅は 650m 以上あることが検証された。Vermilye and Scholz (1998) の関係式から導いた Damage zone の片側幅と、低比抵抗領域 C3 の片側幅が同じ規模であった。また、郷村断層周辺で

Japan Geoscience Union Meeting 2014

(28 April - 02 May 2014 at Pacifico YOKOHAMA, Kanagawa, Japan)

©2014. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SEM36-P04

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 30 日 18:15-19:30

は、岩石の部分溶融、岩石の温度上昇、導電性物質の存在によって低比抵抗領域ができるとは考えづらい。この低比抵抗領域 C3 は郷村断層の Damage zone に水が浸入したものと推定した。よって、郷村断層は深さ 0.45km から 1km に幅 650m のダメージゾーンが形成されていると解釈した。

キーワード: 郷村断層, 比抵抗構造, 地磁気地電流法, ダメージゾーン

Keywords: The Gomura Fault, electrical resistivity structure, Magnetotelluric(MT), Damage zone

中国・四国地方の比抵抗観測研究の概要

A Summary report on the investigations of an electrical resistivity structure beneath Chugoku and Shikoku regions, south

塩崎 一郎^{1*}; 宇都 智史¹; 吉村 令慧²; 大志万 直人²; 久保 篤規³; 村上 英記⁴

SHIOZAKI, Ichiro^{1*}; UTO, Tomofumi¹; YOSHIMURA, Ryokei²; OSHIMAN, Naoto²; KUBO, Atsuki³; MURAKAMI, Hideki⁴

¹ 鳥取大学大学院工学研究科, ² 京都大学防災研究所地震防災研究部門, ³ 高知大学理学部附属高知地震観測所, ⁴ 高知大学理学部応用理学科

¹Graduate School of Engineering, Tottori University, ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ³Kochi Earthquake Observatory, Faculty of Science, Kochi University, ⁴Department of Applied Science, Faculty of Science, Kochi University

本研究の目的は、地殻深部低比抵抗領域と地震活動の関連を明らかにするために、西南日本島弧の縦断方向ならびに横断方向の電気比抵抗構造断面を推定することである。このために、日本列島弧、西南日本弧を横断・縦断する電気比抵抗構造の調査研究から、主に山陰地域では、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な地域性について、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観測研究を行っている。

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、鳥取県西部地震（2000年、M=7.3）等）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深部地殻比抵抗構造調査を実施し、その結果、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、尾崎他（2011）は、鳥取県中西部の地震（2002年、Mj5.3）発生域の南北横断測線から推定された比抵抗モデルの特徴として地殻は全般的に高比抵抗であることを示した。この観測事実は、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。さらに、塩崎他（2013）は、同地震発生域直近の2地点（志津および岡）の補観測により得られたデータの特徴から地殻深部に低比抵抗領域の存在を示唆した。これは前調査の観測データにはみられなかった新しい特徴である。僅か数kmしか離れていない地点で探査曲線の形状に違いがみられることになる。

すなわち、既存研究より東西方向に隣接する地域で指摘されたような山陰地方下の10 Ω m以下の深部低比抵抗領域がみられず、ここでは山陰地方の深部低比抵抗領域は連続して存在しない可能性がある。内陸地震が地震活動帯の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も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。

一方、四国地方においては、これまで、主に中央構造線南側の外帯で同様の調査を行い、その予察的な結果から、外帯の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みられることが示唆された。また、西南日本弧を横断する調査研究に関して島弧横断「山陰-山陽-四国地方（鳥取東部-岡山-香川-徳島-室戸）」測線の構造解析から得られた四国地方東部並びに中国地方東部の2次元比抵抗構造断面図と佐藤ほか（2005）やIto et al. (2009)の求めた詳細な地震反射波断面を比較検討し、いずれの地域でも比抵抗構造と反射法探査により示された反射断面と地質構造解釈との間に明瞭な対応関係がみられる領域が存在することを確認した。

このような観測事実は、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（中国地方）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。従って、中国地方から四国地方にかけての島弧横断構造断面の作成に関しては、フィリピン海プレートの北限位置の問題にこたえるために、瀬戸内海側の未測定地域を中心とした構造調査が必要である。

本講演では、新たに得られた瀬戸内海側のデータを取り入れた中国・四国地方を横断する比抵抗構造解析の結果を示すとともに、同地方の広域の空間的な比抵抗構造の特徴について報告する。

キーワード: 電気比抵抗, 中国四国地方, 不均質

Keywords: electrical resistivity, Chugoku and Shikoku regions, heterogeneity

東北日本沈み込み帯背弧地域における比抵抗構造 Electrical resistivity features of the back-arc areas in the NE Japan subduction zone

市原 寛^{1*}; 多田 訓子¹; 馬場 聖至²; 笠谷 貴史¹; 市来 雅啓³; 海田 俊輝³; 小川 康雄⁴
ICHIHARA, Hiroshi^{1*}; TADA, Noriko¹; BABA, Kiyoshi²; KASAYA, Takafumi¹; ICHIKI, Masahiro³; KAIDA, Toshiki³; OGAWA, Yasuo⁴

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学地震研究所, ³ 東北大学, ⁴ 東京工業大学

¹JAMSTEC, ²ERI, University of Tokyo, ³Tohoku University, ⁴Tokyo Institute of Technology

Electrical resistivity in the crust and upper mantle depends on the pore-fluid distribution, salinity, and connectivity of fluid-filled rock pores. Thus imaging of resistivity distribution based on magnetotelluric surveys gives us fundamental information about fluid distribution of subduction zones. Marine magnetotelluric survey is important to understand dynamics of the NE Japan subduction zone because dehydration of subducting Pacific plate occurs under the Japan Sea. In this study, we discuss resistivity distribution around back-arc areas in the NE Japan subduction zone based on the marine MT data.

We collected natural EM signals with ocean bottom electro-magnetometers (OBEMs) in the eastern Japan sea area between April and August 2013 by MR13-02A and NT13-18 JAMSTEC scientific cruises. In addition, 3 land MT stations were settled in islands in the Japan Sea (Tobishima, Awashima and Sado islands) between April and October 2013. These recorded time-series data were converted to a frequency-domain impedance tensor based on the BIRRP program [1]. The remote reference technique [2] was applied in the data processing using horizontal magnetic field data from Kakioka Station in the period range between 10 and 20000 seconds. As results, high-quality MT responses and geomagnetic tippers in both the trench and back-arc areas.

We calculated phase tensors [3] based on MT impedances by this and previous studies [4] to discuss re-sistivity distribution beneath the back-arc area. The phase tensor ellipse indicates high Φ_{max} (>65 degrees) and Φ_{min} (>50 degrees) in the long periods (>8000 seconds). Large β of phase tensor and large amplitude of geomagnetic transfer function are also shown. These features cannot be explained with bathymetry and sediment effects based on the 3-D forward modeling [5]. Thus strong three-dimensionality and deep conductor possibly distributed beneath the Japan sea. In order to discuss detailed resistivity structure, 3-D inversion approaches are required by using a newly developed 3-D MT inversion code for marine data to treat complicated ocean bottom and land topography [6].

References: [1] Chave, A. D. and D. J. Thomson, Geophys. J. Int. 157, 988-1006 (2004); [2] Gamble, T. D. et al., Geophysics, 44, 53-68 (1979); [3] Caldwell, T. G et al., Geophys. J. Int 158, 457-469 (2004); [4] Toh, H. et al., Geophys Res Lett, 33, L22309 (2006); [5] Baba, N. et al., Geophys. J. Int 158, 392-402 (2002); [6] Tada, N. et al., Earth Planets Space, 64, 10051021 (2012).
Keywords: back arc, NE Japan subduction zone, magnetotelluric, OBEM, phase tensor

山崎断層帯主部のセグメントギャップにおける地下電気比抵抗構造 (2) Conductivity structure beneath the fault segment gap in the Yamasaki fault zone, south-west Japan (2)

小田 佑介^{1*}; 山口 覚¹; 村上 英記²; 加藤 茂弘³; 上嶋 誠⁴; 三島 稔明¹; 大内 悠平⁵

ODA, Yusuke^{1*}; YAMAGUCHI, Satoru¹; MURAKAMI, Hideki²; KATO, Shigehiro³; UYESHIMA, Makoto⁴; MISHIMA, Toshiaki¹; OUCHI, Yuhei⁵

¹ 大阪市立大院・理・地球, ² 高知大・自然科学系・理学部門, ³ 兵庫県立人と自然の博物館自然・環境評価研究部, ⁴ 東京大学地震研究所, ⁵ 大阪市大・理・地球

¹Department of Geosciences, Graduate school of Science, Osaka City Univ., ²Natural Sciences Cluster-Science Unit, Kochi Univ., ³Division of Natural History, Hyogo Museum of Nature and Human Activities, ⁴Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ⁵Faculty of Science, Osaka City University

—はじめに—

断層運動に伴い断層周辺に生じた破碎域に水が浸入することによって、周囲に比べて電気比抵抗値が低い領域が形成されることが報告されている (e.g. Unsworth et al., 1997; Yamaguchi et al., 2010). このプロセスに注目し、断層周辺の比抵抗分布を知ることから、断層およびその周辺の地下構造を推定することが可能である。

地下の電気比抵抗分布を描き出す方法の1つとして、地磁気地電流法 (Magnetotelluric 法) がある。このうち、可聴周波数帯域の自然電磁場変動を用いた Audio-frequency Magnetotelluric (AMT) 法は断層の地下構造、特に、地表から数 km の比較的浅部の構造探査に適している。

岡山県東部から兵庫県南東部にかけて位置する山崎断層帯は、那岐山断層、山崎断層帯主部および草谷断層からなる。山崎断層帯主部は全長約 79km の左横ずれ断層帯であり、最新活動時期の違いから、大原断層、土万断層、安富断層および暮坂峠断層からなる北西部活断層群と、琵琶甲断層と三木断層からなる南東部活断層群に区分されている。この断層帯で発生する地震の最大マグニチュードは、前者では 7.7 程度、後者では 7.3 程度と想定されている。さらに、山崎断層帯主部全体が連動して活動することも考えられており、その場合には、マグニチュード 8.0 程度の地震が発生する可能性があるとして指摘されている (地震調査委員会, 2013)。

山崎断層帯主部北西部と主部南東部の地震活動の連動性について議論するうえで、両部が完全に独立しているのか、地下深部では繋がっているのかは重要である。例えば、地表での断層トレースが不連続であっても地下で断層面が繋がっていれば、その領域を破壊が伝播し、両断層群が連動して活動する事が考えられる。そのため、2つの活断層群の間の断層トレースが途切れている領域 (セグメントギャップ) の地下構造を明らかにする事は重要である。

—観測—

山崎断層帯北西部安富断層と南東部琵琶甲断層との間のセグメントギャップおよびその南方に位置する北西部暮坂峠断層の東方延長部を南北方向に横切る長さ約 16km の測線を設定し、測線上の 11 点で AMT 探査を行った。また、Remote reference 処理を行うため、測線の中央から北西に約 30km 離れた地点に磁場参照点を設けた。各観測点では昼間に観測装置を設置し、夜間に電場水平 2 成分と磁場 3 成分の測定を行った。

—解析—

これまでの、電場と磁場のそれぞれの水平 2 成分から、Remote reference 法 (Gamble et al., 1978) に基づき、MT 応答関数を算出した。次に、Phase Tensor 法 (Caldwell et al., 2004) を用いて、Distortion 解析を行った後、Ogawa and Uchida (1996) の平滑化拘束付き 2 次元比抵抗法インバージョンコードを用いて、地下 4km までの 2 次元比抵抗モデルを求めた。

得られた比抵抗モデルでは、3つの低比抵抗領域で特徴づけられる。これらは、それぞれ、安富断層、暮坂峠断層、琵琶甲断層の地表トレースの延長線が測線と交わる領域の地下に認められたことから、地表では断層トレースが確認されていないが、観測測線の地下にはそれぞれの断層が存在していると結論づけた。

今回は、MT 応答関数に加えて、Induction vector の分布も考慮したインバージョン解析を行うことでより良い 2 次元比抵抗モデルを求め、その結果について報告する。

キーワード: 電気比抵抗構造, 活断層, 山崎断層帯, 地磁気地電流法

Keywords: conductivity structure, active fault, Yamasaki fault system, Magnetotellurics

Electrical Resistivity Imaging at Western Turkey by Wideband Magnetotelluric Method Electrical Resistivity Imaging at Western Turkey by Wideband Magnetotelluric Method

Tuncer Mustafa Kemal^{1*} ; CENGİZ Ozlem² ; TANK Bulent³ ; TOLAK-CİFTÇİ Elif⁴ ; KAYA Tulay⁵ ; OGAWA Yasuo⁶ ; HONKURA Yoshimori⁷ ; MATSUSHIMA Masaki⁸ ; OSHIMAN Naoto⁹ ; CELİK Cengiz¹⁰
TUNCER, Mustafa kemal^{1*} ; CENGİZ, Ozlem² ; TANK, Bulent³ ; TOLAK-CİFTÇİ, Elif⁴ ; KAYA, Tulay⁵ ; OGAWA, Yasuo⁶ ; HONKURA, Yoshimori⁷ ; MATSUSHIMA, Masaki⁸ ; OSHIMAN, Naoto⁹ ; CELİK, Cengiz¹⁰

¹Istanbul University-Turkey, ²Bogazici University-Turkey, ³Bogazici University-Turkey, ⁴Bogazici University-Turkey, ⁵Tokyo Institute of Technology, Japan, ⁶Tokyo Institute of Technology-Japan, ⁷Tokyo Institute of Technology-Japan, ⁸Tokyo Institute of Technology-Japan, ⁹Kyoto University-Japan, ¹⁰Bogazici University-Turkey

¹Istanbul University-Turkey, ²Bogazici University-Turkey, ³Bogazici University-Turkey, ⁴Bogazici University-Turkey, ⁵Tokyo Institute of Technology, Japan, ⁶Tokyo Institute of Technology-Japan, ⁷Tokyo Institute of Technology-Japan, ⁸Tokyo Institute of Technology-Japan, ⁹Kyoto University-Japan, ¹⁰Bogazici University-Turkey

The westward migration of large magnitude earthquakes along the North Anatolian Fault Zone indicates that a major event may take place at and around the Marmara region, following the Izmit (Mw7.4) and Duzce (Mw7.2) earthquakes that took place in 1999 in northwest Turkey. For this reason many studies were conducted around Marmara sea, west of these events. These studies focused mostly on the northern part of this area because of the high damage risk near Istanbul, but the similar potential is also present for the southern Marmara. In order to investigate the upper crustal electrical resistivity structure at this location, wide-band magnetotelluric data were collected at sixteen sites forming two parallel profiles. These profiles were constructed to cross the southern branches the North Anatolian Fault. Following the application of Groom and Bailey decomposition that has been applied to remove the surplus features and to deduce the appropriate geo-electric strike direction which is an important requirement for two-dimensional interpretation, an inversion algorithm developed by Ogawa and Uchida (1996) was utilized to develop electrical resistivity models. These models pointed out a relatively complicated shallow (surface-to-5 km) structure which may be associated with the presence of crustal fluids, but below these depths the electrical resistivity is more uniform with only a deep conductor appearing beneath the northern ends of the two profiles. The known faults in the survey area correlate well with the features characterized in the final geo-electric models. A resistive-conductive boundary between Manyas - Karacabey basin and Bandirma-Karadag uplift on the western and Uluabat uplift and Mudanya uplift on the eastern profiles may be associated with the South Marmara Fault.

キーワード: North Anatolian Fault, Fluids, Electrical resistivity, Magnetotellurics, geo-electric models

Keywords: North Anatolian Fault, Fluids, Electrical resistivity, Magnetotellurics, geo-electric models

津波早期警戒のための陸上地磁気三成分観測点 Installation of a Vector Magnetometer for a Ground-based Tsunami Early Warning

川嶋 一生^{1*}; 藤 浩明²; 吉村 令慧³; 藤井 郁子⁴; 仰木 淳平⁴; 阿部 聡⁵
KAWASHIMA, Issei^{1*}; TOH, Hiroaki²; YOSHIMURA, Ryokei³; FUJII, Ikuko⁴; OOGI, Junpei⁴; ABE, Satoshi⁵

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附属地磁気世界資料解析センター, ³ 京都大学防災研究所地震防災研究部門, ⁴ 気象庁地磁気観測所, ⁵ 国土地理院

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Graduate School of Science, Kyoto University, ³Earthquake Hazards Division, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ⁴Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency, ⁵GeoSpatial Information Authority of Japan

Conductive sea water moving in the geomagnetic main field generates electromagnetic variations by a physical process called the oceanic dynamo effect. This effect at the time of tsunami passages was recently detected on the seafloor in the northwest Pacific (Toh et al., 2011) and on Easter Island (Manoj et al., 2011). The tsunami-induced electromagnetic field is expected to contribute to existing global tsunami warning systems.

We are carrying out a project that aims to observe geomagnetic variations associated with tsunami passages by ground-based real-time observations. This project requires a pair of geomagnetic observation sites for clear detection of tsunami events. The geomagnetic coast effect and the external field due to ionospheric and/or magnetospheric disturbances can be removed by taking real-time differences between a coastal and an inland geomagnetic sites. We installed a vector magnetometer at Umaji located in the middle of Muroto Peninsula, where artificial electromagnetic noises are very small. This location is selected as a counterpart of the existing observation site at Muroto located at the tip of the peninsula, which is operated by Geospatial Information Authority of Japan (GSI).

In this presentation, we will make a progress report on our ground-based tsunami warning system consisting of a pair of vector magnetometers. This system is intended to detect the geomagnetic field variations induced by tsunamis at the time of Nankai/Tonankai earthquakes.

キーワード: 地磁気, 津波

Keywords: Geomagnetism, Tsunami

気象庁父島地磁気観測点で得られた数例の津波誘導磁場の記録 The several Records of tsunami induced magnetic field obtained by the JMA Chichijima observation station(CBI).

館畑 秀衛^{1*}; 浜野 洋三²

TATEHATA, Hidee^{1*}; HAMANO, Yozo²

¹ 気象庁, ² 海洋開発研究機構

¹JMA, ²JAMSTEC

津波によって導電性のある海水が流動する時、地球磁場との相互作用によって起電力が生じ、さらに誘導磁場が励起される。父島(CBI)観測点は、太平洋に浮かぶ島の観測点であることから、津波による誘導磁場の記録を期待し、観測データが安定した1995年からの秒値データを、父島二見検潮所の検潮記録と対比して精査したところ、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震津波を含め、合計9例に津波誘導磁場が認められた。上の津波に加えて明瞭な現象記録は、1996年2月17日イリアンジャヤ地震津波、2010年2月27日チリ中部沿岸の地震津波であった。父島(CBI)では、概ね高さ20cm以上の津波から津波誘導磁場が認められる。ただ、高さ30~40cmの津波であっても磁気嵐によって判別不可能な場合があるが、高さ1m以上であれば、ほぼ確実に津波による誘導磁場の記録が得られそうである。標本数が限られているため暫定的であるが、津波の高さ(半振幅) η と誘導磁場の振幅 Z との回帰式も得られた。この様に一観測点で9例の津波の誘導磁場記録が得られたことは、世界的にも例がないと思われる。これらの記録と若干の解析結果を紹介する。

キーワード: 津波, 誘導磁場, 父島

Keywords: tsunami, Induced magnetic effects, chichijima

伊豆半島東部における地殻の上下変動と関連する地磁気全磁力変動 Geomagnetic total intensity variations associated with vertical crustal movement in the eastern part of Izu Peninsula

笹岡 雅宏^{1*}; 小川 勉²

SASAKI, Masahiro^{1*}; OGAWA, Tsutomu²

¹ 気象庁地磁気観測所, ² 東京大学地震研究所

¹Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

伊豆半島東部地域では、群発地震活動・異常地殻活動に関連する地磁気変化を検出するために大学等研究機関により地磁気全磁力連続観測が行われている。この地域の群発地震は、主にマグマの貫入に伴って発生すると考えられている。マグマ貫入に伴う火山性の群発地震の場合は、岩石の持つ磁気の強さが岩石の温度や応力に応じて増減するため地磁気は変化する。気象庁地磁気観測所もこの地域で1990年代末から全磁力連続観測を実施していたが、2010～2012年にかけて、伊東市と熱海市の境界付近の御石ヶ沢から伊東市の市街地に近い玖須美和田に連続観測点を移設し全磁力観測を継続した。玖須美和田は、2009年12月に発生した伊豆半島東方沖地震の震央に近い。玖須美和田での観測期間中、主なイベントとして2011年3月の東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動やその後7月と9月に伊豆半島東方沖で発生した小規模な群発地震がある。2010～2012年の調査期間中、地震活動については2011年が比較的活発であったのを除けば静穏であった。この期間中は、火山性の地震活動は無かったと判断されている。全磁力連続データについては外部磁場変動成分や年周変化等を除去する解析を施した上で利用した。

地殻の隆起に伴う圧力効果が全磁力変化に与える影響を確認するために、気象庁地磁気観測所及び東京大学地震研究所の全磁力連続データと国土院が公開しているGPS（汎地球測位システム）を用いて測定された測地高度の日々変動とを比較することにより、全磁力変動と地殻の上下変動との関連について調査した。2010～2012年の期間中は地殻の上下変動については季節的な変化が見られたが、2010年より2011年の方が上下変動の振幅は小さかった。全磁力については、2010年の地震活動が静穏な期間から2011年の地震活動が比較的活発な期間にかけて地殻の上下変動に対応した全磁力の増減、そして2011年の群発地震終息後10月頃に地殻の上下変動を伴わない全磁力の減少などが見られた。また、2012年の地震活動が静穏な期間では有意な全磁力変化は見られないことが分かった。結局、地殻の隆起に伴い期待されるピエゾ磁気変化は有意には観測されなかった。観測された全磁力変化の定性的な理解のため、2009年12月のマグマ貫入に伴う群発地震に関係する地下の熱変化が2011年10月頃まで継続し、地殻の上下変動に伴い地下の熱水が変位することにより地磁気全磁力の増減変動が2010～2011年にかけて観測され、2012年には地下の熱活動を伴わないため地殻が上下変動を示す時期に全磁力変化は見られなくなったと推論された。つまり地下の熱活動は、2010～2011年の期間で強化されることなく衰弱し、2011年10月以降の熱供給の途絶に伴う温度降下による帯磁をもって終結した。観測された顕著な全磁力変化については、地震（断層のずれ）と直接には関係なく、岩石の応力変化よりはむしろ地下の熱変化が原因で生じた結果である可能性が高いと考えられる。

キーワード: 伊豆半島東部, 地磁気全磁力, 地殻変動, 熱活動

Keywords: eastern part of Izu Peninsula, geomagnetic total intensity, crustal movement, hydrothermal activity

応力磁気効果起源の電磁場変動計算における無限媒質近似の妥当性 Validity of using space approximation in calculating EM variations generated by the piezomagnetic effect

山崎 健一^{1*}

YAMAZAKI, Ken'ichi^{1*}

¹ 京都大学

¹ Kyoto University

地殻内部で応力変化が生じると、応力磁気効果を介して地表での磁場変化が生じる。この磁場変化は、いくつかの仮定のもとで次のように計算することができる。適当な応力磁気効果の構成則と応力分布を仮定すれば地殻内の各点における磁化変化が計算される。十分な時間が経過した後の磁場変化は、地殻内の各点における磁化変化が作る静磁場を積分することで求められる。この方法で、点膨張源や矩形断層の一樣変位などから生じる磁場変化の表現式が求められている。それは測地データの逆解析とは独立な応力源位置情報を磁場変化の観測値から推定するためなどに利用できる。

近年、地震発生等による応力変化発生後ただちに発生する磁場変化が報告されており、その主要原因も応力磁気効果であろうと考えられている [Okubo et al. 2011, EPSL]。しかしこの場合、十分な時間が経過したとみなして計算した結果が妥当か否かは検討が必要である。磁化の時間変化をあらわに考えるためには、静磁場を扱うのではなく、時間変化する電磁場を扱う必要がある。その際に重要なパラメータは、地殻の電気伝導度である。簡単な状況のひとつとして、有限電気伝導度をもつ大地と絶縁大気からなる二層モデルを仮定した場合に応力磁気効果から生じる電磁場を計算した結果からは、有限電気伝導度媒質の存在が生じる磁場の時間変化を明確に変化させることが示されている。すなわち、地震発生直後などの磁場変化を正確に求めるためには、電気伝導度の影響は無視できないといえる。そのため、点膨張源や矩形断層の一樣変位などから生じる磁場変化の表現式を、電気伝導度媒質に対する結果に修正する必要がある。

しかし、単純な半無限媒質であっても、その表現式は複雑であり、点膨張源や矩形断層の一樣変位に適用することは困難である。もしもこれを、全無限媒質で置き換えることが許されるならば、問題の対称性が高いために解析は著しく容易になる。応力磁気効果起源の電磁場変動の観測は通常地表付近で行われるから、無限媒質として計算した結果と半無限媒質として計算した結果が地表、すなわち媒質境界付近で十分な精度で一致していれば、置き換えが許される、といえる。

そこで本報告では、半無限媒質を無限媒質で置き換えることによって、結果にどの程度の違いが生じるのかを、解析解が比較的容易に得られる二次元問題を用いて論じる。なお、本講演申込み時点では2次元の結果しか得られていないが、3次元での結果が得られたら、これを合わせて報告する。

キーワード: 応力磁気効果, 電磁場変動, 電気伝導度, 半無限媒質, 無限媒質

Keywords: piezomagnetic effect, electromagnetic field, electrical conductivity, infinite space, semi-infinite space