

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 v と地球主磁場 F とのカップリング ($v \times F$) 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、 $v \times F$ 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、 $v \times F$ 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 度の方向にあった。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

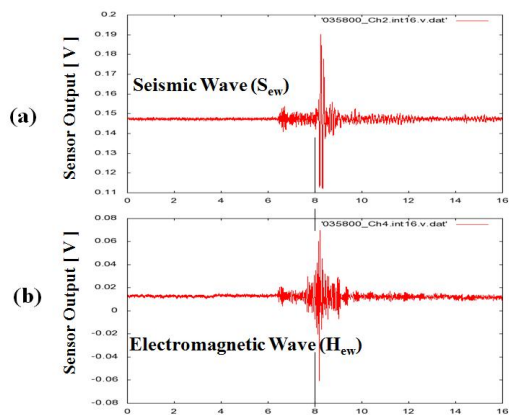


Fig. 1

03:58:00.059 JST, Dec. 25, 2013

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や、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; Nurdiyanto 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 Ωm) 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 Ωm) which are indicating the existence of the marine sediments in the study area. (2) The gradual conductive-resistive (500-1,000 Ωm) zone at the depth of 1-3.5 km overlays above a low resistivity zone (10-100 Ωm). 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 Ωm zone as a cap rock that defines the upper boundary of the low resistivity zone (10-100 Ωm). 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の断層破碎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碎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力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の断層破碎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