

栗駒火山北側山腹における AMT 観測

Audio-frequency magnetotelluric survey on the northern edifice of the Kurikoma volcano, northeast of Japan

小林拓也*, 坂中伸也, 筒井智樹, 井上雄介 (秋田大学大学院国際資源学研究所),
ムハンマド・ファイズル・ニザム・ビン・ザイヌディン, 加藤健太, 森脇知哉, 多田悠也
(秋田大学国際資源学部)

Takuya Kobayashi*, Shin'ya Sakanaka, Tomoki Tsutsui, Yusuke Inoue
(Graduate school of International Resource Sciences, Akita University),

Muhammad Faizul Nizam Bin Zainudin, Kenta Kato, Tomoya Moriwaki and Yuya Tada
(Faculty of International Resource Sciences, Akita University)

Abstract

Now we focus the Kurikoma volcano closely at the triple junction of borders of Akita, Iwate and Miyagi prefectures, northeast of Japan. Kurikoma volcano is one of important active volcanos and its most recent striking activity was a phreatic eruption in 1944. The site of 1994 eruption is now remained as a crater lake called Lake Showa. Besides the Lake Showa, volcanic gas is even now emitted upstream of a gorge called Jigoku-dani. So far the several researches have reported 2- and 3-dimensional resistivity structures of the crust including Kurikoma volcano (for example Mishina, 2009; Ichihara et al., 2014). Mishina (2009) firstly reported the 2-dimensional resistivity structure targeting the deep volcanic fluid beneath the Kurikoma volcano. The result of Mishina (2009) suggested the existence of volcanic fluid at the depth of several kilometers under the volcano. Our research target is shallower depth than the research of Mishina (2009) and the purpose is to estimate the volcanic structure and the fluid related to phreatic eruption.

We carried out an audio-frequency magnetotelluric survey at 13 stations in the northern edifice of the Kurikoma volcano to clarify 2-dimensional resistivity structure. We obtained the structure of a large conductive region beneath the surface of the Jigoku-dani that is underlain by a resistive layer at depths below 500m. In addition, resistive layer regions are distributed just under the phreatic eruption crater traces, suggesting the previous volcanic activities.

1. はじめに

栗駒火山は、秋田県、岩手県、宮城県の県境に位置する活火山で、標高 1,627m の第四紀成層火山である。1744 年と 1944 年に水蒸気噴火の記録があり、その噴火地点には昭和湖と呼ばれる火口湖が形成されている。栗駒火山北側山腹では、昭和湖付近の地獄谷と呼ばれる噴気地帯と硫黄山・湯気山と呼ばれる噴気地帯があり、その噴気温度は約 90°C である (土井他, 2015)。

火山活動調査の観点から、熱水系やマグマのような火山性流体の挙動の検出に、比抵抗という物理的なパラメータが重要視されている。地下比抵抗を観測し、火山体構造を調査する方法として、自然電磁波変動を用いた MT (Magnetotelluric) 法がよく利用されている。AMT (Audio-frequency

Magnetotelluric) 法は MT 法の一つで、可聴周波数帯域を利用しており、地下数百 m から数 km までの構造調査に利用されている。その中で、火山体における比抵抗構造研究の解釈として、地下浅部に熱水変質鉱物からなる低比抵抗領域が存在し、その底部は熱水変質鉱物が分解する 200°C 等温面であると推定されることが多い (例えば, Nurhasan et al., 2006; Kanda et al., 2008; Seki et al., 2015)。

過去に、栗駒火山を含む地殻内部の 2 次元または 3 次元比抵抗構造の研究がいくつか報告されている (例えば, Mishina, 2009; Ichihara et al., 2014)。これらの研究により、深部火山性流体の存否が推定された。しかし、これらの研究は地下深部を対象としているため、火山噴火に伴った火山現象と地下構造を比べるのに、十分な解像度を持った比抵抗構造は得られていない。

本研究では、栗駒火山体の深さ数 km までのより浅部の地下構造を対象に AMT 観測を行い、火山噴火の発生のカギとなる構造を見出すことを目的とする。

2. 観測方法

AMT 観測は 2018 年 8 月から 11 月にかけて実施した。噴気活動が盛んである昭和湖と地獄谷を横断する南北方向と、硫黄山・湯気山を横断する東西方向に測線を展開し、合計 13 点で観測を実施した (Figure 1)。測定機材は、Phoenix Geophysics Ltd. (カナダ) 製の MTU-5A を用いた。それぞれの観測点で電場 2 成分、磁場 3 成分を測定した。測定は 3 時間から長くて 2 晩かけて測定した。

各データのサウンディングカーブは、MTU-5A 付属のソフトウェアである SSMT2000 および MTediter を用いて推定した。リモートリファレンス処理 (Gamble et al., 1979) は、同時観測を行い、互いのデータをリファレンスデータとして用いた。

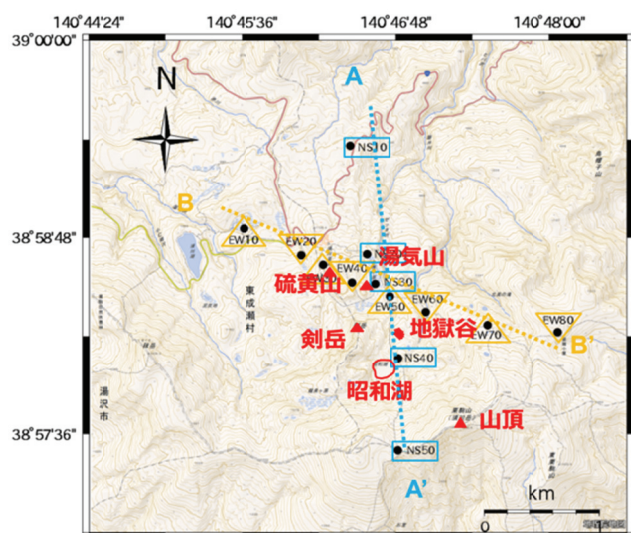


Figure 1 Location map of the Kurikoma Volcano showing the AMT survey sites.

3. 観測データ

インピーダンステンソルの Z_{xy} 成分から推定された見掛け比抵抗および位相を緑色、 Z_{yx} 成分から推定されたものを赤色で Figure 2 に示した。全体的な特徴として、10400 Hz ~ 2 Hz の範囲では品質の良いデータが得られた。しかし、3 時間ほどと短い測定時間で得られたデータは、2000 Hz 付近でノイズが大きかった。

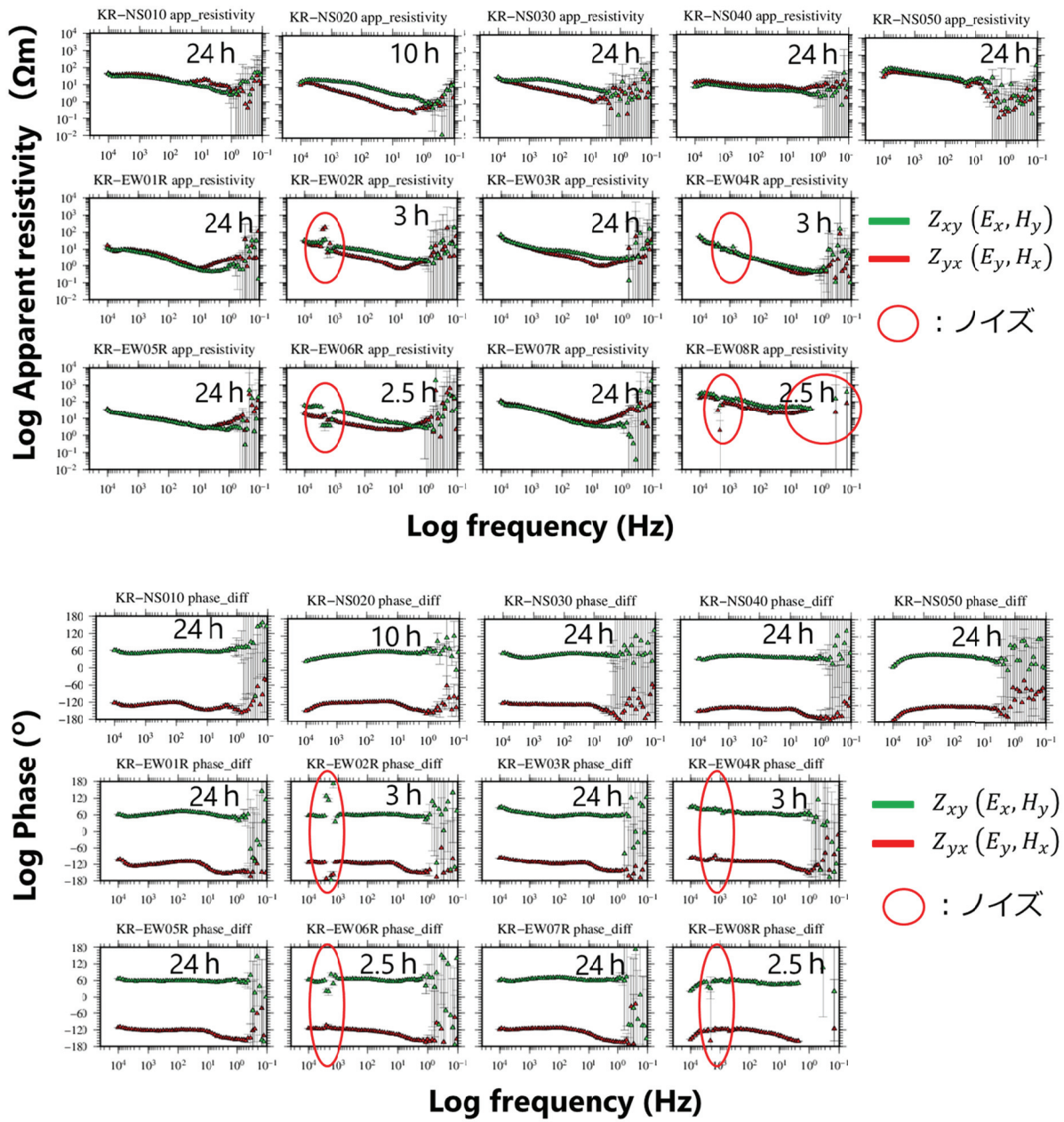


Figure 2 Apparent resistivity and impedance phase.

4. 比抵抗構造の次元性と比抵抗分布の特徴

本研究で得られたデータの性質を把握するために、フェイズテンソル (Caldwell et al., 2004) とインダクションベクトル (Parkinson, 1962) の概念を用いた。フェイズテンソルは、表層の不均質構造による影響 (ガルバニックディストーション) を受けにくい性質があるため、地下構造の次元性や走向を示す指標として用いられることが多い。フェイズテンソルの楕円率は比抵抗構造の1次元性の指標とされている。Figure 3 より、10 Hz より高周波数領域においては1次元性が強い構造が示唆される。また、低周波数領域では楕円率が大きく、楕円の長軸が南北方向を示す傾向があることから、深部構造の電氣的走向方向は南北であることが推測される。Figure 4 において、インダクションベクトルがマグマ噴火の発生している剣岳付近を示していることから、地形の影響を精査する必要はあるものの、剣岳直下の地下約 1.5km 以深で低比抵抗領域の分布が示唆される。

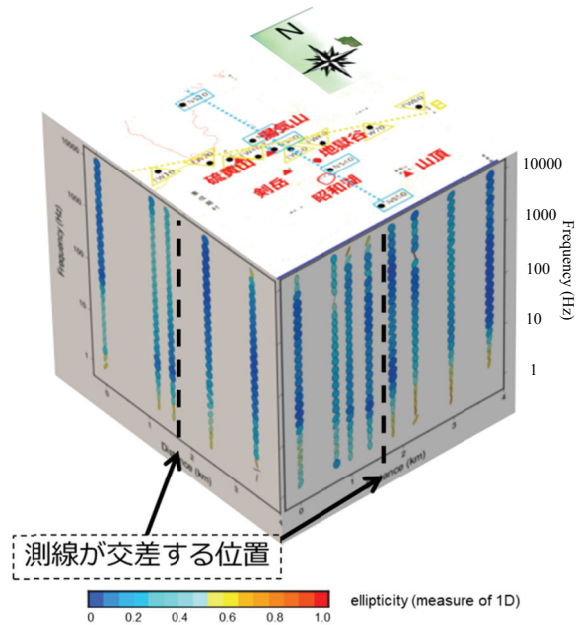


Figure 3 Phase tensor of AMT data of each observation point. The color of the ellipse shows the ellipticity of the phase tensor.

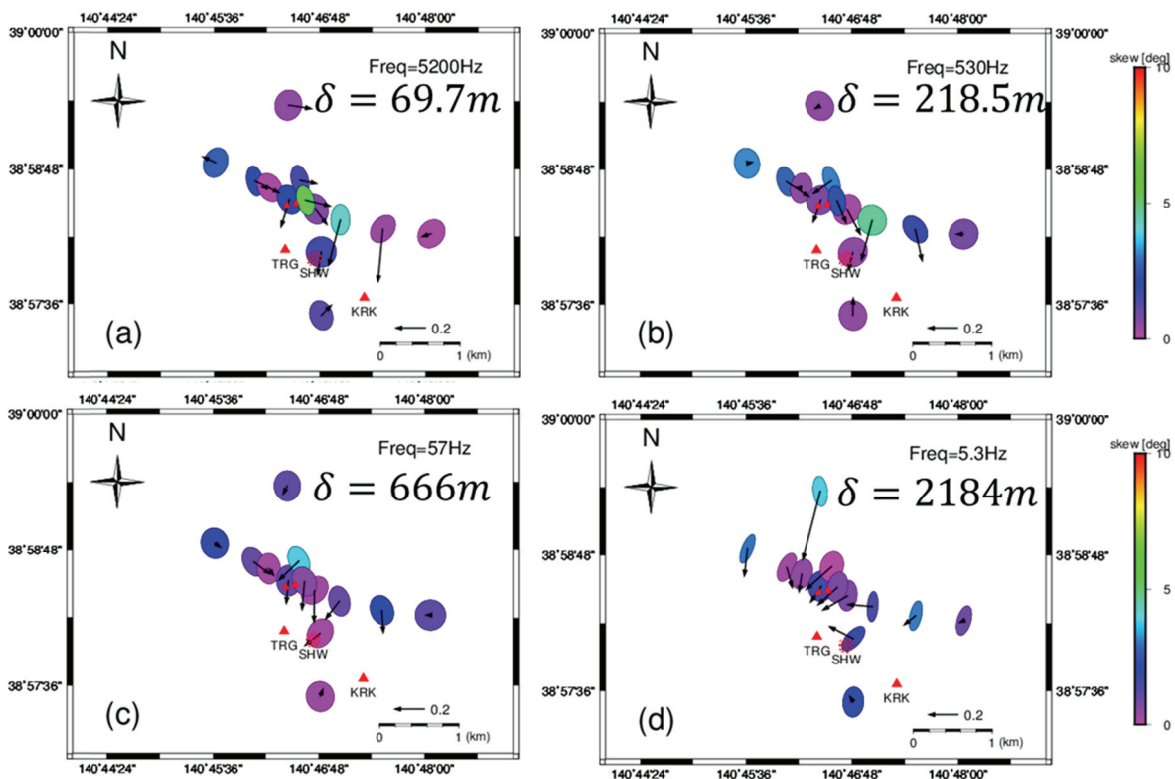


Figure 4 Spatial distribution of phase-tensor ellipses and real part of induction arrows. (KRK: Kurikoma mountain Top, SHW: Lake Showa, TRG: Tsurugi-dake).

5. 2次元比抵抗モデル

本研究の構造解析には、Ogawa and Uchida (1996) による2次元インバージョンコードを使用した。使用した周波数は8800Hzから0.7Hzの範囲で全18周波数を使用した。その中で、スキュー角が5度未満の値を使用した。Figure 6が東西測線と南北測線のTMモードにより導出された最終的な2次元比抵抗モデルである。インピーダンステンソルの回転に関して、南北測線は90度回転させ、東西測線は回転させなかった。

Figure 5は南北測線（左図）と東西測線（右図）の疑似断面図を示しており、高周波数領域の疑似断面の観測値と理論値は一致している傾向が見られる。

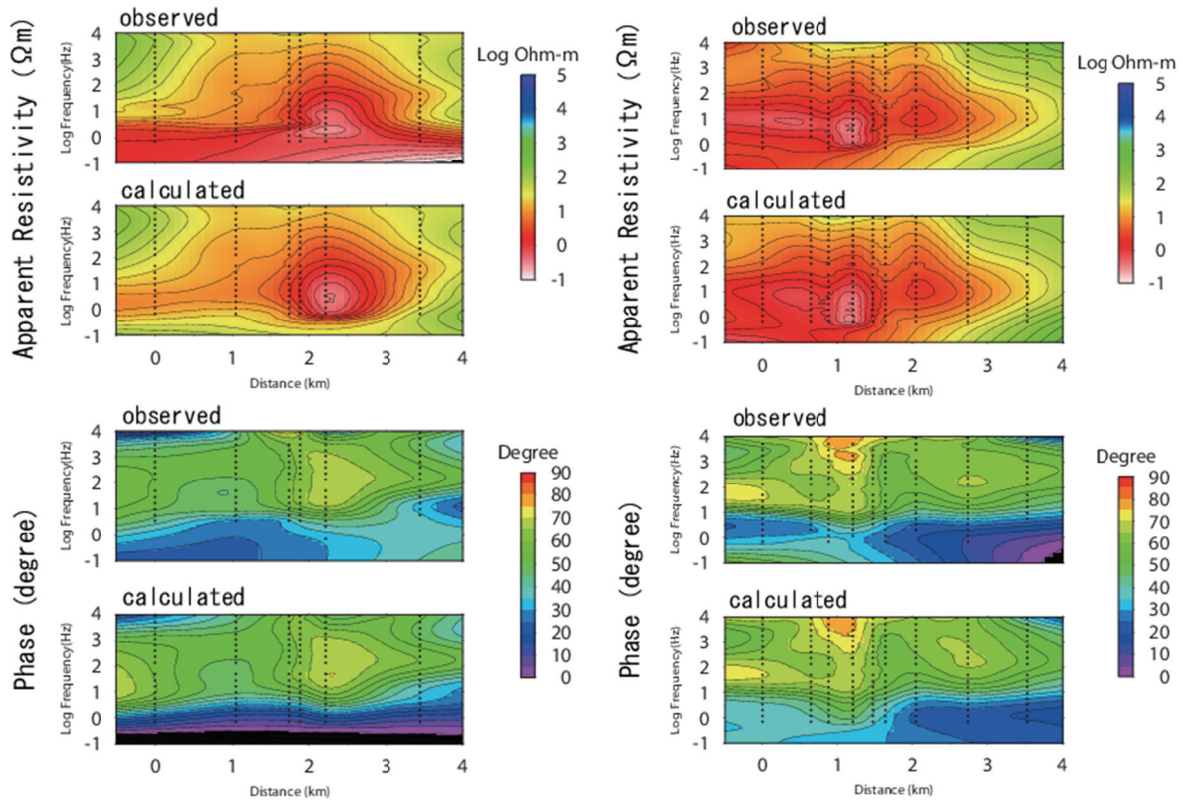


Figure 5 Comparison of pseudo-sections between the final 2D model (Figure 6) responses and the observed data. Left and right columns represent North-South line and East-West line.

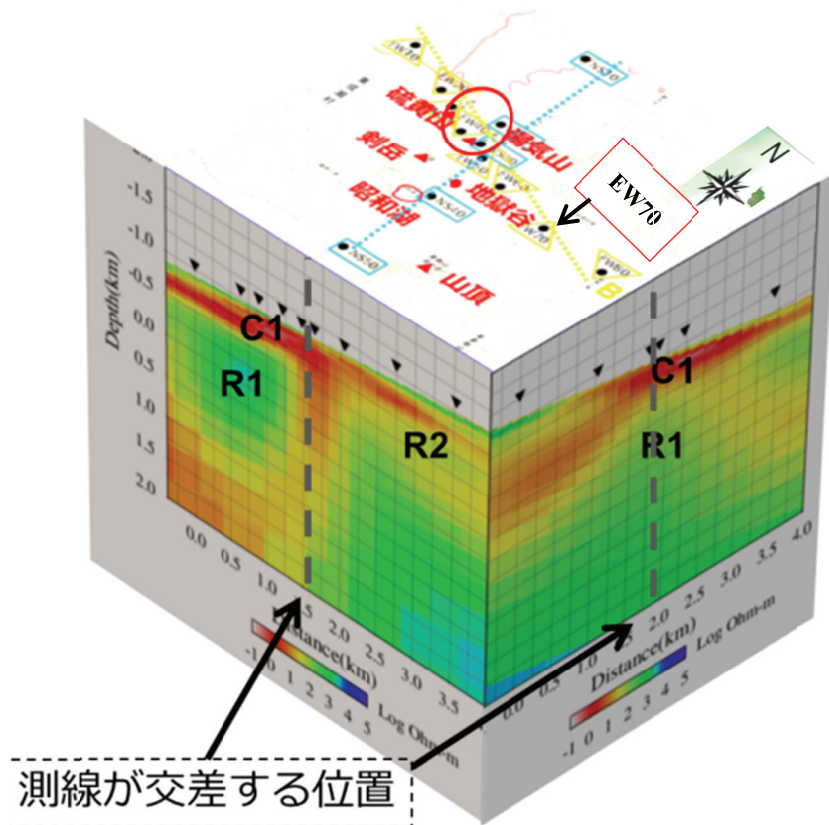


Figure 6 Final 2D resistivity model. Left and right sides represent East-West line and North-South line.

6. 栗駒火山の浅部比抵抗構造

最終モデル (Figure 6) には大きく分けて 3 つの特徴がある。①地表付近には低比抵抗領域 (C1) が分布している。C1 は噴気地帯および温泉地帯に向かってその比抵抗がより低くなる傾向がある。②噴気地帯 (地獄谷・硫黄山・湯気山) の直下において、高比抵抗領域 (R1) が地表付近に近づく構造である。高温噴気地帯 (地獄谷噴気及び硫黄山噴気) の直下に存在していることから、R1 は蒸気卓越領域であることが考えられる。③観測点 EW07 の直下において、地表付近の低比抵抗領域 (C1) が薄くなり、その直下に比較的高比抵抗な領域 (R2) が分布している。水蒸気噴火火口の跡地と位置が対応していることから、過去の水蒸気噴火に伴う火山活動の痕跡と関連が深いと考えられる。

7. まとめ

栗駒火山北側山腹で AMT 観測を実施、地下数 km の 2 次元比抵抗構造を導出した。その結果、以下のことが示唆された。

- (1) フェイズテンソルの楕円率から、北側山腹の浅部比抵抗構造は 1 次元性が強いことが示唆された。
- (2) フェイズテンソルのスキュー角から、測線の交差する観測点 (名残ヶ原周辺) の地下構造は 3 次元性が比較強いことが示唆された。

- (3) 2次元比抵抗構造解析から、噴気地帯や温泉の直下に厚さ約400mの低比抵抗領域（C1）が卓越していることが示唆された。
- (4) 2次元比抵抗構造解析から、顕著な高比抵抗領域（R1）は、噴気地帯と対応していることから、R1は蒸気卓越領域である可能性が考えられる。
- (5) 東西断面の東部の高比抵抗領域（R2）が水蒸気噴火火口と対応していること、そしてその付近では噴気活動が見られないことから、R2は過去の水蒸気噴火活動の痕跡と関連が深いと考えられる。

引用文献

- Caldwell, G. T., Bibby, M. H., and Brown, C. (2004): The magnetotelluric phase tensor. *Geophys. J. Int.*, **158**, 457-469.
- Gamble, T. D., Goubau, W. M., and Clarke, J. (1979): Magnetotellurics with a remote magnetic reference. *Geophysics*, **44**, 53-68.
- Ichihara, H., Sakanaka, S., Mishina, M., Uyeshima, M., Nishitani, T., Ogawa, Y., Yamaya, Y., Mogi, T., Amita, K., and Miura, T. (2014): A 3-D electrical resistivity model beneath the focal zone of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake (M7.2). *Earth, Planets and Space*, **66**, 1-9.
- Kanda, W., Tanaka, Y., Utsugi, M., Takakura, S., Hashimoto, T., and Inoue, H. (2008): A preparation zone for volcanic explosions beneath Naka-dake crater, Aso volcano, as inferred from magnetotelluric surveys. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **178**, 32-45.
- Mishina, M. (2009): Distribution of crustal fluids in Northeast Japan as inferred from resistivity surveys. *Gondwana Research*, **16**, 563-571.
- Nurhasan., Ogawa, Y., Ujihara, N., Tank, B.S., Honkura, Y., Onizawa, S., Mori, T., and Makino, M. (2006): Two electrical conductors beneath Kusatsu-Shirane volcano, Japan, imaged by audiomagnetotellurics, and their implications for the hydrothermal system. *Earth, Planets and Space*, **58**, 1053-1059.
- Ogawa, Y. and Uchida, T. (1996): A two-dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift. *Geophys. J. Int.*, **126**, 69-76.
- Parkinson, D. W. (1962): The Influence of Continents and Oceans on Geomagnetic Variations. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **6**, 441-449.
- Seki, K., Kanda, W., Ogawa, Y., Tanbo, T., Kobayashi, T., and Hino, Y. (2015): Imaging the hydrothermal system beneath the Jigokudani valley, Tateyama volcano, Japan: repeated phreatic eruptions from an audio-frequency magnetotelluric survey. *Earth, Planets and Space*, **67**, 1-9.
- 土井宣夫, 佐々木信良, 千葉幸也, 岩館晋 (2015): 栗駒山の火山活動に誘発された2008年岩手・宮城内陸地震—地域連携による火山活動の監視—, 岩手大学教育学部研究年報, **74**, 27-49.