

AMT 探査から推定される雌阿寒岳浅部の比抵抗構造 (序報)

高橋幸祐¹・松島喜雄²・高倉伸一²・山谷祐介²・有田真¹・

長町信吾¹・大石雅之²・風早竜之介²・藤井郁子¹

1: 気象庁地磁気観測所

2: 産業技術総合研究所

Preliminary result of resistivity modeling at Meakandake Volcano, Japan

Kosuke Takahashi¹, Nobuo Matsushima², Shinichi Takakura², Yusuke Yamaya²,
Shin Arita¹, Shingo Nagamachi¹, Masayuki Oishi², Ryunosuke Kazahaya², Ikuko Fujii¹

1: Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency

2: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Abstract

Meakandake Volcano, situated in Eastern Hokkaido, Japan, is an active volcano where a phreatic eruption occurs in every several years. We conducted an audio-frequency magnetotelluric (AMT) survey at 9 sites on the western slope of the volcano. The objective of the survey is to reveal the resistivity structure around Ponmachineshiri crater, which is one of active craters of the volcano, and to infer the relationships among the fluid distribution, the seismic focal area, and the thermal-demagnetization area around the crater. Since we have not finished the AMT survey on the eastern slope of the volcano yet, the resistivity structure around the Ponmachineshiri summit crater is not well-constrained. Therefore, we present the two-dimensional resistivity structure beneath the western slope of the volcano as a preliminary result. According to our resistivity model, two conductive bodies (less than 10 Ωm) exist beneath the western slope of the volcano. One is located to the west of Ponmachineshiri crater at depths of 300-1000 m from the surface. This conductor corresponds to a hydrothermal reservoir which relates to the fumarolic activity in the crater. The second conductor is found beneath the western part of the profile at a depth of about 1000 m from the surface. The discharge of hot spring water at the west of our survey region suggests that this conductor can be explained by the presence of the hydrothermal fluid and/or the altered rocks. On the other hand, a resistive area (more than several hundred Ωm) exists below the two conductors. Causes of this high resistivity are unknown yet.

1. はじめに

雌阿寒岳は北海道東部に位置し (Fig. 1a)、ポンマチネシリや阿寒富士など 8 つの火山から構成される成層火山群である (横山ほか、1976)。近年もポンマチネシリ火口において、数年おきに小規模な水蒸気噴火が発生しており、火山性地震は主にこの火口の地下で発生して

いる（気象庁、2013）。

最近の噴火活動としては、2008年11月に発生したポンマチネシリ火口における小規模な水蒸気噴火がある。この噴火の前に発生した火山性微動源は、ポンマチネシリ火口の南側に推定され、微動源が徐々に移動したことが明らかにされている（Ogiso and Yomogida, 2012）。また2008年から2009年にかけては、火口南側の地下で岩石の熱消磁が発生したことによると考えられる全磁力変化が観測された（例えば、橋本ほか、2009）。これら火山性地震、微動および岩石の熱消磁の発生には、火口地下の火山性流体の挙動が関与していると考えられる。

岩石の比抵抗は含水率に大きく依存することから、比抵抗探査は地下の流体分布を推定するのに有効な手法である。本研究はAMT (audio-frequency magnetotelluric)観測によって、ポンマチネシリ火口周辺の比抵抗構造を得ることで火口周辺の流体の分布を推定し、火山性地震、微動および岩石の熱消磁の発生と流体分布との間の関連を明らかにすることが目的である。

これまでに、ポンマチネシリ火口から西側に伸びる登山道(オンネトーコース)沿いでAMT観測は終了しているが、まだ火口東側では実施していない。よって本稿では火口西側浅部の比抵抗構造について、これまでに得られた結果を報告する。

2. AMT観測の概要およびデータ処理

観測は2013年8月27日から8月31日にかけて、Phoenix Geophysics社製MTU-5Aを使用して実施した。観測点は、オンネトーコース入口からポンマチネシリ火口にかけて登山道沿いに9点設けられ（観測点010-090、Fig. 1b）、すべての観測点で地電位差2成分と磁場3成分の計測を実施した。地電位差はほとんどの観測点において東西、南北両成分とも30mの電極間隔で測定した。計測時間帯は21時から翌日6時（LT）である。

観測された電磁場の時系列データから周波数解析によってパワースペクトルを求める際には、リモートリファレンス処理（Gamble et al., 1979）を行うことでノイズの影響の軽減を図った。同時計測された他地点の磁場データのうち、最もクオリティの良いデータをリファレンスデータとして使用した。また、明らかにノイズに汚染されていると判断される時間帯のデータは、インピーダンステンソルを推定する際に除外している。

Fig. 2に例として、観測点020、040、080および090の見かけ比抵抗および位相の探査曲線を示す。観測点020の探査曲線は他の観測点と比較して、見かけ比抵抗と位相ともに滑らかではない。020の計測時間帯は、8月27日21時から翌日6時であるが、同時時間帯に計測した観測点010および050の探査曲線も同様であった。このことから、原因は不明であるが、この計測時間帯には大きな人工ノイズ源が探査地域に存在したと推定される。なお、このようなノイズは28日以降見られなくなり、再計測した観測点010および050を含めて（020では再計測は実施していない）、1-4000 Hzの周波数帯で良好なデータが取得できた。

3. 2次元解析

AMT観測を実施した測線について比抵抗構造を求めるにあたり、2次元構造を仮定するこ

とが妥当であるか検討を行った。インピーダンステンソルから得られるフェーズテンソル (Caldwell et al., 2004) の主軸の方位角を、4つの周波数帯ごとに集計した結果を Fig. 3 に示す。3600-10 Hz の周波数帯では、主軸の方向は概ね真北-N20°E、もしくはそれと直交する方向に集中している。また、Fig. 4 に各観測点のいくつかの周波数でのフェーズテンソルの skew angle の大きさの分布を示す。観測点 040 を除いたすべての観測点において、高周波数から低周波数帯にかけて skew angle は概ね 3°以下である。Fig. 5 に 460 および 40 Hz におけるインダクションベクトルの分布を示す。ベクトルは両方の周波数ですべての観測点において、ほぼ火口方向を指す。空気は絶縁体で大地は良導体であることから、インダクションベクトルは高周波数になるほど地形の影響を大きく受ける。そのため、当該火山のように地形の傾斜の大きい場所では、AMT 帯でのベクトルは地形勾配の大きな方向を指す傾向がある。しかし、観測点 080 と 090 のベクトルは必ずしもその傾向を示さないので、地形だけでなく比抵抗構造の影響も大きく反映していると考えられる。よって、我々は比抵抗構造の空間変化がほぼ測線に沿って大きいと判断した。以上から、我々は 2 次元構造を仮定することが妥当であると判断し、比抵抗構造の走向を N10°E とした。

インピーダンステンソルを走向方向に回転させた後、2次元解析を実施した。解析には、Ogawa and Uchida (1996) のインバージョンコードを使用した。インバージョンでは観測点 090 を除く 8 観測点で得られた、周波数帯 3600-1 Hz における TM モードの見かけ比抵抗および位相のデータを使用した。初期モデルは 100 Ωm の均質大地とし、Error floor は見かけ比抵抗、位相ともに 5 % とした。観測値と最終モデルによる計算値との間の RMS misfit は 0.95 に収束した。

Fig. 6 に、得られた比抵抗断面図を火山性地震の震源 (気象庁、2013)、2008 年から 2009 年および 2013 年 6 月から 2013 年 9 月にかけて観測された全磁力変化から推定された熱消磁源 (橋本ほか、2009; 気象庁地磁気観測所、2013) とともに示す。また、Fig. 7 に TM モードの見かけ比抵抗および位相の観測値および比抵抗モデルからの計算値を擬似断面図で示す。観測値および計算値の擬似断面図を比較すると、得られた比抵抗モデルによってみかけ比抵抗および位相の観測値がよく説明できていることがわかる。

4. 比抵抗分布の特徴および解釈

推定されたポンマチネシリ火口西側の比抵抗分布の特徴とその解釈としては、以下のとおりである。

- 1) 地表付近には、厚さ 100-200 m 程度の高比抵抗層 (数 100-4000 Ωm) が存在する (Fig. 6 の R1 に対応)。これは過去に流出した溶岩流、もしくは降下火砕物で透水性が高い部分に対応すると考えられる。
- 2) 高比抵抗層 R1 の下部には、2 つの顕著な低比抵抗体 (10 Ωm 以下) が、火口の西側 (C1) および、測線の西側 (C2) に存在する。ポンマチネシリ火口での活発な噴気活動を考慮すると、C1 は噴気活動に関係する熱水の貯留域に対応すると考えられる。また、探査地域の西側では温泉の湧出があることから、C2 は熱水貯留域、もしくは熱水変質帯に対応する可能性がある。

3) 低比抵抗体 C1 および C2 の下部には、数 100 Ωm 以上の高比抵抗域(R2)が存在する。この高比抵抗域が何に対応するかは不明である。

火山性地震の震源域は、低比抵抗体 C1 と高比抵抗域 R2 との境界付近で主に発生している。また、2 つの期間で推定された熱消磁源の位置は、低比抵抗体 C1 付近に存在する。しかし、火口東側の AMT 観測データがなく、火口近傍地下の比抵抗構造の信頼性は低いと考えられるので、現時点で震源、微動源の分布および熱消磁源の位置と比抵抗分布との間における関連性について、詳細な議論はできない。

5. おわりに

雌阿寒岳ポンマチネシリ火口周囲で発生している火山性地震や微動および岩石の熱消磁と火山性流体の分布との間の関連性を明らかにするため、火口西側において AMT 探査を実施した。火口周辺の比抵抗構造の信頼性向上のためにも、今後は火口東側においても AMT 観測を実施したいと考えている。

参考文献

- Caldwell, T., H. M. Bibby and C. Brown, The magnetotelluric phase tensor, *Geophys. J. Int.*, 158, 457-469, 2004.
- Gamble, T. D., W. M., Goubau and J. Clarke, Magnetotellurics with a remote magnetic reference, *Geophysics*, 44, 53-68, 1979.
- 橋本雅彦, 西村三治, 有田真, 森山多加志, 菅原政志, 雌阿寒岳の地磁気全磁力観測, 月刊地球, 通巻 363 号, Vol. 31, No. 12, 684-692, 2009.
- 気象庁, 日本活火山総覧(第 4 版), 気象庁編, 東京, 1498 pp, 2013.
- 気象庁地磁気観測所, 雌阿寒岳における地磁気全磁力変化, 第 127 回火山噴火予知連絡会, 2013.
- Ogawa, Y. and T. Uchida, A two-dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift, *Geophys. J. Int.*, 126, 69-76, 1996.
- Ogiso, M. and K. Yomogida, Migration of tremor locations before the 2008 eruption of Meakandake Volcano, Hokkaido, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 217-218, 8-20, 2012.
- 横山泉, 勝井義雄, 江原幸雄, 小出潔, 雌阿寒岳-火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策-, 北海道における火山に関する研究報告書第 5 編, 北海道防災会議, 138 pp, 1976.

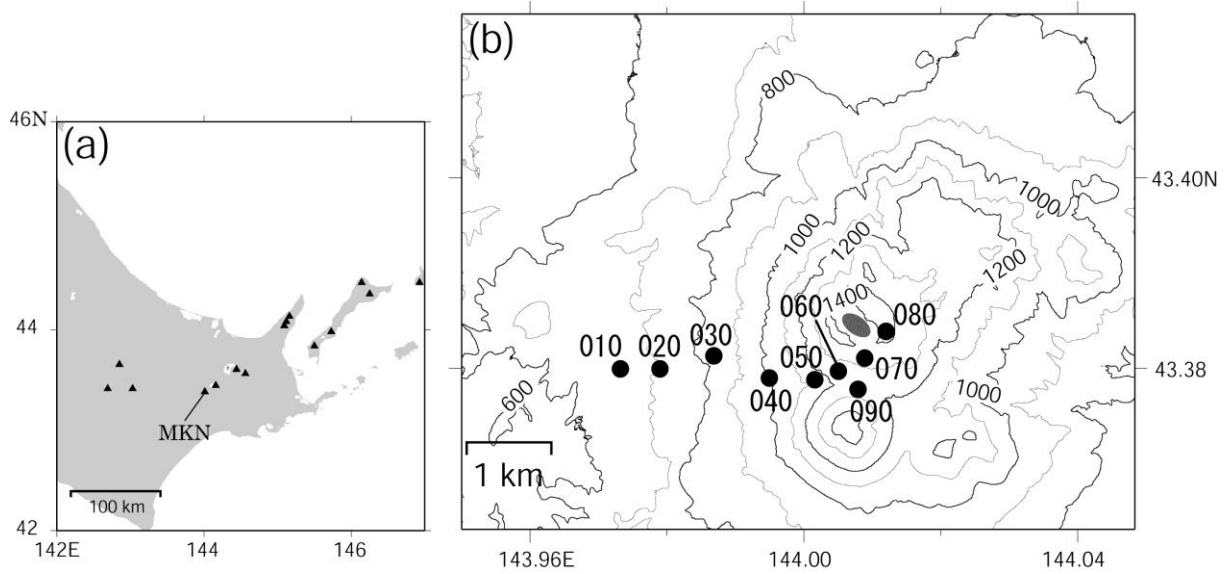


Fig. 1: (a) Location of Meakandake Volcano (MKN). Solid triangles denote the active volcanoes. (b) Location map of AMT measurement sites (solid circles). Gray region represents Ponmachineshiri crater. This figure was created using The Digital Map 10m Grid (Elevation of Active Volcanoes) published by Geospatial Information Authority of Japan.

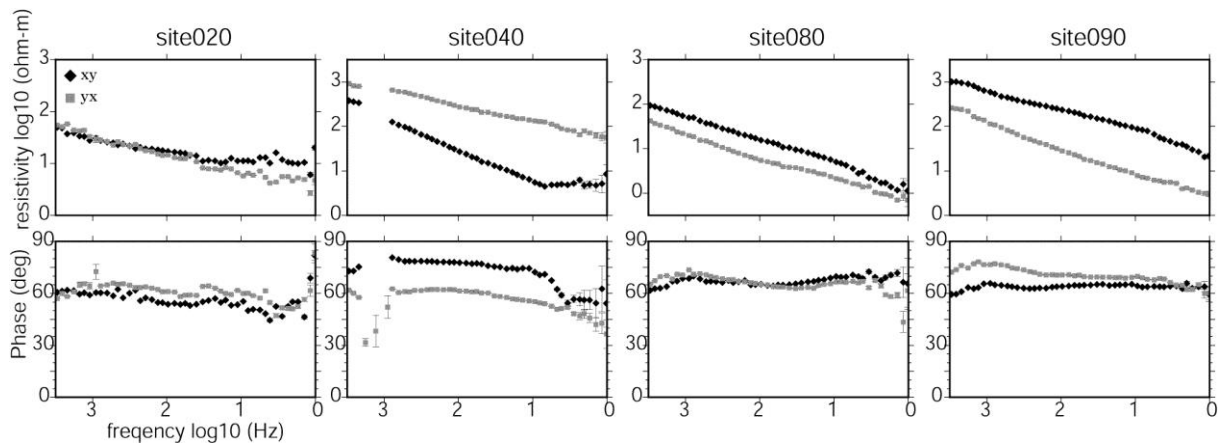


Fig. 2: Observed sounding curves for apparent resistivity and phase of sites 020, 040, 080 and 090. Solid diamonds denote apparent resistivity and phase with the electrical field in the N-S direction and the magnetic field in the E-W direction. Gray squares denote apparent resistivity and phase with the electrical field in the E-W direction and the magnetic field in the N-S direction. Error bars represent one standard deviation of uncertainty.

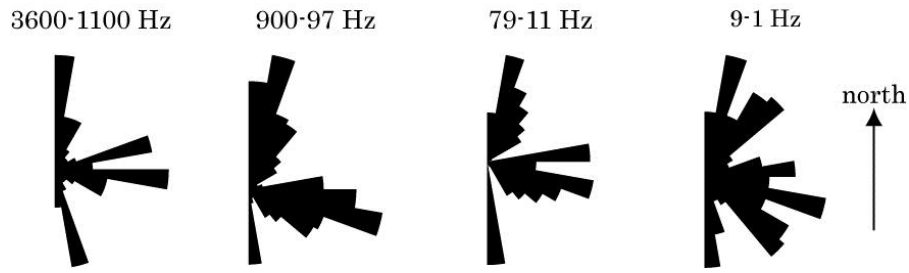


Fig. 3: Histograms of the regional 2-D strikes estimated from the phase tensor (Caldwell et al., 2004) for each decade of frequencies.

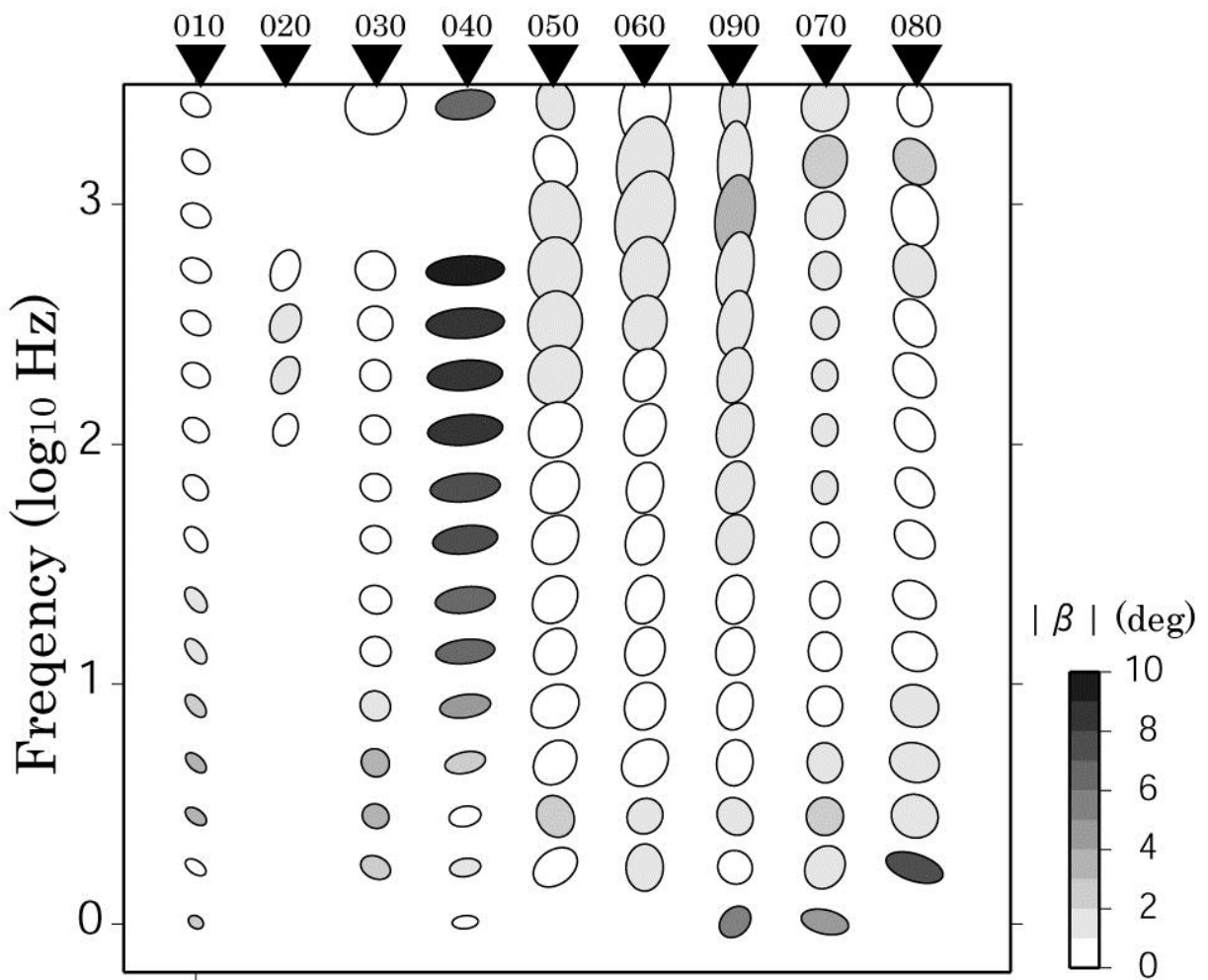


Fig. 4: Observed phase tensor ellipses for each site with the amplitudes of the phase tensor skew angle (β).

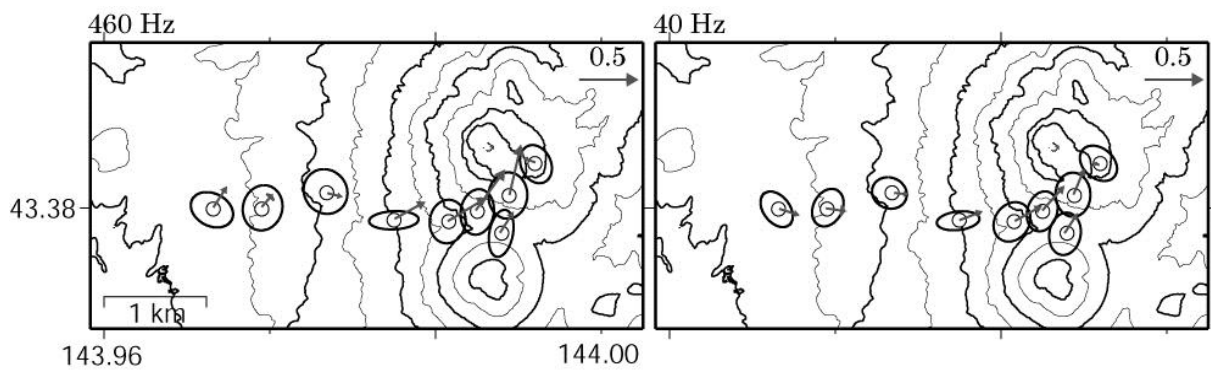


Fig. 5: Reversed real induction vectors at 460 and 40 Hz together with the phase tensor ellipses. This figure was created using The Digital Map 10m Grid (Elevation of Active Volcanoes) published by Geospatial Information Authority of Japan.

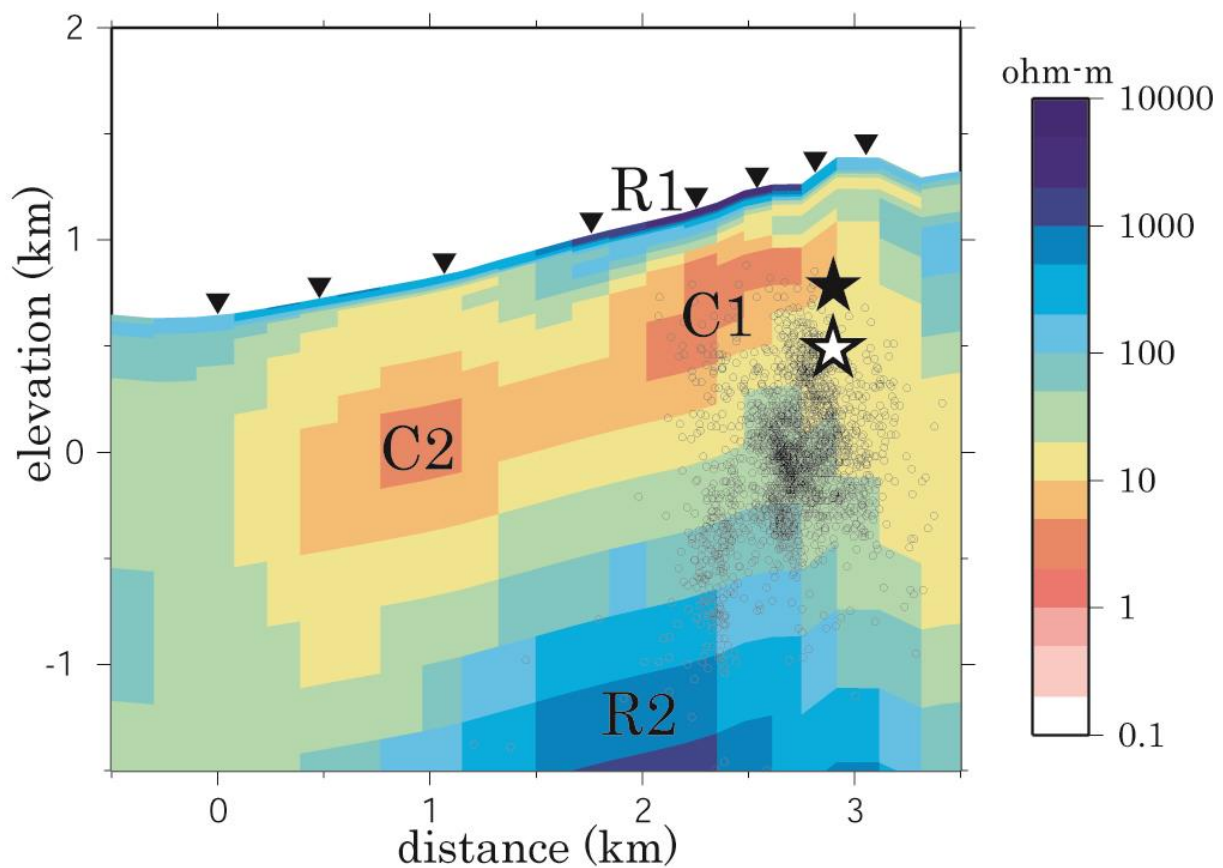


Fig. 6: Final two-dimensional resistivity model. Open circles denote hypocenter of the volcanic earthquakes (Japan Meteorological Agency, 2013). Open and solid stars represent the demagnetized sources estimated by Hashimoto et al. (2009) and Kakioka Magnetic Observatory (2013), respectively. Inverse triangles indicate locations of the AMT sites.

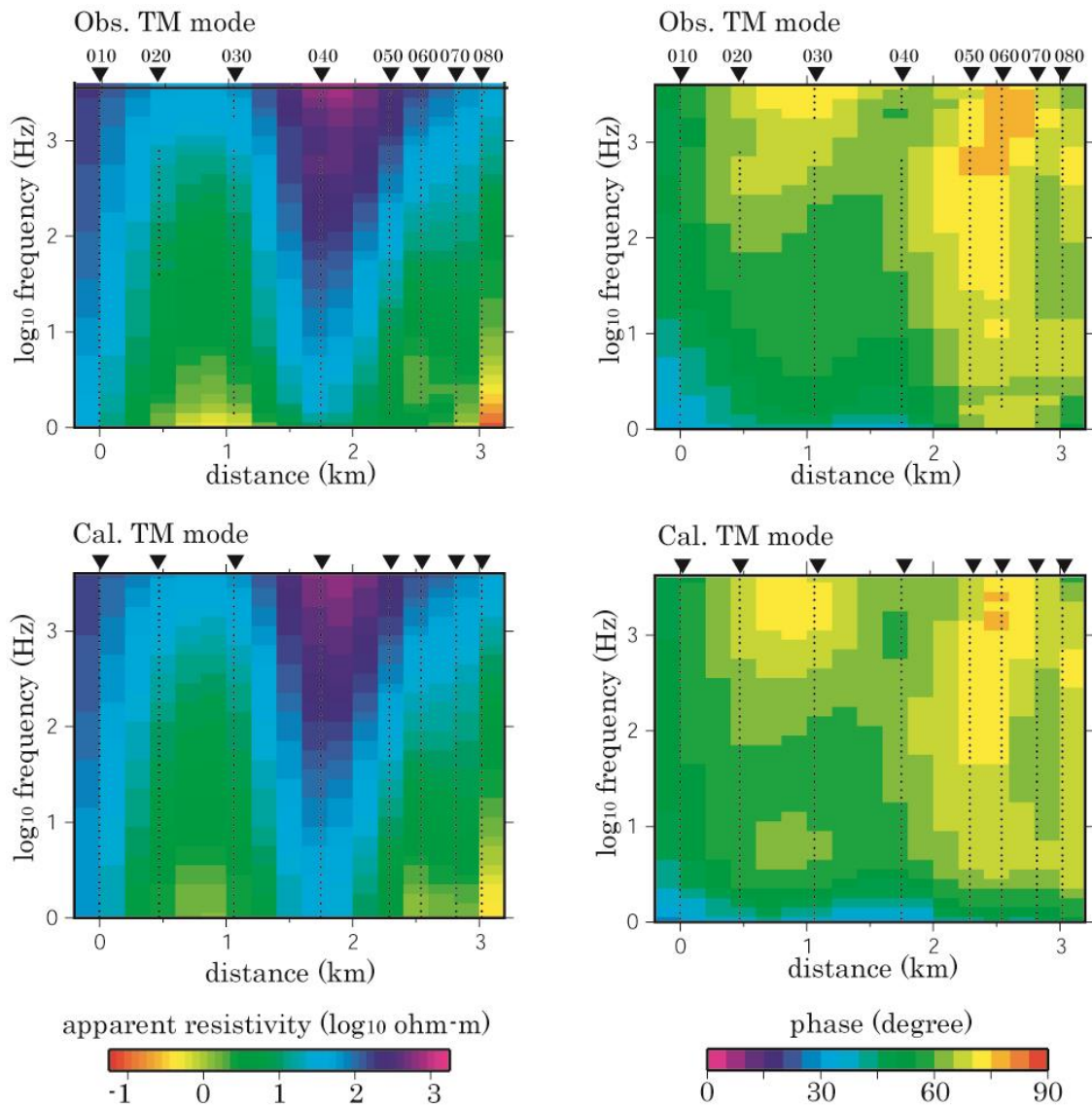


Fig. 7: Pseudo-sections of observed and calculated apparent resistivity (left row) and impedance phase (right row) for the magnetotelluric inversion. Black dots indicate the presence of data used in this study. Inverse triangles indicate locations of the AMT sites.