

2013年箱根群発地震活動域でのAMT補充観測

Complementary AMT Observations around the 2013 Swarm Activity in Hakone Volcano

吉村令慧・行竹洋平⁽¹⁾・神田径⁽²⁾・長谷英彰⁽²⁾
比嘉哲也⁽³⁾・鈴木健士⁽³⁾・川崎慎吾・山崎友也

Ryokei YOSHIMURA, Yohei YUKUTAKE⁽¹⁾, Wataru KANDA⁽²⁾, Hideaki HASE⁽²⁾
Tetsuya HIGA⁽³⁾, Takeshi SUZUKI⁽³⁾, Shingo KAWASAKI and Tomoya YAMAZAKI

- (1) 神奈川県温泉地学研究所
(2) 東京工業大学火山流体研究センター
(3) 京都大学大学院理学研究科

- (1) Hot Springs Research Institute, Kanagawa
(2) Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology
(3) Graduate School of Science, Kyoto University

Synopsis

Inside the caldera of the Hakone volcano, earthquake swarm (over 1,800 events) and crustal deformation (ground inflation) were observed from January to February, 2013. The swarm activities were concentrated around the fumarolic area (Owakudani) and the central cones (Mts. Kamiyama and Komagatake). In order to reveal fine subsurface electrical structure, we carried out complementary audio-frequency magnetotelluric measurements at 15 sites in the end of April 2013. As the result of provisional remote-reference processing using local sites, we obtained fair magnetotelluric responses at most sites.

キーワード: 箱根火山, AMT観測, 2013年群発地震活動

Keywords: Hakone Volcano, AMT observations, 2013 swarm activity

1. はじめに

箱根火山中央火口丘近傍において、2013年1月初旬より地震活動が活発化した（例えば気象庁、2013a；気象庁、2013b）。今回の群発的地震活動に同調して、周辺に設置された傾斜計・GNSS観測から山体膨張を示す地殻変動が検出されている（宮岡ら、2013；原田ら、2013）。地震活動は2月中旬に活動のピークをむかえ、3月以降収束しつつある（行竹ら、2013）。このような箱根カルデラ内の地殻変動を伴う群発的地震活動は、2000年以降、2001年・2006年・2008～2009年と比較的高頻度に発現している。その他、2011

年には東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、地震活動の活発化が見られた（Yukutake et al., 2011；行竹ら、2012）が地殻変動は検出されていない。このように時折発現する火山体近傍の地震活動について、その発生域の構造を詳細に推定することは、発生要因の議論や活動の推移予測のために重要である。

箱根火山周辺の電磁気学的構造調査として、東北地方太平洋沖地震発生直後の誘発的地震活動を対象としたAudio-frequency Magnetotelluric (AMT) 観測が吉村ら(2012)により39地点において実施された(Fig. 1)。箱根火山外縁北部山麓に推定される神縄断層を対象とした広帯域MT観測（小川ら、2012）の測定

データの一部 (Fig. 1) を統合して、計51点のMT応答を用いて3次元構造解析が進められている (Yoshimura et al., 2013) . しかしながら、これらの観測は広範に分布する誘発地震域全体をカバーする構造イメージングを目的としているため、今回の地震活動がごく浅部の限られた領域に発生していることを考慮すると、詳細な対比に十分な観測点密度と

は言えない. 特に活動の集中する大涌谷-神山-駒ヶ岳の周辺は、観測点が疎な領域にあたる. そこで、我々は2013年の地震活動の発生域の電磁気学的構造を詳細にイメージングするために補充AMT観測を計画・実施した.

2. 観測

2013年に発生した群発的地震活動の詳細震源 (行竹ら, 2013) を2011年東北地方太平洋沖地震に誘発された地震活動 (行竹ら, 2012) と重ねて Fig. 1 に示す. 2013年の活動は、箱根火山中央火口丘を大涌谷から駒ヶ岳にかけて南北に線状配列しごく浅部に発生している. 加えて、芦ノ湖北岸の湖尻近傍にも活動が集中している. 2011年に実施したAMT観測点 (吉村ら, 2012) や既存の広帯域MT観測点 (小川ら, 2012) 分布と震源分布を対比すると、地震活動は比較的観測点密度が疎な領域に位置している. 本研究では、この領域を中心に16点でのAMT補充観測を計画した. 観測は2013年4月に実施したが、悪天候により1か所で計測を断念し、計15点で夜間の電磁場データを取得した. 観測期間中、2011年調査時良質な記録が得られた HKN030 において参照用電磁場測定を行っている. 観測点の位置情報ならびにデータ収録日を Table 1 に示す. 観測には、カナダ Phoenix 社製 MTU5A システムを用い、各観測点で電場2成分、磁場3成分のデータを取得した.

3. データ

各観測点の取得データの内、最長夜間5時間 (UTC 15:00-20:00) を切り出し、時系列処理を行い、予察的にMT応答を推定した. 処理の際、各観測点から3~8km 離れた HKN030 の磁場データを参照にしたリモートファレンス処理 (Gamble et al., 1979) を行っている. Fig. 2 に得られた探査曲線の例を示す. 中央火口丘付近の観測点においては、非常に良質な応答が得られている. 麓の観測点では相対的に応答の不自然なジャンプや、特定周波数でのばたつきがみられるが、今後の精査により推定の改善が期待される. 一方、2Hz より長周期帯では、共通して見かけ比抵抗の増加・ゼロ位相への漸近が確認できる. これは、参照磁場が研究領域内では良質であるとはいえ、それほど離れていないことから領域全体に共通するノイズの除去が不十分であることが考えられる. 今後はより遠地の電磁場データを利用した処理を行う予定である.

Fig. 2 には、湖尻から神山にかけて得られた探査曲線を北西-南東方向に並べている. また、概観を

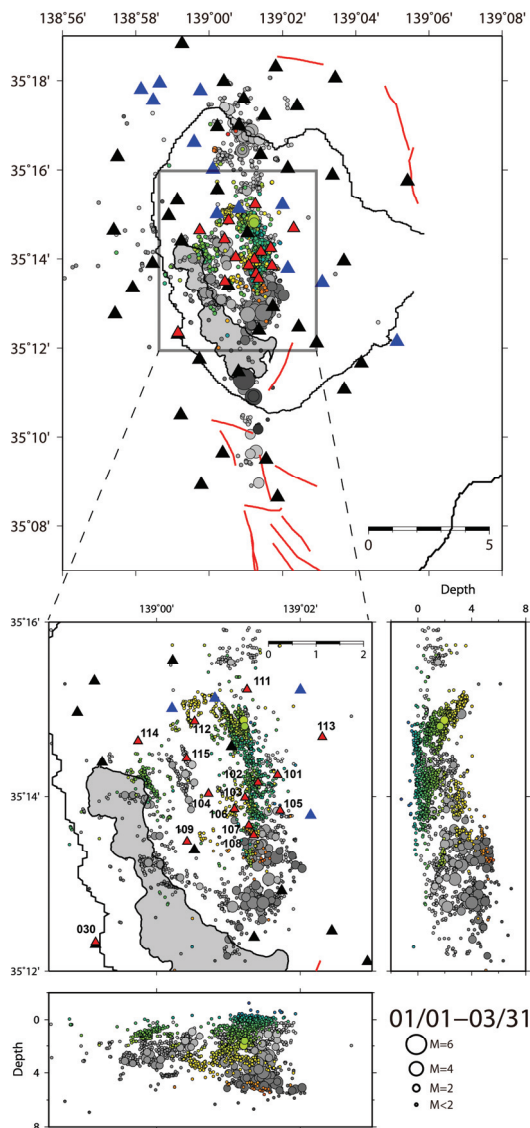


Fig. 1 Locations of additional AMT (this study) and previous AMT (Yoshimura et al., 2012) and wideband MT (Ogawa et al., 2012) sites are indicated as red, black and blue triangles, respectively. Detail distributions of induced seismicity in 2011 (Yukutake et al., 2012) and swarm activity in 2013 (Yukutake et al., 2013) are also shown as gray and colored circles, respectively, which scaled to magnitude and colored to depth.

Table 1 Summary of the measurement date and locations of the AMT sites.

Site ID	Latitude (dd:mm:ss.s)	Longitude (ddd:mm:ss.s)	Height (m)	Date of Observation (yyyy/mm/dd)
HKN030	N35:12:20.3	E138:59:09.1	941	2013/04/22-24
HKN101	N35:14:14.7	E139:01:41.0	1,216	2013/04/23
HKN102	N35:14:09.5	E139:01:24.6	1,353	2013/04/23
HKN103	N35:13:59.3	E139:01:13.8	1,429	2013/04/22
HKN104	N35:14:02.0	E139:00:43.4	1,181	2013/04/23
HKN105	N35:13:50.3	E139:01:43.1	1,142	2013/04/22
HKN106	N35:13:51.4	E139:01:05.0	1,329	2013/04/24
HKN107	N35:13:40.1	E139:01:17.0	1,237	2013/04/22
HKN108	N35:13:33.5	E139:01:21.1	1,293	2013/04/24
HKN109	N35:13:29.1	E139:00:25.4	891	2013/04/23
HKN111	N35:15:13.4	E139:01:15.5	815	2013/04/22
HKN112	N35:14:51.7	E139:00:31.8	875	2013/04/23
HKN113	N35:14:41.2	E139:02:18.5	718	2013/04/24
HKN114	N35:14:38.4	E138:59:44.5	736	2013/04/22
HKN115	N35:14:26.5	E139:00:25.0	876	2013/04/24

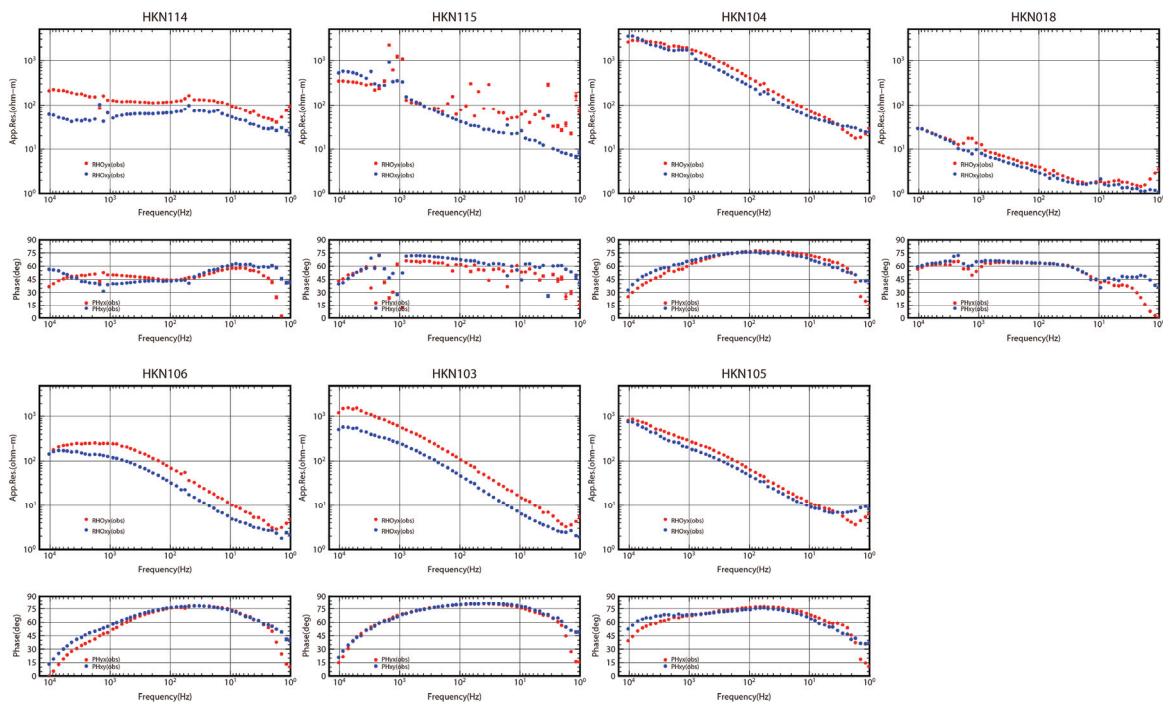


Fig. 2 Sounding curves of obtained MT responses at sites HKN115, HKN114, HKN104, HKN018 (obtained in 2011 campaign), HKN106, HKN103, and HKN105. Components of XY and YX, namely off-diagonal terms, are shown by blue and red dots, respectively.

つかむために、非対角成分 (XY, YX成分) のみ表記している。また、参考として2011年の観測 (吉村ら, 2012) により推定されている, 大涌谷近傍測点 (HKN018) のMT応答も示す。山側の観測点 (HKN115, 104,106,103,105) では, 噴気地帯近傍 (HKN018:熱変質が表層まで進んでいると考えられる) を除き, 表層の高比抵抗・その下部の低比抵抗体の存在を示唆する探査曲線となっている。この様相は, Yoshimura et al. (2013) の予察的3次元解析結果と調和的であるものの, 長周期になるにつれての比抵抗の減少傾向は観測点間で違いを確認することができる。引き続き, 時系列解析を進め, 精度の高い探査曲線の推定を行い, 今後の詳細な三次元構造解析につなげたい。

4. おわりに

箱根火山において2013年4月に電磁気観測を実施した。2011年の観測の後, 2013年1月から活発化した地震活動の集中域周辺において, 15点でAMT観測を行った。予察的な時系列処理の結果, 大部分の観測点において良質なMT応答が得られていることが確認できた。

今後は, 2011年の観測データに本研究の補充観測データを統合して, 詳細な三次元構造解析を進め, 精密に決定された震源や地殻変動の推定力源等の情報と総合して, 群発地震の発生要因について検討を加えたい。

謝 辞

本補充観測の実施に際し, 土地所有者ならびに関係官庁 (環境省箱根自然環境事務所, 東京神奈川森林管理署, 神奈川県西地域県政総合センター森林部森林保全課) の関係各位には, 多大なご協力・ご配慮をいただいた。調査器材は共同研究機関の器材に加え, 鳥取大学工学部, 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター, 東京大学地震研究所より借用した。長周期帯の参照磁場として, 日鉄鉱コンサルタント株式会社より岩手県沢内の広帯域MT観測データを提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

小川康雄・神田径・吉村令慧・上嶋誠 (2012) : 神縄断層西方延長の比抵抗構造探査, 神縄・国府津一松田断層帯における重点的な調査観測成果報告書, pp.118-124..

気象庁 (2013a) : 平成25年1月地震・火山月報 (防災編), 80 pp.

気象庁 (2013b) : 平成25年2月地震・火山月報 (防災編), 104 pp.

原田昌武・宮岡一樹・行竹洋平・小林昭夫・本多亮・坂寺一洋・伊東博・明田川保・吉田明夫(2013) : 箱根火山における群発地震活動と地殻歪, JpGU Meeting 2013, SVC48-14.

宮岡一樹・原田昌武・本多亮・行竹洋平 (2013) : 2013年箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動とその変動源の推定, JpGU Meeting 2013, SVC48-P25.

吉村令慧・小川康雄・行竹洋平・山崎友也・加茂正人・神田径・小森省吾・後藤忠徳・本多亮・原田昌武・安田陽二郎・谷昌憲 (2012) : 箱根地震活動域周辺でのAMT観測一序報一, 京都大学防災研究所年報, 第55号B, pp. 105-111.

行竹洋平・本多亮・原田昌武・伊東博・吉田明夫・宮澤理稔・坂上実・瀨瀬一起 (2012) : 東北地方太平洋沖地震の表面は通過時の箱根火山における地震活動と動的応力変化との関係, 日本地震学会2012年度秋季大会, C31-04.

行竹洋平・宮岡一樹・原田昌武・本多亮・伊東博・吉田明夫 (2013) : 2013年1月以降の箱根火山における群発地震活動の精密震源分布, JpGU Meeting 2013, SVC48-P23.

Gamble, T. D., Goubau, W. M. and Clarke, J. (1979): Magnetotellurics with a remote magnetic reference, Geophysics, Vol. 44, pp. 53-68.

Yoshimura, R., Ogawa, Y., Yukutake, Y., Kanda, W., Komori, S., Goto, T., Honda, R., Harada, M., Yamazaki, T., Kamo, M., Yasuda, Y. and Tani, M. (2013); Heterogeneous resistivity structure around high seismicity regions in Hakone volcano, Japan, Extended Abstract of the 5th International Symposium on Three-Dimensional Electromagnetics (3DEM-5), SP4-14.

Yukutake, Y., Honda, R., Harada, M., Aketagawa, T., Ito, H. and Yoshida, A. (2011): Remotely triggered seismicity in Hakone volcano following the 2011 OFF the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, Vol. 63, pp. 737-740.

(論文受理日 : 2013年6月11日)