

ACTIVEの結果を用いた三次元インバージョン：2014年11月阿蘇山マグマ噴火に伴う比抵抗構造変化の推定

南 拓人 [1]; 宇津木 充 [2]; 鍵山 恒臣 [3]; 歌田 久司 [1]
[1] 東大・地震研; [2] 京大・理・火山研究センター; [3] 京大・理

3-D Inversion using ACTIVE data for temporal change in resistivity structure beneath Aso volcano through magmatic eruptions

Takuto Minami[1]; Mitsuru Utsugi[2]; Tsuneomi Kagiya[3]; Hisashi Utada[1]
[1] ERI, Univ. Tokyo; [2] Aso Vol. Lab., Kyoto Univ.; [3] Graduate School of Science, Kyoto Univ.

<http://eri-ndc.eri.u-tokyo.ac.jp/jp/ohrc/member.html>

Magmatic eruption occurred in Aso volcano on November 25, 2014, for the first time since the last one 21 years before. The magmatic activity continued until the crater bottom collapsed in May, 2016. Since the explosive eruption on October 21, 2016, the volcanic activity of Aso volcano have been quiet. Before and after the magmatic eruption in November 2014, ACTIVE system (Array of Controlled Transient-electromagnetics for Imaging Volcano Edifice; Utada et al., 2007) was operated to monitor the activity. The system consists of a transmitter and several induction-coil receivers that detect the vertical component of the magnetic field affected by conductive anomaly beneath the volcano. By this ACTIVE system, temporal changes in responses were detected between observations in August 2014 and in August 2015. A previous one-dimensional (1-D) analysis revealed that a part at a depth of 100 to 150 m became resistive at the western rim of the crater. However, the 1-D analysis did not take the topography effect into account, which makes quantitative interpretation of the result difficult.

We developed new forward and inversion codes for ACTIVE responses, by adopting three-dimensional finite element method, and tried to infer temporal changes in resistivity structure which account for the obtained ACTIVE responses in August 2014 and August 2015. Topography was represented by tetrahedral elements where the numerical mesh was generated by a freeware, Gmsh (<http://gmsh.info/>). We adopted a kind of Heaviside function for the term of source electric currents (Ansari and Farquharson, 2014). To make our inversion scheme be a reasonable choice for eruption prediction system in the future, we applied the data-space inversion method (Siripunvaraporn et al., 2005) and adopted MPI parallelization in terms of frequencies so that dramatic reduction of the calculation time was achieved. Accuracy of our forward calculation was confirmed by comparison with an analytical solution for grounded long-wire electric current source problems (Ward and Hohmann, 1988). On the other hand, our inversion succeeded in determining a right position of conductive anomaly beneath the crater in a case where signals from three source wires are received at 20 receivers, which demonstrated accuracy of our inversion code.

We conducted inversions using the real ACTIVE data in a similar manner to the previous 1-D analysis, because, for full 3-D inversions, the number of receiver data points were quite few, i.e. four and three, for observations in August 2014 and in August 2015, respectively. Then we divided the model space 3 by 3 horizontally and conducted limited 3-D inversions with 3-D topography of Aso volcano. The obtained resistivity structures for before and after the magmatic eruption allowed us to investigate temporal changes through the eruption in November 2014. Our inversions revealed that at the western rim the part at a depth of 120 - 150 m from the surface became resistive, which corresponds to 1150 m in altitude and slightly below the altitude of the crater bottom. This result can be interpreted as escape of ground water during magma ascent in November 2014, as the previous 1-D analysis speculated. We plan to conduct sensitivity analyses and to confirm that the inferred temporal change is necessary for the observed temporal change in the ACTIVE responses.

In the presentation, we are going to explain the methodology of forward and inversion scheme tailored for controlled source problems especially for electromagnetic volcano monitoring like ACTIVE. Furthermore, we will discuss possible reasons for the inferred temporal changes in resistivity structure through the magmatic eruption in November 2014.

阿蘇山では、2014年11月25日に約21年ぶりのマグマ噴火が発生し、火山活動が活発化した。以降、マグマ性の噴火は断続的に続き、2016年5月に火口底陥没によりマグマ性の活動は終了している。2016年10月23日に爆発的噴火があったが、その後現在まで、火山活動は静穏である。噴火のあった阿蘇山中岳第一火口周辺では、2014年11月のマグマ噴火前後に、火山体の電磁モニタリングシステム ACTIVE (Array of Controlled Transient-electromagnetics for Imaging Volcano Edifice; Utada et al., 2007) による観測が実施された。ACTIVEは、電流送信局から周期1秒の矩形波シグナルを送信し、地下の比抵抗異常の効果を受信局の磁場鉛直成分の変動として観測する手法である。このACTIVEにより、2014年8月(マグマ噴火開始前)と2015年8月(マグマ噴火開始後)の間のレスポンスの時間変化が観測されており、先行研究による一次元解析により、火口西縁の観測点の地下100-150mの領域で、構造が高抵抗に変化した可能性が指摘されている(第131回火山噴火予知連絡会資料その4)。しかしながら、従来の一次元解析では、火口周辺の地形が考慮されておらず、比抵抗構造変化の位置と変化量の定量的な議論が困難であった。

本研究では、地形効果を含めてACTIVEデータを解釈するため、有限要素法を用いた三次元の順計算・逆計算コードを開発し、2014年8月-2015年8月の比抵抗構造変化の推定を試みた。順計算では、四面体要素を採用し、フリーウェアのGmsh (<http://gmsh.info/>)を用いて数値メッシュを作成した。ソース電流に関わる項はヘビサイド関数を用いて表現

している (e.g., Ansari and Farquharson, 2014)。逆計算 (インバージョン) では、ACTIVE の噴火予測への応用を視野に、データ領域インバージョン手法 (Siripunvaraporn et al., 2005) の採用、並びに、MPI による複数周波数計算の並列化を実施し、計算の高速化を実現した。順計算の精度は、Ward and Hohmann (1988) による有限長電流双極子をソースとする問題の理論解を用いて確認した。また逆解析の精度は、3 箇所を送信局からのシグナルを計 20 受信局で受信した場合のインバージョンを行い、火口直下の低抵抗異常の位置が精度よく推定されることを確認している。

2014、2015 年の ACTIVE 観測では、前者で火口周辺に受信局が 4 点、後者では受信局が 3 点と、自由度の大きな三次元解析が難しい状況であった。そのため、本研究のインバージョンでは、水平方向には、モデル空間を 3×3 の計 9 分割とし、一次元解析に近い状況で、各々のデータセットを用いた三次元インバージョンを行った。得られた 2 つの構造の差をとった結果、火口西縁の観測点の地下 120-150m の位置 (標高約 1150m) で高抵抗になる変化がイメージされた。この標高は、中岳第一火口の火口底の標高よりやや低い位置を示しており、これまでの一次元解釈と同様に、マグマの上昇が地下水を押し上げた効果であると解釈できる。今後、この構造における感度チェック等を行い、推定された構造変化の確度について調べる予定である。

本発表では、ACTIVE 等の人工電流を用いた火山体電磁モニタリングに適した有限要素法による順計算・逆計算手法を紹介する。加えて、2014 年 11 月のマグマ噴火前後の ACTIVE 観測結果から推定される阿蘇中岳の地下比抵抗構造の変化とその原因について議論する。