

## 別府地熱地帯の比抵抗構造から推定する流体の移動経路

山本有人<sup>1</sup>, 相澤広記<sup>1</sup>, 村松弾<sup>1</sup>, 安仁屋智<sup>1</sup>, 田辺暖柊<sup>1</sup>,  
若林翌馬<sup>1</sup>, 藤田詩織<sup>1</sup>, 志藤あずさ<sup>1-2</sup>, 小山崇夫<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>岡山理科大学, <sup>3</sup>東京大学地震研究所

Fluid pathways beneath Beppu geothermal field  
estimated from resistivity structure

Yuto Yamamoto<sup>1</sup>, Koki Aizawa<sup>1</sup>, Dan Muramatsu<sup>1</sup>, Satoru Aniya<sup>1</sup>, Harutou Tanabe<sup>1</sup>,  
Asuma Wakabayashi<sup>1</sup>, Shiori Fujita<sup>1</sup>, Azusa Shito<sup>1-2</sup>, Takao Koyama<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Okayama University of Science, <sup>3</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

## Abstract

Beppu geothermal field locate in the north-eastern area of Kyushu Island, Japan. There are many famous hot springs in Beppu city, and their heat source has been considered to be located beneath Garan volcano (Allis and Yusa, 1989), the western part of Beppu city. On the other hand, earthquake swarm that occurred in 2007 suggested another heat source. The hypocenters migrated from 10 km depth NNE of Beppu city, to 3 km depth SSW of the Beppu city. Fluid injection from NNE to SSW is supposed to be a cause of the earthquake swarm (Maeda et al., 2010). To image fluid pathways and related heat sources, we conducted broadband magnetotelluric (MT) surveys around Beppu geothermal field. We calculated MT responses functions at 84 sites and estimated resistivity structure by 3D inversion. The best-fit resistivity structure shows that the sub-vertical low-resistivity zone is located beneath Garan volcano and extends deep beneath SW direction. The 2007 earthquake swarm occurred approximately a few kms above another deep low-resistivity zone, and supported that the earthquake swarm was triggered by the fluid movement along the top of the deep low-resistivity zone.

大分県北東部に位置する別府温泉は日本有数の地熱地帯である。別府市街地がある扇状地の西部には第四紀火山の由布岳、鶴見岳、伽藍岳、東部には別府湾が望む。扇状地の北部・南部にはそれぞれ正断層の鉄輪断層・朝見川断層が発達する。温泉地帯はこの南北の断層に沿って形成されている。Allis and Yusa (1989) は主に坑井の温度分布から伽藍岳地下から上昇した地熱流体が南北の断層を通じて移動しているという考えを提唱した。別府温泉の熱源は伽藍岳直下にあると推定している。他方、別府湾岸の地下にも熱源があることが地震の震源分布から示唆されている。

2007年に発生した群発地震では、別府湾岸北部の地下10kmから鶴見岳東部の深さ3kmに向かって震源が移動し、北北東→南南西の流体の貫入が示唆された(Maeda et al., 2010)。本研究では、広帯域MT観測を行うことで地下の電気比抵抗構造を推定し、別府地熱地帯の流体の移動経路と熱源を考察した。観測により得られた電磁場の時系列データから応答関数(インピーダンステンソル・地磁気変換関数)

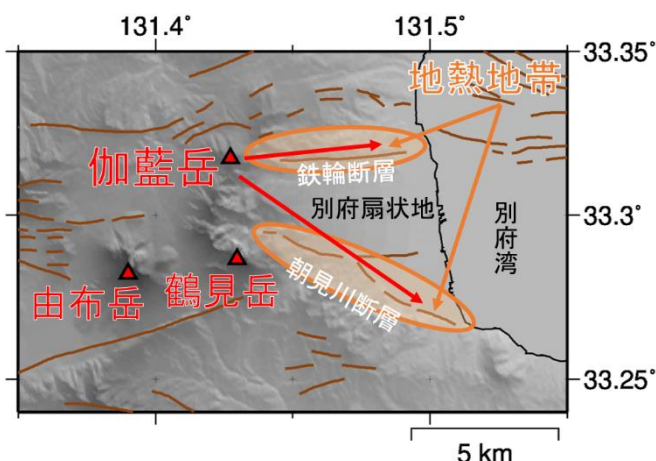


図1. 別府地熱地帯の概要図。赤い矢印は推定された地熱流体の移動経路 (Allis and Yusa, 1989)

を求め、リモートリファレンス法により水平磁場のノイズを軽減した。(リモート参照点：霧島新燃岳付近のMT連続観測点) (Gamble et al., 1979, Chave and Thomson, 2004) 求めた各応答関数の全成分(周期:0.0125s~1638.4s)を入力データとしてWSINV3DMT法(Siripunvaraporn et al., 2005)により3次元の比抵抗構造を推定した。使用した観測点数は84点、エラーフロアは10%とした。

推定された3次元比抵抗構造を図2-4に示す。(5回のイタレーションでRMS = 7.01→1.68) 図2、3はそれぞれ海拔下4 km, 10 kmの水平断面図、図4は図2、3の波線A-A' (伽藍岳から南西方向に伸びる低比抵抗体)に沿った鉛直断面図、断面破線B-B' (2007年の群発地震域)に沿った鉛直断面図である。図2の伽藍岳地下の低比抵抗体は流体が多く存在する高温部と考えられ、熱源となっていると考えられる。また、伽藍岳南西部の地下深部から伽藍岳に向かって上昇してきており、伽藍岳南西部地下→伽藍岳→温泉の流体の経路があると考えられる。(図4)

他方、2007年の群発地震は、より深部の低比抵抗体の縁で発生していることが判明した。(図3, 図4: 矢印は震源の移動方向) この低比抵抗体は高温流体の存在を示唆している。従って、伽藍岳南西部地下から山体直下への流体移動経路とは別の、別府湾北部地下を熱源とする北北東→南南西→温泉の流体経路の存在が示唆される。

参考文献

Allis and Yusa, 1989, Geothermics, Vol. 18, No. 5/6, pp. 743-759, 1989.  
 Maeda et al., 2010, Earth Planets Space, 62, 685-691, 2010.  
 Gramble et al., 1979, Geophysics, Vol. 44, No. 5 (May 1979): P. 959-968, 7 Figs.  
 Chave and Thomson, 2004, Geophys. J. Int. (2004) 157, 988-1106.  
 Siripunvaraporn et al., 2005, Geophysics. J. Int. (2005) 160, 804-814.

図4. 図2, 3のA-A', B-B'の鉛直断面図。逆三角形は観測点の位置。その他のシンボルやスケールは図2と同様。

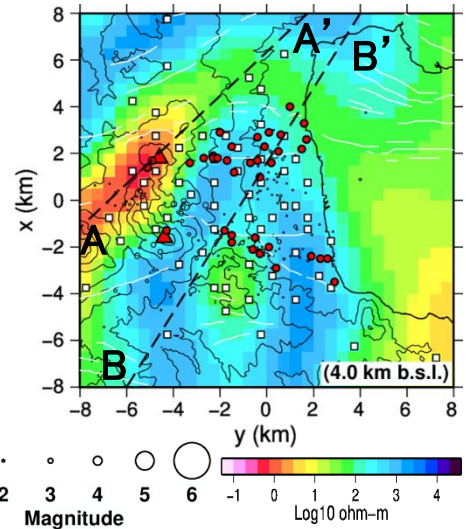
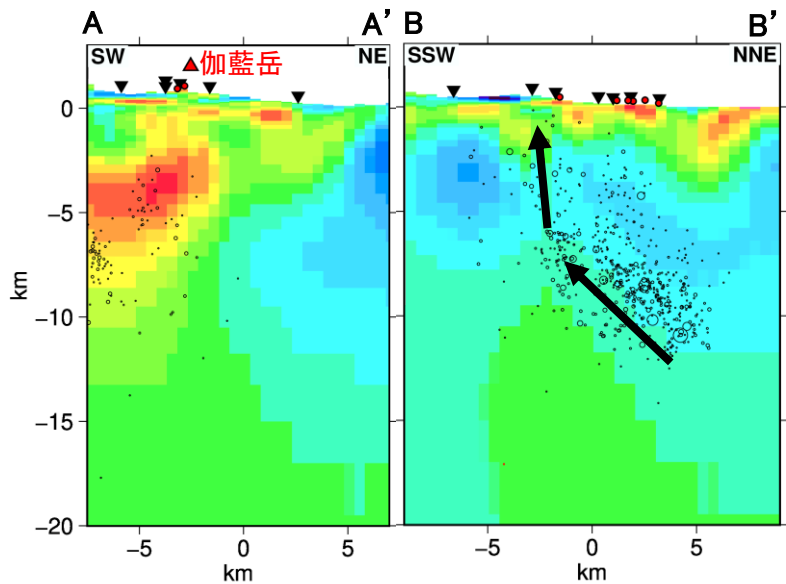


図2. 海拔下4kmにおける比抵抗構造の水平断面図。四角形は観測点の位置。赤い丸は自然湧出している温泉や噴気の位置。(Allis and Yusa, 1989)

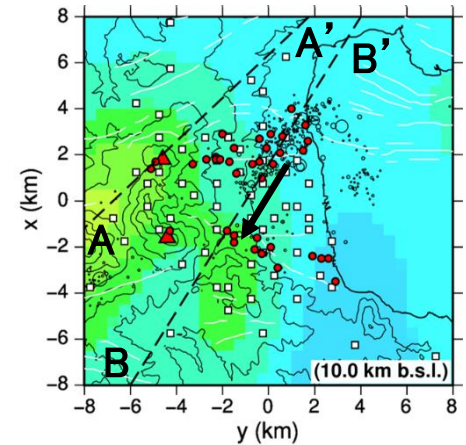


図3. 海拔下10kmにおける比抵抗構造の水平断面図。シンボルやスケールは図2と同様。