

ボアホール直上でのピエゾ磁気変化の増幅－茂木モデルを例として－

Enhancement of Piezomagnetic Signals Above a Borehole: The Mogi Source as an Example

笹井 洋一[1], Malcolm J. S. Johnston[2], 田中 良和[3], 橋本 武志[4], 宇津木 充[5], 坂中 伸也[6], 上嶋 誠[7]

Yoichi Sasai[1], Malcolm J. S. Johnston[2], Yoshikazu Tanaka[3], Takeshi Hashimoto[4], Mitsuru Utsugi[5], Shin'ya Sakanaka[6], Makoto Uyeshima[7]

[1] 東京都災対部, [2] 合衆国地調, [3] 京大・理・地球熱学研究施設, [4] 京大理, [5] 国土地理院, [6] 秋田大・工学資源・地球資源, [7] 東大・地震研

[1] Disaster Prevention Division, Tokyo MG, [2] USGS, [3] Aso Volcanological Laboratory Kyoto Univ., [4] Inst. Geotherm. Sci., Kyoto Univ., [5] G. S. I., [6] Engineering and Resource Sci., Akita Univ, [7] Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

我々は1998年以来合衆国カリフォルニア州ロング・バレー・カルデラで、マグマ貫入活動に伴う電磁気変化を検出するために、地磁気と自然電位の観測を続けている。1999年10月カリフォルニア州南部で発生したヘクター・マイン地震に伴って、ロング・バレー・カルデラでは一時的に、群発地震と膨張型地殻変動が誘発された。我々はたまたま膨張中心に近い観測点で、2台のプロトン磁力計を約40m離して設置し、連続観測を行っていた。両者の全磁力地点差に、体積歪計の異常に対応するような変動が現れた。磁力計のうち1台は埋設されたボアホールの近傍にある。ただし局所的な磁気異常が非常に大きいので、観測された全磁力変化は外部磁場変動に伴う見掛けのものである可能性もある。ここではボアホールが存在することで、応力に伴うピエゾ磁気効果がどのような磁場変化を生ずるかを検討する。磁性体である地殻に孔を開けることで、孔底付近の磁場が非磁性空間に漏れ出す一言い換えるとボアホールには磁性体内部の磁力線を引っ張り出す効果があるはずというのが、我々の実験観測の発想であった。

半無限弾性体の表面からある深さまで一様に磁化した地球モデルで、地表から半径 a 、長さ L の円柱がくりぬかれていたとする。地震断層やマグマ溜りなどの内部応力源によって弾性体が歪むと、帯磁地殻内にはピエゾ磁気効果によって磁化が生じる。この磁化分布の作る磁場を体積積分すれば、地表付近での磁場変化が求められる。この体積分を磁性体表面における変位とその鉛直微分についての面積分に置きかえることが出来る(Sasai, 1983)。面積分を行う領域は、(1)地表面、キュリー面、応力源の表面と、(2)ボアホール表面である。(1)については様々な力学モデルについて、数値解や解析解が求められている。(2)を $W(BH) = W(A) + W(B) - W(C)$ と分ける。 $W(A)$ はボアホールの円柱状の側面、 $W(B)$ はボアホールの円形の孔底、 $W(C)$ は地表における開口部からの寄与である。 $W(B)$ と $W(C)$ は $W(A)$ に比べると無視できるだけ小さいことが分る。ボアホールの存在によっては元々の地殻応力はほとんど乱されないものとして、面積分の被積分関数に含まれる変位成分を、ボアホール中心軸の位置におけるボアホールが無い場合の変位場で置きかえる。適当な近似によってこの積分を評価すると、ボアホールによって作られる磁場は、深さ毎に地殻変位の関数で与えられた強度を持つ、中心軸に置かれた水平向きの双極子および四重極を分布させたもので表すことができる。

ロング・バレー・カルデラの事例と比較するために、内部応力源として茂木モデルを仮定した場合を計算して見た。等価磁気源が水平向きの双極子列であるために、磁場分布は極めて局所的で、ボアホールのごく近傍でないと有意な変化は期待できない。なお通常ボアホールには、高透磁率の金属製ケーシングパイプが用いられることが多い。この場合はパイプの下端に磁力線が吸い込まれ、地表の上端から湧き出す効果が期待される。この影響については、別途考察したい。