

地熱流体生産に伴う比抵抗・電場・磁場変動の予測

Prediction of changes in resistivity and electric and magnetic fields induced by geothermal fluid production

石戸 経士[1]

Tsuneo Ishido[1]

[1] 地調

[1] Geol.Surv.Japan

流体生産開始後の地熱貯留層の変動を捉える上で、地球物理学的モニタリング手法が注目されている。現在、NEDO・地質調査所で進めている「貯留層変動探査法開発」では、重力、自然電位、比抵抗、地震波の各モニタリング手法について研究開発を進めている。ここでは、これまで取り上げられていない磁場観測について貯留層モニタリング手法としての可能性を検討する。生産・還元を開始すると、貯留層内で温度変化が進行するが、これに伴い温度低下域(上昇域)では磁化の増加(減少)が発生し地表に観測可能な磁場変化をもたらすものと考えられる。

地熱貯留層から流体生産を開始すると、生産ゾーンの圧力低下に伴い、貯留層周囲や還元ゾーンからの流体流入が始まる。また、高温の貯留層であると、流体生産に伴って貯留層内での沸騰が加速され、蒸気-熱水の二相ゾーンが形成され拡大する。このような貯留層変動によって地球物理学的な観測に様々な変化の発生することが期待される。重力であると、生産ゾーン直上では、質量欠損により重力の減少となる。この生産ゾーンでの重力減少は、気液二相ゾーンの拡大あるいは蒸気飽和度の増加する場合に顕著に現れる。還元ゾーンでは重力増加となるが、これは高温流体がより密度の大きい低温流体に置き換わることによって発生する。比抵抗分布については、貯留層内の温度・流体化学性状の変動、あるいは気液二相ゾーン中での蒸気飽和度の変動によるものが考えられる。

自然電位については、主として流れのパターンが変わることによる界面動電現象起源の変化が考えられる。通常、岩石の割れ目、空隙中の流体の流れは正電荷の流れの方向に運ぶ。したがって、生産ゾーンでは、フィードポイント近傍に正電荷の余剰、逆に、還元ゾーンでは、負電荷の余剰が発生する。何らの伝導性の構造(キャップロックの存在等)により地下深部の電位異常が地表にもたらされ自然電位変化となる。生産ゾーンの上部に二相ゾーンがある場合は、生産による圧力低下により活発な沸騰が継続し、蒸気は上昇、液相は下降というカウンターフローが発生する。この効果が強い場合、生産ゾーンの直上には、正ではなく負異常が発生する。

磁場については、界面動電現象起源の変化に加えて、貯留層内の温度変化による自然残留磁化の変化に伴うものが考えられる。還元ゾーンでは当初の200度C以上から100度C以下への温度低下が徐々に進行する。自然残留磁化がこの温度範囲で変化するようであれば、地表で検出可能な磁場変化の発生も考えられる。

今回、仮想の地熱貯留層3次元数値モデルに基づいて生産・還元後の貯留層変動を計算し、その結果から比抵抗、自然電位、磁場の変化を計算した。計算の進め方は、まず、浸透率分布、境界条件等を与え流体(および熱)の流動をシミュレーションし、圧力・温度・塩分濃度等の分布を求める。次に、その結果から電気伝導度、カップリング係数の分布を計算し携帯電流を求める。3番目のステップでは、携帯電流の発散をソース項とする電位についてのポアソン方程式を解いて、電場および伝導電流の分布を求める。最終ステップでは、携帯・伝導電流の分布に対しビオ・サバル則を適用し地表における磁場分布を計算する。以上の計算方法についてはこれまでも計算例とともに報告しているが、今回新たに行ったのは自然残留磁化の温度依存性による磁場変動の計算である。今回の計算では、貯留層を構成する岩石について3 A/mの磁化を仮定し、これが100°C以上でリニアに減少し600°Cでゼロになるとした。

熱水対流のパターンが構造に規制されて鉛直面内の循環流となっているので、自然状態においても界面動電現象起源の磁場(今回のモデルでは0.2 nT程度)が地表で発生し、流体生産に伴って変化するが(最大0.4 nT程度)いずれもかなり小さい。これに対し、磁化変化に伴うものはかなり大きく、還元ゾーン直上では、南北に並んだ全磁力の増加(南側)・減少(北側)のピーク間の差は、2.5年後で8 nT、10年後で20 nTとなった。これは還元ゾーン(深度500 m付近)の温度が230°C付近から100°C程度、低下することによってもたらされる(10年後において約0.05立方kmの領域で100度C以上の温度低下)。

現在、NEDO・地質調査所で進めている「貯留層変動探査法開発」プロジェクトでは、重力、自然電位、比抵抗、地震波の各モニタリング手法、および貯留層数値モデルに基づくフォワード計算手法について研究開発を行っている。貯留層の将来挙動を予測するための数値モデルのキャリブレーションに、(従来の坑井データに加え)これら地球物理的モニタリングのデータを用いることで、より効率的なモデル構築が可能になるものと考えている。今回の予備的なシミュレーションは、磁場のモニタリングが貯留層の熱的変動に係わる拘束条件を得るのに有効であることを示している。今後、この点についてさらに検討を加えたいと考えている。