

## 大分県滝上地熱系挙動把握のための重力変動観測に関する研究

岡, 大輔

<https://hdl.handle.net/2324/1807011>

---

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 岡 大輔

論 文 名 : 大分県滝上地熱系挙動把握のための重力変動観測に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

2011年3月の東日本大震災及び福島第一原発事故を受け、再生可能エネルギーの開発及び利用は急務の課題である。地熱エネルギーは高ポテンシャルを有すると評価され、数ある再生可能エネルギーの中でも、天候や季節に左右されることもない。また、熱水及び蒸気を媒体として地下に長期間に亘って蓄えられている場合、その持続性は半永久的に保たれると考えられており、ベース電源としての大きな期待をかけられている。しかし、過剰な発電つまり蒸気生産を行うことで、持続可能な発電が損なわれる可能性がある。つまり、地熱貯留層の規模に見合った開発を行わず、過剰な蒸気生産を行うことで、その持続性は損なわれることが懸念される。そこで、長期間に亘り安定に地熱発電を行うためには、適正な発電規模を正確に見積もり、地熱貯留層を適切に管理することが重要となる。

地熱貯留層管理の為には貯留層モニタリングが重要であり、重力変動観測が有用であると考えられている。従来、地熱地域における重力変動観測は国内外様々な地域において展開されており、その観測値を定量的に説明するために地熱系モデリングと重力変動観測を組み合わせる試みがされている。例えば、フィリピンの **Bulalo** 地熱地域やインドネシアの **Salak** 地熱地域での既往研究においては、2次元熱水流動モデルでは重力変動の観測値を計算値によって説明できているものの、3次元モデルでは必ずしも良いフィッティングが得られていない。そこで、本論文の目的は、重力変動観測を用いて、地熱貯留層にどの程度の流体が蓄えられ、地熱開発によってどの程度の流体が動くのかを、地熱系モデルによって定量的に評価することとした。本研究では長期間のデータが存在するため、研究対象地域として、大分県滝上地熱地域を選定した。本地域では、1991年より重力変動観測が行われており、地熱開発における重力変動観測手法の確立のために、大分県滝上地熱地域において地熱発電所運転開始以前より継続して行われてきた重力変動観測の結果を総括し、地熱開発に伴う地下流体の流動と重力変動の定量的な解釈を目指した。

第1章は序論であり、持続的地熱開発推進の必要性と、地熱貯留層監視のための重力変動観測の活用事例を示し、本研究の意義・目的を提示した。

第2章では、研究対象地域である滝上地熱地域の概要と地質及び同地域地熱貯留層を中心とした地熱構造について、既往研究をレビューした。滝上地域の層序は、地表面から、野稻岳安山岩類、玖珠層、阿地原層、滝上層、宇佐層群、先第三紀基盤岩からなる。このうち、滝上層ではモンモリロナイトを初めとする熱水変質がみられ、不透水層を形成し、滝上地熱貯留層のキャップロックとなっている。その下方にある宇佐層群の裂か系を通して、九重地域に降った天水が貯留層を形成していると考えられる。

第3章では、地熱貯留層評価のための繰り返し重力測定について記述した。本章では、絶対重力測定と相対重力測定を相互補完的に用いたハイブリッド重力測定について記述し、重力変動観測の

結果について考察した。絶対重力測定の結果、相対重力測定の基準点 T1 の重力変動量は 10  $\mu\text{gal}$  程度という小さな変動となり、T1 が基準点として妥当であると示した。地表で検出された重力変動への降雨浸透の影響を陸水流動・重力擾乱計算ソフトウェア G-WATER[E]で評価した結果、地形起伏に起因する観測点ごとの影響の大小はあるものの、最大 50  $\mu\text{gal}$  程度の重力変動への影響を評価し、相対重力観測によって得られた重力変動から影響を除去した。その結果、得られた重力変動は、その変動パターンによって 3 つの地域に分類できることが分かった。また重力変動パターンから発電所運転開始以降の変動は大きく 4 つの期間に分けることができ、運転開始直後に生産地域を中心に数 10  $\mu\text{gal}$  におよぶ重力の急激な減少が見られ、その後いったん変動が緩やかになった後に、2002 年にかけて再び重力の減少が見られ、2002 年を境に重力値は上昇し、2008 年の時点では、その重力値は地熱発電所運転開始以前と同等の値に回復している事が明らかになった。

第 4 章では、地下構造の推定を目的とした重力異常解析について記述した。日本重力データベースと Gravity Database of Southwest Japan, および重力変動観測点として設置された点での重力データを利用し、解析を行った。その際、重力変動観測点の標高のうち、活用できる観測点に関しては、Network real time kinematic GPS 測量を導入した。地形補正に必要な補正密度については、Akaike Bayesian Information Criterion 最小化法を用いて算出し、2230  $\text{kg}/\text{m}^3$  を採用した。以上から、滝上地域におけるブーゲー異常図を作成した。1 次傾向面残差図より、本地域における重力値は東部に高重力異常、西部で低重力異常を示すことが明らかになった。東部高異常の西側の重力傾斜は野稲断層を示唆しており、本地域中央やや西部に見られる低重力異常は、この地域の地下構造として推定されている盆状構造を捉えたものと考えられた。しかしながら、本地域中央部から南部に存在するとされる寺床断層をはじめとする東西系の断層は、重力異常から検出することができなかった。3 次元構造解析より得られた結果と既往研究で推定された地下構造を比較し、野稲断層のより深部にある北西-南東方向の基盤深度分布を推定した。

第 5 章では、地熱開発に伴う地熱流体の生産・還元による滝上地熱系の変化を考えるために、滝上地熱系モデリングを行った。まず、熱水流動数値シミュレーションのための地熱系概念モデルを構築した。概念モデル構築に当たっては、本地域における地熱流体の生産・還元に伴う重力変動から、自然状態も含め 5 つの期間に分けた。これにより、生産・還元開始に伴い、貯留層内の流体の質量が減少し、その後周辺からの流体の流入や涵養などにより、段階をおって貯留層が回復している概念モデルを構築した。次に、地熱貯留層シミュレーター STAR Ver.9.10 を用いて、概念モデルに基づいた熱水流動数値シミュレーションを行った。自然状態モデルの計算の結果、本地域における熱水の起源として南方からの流体の流入を仮定することにより、地熱貯留層の形成を再現することができた。求められた自然状態モデルをもとに生産・還元モデルを作成し、地熱流体の生産・還元に関するヒストリーマッチングを行った。生産・還元に伴う重力ポストプロセッサ STARGRAV による重力変動数値シミュレーションの結果、重力変動量の絶対値は数  $\mu\text{gal}/\text{年}$  と小さいものの、生産・還元に伴う重力変動の傾向を捉えることができた。また、生産・還元開始直後短期間での数 10  $\mu\text{gal}$  に及ぶ大きな重力減少は再現できなかった。一方、系の貯留層全体の透水係数が大きすぎると、検出を試みた重力変動が検出されにくくなり得る事が分かった。

第 6 章では、本研究で得られた知見及び研究成果を総括し、全体に亘る考察を行い本論文の結論を述べた。