

1. 深地層・地下空間における観測機器・技術の開発研究および地下水流動研究

1.2 断層と地下水の関連性に関する研究

1.2.1 割石温泉における湯量観測

1). 観測点

割石温泉は北緯 36 度 22 分 3 秒、東経 137 度 16 分 50 秒、高度 412m の岐阜県飛騨市神岡町大字割石 219 番地、高原川左岸の河岸段丘上にあり跡津川断層から南へ約 3km に位置する(図 1)。

図中の断層周辺で発生した 5 個の地震にともなって湯量変動が観測されている。

割石温泉の孔井は進長 1300m、標高 413m、孔底標高マイナス 809m、孔底温度 65℃で、傾斜度マイナス 70 度、掘削方位は西側方向 255 度である。上部の深度

30m までは多重管 φ150m/m が挿入され、その内側に 3 本のケーシング管 φ125m/m, φ97m/m, φ83m/m が挿入されている。掘削当初、深度 852m で湧水量 800L/min, 温度 45℃

の温泉が湧出し、泉質は単純イオウ泉でラドン濃度は 4.9Bq/L であった。1998 年のラドン濃度は 2.6Bq/L であり、2016 年 2 月現在も自噴しており、湯量は約 25L/min, 泉温は約 41℃である。図 2 は割石温泉の周辺の地質断面図である。地上の雨水が主として西側の切雲谷から石灰岩の地層を通して地下に浸透し



図 1. 割石温泉の湯量観測点と跡津川断層を示す。跡津川断層近傍で発生して湯量変動を検出した 5 個の地震の震源を示す

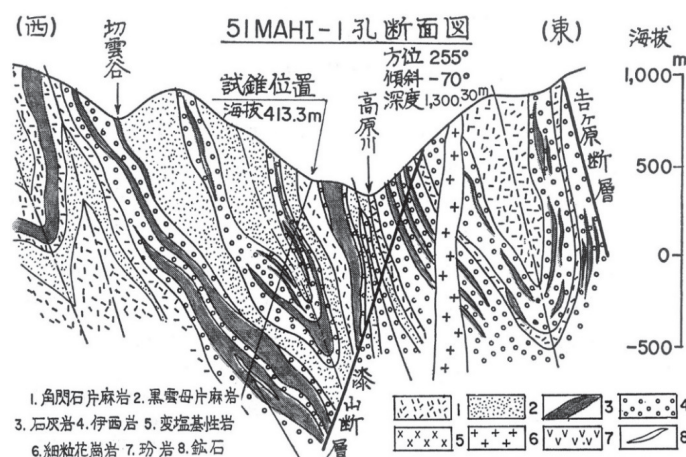


図 2. 割石温泉周辺の地質断面図

て、地下深部の熱源によって暖められて温泉になっていると思われる。図3は割石温泉の深度840m～900mの柱状図である。この図によると、深度875mまでは飛騨片麻岩を主体として石灰岩の薄層を挟在し、875m～1300mまでは石灰岩を主として片麻岩を挟在している。深度870～880mの黒雲母片麻岩帯と石灰岩帯の境界部には、石灰岩の炭酸塩岩中に花崗岩などのマグマが貫入してきた際に生成された透輝石スカルンなどが約5mの厚さで存在しており、この帯水層から温泉が湧出している。

2011年6月、7月、9月の3回、現地で温泉水を採水して、ヘリウム同位体比 $3\text{He}/4\text{He}$ の測定を行った。割石温泉のヘリウム同位体比は $1.653 \pm 0.012\text{Ra}$ であった。この測定値から、割石温泉の溶存ガス中には、マグマ起源の溶存ガスが約20%混入していると考えられる。Raは大気中の同位体比で $\text{Ra} = 1.4 \times 10^{-6}$ であり、マントルでは 8Ra 、地殻では 0.1Ra である。

2). 2004年～2018年の湯量観測

第Ⅲ期(2004年～2019年)の観測では、岐阜大学が岐阜県神岡町、産業技術総合研究所地質調査総合センター活断層・火山研究部門、東濃地震科学研究所との共同で、源泉の主配管に容量式

電磁流量計を設置して

1秒間隔で湯量観測を行った。電磁流量計の測定範囲は $0 \sim 70\text{L/min}$ で、測定精度は $\pm 0.35\text{L/min}$ である。図4は2004年1月～2018年12月の期間の湯量変動を示し、大きな湯量増加が記録された12個の地震について矢印で示す。12)能登半島沖地震2007/3/25 M6.9では、検出データ中で最大の湯

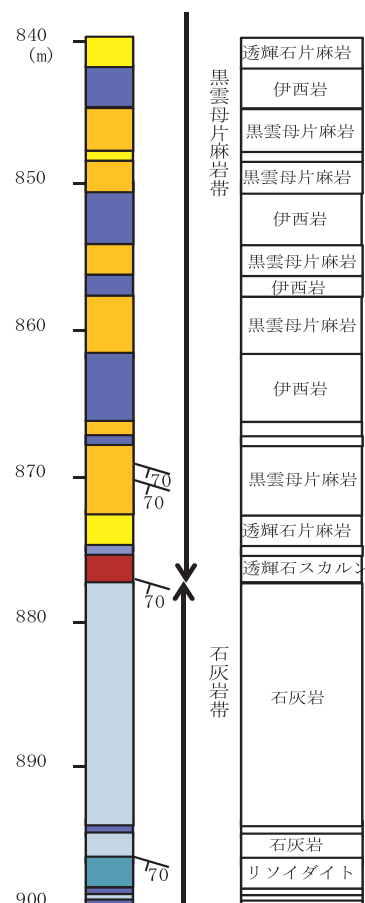


図3. 割石温泉の柱状図

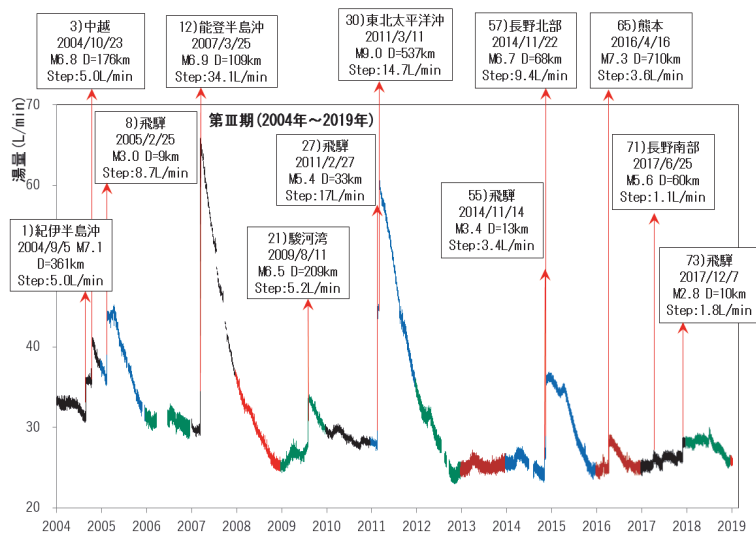


図4. 第Ⅲ期(2004～2019年)割石温泉の湯量観測記録

量増加量 34.1L/min を記録した。30) 東北太平洋沖地震 2011/3/11 M9.0 では、14.7L/min の湯量増加・振動があり、この地震では地球を3周した表面波による湯量振動が検出された。

3). 潮汐歪応答解析

2004 年～2018 年の湯量観測データから潮汐解析プログラム BAYTAP-G を用いて湯量の潮汐歪感度の振幅と位相を求めた。

図 5 は分潮 M2(12.4h), O1(25.8h) との潮汐歪応答振幅の解析結果である。M2 振幅は 0.156 ± 0.017 で、O1 振幅は 0.144 ± 0.021 (L/min)/strain(E-08) となった。顕著な湯量増加が観測された、30) 東北太平洋沖地震の発生の前後の M2 振幅は 0.150 ± 0.005 (L/min) から 0.187 ± 0.008 (L/min) まで 25%増加した。位相は地震発生の前後で変化が観測されなかった。地震発生後徐々に低下して、約3年～4年後にもとのレベルまで回復した。

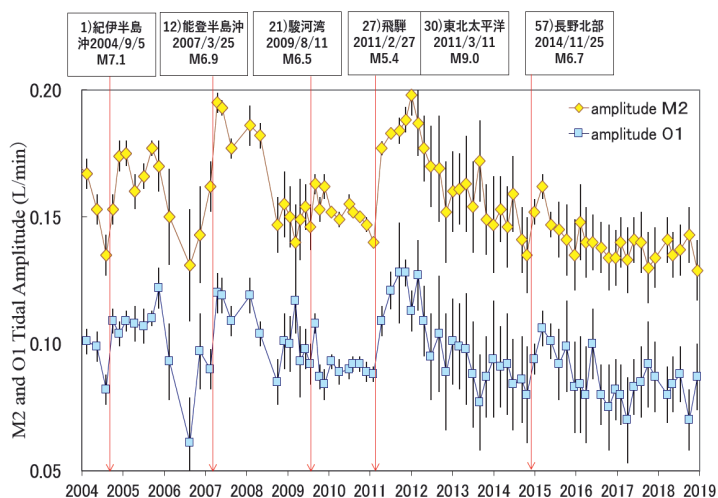


図 5. 2004 年～2018 年の湯量の潮汐歪感度の振幅

4). 間欠泉の周期変動解析

割石温泉は間欠泉であり、地震発生にともなって湯量が増加して、間欠泉の周期は短くなる。図 6 は 2005 年～2018 年までの約 13 年間の間欠泉の周期変動を示す。図の 2015 年～2017 年においては、温泉の休館日では営業日と比較して、その周期は約 30 分短くなる。この原因は温泉の休館日では浴槽面より 1m 下のドレンから温泉を放水するので、水頭が下がり帯水層にかかる圧力が 1 (kPa) 低下して、湯量

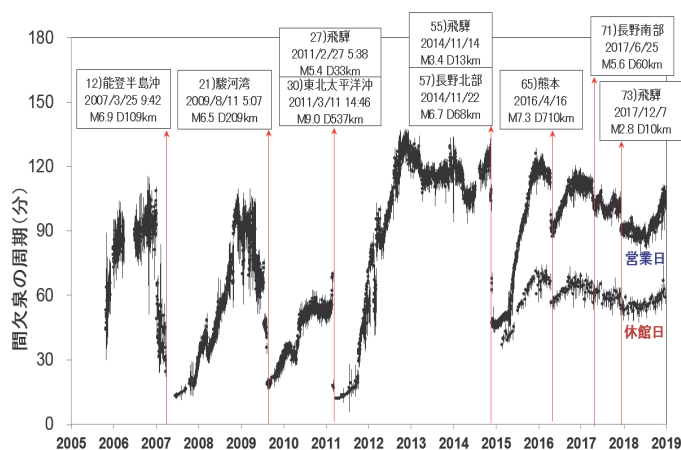


図 6. 2005 年～2018 年の間欠泉の周期変動

が増加して、間欠泉の周期が短くなったと考えられる。この結果から、間欠泉の周期変動を観測することによって帯水層にかかる圧力変動を知ることができる。番号 12) 能登半島沖地震では約 70 日前から間欠泉の周期が約 50 分減少している。この値は帯水層にかかる圧力変化 $\Delta P=10$ (kPa) に相当する。地震前のもとの周期に回復するまで 1 年半かかっている。番号 21) 駿河湾地震では約 25 日前から約 65 分減少している。帯水層の圧力変化 $\Delta P=13$ (kPa) に相当する。これらの観測結果から上記の 2 つの地震では地震発生前に間欠泉の周期が減少しており地震発生の前兆現象の可能性はある。

5). 溶存ガス量の変動解析

割石温泉から直線距離で約 58km 離れた御嶽山が 2014 年 9 月 27 日 11:53 に噴火した。湯量と間欠泉周期の観測結果では、噴火にともなう湯量の変動は観測されなかった。温泉に含まれる溶存ガス量の目安として、間欠泉と間欠泉の間のガス噴出にと

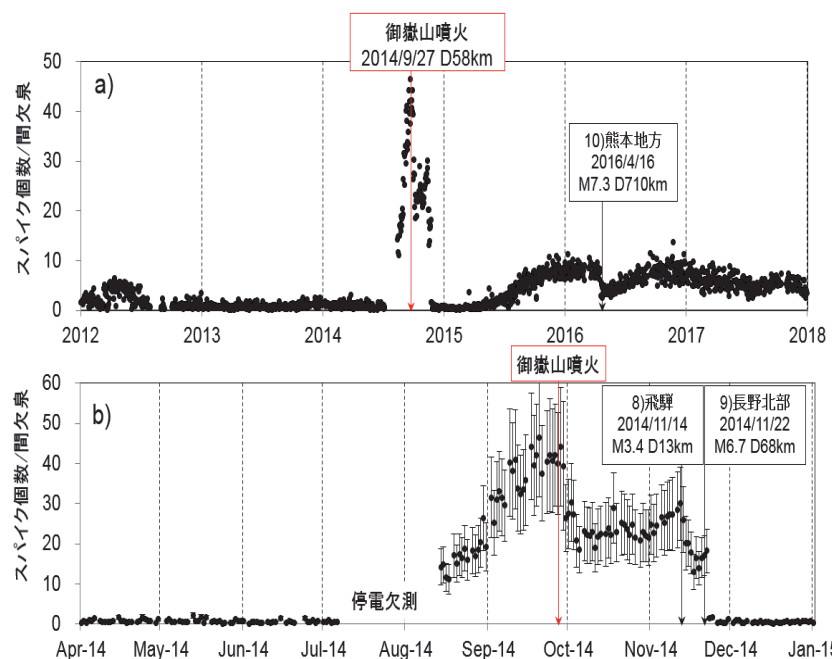


図 7. 2012 年～2017 年の間欠泉のスパイク個数の変動

もなうスパイク状の湯量変動に着目した。1 Hz の湯量値の隣合う 1 組の観測値を F_n と F_{n+1} として、湯量変化量 $\Delta F = |F_{n+1} - F_n|$ が $\Delta F > 0.2$ (L/min) の条件を満たす湯量変化の個数を数えて、この値を間欠泉のガス噴出量の目安となるスパイク個数と定義した。

図 7a) は 2012 年 1 月～2019 年 1 月までのスパイク個数を示す。図の 2014 年 6 月 1 日～7 月 7 日までの月曜日の休館日を除く 30 日間の間欠泉あたりのスパイク個数の平均値は 0.56 ± 0.36 個であったが、2014 年 8 月中旬からスパイク個数が増加して噴火直前の 9 月 23 日～9 月 26 日には 41.4 ± 0.9 個まで増加した。図 7b) から噴火直後にスパイク個数は減少して、番号 55) 飛騨地震 M3.4 と番号 57) 長野県北部地震 M6.7 の地震発生後に、もとのスパイク個数に戻った。以上の観測結果から、割石温泉に含まれる溶存ガス量の変動は御嶽山噴火の約 1 カ月前から増加しており、噴火の前兆現象の可能性が考えられる。

6). 地震にともなう湯量変動

2004 年 8 月～2020 年 1 月の期間における、湯量観測における国内地震検出感度を調べた。気象庁震度データベースにおいて、飛騨地方の震度 1 以上、その周辺地域の震度 3 以上、国内で震度 5 弱以上の 931 個の地震の中で、55 個の地震で湯量増加又は湯量振動を検出した。

図 8 はこれらの地震の震源距離とマグニチュードを示す。この図から

マグニチュード 6.5 以上の国内地震についてはすべて検出可能である。また、震源が跡津川断層直下で、震源距離が約 10km、マグニチュードが M3.0 程度の小さな地震による湯量変動も検出されている。

特に大きな湯量変動(図 9)が観測された地震の一つは、2011 年 03 月 11 日 14:46 に発生した東北太平洋沖地震 M9.0 である。地球を周回してきた長周期表面波のレーリー波 R が観測されている。また、15:10～15:30 頃の 3 個の湯量変動は、岩手県沖 15:09 M7.4、茨城県沖 15:16 M7.6、三陸沖 15:25 M7.5 の地震によるものである。

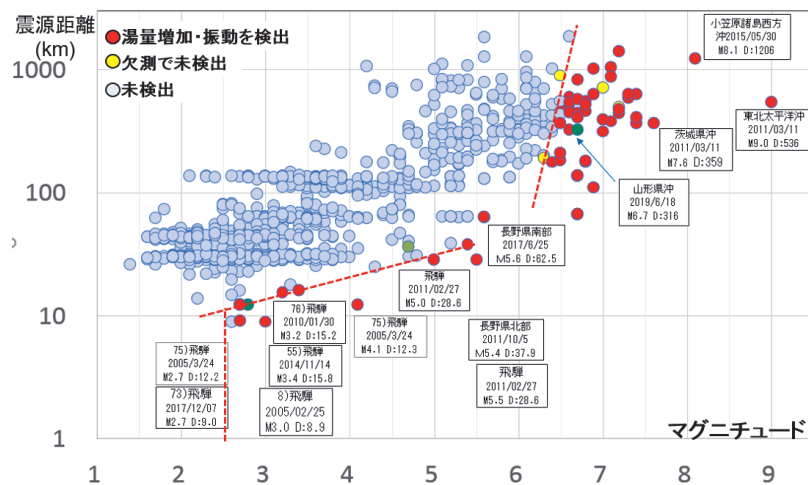


図 8. 2004 年～2019 年の国内地震の検出感度：赤丸は地震にともなう湯量変動、D は震源距離、M はマグニチュードで、緑色は 2019 年に新たに追加された地震による湯量変動

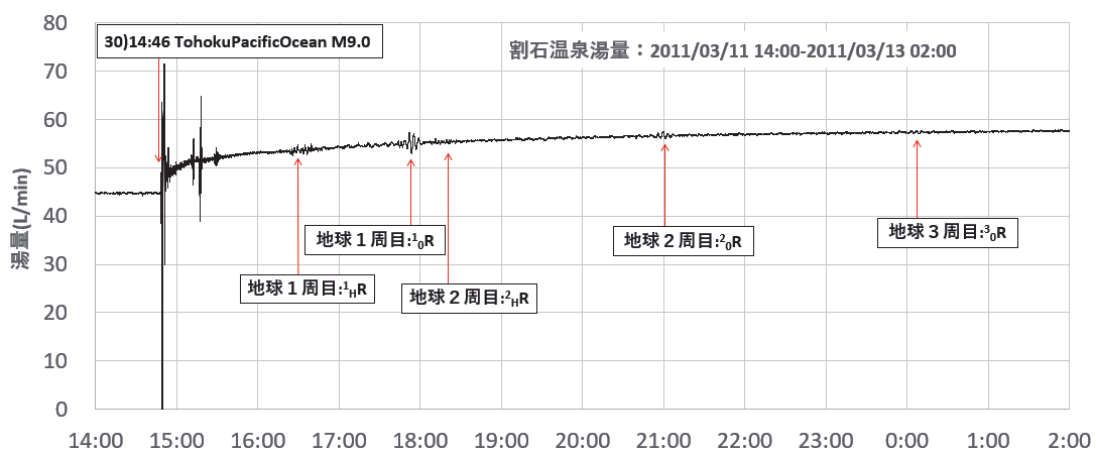


図 9. 東北太平洋沖地震にともなう割石温泉の湯量変動の観測記録