

## トカラ列島小宝島の温泉の熱水地球化学 Fluid geochemistry of hot springs at Kotakara-jima, Tokara Islands

堤 彩紀<sup>1\*</sup>; 石橋 純一郎<sup>1</sup>; 今野 祐多<sup>2</sup>; 横瀬 久芳<sup>3</sup>  
TSUTSUMI, Saki<sup>1\*</sup>; ISHIBASHI, Jun-ichiro<sup>1</sup>; KONNO, Uta<sup>2</sup>; YOKOSE, Hisayoshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学 大学院理学府 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup>海洋研究開発機構, <sup>3</sup>熊本大学大学院自然科学研究科  
<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, 33 Kyushu University, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

【はじめに】 カルデラ地形は、熱源・帯水層・不透水層等がそろっており、熱水循環系が発達しやすい地質環境である。横瀬ほか(2010)は、九州の火山フロントの南方延長線上のトカラ列島近傍の海底に、第四紀の火山活動で形成された巨大カルデラが存在することを提唱している。そのうちのひとつである宝島カルデラでは、その外輪山に位置する小宝島で、90℃以上の高温の温泉が海岸沿いに噴出していることが知られている。この小宝島の温泉水を採取・分析した結果を報告し、その熱水形成機構を考察する。

【試料の採取と分析方法】 温泉水試料の採取は、2013年5月に行われた。温泉水の温度・pH・電気伝導度・酸化還元電位を現地で測定した。温泉水試料は、0.45 μm フィルターでろ過してポリびんに入れて持ち帰り、実験室にて主要溶存成分の分析を行った。主要陽イオン濃度はICP - AES法、陰イオン濃度はイオンクロマトグラフィーを用いて分析した。アルカリ度はグラン法に基づく滴定法、ケイ素濃度は比色分析によって定量した。

【結果と考察】 温泉水の化学組成の特徴として、Cl<sup>-</sup>濃度が高いこと、Na/Cl比が0.75と海水とほぼ一致すること、酸素・水素同位体比が海水の値に近いこと、があげられ、熱水が海水を起源としていると考えられる。また、海水に比べてMg<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度が低く、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>濃度が高かった。これは海水と岩石の熱水反応において見られる特徴と一致している。地化学温度計を適用すると、熱水貯留層内の温度は250℃~300℃とかなりの高い温度であると推定できる。また、これまでに宝島カルデラ周辺で行われた海底ドレッジでは、玄武岩質安山岩、安山岩、デイサイト、流紋岩からなる溶岩片などが多量に採取されており、最近のマグマ活動が示唆される。

これらの結果から、宝島カルデラに規制された熱水循環系があり、その一端が小宝島の海岸で高温の温泉水としてあらわれている可能性が高い。

キーワード: 巨大カルデラ, 熱水循環系, 海水岩石反応

Keywords: Giant caldera, hydrothermal system, seawater-rock interaction

## 比抵抗構造探査によって推定された長野県・白骨温泉の熱水供給系 Hydrothermal system beneath Shirahone hot spring, Nagano, Central Japan, revealed by resistivity survey

山谷 祐介<sup>1\*</sup>; 茂木 透<sup>2</sup>  
YAMAYA, Yusuke<sup>1\*</sup>; MOGI, Toru<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター  
<sup>1</sup>GSI, AIST, <sup>2</sup>ISV, Hokkaido Univ.

長野県西部の梓川流域には多数の温泉や噴気地などが存在し、顕著な地熱兆候を示している。そのうちの一つである白骨温泉は全国的にもよく知られた温泉で、その温泉水は複数の入浴施設に利用されている。付近には、温泉成分の炭酸水素塩が沈殿堆積して形成された噴湯丘や球状石灰岩が広く分布しており、古い時代から温泉が自然湧出していた痕跡を残している。

白骨温泉地域では、ボーリング調査や物理探査などはこれまでほとんど行われておらず、温泉水の供給系については明らかにされていなかった。供給源である温泉貯留層とその熱源の規模を把握することは、将来的な温泉の持続性や地熱エネルギー資源の把握のために有用である。このため、白骨温泉周辺の地熱系を議論する目的で、広帯域 MT 法による比抵抗構造探査を行った。測定は、白骨温泉を NNE-SSW 方向に縦断する 3 km の測線に沿う 6 地点で行った。各地点で得られた見かけ比抵抗およびインピーダンス位相を使用し、2 次元構造を仮定したインバージョン解析を行い、地下 3 km までの比抵抗断面を推定した。

比抵抗構造は、おおよそ 1 - 3000 Ωm の範囲をとり、鉛直方向、水平方向ともに変化に富んでいる。この地域の普通の比抵抗は数十 - 数百 Ωm の範囲にあり、その中に地下水（熱水）が集まっているところに 10 Ωm 以下の低抵抗域が形成されているとみられる。白骨温泉直下の深さ 400 - 1000 m と 2000 m 以深には顕著な低比抵抗体（3 Ωm 以下）が見つかった。このうち浅部の低比抵抗体は、白骨温泉の温泉貯留層と考えられ、そこから断裂系に沿って熱水が地表まで上昇していると考えられる。特有の乳白色の温泉水は、表層近くに分布する石灰岩質の層を熱水が通過する過程で、その成分が溶解することが原因の一つと考えられる。一方、深部の低比抵抗体は、温泉の熱源となる高温の領域を示していると考えられ、現在に至るまで高温を維持した貫入岩体を示している可能性がある。

比抵抗断面は、この地域を北西 - 南東方向に走る活断層である境峠断層を横切っている。地表断層の直下は、周囲に比べて高比抵抗と推定された。一般的に、断層の周辺は、透水性の高い破碎帯に水が浸入して低比抵抗となることが多い。それに対してここでは高比抵抗であるので、境峠断層の複数の活動セグメントのうち、断層活動後に地下水が衰退し、破碎帯が固着している一部分を見ている可能性がある。

キーワード: 温泉貯留層, 白骨温泉, 比抵抗, マグネトテルリクス法, 地熱系

Keywords: hydrothermal reservoir, Shirahone hot spring, resistivity, magnetotellurics, geothermal system

## PS-InSAR 解析によって捉えられたオハアキ地熱開発地域における地表変動 Ground deformation around Ohaaki geothermal field, New Zealand inferred from persistent scatterer SAR interferometry

石塚 師也<sup>1\*</sup>; 辻 健<sup>2</sup>; 松岡 俊文<sup>1</sup>; 藤光 康宏<sup>3</sup>; 西島 潤<sup>3</sup>

ISHITSUKA, Kazuya<sup>1\*</sup>; TSUJI, Takeshi<sup>2</sup>; MATSUOKA, Toshifumi<sup>1</sup>; FUJIMITSU, Yasuhiro<sup>3</sup>; NISHIJIMA, Jun<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院 工学研究科, <sup>2</sup> 九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所, <sup>3</sup> 九州大学大学院 工学研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Kyoto University, <sup>2</sup>International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (I2CNER), Kyushu University, <sup>3</sup>Faculty of Engineering, Kyushu University

ニュージーランド北島の中央部に広がる Taupo Volcanic Zone と呼ばれる火山群は、オハアキやワイラケイ地熱地域が存在する、世界有数の地熱開発地帯として知られている。この地帯に存在する地熱開発地域の中には、地盤沈下が報告されている地域もあり、ワイラケイ地熱地域では、年間約 30-50mm の地盤沈下が推定されている [Allis et al., 2009]。一方で、このように地熱開発に伴う地表変動現象が報告されている例は未だ少なく、今後の研究による地熱開発地域における地表変動現象の理解が求められると考える。

本研究では、Taupo Volcanic Zone の東側に位置するオハアキ地熱開発地域を対象として、persistent scatterer SAR interferometry (PS-InSAR) 解析を行うことにより、オハアキ地域の地表変動の推定を行った。PS-InSAR 解析では、SAR の観測間において、安定したマイクロ波散乱特性を示す散乱体の位相情報のみを用いて地表変動を推定するため、通常の InSAR 解析よりも高精度に地表変動を推定できることが知られている。解析には、2007 年 1 月から 2011 年 1 月間に北行軌道で取得された 21 シーンの ALOS/PALSAR データを用いた。解析の結果、地熱開発地域周辺で年間約 60mm の衛星から遠ざかる向きの変動が発生していると推定され、地盤沈下と考えられる。また、地盤沈下が発生している地域には、明瞭な境界が存在し、断層により地盤沈下域の境界が定まっている可能性がある。

Allis, R., C. Bromley, and S. Currie, Update on subsidence at the Wairakei-Tauhara geothermal system, New Zealand, *Geothermics*, vol. 38, pp.169-180, 2009.

キーワード: 地表変動, PS-InSAR 解析, オハアキ地熱地域

Keywords: ground deformation, persistent scatterer SAR interferometry, Ohaaki geothermal area

## Gravity Monitoring at Takigami Geothermal Area, Oita Prefecture, Japan Gravity Monitoring at Takigami Geothermal Area, Oita Prefecture, Japan

PRATIWI, Maryati<sup>1\*</sup>; FUJIMITSU, Yasuhiro<sup>1</sup>; NISHIJIMA, Jun<sup>1</sup>  
PRATIWI, Maryati<sup>1\*</sup>; FUJIMITSU, Yasuhiro<sup>1</sup>; NISHIJIMA, Jun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kyushu University, Fukuoka, Japan

<sup>1</sup>Kyushu University, Fukuoka, Japan

The gravity monitoring at Takigami geothermal area has been applied since November 1996 (Oka et al., 2011). In this area, the nearest geothermal manifestations are about 1-2 km to north and east of Takigami (Furuya et al., 2000). So, there are no geothermal manifestations at the surface. The geothermal power plant was built at Takigami in August 1991. It was reported that its power plant output was changed from 25,000 kW to 27,500 kW in June 2010 (Kyushu Electric Power Co., Inc., 2010)

We analyzed the gravity data from August 2008 until August 2013. We found that the gravity changes at the northern zone, the western zone, and the southwestern zone of this area are quite stable historically. This result indicates that the recovery state for these zones is almost done. However, the data at the eastern zone shows gravity increasing. It was assumed that the subsurface fluid at Takigami area flows from south, which is the direction Kuju Mountain area. Then, we noted that the fluid from south is filling the faults in eastern area in the beginning before going through to northern area (due to its high permeability (Jalilinasrabad et al., 2011)), thus the recovery state in the eastern zone has not been done.

By using theorem of Gauss, we calculated the mass changes based on the gravity changes from August 2009 to August 2012. This calculation is excluding the northern area as it has different water system, and removed the effects of precipitation and evapotranspiration by Gwater-e program (Kazama, 2011). And, we found that the mass increases as much as 10.12 Mt in the Takigami geothermal area. This mass change is associated with the production and reinjection process of geothermal fluids.

### REFERENCES

- Furuya, S., Aoki, M., Gotoh, H. and Takenaka, T. (2000), " Takigami geothermal system, northeastern Kyushu, Japan, " *Geothermics*, 29. 191-211.
- Jalilinasrabad, S., Itoi, R., Gotoh, H., and Tanaka, T. (2011), " Development of the Optimum Numerical Reservoir Model of the Takigami Geothermal Field, Oita, Japan " *Proc. of 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford , California, SGP ? TR ? 191.*
- Kazama, T., K. Yamamoto, and Y. Fukuda (2011), " Hydrological disturbance corrections for relative gravity data observed at Sakurajima Volcano. " *116th Meeting of the Geodetic Society of Japan*, 17 (oral presentation at Gifu).
- Kyushu Electric Power Co., Inc. (2010). " Introduction to Geothermal Power Station of Kyushu Electric Power Co., Inc. " [Company brochure].
- Oka, D., Fujimitsu, Y., Nishijima, J., Fukuda, Y. and Taniguchi, M. (2011), " Geothermal Fluid Flow Monitoring by the Repeat Gravity Measurement at the Takigami Geothermal Field, Japan — Application of Hybrid Gravity Measurement by an Absolute Gravimeter (A10) and Relative Gravimeters (CG-3M and CG-5) —" *Proc. of 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford , California, SGP ? TR ? 191.*

キーワード: gravity change, gravity monitoring, mass change, Takigami  
Keywords: gravity change, gravity monitoring, mass change, Takigami

## 日射の影響が無視できる条件下における熱収支法 Heat balance technique under the condition that the influence of solar radiation can be negligible

藤光 康宏<sup>1\*</sup>; 西島 潤<sup>1</sup>  
FUJIMITSU, Yasuhiro<sup>1\*</sup>; NISHIJIMA, Jun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院工学研究院  
<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Kyushu University

地熱地域からの放熱量を求める手法の一つである熱収支法 (Sekioka and Yuhara, 1974) では、単位面積当たりの放熱量と地熱異常温度 (地熱異常地域と通常地域の地表面温度差) とを関連づける比例定数として地熱流量係数が用いられる。地熱流量係数は対象地域における微気象観測により決定されるが、著者らはこの地熱流量係数の正確な決定のために微気象連続観測装置を製作して、各地で観測を行い、地熱流量係数に関する幾つかの考察を行ってきた (藤光ほか, 2009; 藤光ほか, 2010; 藤光ほか, 2011)。

熱収支法では、地熱異常が認められない地点の地表面温度を基準温度と設定し、基準温度より高い地表面温度を示す地点はすべて地熱異常地域と考える解析を行うが、研究を進める中で、日射が基準温度の決定に与える影響が、同手法による放熱量推定の精度を左右する大きな要因の一つであることが判明した。そこで、日射の影響が無視できる場合を想定し、夜間における人工発熱体を熱源とした観測実験を実施して、新たな解析手法による熱収支法の高精度化を目指した。

新たな解析手法では、日射がない状態における熱収支を考察すると共に、外部拡散係数の決定にリチャードソン数を導入し、さらに Bowen 比の逆数の決定方法を変更した。その結果、人工発熱体からの実際の発熱量とほぼ同じ値の放熱量が、新たな解析手法により算出された。

本研究を進めるにあたり、当時九州大学大学院工学府地球資源システム工学専攻修士課程の押方彰平氏には、現地観測やデータ解析などで多大な協力を頂いた。

藤光康宏・西島 潤・江原幸雄 (2009) 熱収支法で用いられる地熱流量係数の時間変化。日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, V161-P012.

藤光康宏・西島 潤・江原幸雄 (2010) 熱収支法で用いられる地熱流量係数と地表面温度異常量との関係。日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, SVC061-P03.

藤光康宏・西島 潤・江原幸雄 (2011) 熱収支法の地熱流量係数と各種微気象データとの関係。日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, SVC049-P10.

Sekioka, M. and Yuhara, K. (1974) Heat flux estimation in geothermal areas based on the heat balance of the ground surface. *J. Geophys. Res.*, Vol. 79, No. 14, 2053-2058.

キーワード: 熱収支法, 地熱流量係数, 微気象, 放熱量, 日射, 基準点温度

Keywords: Heat balance technique, coefficient of geothermal flux, micrometeorology, heat discharge rate, solar radiation, reference temperature