

SVC049-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

富士山の帯水層に含まれる揮発性成分と地下水流動 Volatiles and resistivity structure around the aquifer of Mt. Fuji

相澤 広記^{1*}, 角野 浩史², 大野 正夫³, 小川 康雄⁴, 高橋 正明⁵

Koki Aizawa^{1*}, Hirochika Sumino², Masao Ohno³, Yasuo Ogawa⁴, Masaaki Takahashi⁵

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京大学地殻化学実験施設, ³ 九州大学比較社会文化研究院環境変動部門, ⁴ 東京工業大学火山流体研究センター, ⁵ 産業技術総合研究所

¹ERI, Univ. of Tokyo, ²GRC, Univ. of Tokyo, ³Kyushu University, ⁴KSVO, Tokyo Institute of Technology, ⁵AIST

はじめに

マグマから脱ガスした揮発性成分は軽く、低粘性なためマグマに比べ容易に火山浅部に到達する。大量のマグマがゆっくりと上昇を開始した場合、減圧によって脱ガスした揮発性成分はマグマ上昇に先行し浅部に到達するかもしれない。そうであるならば揮発性成分が上昇しやすい場所をあらかじめ把握しておくことは火山活動予測にとって重要である。さらに揮発性成分が上昇しやすい場所は低浸透率と考えられ、将来のマグマ噴出口になる可能性が高いかもしれない。

本発表では富士山周辺の深部掘削温泉を対象としたヘリウム同位体比、水/酸素同位体比、化学組成分析の結果を示す。さらに、掘削温泉の位置が山麓部に限られる点を補うため、AMT 調査により推定した深さ 2km までの電気比抵抗の結果も合わせて示す。

測定結果

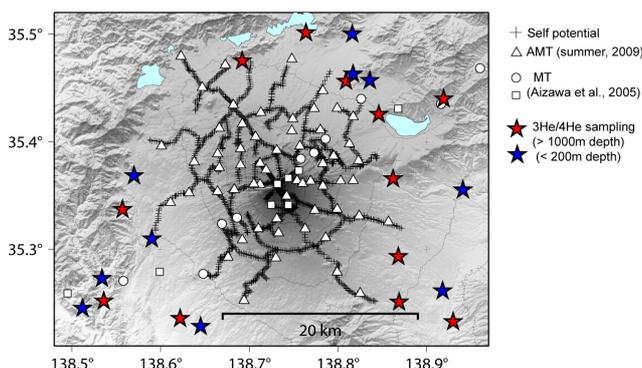
表層(深さ 200m 以下)の地下水中のヘリウム同位体比 ($3\text{He}/4\text{He}$ 比) は大気値とほぼ等しいが、南西部の富士火山噴出物に覆われていない領域のみ 5.6~6.7Ra (大気補正值) と高い値を示した。一方 1000m を超える掘削温泉は概ね 4Ra 以上、最大 7.8Ra (大気補正值) と島弧マグマの上限値に近く、マグマ起源のヘリウムガスの混入が認められた。しかしながら、西部の掘削温泉だけは 1.3Ra と小さい値を示した。

水の酸素 - 酸素同位体は、表層、深部とも富士山周辺の天水ライン (安原他, 2007) に一致し、マグマ起源水の混入は認められなかった。

比抵抗構造は、表層は 1000 (ohm-m) 付近の高比抵抗であるが、山頂部と $3\text{He}/4\text{He}$ 異常が認められた南西部のみ 100(ohm-m) とやや低比抵抗である。深さ 1 km 以深に着目すると、山頂から北と南西に延びる 100(ohm-m) のやや低比抵抗領域が存在する。この低比抵抗の延長部には $3\text{He}/4\text{He}$ が大気の 7 倍を超える掘削温泉が存在する。

考察

富士山の地下水の起源は天水である。しかしながらマグマ起源のヘリウムガスが深部地下水に認められることから、深部からガスを主成分とする流体が上昇してきており帯水層の深い部分に溶け込んでいることを示唆する。ヘリウム同位体や比抵抗構造が水平方向に大きく変化することから、ガスはマグマから均質に散逸するわけではなく特に、南部と北西部に抜けやすいことを示しているのかもしれない。発表ではさらに解析をすすめ富士山のマグマ起源の揮発性成分の経路および地下水流動系を議論したい。



SVC049-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

箱根及び湯河原火山の基盤岩中に湧出する温泉 Hot spring waters in basement rocks of Hakone and Yugawara volcanoes

菊川 城司^{1*}, 板寺 一洋¹, 吉田 明夫¹
George Kikugawa^{1*}, Kazuhiro Itadera¹, Akio Yoshida¹

¹ 神奈川県温泉地学研究所

¹ Hot Springs Research Institute of Kanaga

箱根火山の大涌谷、姥子、強羅、芦之湯等、中央火口丘近くには、火山性熱水や噴気の影響を直接に、もしくは間接的に受けた温泉が箱根火山の噴出物中から湧出する(例えば菊川, 2009)。箱根では、このほかに箱根湯本や大平台、宮城野、堂ヶ島など早川と須雲川沿いに温泉が分布し、これらは箱根火山の基盤岩である湯ヶ島層群や早川角礫凝灰岩などの亀裂から湧出する。一方、湯河原地区では、海岸沿いに、化石水が起源と推定される非常に塩濃度の高い温泉も分布するが、藤木川、千歳川沿いに湧出するのは、基盤岩の湯ヶ島層群に胚胎されている温泉である。本報告では、箱根、湯河原地域の基盤岩中に湧出する温泉について、それらに溶存する主要イオンの濃度やイオン間の濃度比、それに酸素同位体比を詳細に調査した結果を基に、各地区に湧出する温泉の性質を比較し、また、それらの温泉水の湧出機構を考察する。

箱根湯本と湯河原の基盤岩中に湧出する温泉を比べたときに、共通する特徴は、炭酸水素イオン濃度が低く(ほとんどすべて 100mg/L 以下)、かつ硫酸イオン濃度との間に逆相関関係が認められること、そして硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度との間に正の相関関係が認められることである。ただし、箱根湯本では硫酸イオン濃度と塩素イオン濃度との相関関係は単一ではなく、比例係数の異なる3つのグループが見られる(菊川・板寺, 2008)。また、湯河原では塩化物イオン濃度が低くて硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度との間に相関関係が認められないグループも存在する。炭酸水素イオン濃度と塩化物イオン濃度との関係では、箱根湯本では緩い逆相関関係が見られる。一方、湯河原では同様な逆相関関係が見られるグループに加えて、塩化物イオン濃度が極めて低いために両イオン濃度間の相関が認められないグループが存在する。後者のグループは硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度との間に相関関係が認められないグループに対応する。

強羅地区の温泉には成因を異にすると考えられるいくつかのタイプが存在して(菊川ほか, 2010; 板寺ほか, 2010)、その中には硫酸イオン濃度が塩化物イオン濃度に比例するタイプも見られるが、基盤岩中から湧出する温泉の上述の特徴をすべて持つような温泉は存在しない。酸素同位体比と主要イオン濃度との関係について見ると、塩化物イオン濃度との間の相関関係は強羅地区の温泉と一見似ているように見えるが、硫酸イオン濃度や炭酸水素イオン濃度との関係は明らかに異なっている。これは、基盤岩中の温泉が、強羅地区の温泉と比較して、硫酸イオン濃度が幅広く、酸素同位対比が幅狭いことや、強羅地区の温泉の炭酸水素イオン濃度と酸素同位対比や硫酸イオン濃度との間に相関関係がないことによる。

箱根湯本と湯河原に湧出する温泉では、基盤岩中に湧出する温泉として、上述のように共通する特徴が見られるが、明瞭な差異も存在する。例えば、湯河原の温泉の多くは箱根湯本の温泉に比べて硫酸イオン濃度が顕著に高い。更に、箱根湯本の温泉の中でも、泉質の違いからいくつかのタイプの存在することが指摘されている(菊川・板寺, 2008)。湯河原についても塩化物イオン濃度と硫酸イオン濃度あるいは炭酸水素イオン濃度との関係で明らかに異なるいくつかのタイプの温泉が混在している。このことはそれぞれの地区の中で複数の流動系が存在することを示していると考えられる。

キーワード: 温泉, 基盤岩, 箱根, 湯河原, 溶存成分

Keywords: hot spring, base rock, Hakone, Yugawara, dissolved constituent

SVC049-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

微量成分組成を用いた鹿児島湾若尊熱水循環系の地球化学的特徴 Fluid geochemistry and trace element composition of a marine hydrothermal circulation system at the Wakamiko crater

大野 辰晃^{1*}, 石橋 純一郎¹, 平尾 真吾¹, 大嶋 将吾¹, 西内 隆人², 野口 拓郎³, 山中 寿朗²

Tatsuaki Ohno^{1*}, Jun-ichiro Ishibashi¹, Shingo Hirao¹, Shogo Oshima¹, Takahito Nishiuchi², Takuroh Noguchi³, Toshiro Yamanaka²

¹ 九大院・理・地球惑星, ² 岡大院・自然, ³ 高知大・海洋コア総合研究センター

¹Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ., ²Fac. Sci., Okayama, ³Marine Core Research Center, Kochi Univ.

[はじめに]

鹿児島湾奥部に位置する始良カルデラ中心部の水深 200m の海底にある若尊(わかみこ)火口では、熱水噴出が集中して見られる地域(site)がいくつか見ついている。中でも WHV site では最も活発な熱水活動が見られ、最高 200 を記録した高温熱水を噴出する噴出口が集中している。一方、WHV site から 1km ほど南東の SES site では、激しい噴気が見られるものの、熱水の噴出は比較的穏やかで 60 の熱水が海底からしみ出しているのがゆらぎとして確認できる様子である。

また、始良カルデラの外縁部にあたる海岸沿いの陸域には、湧出温度 43-81 の温泉がいくつか存在している。これらはいずれも深度 500-1000m の深層からくみあげられており、塩分が高いことおよび同位体比組成から、海底熱水と帯水層を共通にしていることが提唱されている。

本講演では、若尊海底熱水および陸上温泉水に溶存する主成分元素と微量元素の化学組成に着目し、その化学的特徴について報告する。

[試料と分析方法]

海底熱水試料については 2010 年 3 月に行われた NT10-05 航海で、無人潜水艇 Hyper-Dolphin (JAMSTEC) を用いて 24 試料を採取した。このうち、WHV site から 12 試料、SES site から 3 試料を得た。陸上温泉試料については 2010 年 7 月に現地調査を行い、温泉水 8 試料を採取した。Cl 濃度はモール滴定法、Na, Ca, Mg 濃度は ICP-AES 法、K 濃度はイオンクロマトグラフィーと原子吸光分析法、Rb, Cs, Li 濃度は、ICP-MS 法で測定した。

[結果と考察]

若尊火口の 2 つのサイトの熱水の化学組成 (WHV site, SES site) と、陸上温泉水の化学組成に共通する特徴として、Na, Cl 濃度が海水よりも著しく低く、Na/Cl 比は海水とほぼ同じ値をとるという点がある。また水素同位体比はともに著しく負の δ 値を示した。これらの特徴から、海底熱水と陸上温泉水に共通する帯水層が、海水と陸水がほぼ 1 : 1 の割合で寄与して形成されていると考えられる。

主要陽イオンの化学組成を比較すると、WHV site の熱水は SES site の熱水に比べて Ca, K 濃度が高い特徴がある。帯水層では水 - 岩石反応が平衡状態に達していると仮定して、主要陽イオン組成を用いた地化学温度計により帯水層の温度を推定すると、WHV site で約 250、SES site で約 200 であった。一方、海底面で試料採取の際に行われた熱水の温度測定から海水の混入を補正して推定した熱水温度は、WHV site で約 240、SES site で約 180 であった。地化学温度計の帯水層推定温度と実測された熱水温度が整合的であることから、若尊火口の 2 つのサイトの熱水中の主要陽イオンの組成は、帯水層における水 - 岩石反応が異なる温度条件で化学平衡に達していることで説明できる。なお、陸上温泉水について、主要陽イオン組成を用いた地化学温度計により帯水層の温度を推定すると約 100 であった。

微量成分の組成を比較すると、Li, Rb, Cs の濃度はいずれも WHV site で最も高く、次いで SES site、陸上温泉の順に高いことがわかった。一般にこれらの微量元素は、地下の貯留層において水と岩石が反応する際に溶液側に溶出しやすく、岩石には取り込まれにくいという特徴があることが知られている。海底熱水と陸上温泉水の Li, Rb, Cs 濃度は、帯水層の温度をそのまま反映していると考えられることができる。

SVC049-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

台湾・亀山島における浅海海底熱水活動の地球化学的研究

Geochemical studies of a marine-shallow water hydrothermal system in Kueishantao, Taiwan.

大嶋 将吾^{1*}, 石橋 純一郎¹, 萩原 崇史², 山田 歩², 張 勁²

Shogo Oshima^{1*}, Jun-ichiro Ishibashi¹, Takashi Hagiwara², Ayumu Yamada², Jing Zhang²

¹九州大学 理学府, ²富山大学 理学部

¹School of Science, Kyushu Univ., ²Faculty of Science, Toyama Univ.

亀山島は台湾島の北東部の沖合約 10 km にあり、琉球島弧の西端に位置する火山島である。最後の火山噴火は 7000 年前であり、その際には安山岩質の溶岩を噴出し、現在の標高は 398 m に達している (Chen et al., 2001)。亀山島東部の海岸沿いの水深 10 ~ 30 m の海底に 30 以上の多数の熱水噴出孔が確認されている。これまで調べられている中で熱水の最高温度は水深 13 m にある噴出口で 116 °C を記録している。また、熱水の pH は最も低いもので pH=1.52 であった (Chen et al., 2005)。

本研究では、浅海熱水系がもたらす海洋環境への影響を見積もるために、まず熱水の特徴を議論する。調査は 2010 年 8 月に国立中山大学 (台湾) と合同で行った。試料として、スキューバダイビングによって噴出口周辺から熱水試料を 3 試料採取した。また、船上から採水器を降ろし周辺海水試料を 5 試料採取した。試料は研究室に持ち帰り Mg, Na, Ca を ICP-AES 法で、K を原子吸光光度法で、Rb を ICP-MS 法で、Cl を硝酸銀滴定法で、SO₄ をイオンクロマトグラフ法で、それぞれ分析を行った。

得られた試料の分析値から二成分プロットをとると、どのプロットでも良い直線関係が見られたことから、熱水成分と海水が混合したものを試料として採取したと考えられる。この熱水成分の化学組成は、ほとんどの化学成分で海水より濃度が低いことが特徴であった。そのような熱水の起源として、1) 高温の水岩石反応を経た熱水、2) 海水の沸騰で生じた気相 (水蒸気に富む相)、3) 陸水の三つの可能性を考えて議論する。

まず 1) の場合は、水岩石反応の際に Mg が流体から取り除かれ、陽イオンが供給されるはずである。しかし、本研究で得られた熱水試料は、Ca, K, Rb などの岩石から供給されるであろう化学成分の濃度がいずれも著しく低かった。

次に 2) の場合は、海水の沸騰によって形成される気相と高塩分相では、ともに溶存イオン濃度の比が海水と変わらないはずである。しかし、本研究で得られた熱水試料は、Na/Cl 比が 0.86 ~ 0.79 と広い範囲をとっていた。

最後に 3) の場合を議論するために、亀山島の西部にある亀尾湖 (全周約 1 km) の湖水の化学組成データと比較する。主要陽イオン (Na, K, Mg, Ca) の濃度についてみると、亀尾湖湖水の組成と海水の組成を端成分とした混合直線上に、本研究で得られた熱水試料のデータはすべてのものであることがわかった。一方、主要陰イオン (Cl, SO₄) の濃度については、この二成分混合と得られた熱水試料のデータは大きく異なっていた。しかし、熱水試料の pH が強酸性 (pH=2.6 ~ 2.8) であったことは、火山ガスが熱水に混入していることを示唆しており、その寄与によって陰イオンの濃度が高くなった可能性が高い。今後、水試料の水素・酸素同位体比分析を進め、この可能性について議論を進める予定である。

Chen et al., (2001) A date for volcanic-eruption inferred from a siltstone xenolith. *Quaternary Science Reviews*, 20, 869-873.

Chen et al., (2005) Tide-influenced acidic hydrothermal system offshore NE Taiwan. *Chemical Geology*, 224, 69-81.

キーワード: 浅海海底熱水活動, 亀山島

Keywords: shallow water hydrothermal system, Kueishantao

SVC049-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

台湾・大屯火山群における AMT 観測 Audio-frequency Magneto-Telluric survey on Tatun Volcanic group, Taiwan

宇津木 充^{1*}, 鍵山 恒臣¹, Chen Chieh-Hung², 神田 径³, 吉村 令慧⁴, 小森 省吾¹, 浅野 剛¹
Mitsuru Utsugi^{1*}, Tsuneomi Kagiya¹, Chieh-Hung Chen², Wataru Kanda³, Ryohei Yoshimura⁴, Shogo Komori¹, Tsuyoshi Asano¹

¹ 京都大学火山研究センター, ² 台湾中央研究院・地球科学研究所, ³ 東京工業大学火山流体センター, ⁴ 京都大学防災研究所
¹ Aso Vol. Lab., Kyoto Univ., ² Institute of Sciences, Academia Sinica, ³ Tokyo Inst. Tech. Univ., ⁴ Disaster Prev. Res. Inst.,

我々は2010年10月に、台湾・陽明山(ようめいさん:ヤンミンシャン)国立公園内に位置する大屯火山群の一つ、七星山及びその周辺域の5観測点において、地下比抵抗構造を求める事を目的にAMT観測を行った。使用したデバイスはPhenix Geophysics社製MTU-5A、2セットを用いた。観測は2班に分かれて行い、昼間2~3時間のAMT観測を2地点で同時に行った。これらのデータのリモートリファレンス処理により地下構造解析を行う。なお、本観測は台湾中央研究院・地球科学研究所の協力の元、文部科学省科学研究費補助金・海外学術調査(B)の資金で行われた。

陽明山国立公園は台湾台北市郊外に位置する。現在は風景区・温泉として観光開発が進められている。陽明山公園内の大屯火山群は、北側の金山断層と南側の脚断層に挟まれた地溝帯の内部およびその周辺に生成された20以上の火山からなり、この周辺で噴気孔などを目にする事ができる。最も規模の大きなもの一つとして七星火山麓の小油坑などが上げられる。他にも国立公園西端の北投から東側の金山にかけてのラインには断層が走り、そこから数多くの温泉が湧いている。火山群の活発な活動は30万年前ころまで続き、その後の活動は低調とされている(Wang and Chen, 1990)。しかし一方で、この地域には優勢な地熱・温泉活動があり、噴気ガスにはマグマに起因する成分も含まれていることが報告されており、地下のマグマ活動は衰えていないと考える研究者もいる(Yang et al., 1999)。こうした考えに基づく最近の調査によって、1万8千年前(Chen and Lin, 2002)および5,500年前の噴出物が確認されている。しかしながら総体的には、大屯火山群の最近の活動はマグマ噴火を起こすことはまれで、日本の九州・別府地域のように地熱活動が活発な火山であるという特徴を持つ。こうした事から、両地域の浅部~深部比抵抗構造を求め地下熱水系分布の特徴を比較研究することで、地下のどのような要因が、噴火を起こさず地熱活動が卓越する活動を支配するかを明らかにすることが出来ると期待される。

本年度は、七星山周辺域の浅部比抵抗構造を求めることを目的に、2010年10月18日から22日の5日間に渡ってAMT観測を行なった。しかしながらこの時期、台湾は極めて規模の大きな台風の直撃を受けており、観測期間中激しい風雨が続き劣悪な観測条件だった。このため、当初七星山周辺の8地点で観測を予定していたが、このうち観測を実施できたのは5点のみであった。またこれらも、激しい風雨のため当初の予定より短い時間での観測に留まった。こうした事から今回の観測では十分なデータを取ることが出来なかった。本発表では、今回の観測概要を示し、今回得られたデータから得られた七星山周辺の浅部比抵抗構造の特徴を示す。

キーワード: 大屯火山群, 地下浅部熱水系

Keywords: Tatun volcanic group

SVC049-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

高温岩体システムにおける岩石と地化学特性 Fluid geochemistry and rock minerals on EGS system

柳澤 教雄^{1*}

Norio Yanagisawa^{1*}

¹ 産業技術総合研究所

¹ AIST

現在、世界各地で地熱発電を目的とした開発が実施され、その中で、地上から水を入れて、地下の貯留層で加熱後、バイナリーシステムなどで発電を行う高温岩体システム (EGS) の開発がオーストラリアなどで取り組まれている。この手法は、日本でも雄勝や肘折などのカルデラ地域において要素技術の研究が実施されていた。

本発表では、山形県肘折地域とオーストラリアのクーパーベースンにおいて循環試験中の流体化学組成を測定結果から、化学組成の差異が岩石の鉱物組成や循環システムなどに支配されることを示す。

まず、Ca の濃度は、クーパーベースンでは循環試験中ほぼ一定の約 25ppm であったが、肘折では、初期が約 30ppm と高く、しかも循環中に 200ppm まで上昇する生産性もみられた。また SO₄ 濃度も肘折が初期が約 50ppm、最大値が約 600ppm となり、クーパーベースンの約 35ppm を大きく上回った。一方、貯留層の岩石の鉱物組成としては、クーパーベースンの岩石ではほとんど観察されなかった硬石膏が、肘折のトータル岩ではカルデラ形成活動の影響もあって約 5% 認められた。そのため、地上から注入された水に硬石膏が溶解したことにより、Ca と SO₄ の濃度が増加し、さらに肘折の場合は河川水を混合させて注水したので、システム全体の温度がクーパーベースンより低くなり、硬石膏の再沈殿が妨げられ、さらに濃度が増加したと思われる。

一方、Cl, Na などの濃度は、クーパーベースンでは循環試験中にわずかに上昇しており、Cl 濃度は平均約 8,900ppm であった。事前の生産試験では、2008 年 3 月が約 7,500ppm、7 月が約 8,200ppm であり、Cl 濃度が上昇していることが示された。Na 濃度は 3,800 ~ 5,100ppm、K 濃度が 560 ~ 700ppm で上昇傾向であった。

また、肘折の長期循環試験の初期の流体濃度は、Cl が約 4,000ppm、Na が約 2,500ppm と Habanero の約半分の値を示しており、Na や Cl は循環にともない低下する傾向が見られた。上の値を示した。このように各地域の地質状況、循環システムなどにより、特徴的な地化学組成を示している。

キーワード: 地熱, 高温岩体システム, 流体化学, 岩石組成

Keywords: geothermal, EGS, fluid chemistry, Rock minerals

大分県滝上地熱地域におけるハイブリッド繰り返し重力変動観測による地熱貯留層モニタリング Geothermal Reservoir Monitoring by the Hybrid Repeat Gravity Measurement in Takigami Geothermal Field

岡 大輔^{1*}, 藤光 康宏², 西島 潤², 福田 洋一³, 谷口 真人⁴

Daisuke Oka^{1*}, Yasuhiro Fujimitsu², Jun Nishijima², Yoichi Fukuda³, Makoto Taniguchi⁴

¹九州大学大学院工学府, ²九州大学大学院工学研究院, ³京都大学大学院理学研究科, ⁴総合地球環境学研究所

¹Kyushu University, ²Kyushu University, ³Kyoto University, ⁴RIHN

地熱エネルギーは地球温暖化を抑制する低炭素社会を実現するために有望な国産エネルギー資源であると考えられている。地熱資源開発において地熱貯留層の挙動を把握することは、地熱発電に使用される地熱流体を長期間安定して生産するために非常に重要である。さらに、地熱地域では大量の地熱流体の生産と還元が行われるため、生産・還元の周辺環境に対する影響を評価することが必要である。このような地熱貯留層を評価するための手法が考案されており、その一つに繰り返し重力変動観測がある。地表下における地熱流体の移動は地表面における重力変動として現れるため、地表面にて重力を観測することによって地熱貯留層における質量収支を評価することが可能となる。

滝上地熱地域は大分県南西部に位置し、1979年から出光地熱開発(株)により地熱資源の調査が行われ、1996年11月には出光大分地熱(株)と九州電力(株)により地熱発電所の運転が開始された。従来、滝上地熱地域においては種々の観測が行われており、発電所の運転開始前後の地熱貯留層内における質量変化を捉えることを目的として繰り返し相対重力変動観測が1991年以降継続して行われてきた。但し、本地域においては重力基準点を使用した相対重力観測のみが行われてきたため、重力基準点の変化についての評価がなされていなかった。そこで本研究では、2008年2月より Micro-g LaCoste 社製 A10 絶対重力計を導入し、還元地域 1 観測点 (T26A)、生産地域 3 観測点 (T13B, T22A, T27A) の合計 4 観測点で絶対重力測定を行った。A10 絶対重力計は、従来広く使われてきた Micro-g LaCoste 社製 FG-5 絶対重力計に比べてコンパクトとなり、バッテリーで駆動可能となっているため滝上地熱地域のような山間部にも搬入することができ、AC 電源がとれないような屋外の観測点でも絶対重力測定が可能ではあるが、一方で測定時間が1点当たり1時間程度かかることや重力計設置に必要な面積を考えると、観測の条件はまだまだ相対重力計に比べると厳しい。このような絶対重力計と相対重力計のそれぞれが持つ長所及び短所を考慮すると、それぞれの長所を生かした相互補完的な測定が効率の良い測定であると考えられる。そこで従来使用してきた SCINTREX 社製 CG-3, CG-3M および 2009 年度に導入した CG-5 相対重力計と A10 絶対重力計を併用したハイブリッド繰り返し重力変動観測を行い地熱流体の挙動を調べた。

滝上地熱地域は大分県南西部に位置し、1979年から出光地熱開発(株)により地熱資源の調査が行われ、1996年11月には出光大分地熱(株)と九州電力(株)により地熱発電所の運転が開始されている。繰り返し相対重力測定は発電所の運転開始前後の質量変化を捉えることを目的として1991年以降継続して行われている。その結果、生産地域において地熱流体の生産開始直後から2002年にかけて最大約90microgalの重力減少が観測され、地熱流体の還元地域においては還元開始直後最大約20microgalの急激な重力増加が見られ、その後あまり大きな変化が見られないという観測結果が得られた。2008年12月以降、絶対重力測定の結果として還元地域での重力はほぼ安定している一方、生産地域では2009年6月に最大約50microgalの重力増加が観測された後、2009年10月にはほぼ横ばいになっていることが分かった。このように生産地域と還元地域で地熱流体の生産・還元に伴う挙動が異なることが観測された。

2008年4月に滝上地熱発電所において定期メンテナンスが行われ、これに伴い地熱流体の生産・還元を停止していた期間の前後で絶対重力測定を行った結果、還元領域の絶対重力観測点(T26A)において還元停止に伴う還元領域からの質量流出を表わす重力変動を観測することができた。また、相対重力測定に使用していた基準点の重力変動を観測することを目的として実施しようとしたが、相対重力測定に使用していた基準点(T1)においてはA10絶対重力計を設置するための十分な面積を確保できなかったため、還元地域において得られた絶対重力値の変動を元にT1の重力変動を見積もった。その結果、10microgal程度の小さな変化となつたため、T1は繰り返し相対重力変動観測の重力基準点として適していると考えられる。

キーワード: 繰り返し重力観測, 絶対重力計, 相対重力計, 滝上地熱地域

Keywords: Repeat Gravity Measurement, Absolute Gravimeter, Relative Gravimeter, Takigami Geothermal Area

火山ガスブルーム中の水素の水素同位体比を指標に用いた阿蘇中岳噴気の遠隔温度推定

Remote temperature sensing on the fumarolic area in Aso Volcano using hydrogen isotopic compositions of plume H₂

神村 奏恵^{1*}, 角皆 潤¹, 安齋 沙耶¹, 中川 書子¹, 小松 大祐¹

Kanae Kamimura^{1*}, Urumu Tsunogai¹, Saya Anzai¹, Fumiko Nakagawa¹, Daisuke Komatsu¹

¹ 北海道大学大学院理学研究院

¹ Faculty of Science, Hokkaido University

【はじめに】

阿蘇火山中岳第1火口の南壁噴気地帯では、1993年から気象庁などによる赤外放射温度計を用いた表面温度測定がなされているが、その温度は最高でも500度程度である。また低い時には最高温度が100度を下回るなど、明瞭な時間変化も観測されている。一方、同噴気地帯では、2000年11月から赤熱現象が頻繁に観測されており、噴気温度は赤外放射温度計によって得られた表面温度よりかなり高温となっている可能性が指摘されている。実際一部の高解像度の赤外放射温度計を用いた観測で、最高800度程度の表面温度が観測されたこともあるが (Saito et al., 2005)、そこでもやはり明瞭な時間変化が観測されている (Furukawa, 2010)。他方、噴気ブルームのCO/CO₂組成やH₂/H₂O組成、SO₂/H₂S組成などの遠隔観測から、同噴気ガスは800度前後の平衡温度を持つことが明らかにされており (Mori and Notsu, 2008; Shinohara et al., 2010)、またこの平衡温度には目立った時間変化は認められていない。平衡温度は必ずしも噴気温度と一致するものではないが、一連の結果は相互に矛盾する可能性もあり、正確な噴気温度を求めるとともに、その時間変化の有無を確定する必要がある。そこで本研究グループでは、ブルーム中のH₂の水素同位体比から噴気中のH₂の水素同位体比を推定し、これを温度に換算することで噴気温度を遠隔から推定する水素同位体遠隔温度測定法 (HIReTS: Hydrogen Isotope Remote Temperature Sensing) を利用して、同噴気地帯の噴気温度の推定を試みたのでその結果を報告する。

【方法】

ブルーム試料の採取は赤熱が頻繁に観測された2010年3月と、赤熱が観測されなかった2010年11月の二回行った。いずれも噴気地帯まで直線で150-300m程度の火口壁の上から、各回10試料程度のブルーム試料を内容積300mLの真空ガラス容器に大気圧まで分取して持ち帰り、北海道大学の実験室で連続フロー型の質量分析システムを用いてH₂濃度および同位体組成を分析し、噴気ガス中のH₂の水素同位体比と噴気温度を推定した。天候に恵まれた2010年11月の観測では、なるべく南壁噴気地帯由来のブルームを採取するよう努力した。

【結果・考察】

噴気ブルームは、対流圏H₂のバックグラウンド濃度に近い0.54ppmvから最高2.3ppmvまで幅広く分布し、平均でも1.2ppmvと高いH₂濃度を示した。噴気ブルーム中のH₂濃度と水素同位体比の関係はいずれも明瞭な二成分混合線を示し、ここから推定した噴気ガス中のH₂の水素同位体比は、二度の観測でほぼ一致した (-172±16 per mil vs. VSMOW)。ここから島弧火山のマグマ水の値 (-24±8 per mil vs. VSMOW) を噴気ガス中のH₂Oの水素同位体組成として用いて推定した噴気温度は866±96度となった。同噴気は、赤外放射温度計を用いた観測表面温度の長期変化や赤熱の有無とは無関係に、噴気ガスの平衡温度に近い高温状態でほぼ一定温度を保っている可能性が高い。

キーワード: 火山ガス, ブルーム, 水素, 安定同位体, 同位体交換平衡, 遠隔温度測定

Keywords: fumarolic gases, volcanic plume, molecular hydrogen, stable isotopes, isotope exchange equilibrium, remote temperature sensing

SVC049-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

ライダーによる火山噴気の水蒸気・水滴量と温度のリモートセンシング Remote sensing of the temperature and the amount of water of volcanic fumarole gas using lidar technique

江尻 省^{1*}, 中村 卓司¹, 鈴木 秀彦¹, 阿保 真², 橋本 武志³, 寺田 暁彦⁴

Mitsumu Ejiri^{1*}, Takuji Nakamura¹, Hidehiko Suzuki¹, Makoto Abo², Takeshi Hashimoto³, Akihiko Terada⁴

¹ 国立極地研究所, ² 首都大学東京システムデザイン学部, ³ 北海道大学地震火山研究観測センター, ⁴ 東京工業大学火山流体研究センター

¹National Institute of Polar Research, ²Tokyo Metropolitan University, ³Hokkaido University, ⁴Tokyo Institute of Technology

火山から放出される火山ガスは、噴火の準備過程や活動静穏時にも地表に表れるが、その成分や噴出量・温度等から、地下のマグマの状態を推察することが出来る。従って、これらの変動をモニタリングすることは、火山活動度の推移予測につながる。特に、噴気の水蒸気（噴出後に冷えて水滴になったものを含む）量と温度は、噴気によるエネルギーフラックスを知る上で本質的である。ところが多くの場合、火山ガスは有毒で高温であるため、噴気口から火山ガスを直接採取したり、その温度を直接測定することにはかなりの危険が伴う。本研究では、大気研究の分野で培われてきた Lidar 技術を火山噴気のリモートセンシングに応用することを目的として、水蒸気や水滴によるラマン散乱を利用してこれらの量を測定する小型の水蒸気ラマンライダーとカリウム原子吸収フィルターを用いた温度測定のための屋外でも機能する小型の高スペクトル分解能ライダーを開発している。本講演では、開発中のこれらのライダーを紹介すると共に、2010年10月に草津・万代鉱の噴気を試験的に観測した結果について報告する。

キーワード: 水蒸気, 温度, 火山噴気, リモートセンシング, ライダー

Keywords: water vapor, temperature, volcanic fumarole gas, remote sensing, Lidar

SVC049-P10

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

熱収支法の地熱流量係数と各種微気象データとの関係

Relationship between the coefficient of geothermal flux for the heat balance technique and micrometeorological data

藤光 康宏^{1*}, 西島 潤¹, 江原 幸雄¹

Yasuhiro Fujimitsu^{1*}, Jun Nishijima¹, Sachio Ehara¹

¹九州大学大学院工学研究院

¹Faculty of Engineering, Kyushu Univ.

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、雲仙地熱地域内の旧八万地獄、大分県小松地獄、熊本県阿蘇火山、福岡県九州大学箱崎キャンパスで微気象の連続観測を行い、地熱流量係数が非常に激しい時間変化を示すことを明らかにした (藤光ほか, 2009)。

2005年に実施した阿蘇火山、及び2005年と2006年に実施した小松地獄での微気象観測では、それぞれ1分、10分、5秒間隔で連続測定を実施し、得られた観測データ及びそれから計算されるパラメータや地熱流量係数は、それぞれ5596セット、534セット、4621セットという、統計処理に供するために十分な量となった。観測された各項目のうち、地上高10, 50, 55, 150 cmの気温、10, 50, 150 cmの相対湿度、100 cmの風速と地熱流量係数との相関係数 (重相関R) を算出すると、気温、風速とは正の相関、相対湿度とは負の相関が見られるものの、最大でも2005年の小松地獄における地上高55 cmの気温との相関係数0.45であり、いずれもそれほど強い相関を示すものではなかった。また、これらの観測値から算出される各微気象パラメータ (水蒸気圧、空気密度、外部拡散係数、Bowen比の逆数) と地熱流量係数とのRを見ると、空気密度とは弱い負の相関を示すものの、水蒸気圧とは明確な相関が見られず、外部拡散係数及びBowen比の逆数とは正の相関を示すがその強弱は様々であった。しかしながら、いずれの観測においても外部拡散係数とBowen比の逆数との積と、地熱流量係数との間に極めて強い正の相関 ($R=0.97 \sim 0.99$) が示されたので、両者の回帰式を求めた。このことは、外部拡散係数とBowen比の逆数を決定するための微気象データを用い、これまでより単純化された手順により地熱流量係数を良い精度で算出できることを示している。

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2年の木戸俊晴氏には、現地観測やデータ解析などで多大な協力を頂いた。本研究は、科学研究費補助金 (基盤研究(B) 研究課題番号15360476「火山・地熱活動評価のための放熱量測定手法に関する研究」(研究代表者:藤光康宏))により進められた。

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.

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, 連続観測, 放熱量

Keywords: Heat balance technique, coefficient of geothermal flux, micrometeorology, continuous measurement, heat discharge rate