

霧島えびの高原硫黄山および新燃岳の火山ガスについて

Fumarolic gases sampled at Ebino-Iwoyama and Shinmoedake volcanoes, Kirishima, Japan

*大場 武¹、谷口 無我²、高木 朗充²

*Takeshi Ohba¹, Muga Yaguchi², Akimichi Takagi²

1. 東海大学理学部化学科、2. 気象庁気象研究所

1. Dep. Chem. School Sci. Tokai Univ., 2. Meteorol. Res. Inst. JMA

【序】

霧島えびの高原硫黄山では、2015年12月に山頂付近で噴気が出現し、その後、火山性微動が発生するなど、火山活動が活発化している。一方、霧島新燃岳では、2011年にマグマ噴火が発生したが、2017年1月の段階で、火山活動は低下している。火山ガスはマグマから脱ガスした成分を含んでおり、火山活動の評価に有用である。本研究では、2015年12月から2017年1月にかけて、硫黄山で噴気を繰り返し採取した。また2017年1月に新燃岳山頂火口付近で噴気を採取した。これらの試料の特徴を示し、火山活動との関係を考察する。

【噴気の採取】

硫黄山では、山頂付近の二か所で噴気を採取した。噴気の出口温度は水の沸点に近く、噴気の放出圧力は低い。噴気の放出に大きな音は伴わなかった。新燃岳では、山頂火口のリムの西側から外側に200m程度離れた斜面で噴気を採取した。硫黄山の噴気と同様に、噴気の出口温度は水の沸点に近く、噴気の放出圧力は低い。噴気の放出に大きな音は伴わなかった。

【結果・考察】

硫黄山

噴気のCO₂/H₂O比は2016年5月頃まで増加傾向にあったが、7月以降減少に転じた。CO₂はマグマ起源成分を代表するガス成分で、マグマ脱ガス活動が2016年7月以降低下しつつあることを示している。火山ガスに含まれるSO₂、H₂S、H₂、H₂Oの濃度から見かけ平衡温度（AET）を計算することができる。AETは、2015年12月に232℃であったが、2016年2月には313℃に上昇し、その後、高い値を保っている。噴気に含まれるH₂Oの酸素同位体比は、マグマ起源のH₂Oと地下水起源のH₂Oの寄与の比率を判断する有用な指標である。2015年12月に同位体比は低かったが、2016年2月に急激に上昇し、その後、緩やかな上昇が継続している。AETや同位体比の変化は、冷たく地下水に満たされた地下の領域に、深部からマグマ性ガスが侵入し、温度上昇と、地下水がマグマ起源H₂Oにより置き換えられる過程が進行していることを示している。

新燃岳

2017年1月に採取した噴気の化学組成で注目されるのは5～7%というCO₂の濃度の高さである。1991、1994年の観測では、CO₂濃度は1.4～1.9%に過ぎない。一方で、H₂Sの濃度は0.01～0.04%と1991、1994年の0.2～0.6%に比較して低い。噴気のSO₂濃度は、H₂Sよりも高く0.02%を示した。H₂Oの安定同位体比は1994年の噴気に比べて顕著に低く、地下水の付加に加え、気液分離の影響が推測される。新燃岳西側斜面割れ目噴気に見られる高濃度のCO₂は、2011年の噴火後も新燃岳のマグマは高濃度のCO₂を含み、脱ガス活動の継続を示している。

キーワード：霧島えびの高原硫黄山新燃岳、火山ガス、マグマ

Keywords: Kirishima Ebino Iwoyama Shinmoedake, Volcanic gas, magma

湯釜湖水のCl濃度・水安定同位体および精密震源分布から推定される草津白根火山の熱水系

A hydrothermal system of Kusatsu-Shirane volcano inferred from Cl concentrations and stable isotope ratios of Yugama crater lake water

桑原 知義¹、*寺田 暁彦¹、大場 武²、行竹 洋平³、神田 径¹、小川 康雄¹

Tomoyoshi Kuwahara¹, *Akihiko Terada¹, Takeshi Ohba², Yohei Yukutake³, Wataru Kanda¹, Yasuo Ogawa¹

1. 東京工業大学理学院火山流体研究センター、2. 東海大学理学部化学科、3. 神奈川県温泉地学研究所

1. Volcanic Fluid Research Center, School of Science, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of chemistry, School of Science, Tokai University, 3. Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

草津白根火山では山体各所に温泉湧出が認められる。これらの成因として、高温火山ガスが凝縮することで形成された共通の初期熱水が存在し、それらが様々な割合で希釈を受けたものと考えられている（山本・他、1997；平林、1999；Ohba et al., 2000）。一方で、草津白根火山の山頂付近に存在する湯釜火口湖については、湖底に存在する噴出口を経由して流体供給が行われているため、その流体の化学的特徴はよく分かっていない。湯釜湖水の採取は容易であるが、その化学成分は湖底から噴出する流体のそれとは異なる。なぜなら、湯釜火口湖は天水流入や湖底漏水、湖面からの蒸発などの物質移動が無視できないためである。

そこで本研究では、火口湖における質量収支とエネルギー収支を解くTerada et al. (2012) の数値モデルに、Cl濃度および水素・酸素同位体比の時間変化を記述した微分方程式を追加した。このモデルから得られた計算値と、実際の湖水の溶存成分濃度を比較することで、火口湖の湖底から噴出する流体の溶存成分濃度を推定した。また、同火山で湧出する他の温泉水と比較することで、火口湖へ供給される流体の起源を検討した。さらに、微小地震の精密震源決定結果に基づき、その流体輸送経路を検討した。

湖水解析の結果、静穏期の湖底噴出流体のCl濃度や水素・酸素の安定同位体比が推定された。水素同位体比とCl濃度の関係によれば、静穏期の湖底噴出流体はOhba et al. (2000) の天水および草津温泉などを結ぶ直線上に乗り、その延長に高温火山ガス（HTVG）領域が位置する。このことは、静穏期の湖底噴出流体は天水とHTVGの単純な混合で形成されており、草津温泉と同じ系統であることを示唆する。

草津白根火山では、2014年から活発な地震活動とともに地殻変動が観測され、湯釜火口湖の水温や溶存成分にも変化が認められた。同様の解析を行った結果、それ以前の静穏期に比較して、Cl濃度や安定同位体比が増加したことが明らかになった。この結果は、本活動期にHTVGの関与が増えたことを意味する。しかし、水素同位体比とCl濃度の関係は、天水とHTVGとの単純な混合では説明できない。この機構として、活動期においては地下浅部の熱水だまりにおいて気液分離が促進されたことや、従来とは異なる高温火山ガスが関与したことが考えられる。

そのような物理・化学過程が進行する場として、湯釜火口湖直下の不透水層の下に熱水だまりが考えられる。その位置を特定し、火山浅部の流体輸送経路を推定するため、Double Difference（DD）法による精密震源決定を行った。震源決定に用いた観測点は、東京工業大学が設置した湯釜火口湖の中心から約1 km以内に存在する6点で、うち3点はボアホール型である。解析対象は群発期を含む2013年8月から2015年3月までに発生した地震のうち、群発期とその前後の期間でマグニチュードがそれぞれ -1.4, -1.8以上あり、P波が5点以上で検出できた849個の地震である。本研究では、最初に桑原・他（2015）による同火山における最適地震波速度構造に基づいて震源を求めた。この震源を初期震源として、DD法による相対震源位置を再決定した。本研究では手動検測値による走時差データに加えて、波形相関を用いて位相差データを得た。波形相関による位相

差データはP波，S波でそれぞれ60万ペア，28万ペアである．

その結果，火山流体研究センターが従来まで定常作業として決めていた震源よりも著しく集中度を増し，特に震源が集中する領域がいくつか見られるなど組織化した震源分布が得られた．本研究で新しく得られた震源分布は，その発生パターンに基づき，震源を2つの領域に分けることができる．海拔 900 m 以深の深部領域では，2014年3月から同年8月まで地震が集中的に発生していた．一方，それ以浅の浅部領域の地震は，深部領域の活動が衰えた2014年8月以降も，ほぼ一様の割合で発生していた．

両領域で発生した地震の波形を検討すると，深部領域の方がより低周波であった．その理由は，深部領域で発生した地震波が熱水だまりを通過する際に，その高周波成分が減衰したためであろう．このことから，火口湖直下の熱水だまりは深部領域と浅部領域の境界付近に存在することが示唆される．また，深部領域が活発であった期間は，熱水だまり付近が膨張する地殻変動が顕著であった時期に一致していた．このことは，HTVGから熱水だまりへの流体供給が深部領域の地震活動を駆動していたことを示唆する．この結果は，活動期にHTVGの寄与が増大したとする湖水解析の解釈とも整合的である．一方，浅部領域での地震は膨張率が衰退してからも継続した．これは，熱水だまりから湯釜火口湖への流体漏出を反映したものと考えられる．

謝辞 地震観測システムの改善にあたり，気象庁の鬼澤真也博士，秋田大学の筒井智樹博士，宮町凜太郎氏のご支援を頂きました．ここに記して深く感謝します．

キーワード：草津白根火山、火口湖、塩化物イオン、水安定同位体比、微小地震

Keywords: Kusatsu-Shirane volcano, Crater lake, Chloride ion, Stable isotope ratio of water, Micro earthquake

十勝岳火山噴出物中の変質物からみた火山性流体－岩石反応

Volcanic fluids-rock interaction inferred from characteristics of altered minerals in volcanic products at Tokachidake volcano, central Hokkaido, Japan.

*井村 匠¹、大場 司¹、中川 光弘²

*Takumi Imura¹, Tsukasa Ohba¹, Mitsuhiro Nakagawa²

1. 秋田大学大学院国際資源学研究科、2. 北海道大学大学院理学院

1. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 2. Graduate School of Science, Hokkaido University

Altered volcanic products from Tokachidake were mineralogically observed to interpret interaction between volcanic fluids and rock, by using XRD, Raman spectroscopy, and SEM-EDS. We collected samples from the 4.7 ka pyroclastic flow deposit (Gfl-0), lower and upper units of the 3.3 ka pyroclastic flow deposit (Gfl-1 and Gfl-2), and the 1926AD eruption deposits consisting of the lower debris avalanche deposit (Unit A), the middle hydrothermal surge deposit (Unit B), and the upper debris avalanche deposit (Unit C). Each product contains unaltered ash grains consisting of primary igneous minerals and volcanic glass, weakly-altered ash grains in which unaltered part coexists with altered minerals, and intensely-altered ash grains consisting only of altered minerals. Individual ash grains have one of three types of altered mineral assemblages: silica mineral (silica type), silica mineral-alunite±kaolin (alunite type), and silica mineral-kaolin (kaolin mineral type). Most ash grains in Gfl-0 have undergone alteration that produces the alunite type. The samples from Gfl-1 contain abundant kaolin mineral type ash, subordinate alunite type ash, and minor unaltered ash grains. Alteration types in the Gfl-2 deposit are similar to those of Gfl-1, but unaltered ash grains are more abundant in Gfl-1. Most of the ash grains in the 1926AD products underwent alteration which produced mainly silica and alunite types. These mineral assemblages in every product indicate only acidic alteration. The presence of unaltered parts in the most abundant weakly-altered ash indicates rock alteration by a brief, incomplete chemical reaction. For such brief and incomplete reaction, the followed two fluid-rock interactions can be available. One is water-rock interaction which acid hydrothermal water reacts with rocks. Another is vapor-rock interaction which volcanic vapor separated from magma reacts with rocks. Thus, the presence of weakly-altered ash suggests that rock alteration occurred by the brief, incomplete fluid-rock interactions was undergoing an acid-hydrothermal system and/or a volcanic vapor-dominated system developed under the crater when a magma intrudes and degasses. This concluded that the conditions of rock alteration at Tokachidake volcano can be controlled by a magma intrusion.

キーワード：火山性流体、岩石－流体反応、変質鉱物

Keywords: Volcanic fluids, Fluid-Rock interaction, altered minerals

熱水挙動に関する地球化学計算

Geochemical simulation for hydrothermal activity

*柳澤 教雄¹

*Norio Yanagisawa¹

1. 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 地熱チーム

1. Geothermal Energy Team, Renewable Energy Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

地熱熱水系の脱ガスによる析出物の沈殿や、流体の多様性、変化を考察するにあたり、Solveqなどの汎用地球化学計算ソフトでの解析は重要である。今回は下記の詳細を示した山形県肘折地域での高温岩体システムとCO₂との関連のほか、いくつかの事例を紹介する。

肘折高温岩体において、スケールの主成分であるカルサイトの地上配管での析出プロセスをSOLVEQ-CHILLERによって求めたところ、流路の130℃付近では、ほぼ平衡であったCalciteが、CO₂の脱ガスにより、急速に過飽和の状況になり、また同時にpHも上昇して、析出が促進されたことが示された。ここで、HDR-2aにおいて離脱したCO₂が0.143tonであるのに対し、calciteとしては1.114tonのCO₂が固定されたことから、高Ca濃度の流体のCO₂固定ポテンシャルは高く、一部のCO₂を離脱させることでCO₂の固定を実現できると考えられる。

さらに高温岩体発電システムへのCO₂地中貯留を想定して、カルサイトの相平衡計算を行ったところ、CO₂を1%注入すると、50℃でpH4まで低下し、カルサイトが溶けやすい状況になることが示された。また、CO₂の注入量の増加に従い、カルサイトに対し不飽和になるが、200℃以上の高温では0.01%注入した場合の方が、注入しない場合よりもpHが高くカルサイトの過飽和度も高くなった。

このような相平衡バランスは通常の火山の熱水系でもおこることが想定されるのでガスと火山析出物の関連についての考察は重要であると考えられる。

キーワード：地球化学計算、化学組成、脱ガス

Keywords: geochemical simulation, chemical composition, degas

Plumbing the depths of Yellowstone' s hydrothermal system: preliminary results from a helicopter magnetic and electromagnetic survey

*Carol Finn¹, Paul A Bedrosian¹, W. Steven Holbrook², Esben Auken³, Jacob Lowenstern¹, Shaul Hurwitz¹, Kenneth W Simms², Bradley Carr², Kira Dickey²

1. USGS, 2. UWYO, 3. AU

Although Yellowstone' s iconic hydrothermal systems are well mapped at the surface, their groundwater flow systems are almost completely unknown. In order to track the geophysical signatures of geysers, hot springs, mud pots, steam vents, and hydrothermal explosion craters at depths to hundreds of meters, we collected 4900 line-km of helicopter electromagnetic and magnetic (HEM) data. The data cover significant portions of the caldera including a majority of the known thermal areas. HEM data constrain electrical resistivity which is sensitive to groundwater salinity and temperature, phase distribution (liquid-vapor), and clay formed during chemical alteration of rocks. The magnetic data are sensitive to variations in the magnetization of lava flows, faults and hydrothermal alteration. The combination of electromagnetic and magnetic data is ideal for mapping zones of cold fresh water, hot saline water, steam, clay, and altered and unaltered rock. Preliminary inversion of the HEM data indicates low resistivity directly beneath Yellowstone Lake as well as beneath most of the area with mapped hydrothermally altered rocks; the majority of these areas are also associated with magnetic lows. In the northern part of Yellowstone Lake, low resistivity zones intersect with the lake bottom in close correspondence with mapped vents, fractures and hydrothermal explosion craters and are also associated with magnetic lows. Coincident resistivity and magnetic lows unassociated with mapped alteration occur, for example, along the southeast edge of the Mallard Lake dome and along the northeastern edge of Sour Creek Dome, suggesting the presence of buried alteration. Low resistivities unassociated with magnetic lows may relate to hot and/or saline groundwater, to which the magnetic data are insensitive. Resistivity and magnetic lows follow interpreted caldera boundaries in places, yet deviate in others. In the Norris-Mammoth Corridor, NNE-SSW trending linear resistivity and magnetic lows align with mapped faults. This pattern of coincident resistivity and magnetic lows may reflect fractures along which water is flowing. In addition, low resistivities underlie highly resistive and magnetic rhyolite flows, and in several cases, suggest interconnection between the different thermal areas.

Keywords: Yellowstone, geophysics, hydrothermal, electromagnetic, magnetic

Reactive transport modeling in peralkaline salic volcanic complex, caldera-hosted geothermal system; a case of Menengai volcano, Kenya

*ISAAC KIPRONO KANDA¹, Yasuhiro Fujimitsu¹

1. Kyushu Univ.

Menengai geothermal area is one of high temperature caldera-hosted geothermal systems located in central part of Kenyan rift valley. The caldera together with local rift floor tectono-volcanic axes is considered essential in controlling the local movement of geothermal fluids in the area. Fluid-rock chemical interaction has gained more acceptance in recent years in geothermal application and there has been a growing particular attention in the coupled processes involved in reactive chemical transport in porous media. The current study attempts to develop a 1-D reactive transport model to assess fluid flow conduits and fluid interaction processes of Menengai geothermal field in Kenya. The model incorporates geothermal fluids, modeled from wellhead discharge chemistry to obtain the initial aquifer fluids feeding the reservoir. The resultant fluid was then injected into the model along an ascending porous media as the 'parent' fluid. Water chemical data from adjacent water borehole was included as the initial media fluid while pressure and temperature information are taken from well downhole measurements. The reservoir rocks are predominantly peralkaline, silica-oversaturated trachytes, with few lenses of tuffs, rhyolite, and basalt, thus, the initial mineral assemblage of the model taken to be of trachytic composition. The model was calibrated using observed field hydrothermal minerals. The simulation was performed using the parallelized version of TOUGHREACT v3 code that employs a sequential iteration approach that solves the solute transport and reaction equations separately. Flow and transport are based on space discretization by means of integral finite differences. An implicit time-weighting scheme is used for individual components of the model, consisting of flow, transport, and kinetic geochemical reaction. This study demonstrates the relationship between fluid flow, chemical reactions, and mass transport in a peralkaline salic volcanic complex, caldera-hosted geothermal system with a view of explaining the occurrence of hydrothermal minerals in up-flow zones in such systems.

Keywords: Menengai volcano, reactive transport, geochemical modeling, fluid-rock interaction, geothermal fluid

気象庁火山ガス現地観測データの整理 1960年代–2001年

Review of volcanic-gas composition data in the JMA field survey reports, the 1960s –2001

*高木 朗充¹、福井 敬一¹、谷口 無我¹

*Akimichi Takagi¹, Keiichi Fukui¹, Muga Yaguchi¹

1. 気象研究所火山研究部

1. Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

1960年～2000年頃まで実施されていた、気象庁の火山ガス現地観測のデータについてとりまとめつつあり、その結果の一部を報告する。

気象庁では1960年代から全国の火山で火山ガス組成の観測を開始した。おおむね1年に3回程度の頻度で、各火山の噴気地域において火山ガスを採取し、現地で検知管法により二酸化炭素（CO₂）、二酸化硫黄（SO₂）および硫化水素（H₂S）の濃度を測定した。このガス観測は、全国に火山監視・情報センターが整備され火山観測業務の整理が行われた2001年まで実施されていた。火山ガス濃度の測定結果はその他の現地観測項目とともに、観測を実施した測候所や気象台が火山現地観測報告としてとりまとめ、その都度管区気象台および気象庁本庁に報告されていたが、全国の火山を網羅的にとりまとめられてはいなかった。今回、現地観測報告を過去にさかのぼりスキャナで取り込み、火山ガスの測定値について拾い出してとりまとめた。

濃度の測定は、噴気孔から外気が混入しないように導管からシリンジで火山ガスを採取し、3種の成分を北川式検知管（光明理化学）に通して行う。水蒸気を除けば、この3種の成分で火山ガスの100%近くを構成する。現地観測報告には、この3種のガス濃度が記載されている。

火山ガスの成分比によって火山活動の評価が可能な場合があることが報告されている（たとえば平林, 1993）。しかし、当時の気象庁の火山ガス観測では、各ガス成分濃度の絶対値に注目することはあっても、成分比で評価することは多くなかった。そこでとりまとめたデータから、ガス成分比に着目して時間変化を見てみた。その結果、いくつかの火山では経年変化や、火山活動に応じた変化が見られることがわかった。

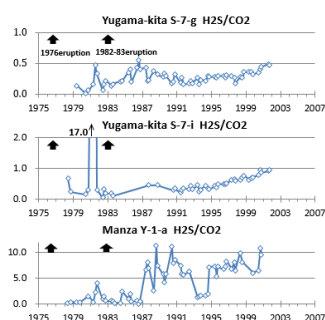
草津白根山では1976年噴火の前年に、周辺の噴気孔で採取された火山ガスのH₂S/(SO₂+H₂S)比が増大した後、急減し噴火に至ったことが知られている（Ossaka, 1980）。今回の調査では、草津白根山の1982～1983年噴火の前年にも、周辺の4箇所の噴気孔でH₂S/CO₂比が増大した後、急減していたことがわかった。

当時行われたガス採取・測定の精度については議論が残る部分もあるが、このような噴火前の前駆的な事例が残っていたことは、気象庁がふたたび火山ガス観測に取り組もうとしていく上では重要である。また、これまで知られていない新たな事例が見つかる可能性があり、引き続き調査を進めていく。

発表では、このほかのいくつかの火山でとりまとめた結果を紹介する。

キーワード：火山ガス、成分比、草津白根山、気象庁

Keywords: volcanic gas, composition ratio, Mt. Kusatsushirane, Japan Meteorological Agency



火口周辺の土壌から放出される気体水銀量の計測

Measurements of gaseous elemental mercury discharge rates from soil around active craters

*水谷 紀章¹、寺田 暁彦¹、野田 徹郎

*Noriaki Mizutani¹, Akihiko Terada¹, Testuro Noda

1. 東京工業大学理学院火山流体研究センター

1. Volcanic Fluid Research Center, School of Science, Tokyo Institute of Technology

土壌から揮発する水銀は、地下浅部における高温領域を反映する指標として知られる。一般に、水銀は温泉水や熱水変質鉱物に特徴的に含まれており、揮発性が高いことや、温度変化に対して揮発量が顕著に変化すること、環境中の気体水銀濃度が十分に低いこと等の特徴を有している。したがって、土壌から揮発してくる水銀量の多少は、地中に伏在している熱活動を検出する手掛かりとなる。

近年、野外で使用可能な小型・可般の水銀濃度測定装置が開発され、火山地域での水銀測定が行われている（例えばTassi et al., 2016）。本研究では、火口周辺において土壌から揮発している気体水銀濃度（以下、水銀濃度）を計測し、その空間分布を明らかにしつつ、測定の諸問題を検討した。用いた観測システムは NIC 社の小型気体水銀濃度測定装置 EMP-2、金アマルガム捕集ユニットおよび気体を捕集するポリプロピレン製のチャンバー（野田・他、2012）である。本システムでは、金アマルガム法に基づく濃縮技術を用いるため、わが国の標準的な大気中における水銀濃度に相当する 2 ng/m^3 前後の低い水銀濃度であっても検出できる。

本装置は水銀濃度を計測するものであり、その値と土壌から放出される水銀放出率との関係は自明ではない。そこで、本測定システムを定式化して数値的に検討し、水銀質量 flux を推定する方法を考察した。計算により、地表面から放出される水銀質量 flux を反映した水銀濃度を測定するための諸条件が明らかとなった。例えば、火口からやや離れた環境を想定した場合、測定される水銀濃度が十分に安定するまでに10分程度の時間が必要である。これは、経験的に知られている知見によく一致する。このように得られた水銀濃度に対して、測定装置によって決まるパラメータを乗じることで、その地点における水銀放質量 flux を算出可能なことが示された。また、土壌ガスをセンサへ導入するための装置の形状を変更することで、より短時間で効率よい測定が可能となることも示唆された。

本装置を用いて、箱根火山大涌谷周辺の約40箇所において水銀濃度測定を行なった。箱根火山を選定したのは、同火山は2015年6月に噴火した活動的火山であることや、これまでの研究により、温泉流動や地下構造が比較的良好にわかっている等の理由に基づく。2016年9月の測定では、気体水銀濃度は場所により2桁の範囲で変動が認められた。また、先行研究と同様に、測定環境温度に対する水銀濃度の依存性が認められた。

経験的關係に基づき温度補正を行った結果、大涌谷中心からの距離に従い、水銀放出率が減少していく様子が確認できた。大涌谷から 1.5 ～ 2 km 程度離れると、水銀放出率はほぼ一定の値で推移するようになる。この値は、箱根地域におけるバックグラウンドレベルの水銀放出率に対応すると思われる。水銀放出率の分布を地図上で検討すると、噴気など地表面に熱活動が認められないにも関わらず、水銀濃度がやや高い領域が、例えば大涌谷の北東部に見出された。この領域は、大涌谷から見て山麓方向に相当する。このように高い水銀濃度が生じる原因として、本地域に伏在する熱水の存在や、あるいは大涌谷噴気地から流れてきた火山ガス中に含まれる水銀の沈着の影響などが考えられる。

本研究には、独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金、研究課題番号 15K01247（研究代表者：寺田

暁彦)を用いた。

キーワード：気体水銀、熱水系、箱根火山

Keywords: Gaseous elemental mercury, Hydrothermal system, Hakone volcano

火山性熱水を対象とした溶存ふっ物イオンの簡易定量法の検討

Simplified determination method of fluoride ion in volcanic thermal water with an ion selective electrode

*秋元 和輝¹、大井 隆夫¹、木川田 喜一¹

*KAZUKI AKIMOTO¹, Takao Oi¹, Yoshikazu Kikawada¹

1. 上智大学

1. Sophia University

【背景・目的】

活動的火山湖の化学組成、特にマグマ揮発性物質として直接的に供給されるハロゲンや硫黄化学種の溶存濃度とその構成比は火山の活動度を推察するための良い指標となる。その中でふっ素（ふっ化水素）は、マグマより放出される揮発性物質の中で特にその流路に存在する岩石に対して高い反応性を示し、低温で岩石に固定されやすいことから¹⁾、火山活動が低調なときは岩石に固定されるため、地表に現れた火山ガス噴気や熱水中に大きな濃度で検出されることはないが、火山活動の活発化に伴い火山ガス放出量が増加すると岩石などに固定しきれないふっ化水素あるいはふっ化物イオンが検出されるようになる。そのため、火山湖水をはじめ、火山性熱水のふっ化物イオン濃度は火山活動モニタリングにおいて特に重要である。しかし、ふっ化物イオンは試料水中に存在する共存イオンと錯形成するため遊離ふっ素として定量することが難しく、正しい定量値を得るためには、分析前処理として蒸留操作が必要となる。そこで本研究では火山性熱水、特に火山湖水を対象に、蒸留操作を必要としないふっ化物イオンの簡易定量法について検討を行った。

【実験】

イオン選択性電極(ISE)を用いて酸性火山性熱水中のフッ化物イオンを蒸留操作なしに直接定量することを目指し、フッ化物イオンと錯形成して定量を阻害する共存イオンの化学的マスクング手法の検討を行った。具体的には、ISE法で用いる全イオン強度調整剤(TISAB)に加えるマスクング剤(錯形成剤)の組み合わせを検討した。試験用の試料としては草津白根山の火山湖湯釜の湖水を用いた。なお、複雑な化学組成を有する試料水の場合、ISEを用いた定量法では既知量添加法の一つであるグランプロット法の適用が適するとの報告があるため²⁾、検量線法とグランプロット法の両方について検討した。

【結果と考察】

TISABに加えるマスクング剤によって得られる定量値は大きく異なるものであったが、いくつかのマスクング剤において、鉱泉分析法指針に基づいた蒸留処理試料のイオンクロマトグラフィーでの定量値と近い妥当な値を得ることができた。特に良好な結果を与えたのがCDTA (Cyclohexanediaminetetraacetic acid)-クエン酸ナトリウムの組み合わせ³⁾とトリスヒドロキシアミノメタン(Tris(hydroxymethyl)aminomethane)-酒石酸ナトリウムの組み合わせ⁴⁾であった。また、検量線法とグランプロット法とを比べると、グランプロット法ではしばしば定量値に大きなばらつきを与えるのに対し、検量線法ではばらつきが小さく良い再現性が得られた。このため、TISABの組成を最適化することで特にグランプロット法を適用する必要もなく、火山性熱水のふっ化物イオンの直接定量が可能であると考えられる。

【参考文献】

1) 野上健治, 井口正人, 石原和弘, 平林順一, 味喜大介: 火山噴火様式と火山噴出物中の揮発性成分の挙動に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第47号B, 平成16年4月, p. 1-2

2) 山田武, 山田悦, 佐藤昌憲: イオン電極法による廃水中のフッ化物イオンの簡易定量, 分析化学, 37, p. T61-T65, 1988

3) Peters MA, Ladd DM: Determination of fluoride in oxides with fluoride-ion activity electrode, Talanta 18, p. 655-664, 1971

4) Rakesh Ranjan, Amita Ranjan: Fluoride Toxicity in Animals, SpringerBriefs in Animal Sciences, Springer, p. 101- 105, 2015

キーワード：イオン選択性電極、ふっ化物イオン、地熱流体、火山活動モニタリング、火口湖

Keywords: ion selective electrode, fluoride ion, geothermal fluid, volcanic activity monitoring, crater lake

吾妻山一切経に噴出する火山ガスの地球化学的特徴

Geochemical characteristics of volcanic gases at Issaikyo, Azuma volcano, Japan

*谷口 無我¹、大場 武²、高木 朗充¹、福井 敬一¹

*Muga Yaguchi¹, Takeshi Ohba², Akimichi Takagi¹, Keiichi Fukui¹

1. 気象庁気象研究所、2. 東海大学理学部化学科

1. Meteorological Research Institute, JMA, 2. Department of Chemistry, School of Science, Tokai University

吾妻山は東吾妻、中吾妻、西吾妻の3つの成層火山体から構成される火山群であり、東吾妻火山の一切経山では現在も噴気活動が認められる(長谷川ほか, 2011). 現在、最も活発な噴気活動を継続している一切経山南斜面の大穴火口では、最後の噴火が発生した1977~1979年の活動期以降、2008年に再び噴気活動が始まった。2016年、筆者らは当該の火山活動の評価に資する基礎データの蓄積を目的として、大穴火口およびその周辺地域に噴出する火山ガスの化学組成、および凝縮水の水素・酸素安定同位体比の分析に着手した。

火山ガスの採取は2016年7月に一切経山南斜面の大穴火口内の3地点(東から、W3b, W5, W6b)、同年10月にはW3b, W5, W6bに加えて大穴火口の南約300m地点(W10)の噴気孔群で実施した。火山ガスの採取にあたっては、噴気孔に空気の混入を避けるようにチタン製の管を挿入し、これに接続したゴム管を通じて5M-KOH水溶液を封入した真空ガラス瓶に火山ガスを導入したほか(Giggenbach and Goguel, 1989)、火山ガス中の SO_2 と H_2S の比を決定するために現地では塩酸性とした KIO_3 - KI 溶液と火山ガスを反応させて回収した(小沢, 1968)。これらのほかに、水素および酸素安定同位体比(δD および $\delta^{18}\text{O}$)分析に供するために火山ガスを水冷したガラス管に導入して凝縮水を回収した。火山ガスの化学組成の分析は主に小沢(1968)の手法に従い、凝縮水の δD および $\delta^{18}\text{O}$ 値の分析にはキャピティリングダウン分光分析法を使用した。

現地で測定した火山ガスの出口温度は、 W3b , $\text{W10} < \text{W5} < \text{W6b}$ であり、4地点を調査した2016年10月時点では、 $\text{W3b}=94.7^\circ\text{C}$, $\text{W5}=101.8^\circ\text{C}$, $\text{W6b}=136.8^\circ\text{C}$, $\text{W10}=95.4^\circ\text{C}$ であった。採取した火山ガスに含まれる N_2 , Ar , He の三成分の相対組成は、安山岩質マグマに特有な火山ガスと空気、あるいは空気に飽和した地下水との混合領域にあり、当該火山ガスがそれらの混合から成ることが分かる(Fig. 1)。火山ガスの凝縮水の δD と $\delta^{18}\text{O}$ 値は大局的に高温の火山ガスで高く、低温の火山ガスで低い傾向を示し、火山ガスの出口温度が現地標高の沸点に近い W3b , W10 の火山ガスは天水線(GMWL: $\delta\text{D} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$; Craig, 1961)よりも低 $\delta^{18}\text{O}$ 側に位置する(Fig. 2)。また、4地点の火山ガスの $\delta\text{D} \cdot \delta^{18}\text{O}$ 値から計算される直線の傾きは3.6と小さく、これらの火山ガスは地下水のとの混合のほかに、気液分離の影響を受けていると考えられる。本発表では、上記の他にこれまでの調査で得られた分析結果を公表するとともに、それらに基づいた当該火山ガスの基本的な地球化学的特徴を示す。

キーワード：吾妻山、火山ガス、化学組成、水素・酸素安定同位体比

Keywords: Azuma volcano, volcanic gas, chemical composition, $\delta\text{D} \cdot \delta^{18}\text{O}$

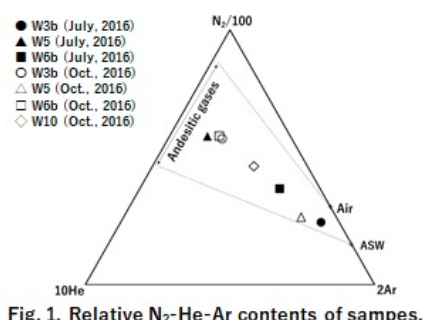


Fig. 1. Relative N_2 -He-Ar contents of samples.

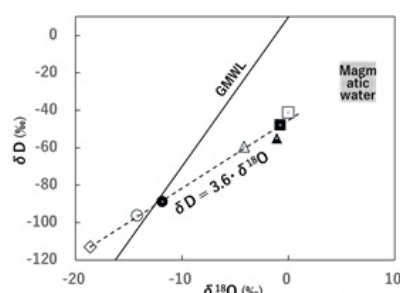


Fig. 2. δD vs. $\delta^{18}\text{O}$ diagram of condensed water of samples.

草津白根山火口湖「湯釜」のポリチオン酸濃度の簡易見積法の再検討 Simple estimation method for concentration of polythionate ions in Yugama, a crater lake of Kusatsu-Shirane volcano

*濱田 修平¹、平山 愉子¹、大井 隆夫¹、木川田 喜一¹

*Shuhei Hamada¹, Yuko Hirayama¹, Takao Oi¹, Yoshikazu Kikawada¹

1. 上智大学

1. Sophia University

【背景・目的】

草津白根山は群馬県北西部、長野県との県境に位置する活火山であり、その山頂火口湖である湯釜の湖水には中間酸化状態の溶存硫黄化学種であるポリチオン酸イオンの存在が知られている。このポリチオン酸イオン濃度の変動は火山活動に連動することが指摘されており、ポリチオン酸イオン濃度を指標とする火山噴火予知が試みられてきた¹⁾。しかしポリチオン酸イオンは不安定で、信頼性の高い定量値を得るには高度な技術あるいは専用の分析装置が求められる。そのため発表者らは、イオンクロマトグラフィーで求めた湯釜湖水中の SO_4^{2-} 濃度と、湖水を酸化処理することにより溶存硫黄化学種全てを SO_4^{2-} にまで酸化した後に重量法によって求めた全硫酸濃度との差からポリチオン酸イオン溶存量を見積る簡易法を提案した²⁾。本研究では、従来の重量法に代えてICP発光分析法を用いる、より簡便な全硫酸濃度定量法について検討を行った。

【試料】

湯釜湖水試料は、湯釜南西部の観測定点であるU-1において2016年に採水されたものを用いた。

【分析法】

同一の湯釜湖水試料の全硫黄濃度について重量法とICP発光分析法とで繰り返し分析し、その分析値の妥当性を検証した。具体的な分析手順は以下の通りである。

重量法：試料を煮沸することで気体として含まれる硫黄化学種（主として硫化水素）を追出し、臭素水を加えて溶存硫黄をすべて硫酸イオンまで酸化させた。そこに塩化バリウム水溶液を加え、得られた硫酸バリウムの沈殿の質量から全硫酸イオン濃度を求めた。

ICP発光分光分析法：前処理として重量法と同様に煮沸した後、定容・希釈し、ICP発光分光分析計（ICP-AES：SPS3520UV-DD）にて硫黄濃度を定量した。測定は182.036 nmの真空紫外波長を用いるので、分光器内を真空にして行った。得られた硫黄濃度を硫酸イオン濃度に換算することで全硫酸イオン濃度とした。

【結果・考察】

同一試料を用いた場合、重量法での定量値は 5349 ± 34 （信頼限界95 %, $n=3$ ）mg/Lであったのに対して、ICP発光分光分析法での定量値は 5260 ± 82 （信頼限界95 %, $n=5$ ）mg/Lとなり、ICP-AESによる定量値の方がややばらつきが大きいものの、両手法の定量値は実験誤差範囲内で一致した。また、同一試料においてそれぞれ独立に前処理を行った3つの分析試料のICP発光分光分析法での定量値は 5301 ± 82 （信頼限界95 %, $n=3$ ）mg/Lとなり、ひとつの試料の繰り返し分析におけるばらつきと同程度であった。

また、2016年4月～2016年7月の8つのサンプルの重量法とICP発光分光分析法による全硫酸濃度の定量結果は、概ね一致した。このことから、重量法に代えてICP発光分光分析法によってより簡便に全硫酸濃度を定量することが可能であり、重量法を用いるよりも短時間でポリチオン酸濃度を見積もることが可能となった。ただし、本研究で用いたICP-AESが真空紫外領域での測定に優れていたということが、安定した測定の一助となったと考えられ、ICP-AESによる測定精度は装置性能に大きく依存する可能性がある。

1) B. TAKANO, K. WATANUKI: Monitoring of volcanic eruptions at Yugama crater lake by aqueous sulfur oxyanions, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **40**, 71-87 (1990).

2) 木川田 喜一, 福原 英城, 野村 佐和子, 城川 論子, 井上 綾, 大井 隆夫, 小坂 丈予: 草津白根山火口湖 “湯

釜”における全硫黄化学種濃度の定量とポリチオン酸イオン溶存量の推定, 火山, **51**, 135-140(2006).

キーワード：ポリチオン酸、硫黄化学種、火口湖、湖底噴気、湯釜

Keywords: Polythionate ions, Sulfur species, Crater lake, Aqueous fumaroles, Yugama

近年の草津白根山の活動に伴う火口湖「湯釜」における溶存硫黄化学種濃度の変化

Changes in the contents of sulfur species in Yugama, an active crater lake of Kusatsu-Shirane volcano, connected with its recent volcanic activity

*木川田 喜一¹、平山 愉子²、濱田 修平²

*Yoshikazu Kikawada¹, Yuko Hirayama², Shuhei Hamada²

1. 上智大学理工学部、2. 上智大学

1. Faculty of Science and Technology, Sophia University, 2. Sophia University

The Kusatsu-Shirane volcano is one of the most famous active volcanoes in Japan. Yugama, an active crater lake located on the pyroclastic cone of the volcano, is filled with high acidity water due to the injection of hydrothermal fluids from subaqueous fumaroles. Yugama has been the center of recent volcanic activity. We have been monitoring the water chemistry of Yugama over the past five decades.

The volcano has been in an active period since the late 2000s, and the activity has increased further since March 2014. In 2014, an earthquake swarm was observed around Yugama crater with inflation at shallow depth beneath Yugama. The concentrations of chloride ion and dissolved sulfur species in the Yugama water started increasing sharply in September 2014, immediately after the end of the earthquake swarm. We estimated the total amount of polythionate ions in the Yugama water as the difference between the sulfate ion content determined by ion chromatography and total sulfur content determined by ICP-OES. Our analytical results reveal that polythionate ions, which had not been observed for few years, have appeared with remarkable amounts in the Yugama water in September 2014, and their total amount has drastically increased to 3000 mg/L on a sulfate basis within seven months. Resultantly, more than a half amount of dissolved sulfur in Yugama has existed as polythionate species since mid-2015. This high proportion of polythionate species to the total sulfur species in Yugama is comparable to that observed in the 1970s before the 1982-1983 phreatic eruptions at Yugama. The changes in ORP in the Yugama water in and after 2014 suggest that increasing of $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ ratio in the volcanic gasses from the subaqueous fumaroles induce a production of polythionate species. The chemistry of polythionates in the Yugama water may be more complex than we thought.

キーワード：草津白根山、湯釜、火口湖、湖底噴気、ポリチオン酸、硫黄オキシアニオン

Keywords: Kusatsu-Shirane volcano, Yugama, crater lake, subaqueous fumarole, polythionate, sulfur oxyanion

The chemical composition and isotopic ratios of the volcanic gases from the Jigokudani Valley, Tateyama Volcano

*関 香織¹、大場 武²、角野 浩史³、神田 径¹、谷口 無我⁴、丹保 俊哉⁵

*Kaori Seki¹, Takeshi Ohba², Hirochika Sumino³, Wataru Kanda¹, Muga Yaguchi⁴, Toshiya Tanbo⁵

1. 東京工業大学 理学院 地球惑星科学系、2. 東海大学理学部化学科、3. 東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻相関基礎科学系、4. 気象庁気象研究所、5. 富山県立山カルデラ砂防博物館

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of chemistry, School of Science, Tokia University, 3. Department of Basic Science, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, 4. Meteorological Research Institute, JMA, 5. Tateyama Caldera Sabo Museum, Toyama Prefecture

Tateyama Volcano located in the northern part of the Hida Mountains has an active geothermal field called the Jigokudani Valley (JV). The recent state of the hydrothermal system in the JV was clarified by the resistivity structure and the geochemical analyses of hot-spring waters (Seki et al., 2016), but comprehensive studies on volcanic gases have not been conducted for a long time. The last study was reported by Mizutani et al. (2000), in which the geochemical analyses were performed for the fumarolic gases sampled in 1991. The chemical and isotopic compositions of fumarolic gases are sensitive to changes in the volcanic activity because of the high mobility within a pathway from deep-seated magma to the ground surface. Therefore, it is necessary to examine the geochemistry of volcanic gases for a better understanding of the whole magma-hydrothermal system in addition to the hot-spring water analysis. Fumarolic gases in the JV were sampled at 7 sites in 2016, and the chemical compositions and the isotopic ratios of water and helium were analyzed in order to clarify the magmatic hydrothermal system of JV. The measured fumarolic temperatures showed from 91.6 to 113.6 °C, most of which are higher than the boiling point of water in this area. The isotopic ratios of waters from the fumarolic gases showed the values lighter than hot-spring waters. We found that the fumarolic gases containing HCl were discharged only in the highly active geothermal area of the JV, where the compositions of the hot-spring waters showed high Cl⁻ concentration (~20,000 ppm). In addition, the fumarolic gases showing high H₂S/SO₂ ratios were sampled in the areas where the hot-spring waters were mainly composed of SO₄²⁻ containing almost no Cl⁻, which indicates that SO₄²⁻ in the SO₄-type hot spring is derived from the oxidation of H₂S. ³He/⁴He ratios of the volcanic gases from JV were from 6.8 to 7.7 R_A, which indicates that He was derived from magmatic origin. The ³He/⁴He variation is predominantly controlled by the different degree of atmospheric contamination to the common magmatic He component, as the air-corrected ³He/⁴He ratios based on ⁴He/²⁰Ne ratios are almost constant (7.5 ± 0.2 R_A). In the presentation, we will report the further results of analysis of volcanic gases and the model of the hydrothermal system beneath the JV will be updated.

キーワード：立山火山、熱水系、火山ガス、安定同位体

Keywords: Tateyama Volcano, Hydrothermal system, Fumarolic gases, Stable isotope ratio

Flux measurements of carbon dioxide at Beppu geothermal area using a portable non-dispersive infrared (NDIR) gas analyzer

*小川 幸輝¹、柴田 智郎¹、三島 壮智¹、竹村 恵二¹、大沢 信二¹

*Koki Ogawa¹, Tomo Shibata¹, Taketoshi Mishima¹, Keiji Takemura¹, Shinji Ohsawa¹

1. 京都大学

1. Kyoto University

Degassing mechanisms play an important role for the Earth environment, since the current atmosphere and ocean have formed by release of volatile components from the solid Earth. The mechanisms may be catastrophic or continuous events; the former is a sudden release in a single event and the other is a process occurring throughout geological history of the Earth. A representative continuous degassing is volcanic activities. In the volcanic area, volatile components are released not only from the fumaroles but from the mountain body. Carbon dioxide (CO₂) is one of the volatile components, and its release is affected by the volcanic activity (Hernandez et al., 2001). Degassing mechanisms of soil gases are dependent on underground structures such as geological strata, faults and fissures. Active faults can be good passageways (Dogan et al., 2009). Here, we have measured CO₂ flux in the Beppu geothermal area, and reveal the degassing mechanisms of CO₂ related to volcanic activities.

Beppu geothermal area located on central Kyushu direction, Japan is situated in graben zone formed by tensional stress, and is generated by western active volcanoes of Mt. Tsurumi and Garan. These volcanoes supply geothermal fluids on the area. Allis and Yusa (1989) measured the temperature under 100 m depth in the area, and revealed two parts with high temperature. The high temperature areas are located along the faults of northern and southern parts. Mine (2006) measured CO₂ flux in the northern part and showed high values along the Kannawa fault. Here, we tried to measure CO₂ flux in the southern part around the Horita and Asamigawa faults.

We used a chamber method which is measurement of concentration rate of CO₂ in the vessel covered on the ground, and estimated CO₂ flux at about 200 sites. The obtained CO₂ fluxes range in 0.07-66.1 g/m²-day. High values of 2.71-66.1 g/m²-day are observed on hot spring flows underground reported by Yusa and Ohsawa (2000), suggesting that CO₂ gases are released from hot spring flows underground and raise to ground surface.

References

Allis R.G. and Yusa Y. (1989) Fluid flow processes in the Beppu geothermal system, Japan. *Geothermics*, 18, 743-759.

Dogan T. et al., (2009) Adjacent releases of mantle helium and soil CO₂ from active faults: Observations from the Marmara region of the North Anatolian Fault zone, Turkey. *G3*, 10, Q11009.

Hernandez P. A. et al., (2001) Carbon Dioxide Degassing by Advective Flow from Usu Volcano, Japan. Science, 292, 83-86.

Mine T. (2006) A study on the appreciation of geothermal activities, using soil-CO₂ flux profiles: A case study on Beppu Geothermal Area, Central Kyushu, Japan. 2006 Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University Graduate School of Science, Geophysics Master thesis collection II, 1-88.

Yusa Y. and Ohsawa S. (2000) Age of Beppu Onsen. Oita Prefecture Hot Spring Investigation Study Report, 51, 1-8.

キーワード：別府、温泉、二酸化炭素

Keywords: Beppu, hot spring, carbon dioxide

Assessment of Geothermal Energy Potential from Low Enthalpy Fluid at Rural Areas in El Salvador by Using Open-Source Programming Language

*CARLOS OSMIN POCASANGRE¹, Yasuhiro Fujimitsu¹

1. Kyushu Univ.

The geothermal resource assessment is the estimation of the amount of thermal energy that can be transformed from a geothermal reservoir and used economically by people as different kinds of applications. When a geothermal exploration starts, sometimes the provided data are either limited or missing. Therefore, in this study case, a simple technique called the volumetric method is used. The main purpose of this study is the use of the volumetric method to estimate ability to produce electrical energy from low enthalpy fluid in the northern part of El Salvador where there are hydrothermal manifestations or hot springs and the people who live there can use as an electrical source. The calculation of the geothermal energy stored in a volume is based on the range of reservoir parameters and carried out by using the stochastic Monte Carlo simulation. There are some kinds of licensed software for carrying out this task. However, for this case, the algorithm has been programmed by using Open-Source Programming Language, i.e. Python v2.7 and PyQt4. As an example, a theoretical conceptual model of a hot spring area located in the Municipality of Nombre de Jesús was chosen. After running the algorithm, it shows that the field could initially support a 16.1MWe power plant for 25 years and a possible expansion to 19.8MWe. However, it will be subject to further investigations for obtaining and validating the new data.

Keywords: El Salvador, low-enthalpy fluid, volumetric method, Open-Source Programming Language, Monte Carlo simulation

熊本県阿蘇カルデラ内牧温泉の地球化学的特徴と熊本地震前後の変動 Geochemical study of the Uchinomaki hot spring within Aso caldera: time series change before and after the Kumamoto Earthquake

佐藤 旬¹、*石橋 純一郎¹、辻 健²

Shun Sato¹, *Jun-ichiro Ishibashi¹, Takeshi Tsuji²

1. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2. 九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University, 2. International Institute for Carbon-Neutral Energy Research, Kyushu University

The Uchinomaki hot spring is located in the north end of Asodani that is the northern part of Aso caldera floor. Some of the hot springs became disabled to pump up hot water after the 2016 Kumamoto earthquake, whereas spontaneous hot spring emanation from some other hot spring wells was recognized. Water emanation from open fissures developed in a rice paddy was also observed at three locations around the Uchinomaki hot spring area. As occasion of these drastic changes in water discharge, horizontal sliding of a kilometer-scale geologic block caused by vibrations from the earthquake was proposed based on a geophysical study (Tsuji et al., 2017). If it is the case, a reservoir of the Uchinomaki hot spring has not be affected by the earthquake and accompanying ground deformation. Actually, new wells drilled just beside abandoned ones have been successfully restore pumping hot spring waters. In order to provide supporting evidence for the geophysical study, we conducted chemical analysis of hot spring waters.

More than 30 water samples were collected from the Uchinomaki hot spring and adjacent areas. After measurement of temperature, pH, electric conductivity and oxidation-reduction potential, the water sample was filtered with a 0.45 μm disk filter and stored. Chemical analysis was conducted by ICP-OES for cations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+}), ion chromatography for anions (Cl^- , SO_4^{2-}), and alkalinity titration for carbonate (HCO_3^-). Isotopic composition of hydrogen and oxygen was determined by Wavelength-Scanned Cavity Ring-down Spectroscopy.

Time series change before and after the earthquake in hot spring water chemistry from the Uchinomaki area was not recognized. Their chemical composition was characterized by SO_4 -rich signature, which is commonly observed in groundwater within Aso caldera. Groundwater collected from the area on the southside of the Uchinomaki area is known as “Akamizu” from its high Fe concentration associated with high SO_4 concentration. In this study, the Uchinomaki hot spring waters showed Na+K-rich signature, whereas Akamizu groundwaters showed Ca-rich signature. The difference in cation composition would be attributed to that Uchinomaki hot spring and Akamizu groundwater have distinctive reservoirs.

The most vigorous emanation from a rice paddy was observed at the southwest side of the Uchinomaki hot spring area, which is in accordance with that the geophysical study demonstrates westward movement of the horizontal sliding. The emanated warm fluid showed Fe-rich and Ca-rich signature that is similar to chemical composition of the Akamizu groundwater. The horizontal landslide is likely not to have affected the fluid reservoirs but caused significant change of surface groundwater pathways in wide area around the Uchinomaki hot spring.

キーワード：阿蘇谷、温泉貯留層、水平地すべり

Keywords: Aso caldera floor, Hot spring reservoir, Horizontal slide

霧島火山群硫黄山周辺の温泉・地中温度の繰り返し調査（２）

Repeated survey of ground temperature and hot springs around Iwo-yama, Kirishima Volcanic Group (2)

*鍵山 恒臣¹、吉川 慎¹、大沢 信二¹、三島 壮智¹、Huang Yu-Chih¹

*Tsuneomi Kagiya¹, Shin Yoshikawa¹, Shinji Ohsawa¹, Taketoshi Mishima¹, Yu-Chih Huang¹

1. 京都大学理学研究科

1. Graduate School of Science, Kyoto University

霧島火山群・硫黄山付近では、2014年8月以降地盤変動を伴う火山性微動がしばしば硫黄山直下で発生し、2015年12月には噴気が復活していることが確認された（気象庁予知連資料）。本研究者は、霧島火山群の活動に関連して硫黄山の地熱活動がどのような推移を示すかに注目し、周辺において地中温度調査および温泉・湧水の電気伝導度・化学分析を継続してきた。以下にその結果を報告する。

えびの高原の地中温度の変化：硫黄山西麓では1980年代に10か所において1m深地中温度の繰り返し測定を行っていた。その中で、40℃程度の比較的高温を示していた2か所で1m深地中温度の連続測定を行った。その結果、2015年10月頃から0.6℃上昇し、2016年10月頃からさらに0.4℃上昇していることがわかった。この時期は、前者は硫黄山西麓の噴気復活の直前であり、後者は硫黄山西麓において硫化水素の放出量が増大した時期に対応している。山頂部では水の沸点程度の噴気活動域が拡大しており、この結果とあわせて考えると、今後とも地熱活動の拡大は続くと思われる。

えびの高原周辺の温泉・湧水の電気伝導度および化学成分の時間変化：えびの高原には、硫黄山の北側および西側に湧水が見られる他、えびの高原ビジターセンターでは掘削孔からくみ上げられた温泉水が足湯として利用されている。これらの水の電気伝導度および化学分析を行い、硫黄山付近に湧出する水にマグマ起源物質が多く含まれていることを示している（鍵山他, 2012）。これらの水の電気伝導度を繰り返し測定した結果

（2008年から2016年12月まで）、硫黄山の西麓および北東麓では、雨による希釈のために測定値が大きく変動するが、その変動幅を上回る塩素イオン濃度の増大が見られている。また、硫黄山西麓では、塩素イオン／硫酸イオン比は、2014年10月以降0.002から0.06まで増大している。一方、足湯では測定値は比較的安定しており細かく見ると、硫酸イオン濃度が1060 mg/lから1450 mg/lに増大し、塩素イオン／硫酸イオン比は0.12から0.07まで徐々に低下している。このことは、2014年8月の微動発生以降、火道に近い硫黄山西麓では塩素イオン濃度が増大しているのに対して、火道からやや離れて帯水層を通して溶存成分が供給される足湯では塩素イオンに比べて硫酸イオン濃度が増大していることを示している。こうした変化はマグマ起源の火山ガスの供給増大を反映していると思われる。

キーワード：霧島火山群硫黄山、地熱活動、火山活動

Keywords: Kirishima Volcanic Group, Geothermal activity, Volcanic activity

草津白根火山の2014年噴火未遂イベント時の熱水貫入を示唆する地磁気変化

Geomagnetic evidence for the episodic fluid intrusion associated with the 2014 unrest of Kusatsu-Shirane volcano

*神田 径¹、松永 康生¹、小山 崇夫²

*Wataru Kanda¹, Yasuo Matsunaga¹, Takao Koyama²

1. 東京工業大学理学院、2. 東京大学地震研究所

1. School of Science, Tokyo Institute of Technology, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

草津白根山では、2014年3月より地震活動が活発化し、顕著な地盤変動や火山ガス成分の変化も観測された。同年5月には、湯釜周辺で地下の岩石の消磁によると見られる地磁気全磁力の急激な変化が観測された。変化の大きさは最大1nT程度であったが、約3週間のうちに変化は終了し、その後2年近くの間、顕著な変化もないまま推移した。本研究では、この磁場変化を説明する火山体内の温度変動を、熱水流動シミュレーションを基に明らかにすることを試みた。

シミュレーションには、米国地質調査所のHYDROTHERM3.1.1を使用した。計算領域は高さ5km、半径5kmの円筒領域で、流体はこの中心に注入した。深さ100~400mには、比抵抗構造から推定されている粘土層を仮定して透水率を低く設定し、それ以外は一様構造とした。高温流体の急激な注入があった場合に、地表での平均的な放熱量と地磁気変化の大きさや時間スケールを説明するように浸透率などのパラメータを調整した。熱水と岩石は平衡状態にあると仮定し、温度場を磁化に換算する際に用いた岩石の熱消磁特性は、山崎・他（1992）により示されている山頂付近で採取されたサンプルの平均値を補間して用いた。

高温流体の地下浅部への注入に伴い、地磁気の変化が得られた。磁場変化は、流体の注入開始とともに発生し、注入を停止すると磁場変化も止まり、その後100日後でもほとんど変化していない。温度の分布を見ると、100日後でも温度分布にほとんど変化はなく、粘土層下での高温が維持されていた。パラメータを変化させて様々なシミュレーションを行ったところ、400℃以上の熱水が毎秒20トンのフラックスで約3週間注入されたことで、2014年5月に観測された地磁気変化およびその後の磁場変化の停滞を説明できることがわかった。これは、Ohba et al.(2008)で示唆されたシーリングゾーンの破壊によるマグマ性流体の放出過程を捉えた可能性がある。

キーワード：熱水系、草津白根山、熱水流動シミュレーション、地磁気変化

Keywords: hydrothermal system, Kusatsu-Shirane volcano, hydrothermal simulation, geomagnetic field variation

九重火山における重力変動観測と熱水系の数値モデリング Gravity variation measurements and numerical modeling for the hydrothermal system of the Kuju volcano

*藤光 康宏¹、西島 潤¹

*Yasuhiro Fujimitsu¹, Jun Nishijima¹

1. 九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門

1. Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University

九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門地球熱システム学研究室は、1995年に水蒸気噴火を起こした大分県九重火山を対象として、微小地震観測、噴気放熱量観測、重力変動観測などを実施しており、1995年噴火後の九重硫黄山からの放熱量変化など、主に熱的变化を説明するための熱水系の数値モデルを構築してきた。今回は、さらに重力変動観測結果も説明するための数値モデルの構築を試みた。

使用した熱水系シミュレーターはHYDROTHERM Ver. 2.2 (Hayba and Ingebritsen, 1994) である。数値モデルにおける重力変動量は、熱水流動により起こるモデルの各ブロックにおける密度変化よりOkabeの式 (Okabe, 1979) を用いて算出した。当研究室における先行研究の数値モデルから計算された重力変動量と観測結果とを比較した結果は、各測定点における経時変化の傾向は再現できているものの、変動量は数値モデルから計算された値が観測結果より大きくなっていた。そこで、先行研究のモデルに改良を加えたところ、モデルを構成するブロックサイズを小さくした場合に、計算された重力変動量が先行研究モデルよりも小さくなり観測結果に近づいた。計算機の制限によりこれ以上ブロックの細分化ができなかったが、より大規模な計算が可能なシステムで数値モデルの改良を進めることで、熱的变化だけでなく重力変動も説明できる数値モデルが得られることが期待される。

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の尾形直亮氏には、現地観測やデータ解析などで多大な協力を頂いた。

Hayba, D. O. and Ingebritsen, S. E. (1994) The Computer Model HYDROTHERM, a Three-Dimensional Finite-Difference Model to Simulate Ground-Water Flow and Heat Transport in the Temperature Range of 0 to 1,200°C. Water Resources Investigation Report, 94-4045, 85p

Okabe, M. (1979) Analytical Expressions for Gravity Anomalies due to Homogeneous Polyhedral Bodies and Translations into Magnetic Anomalies. Geophysics, 44, p.730-741.

キーワード：九重火山、重力測定、熱水系、数値モデリング

Keywords: Kuju volcano, gravity measurement, hydrothermal system, numerical modeling