

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°Cであったが、2016年2月には313°C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, Tokia 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