

水蒸気噴火の分類

Classification of Suijoki-hunka (steam eruption)

*大場 司¹*Tsukasa Ohba¹

1.秋田大学国際資源学部

1.Faculty of International Resource Science, Akita University

The Japanese word "Suijoki hunka" and its English equivalents are usually defined by the phenomena including transformation from groundwater into steam, whereas the actual eruption is determined as Suijoki hunka based on absence of juvenile material from volcanic ash. The inequality sometimes hinders understanding of the eruption mechanism and prediction of subsequent volcanic activity. This paper represents a new classification of non-juvenile eruptions based on the reviews on three literatures: Sterns and MacDonald (1944), Mastin (1995), and Browne and Lawless (2001). Subaerial eruptions are classified according to relevance to phase transition of external water. Eruptions unrelated to phase change of external H₂O consist of magmatic eruption and gas eruption that is a kind of non-juvenile eruptions. Gas eruption is an explosive eruption derived from pressurized volcanic gas accumulated underground. Eruptions relevant to the phase change (hydro-eruptions or hydro-explosion) are further subdivided into five types: phreatic, phreatomagmatic, hydrothermal, magmatic-hydrothermal, and mixing eruptions. Phreatic eruption occurs when a cold aquifer is heated by newly injected hot magma to explode, and if the explosion involves the hot magma, the eruption is phreatomagmatic. Hydrothermal eruptions and magmatic-hydrothermal eruptions occur in geothermal fields and volcanoes underlain by underground hydrothermal systems. Hot hydrothermal fluid can explode itself by sudden phase change from water to steam without external heat influx (hydrothermal eruption). When the hot hydrothermal fluid is injected by hot magma that supplies additional thermal energy for explosion, the eruption is magmatic-hydrothermal. Mixing between groundwater and hot rock such as solidified new lava results in an explosive eruption that is a mixing eruption. As thermal regimes within volcanic edifices determine the eruption types, three types of regimes are assumed here. A volcano with a low temperature regime (type P hereinafter) contains a cold aquifer that can be the source of phreatic and phreatomagmatic eruptions when a batch of new magma injects. In a volcano with a high temperature regime (type G), hydro-eruption hardly occurs because liquid water can not exist in the heated volcanic edifice. Magmatic and gas eruptions are common to type G volcanoes. A volcano with an intermediate thermal regime (type H) includes a sub-volcanic hydrothermal system containing hot water (often boiling water and steam). The hydrothermal fluid in the type H volcano is the source of hydrothermal and magmatic-hydrothermal eruptions. It is noteworthy that hydrothermal eruption can occur without injection of or heating by new magma as the hot hydrothermal fluid can explode itself by releasing thermal energy of the fluid when it is decompressed. These thermal regimes can easily change each other in response to change of magmatic activity; types H and P change into type G when magmatic activity intensifies. To evaluate subsequent volcanic activity when a non-juvenile eruption occurs, it is crucial to realize the internal thermal condition of the volcano beforehand by means of geophysical, geochemical, and geological investigations.

キーワード：ガス噴火、水蒸気噴火、マグマ水蒸気噴火、混合噴火、熱水噴火、マグマ熱水噴火

Keywords: Gas eruption, Phreatic eruption, Phreatomagmatic eruption, Mixing eruption, Hydrothermal eruption, Magmatic-hydrothermal eruption

道南地域の地熱構造

The geothermal structure in the southwestern Hokkaido

*早川 美土里¹*Midori Hayakawa¹

1.北海道大学大学院理学院

1.Hokkaido University, Graduate school of science

北海道南西部に位置する渡島半島には、南部に第四紀火山の北海道駒ヶ岳、恵山、北部に狩場山がある。また、中央部では最近の火山活動が見られないにもかかわらず、地温勾配が高くなっている地域がある。この地域の地質構造は、南北に配列した基盤岩類からなる地塊の運動に支配されており、褶曲構造や断層系が発達している。この地域は特に「八雲－濁川ゾーン」と称され、多くの温泉及び地熱兆候地が存在している。濁川地域では、約1万2千年前に形成されたと考えられている濁川カルデラ内で湧出している濁川温泉を利用して、現在森地熱発電所が運転されている。濁川地域、八雲地域および熊石地域は、有望な地熱地域と考えられており、これまでに様々な手法により地熱開発促進調査(新エネルギー・産業技術総合開発機構, 1990、1999)が行われてきた。

本研究では、八雲・熊石地域で行われてきた調査の結果から、この「八雲－濁川ゾーン」における地熱構造の特徴を議論した。また、新たに八雲地域における比抵抗構造を、Magnetotelluric法(MT法)により推定した。これにより得られた比抵抗構造モデルと合わせて、八雲地域の熱水循環系について考察し、他の地域の特徴と比較することにより、道南地域の地熱構造の特徴について議論することを目的としている。

濁川地域における熱水は、濁川カルデラ形成時の残熱が熱源となっており、火山ガスの作用を受けた高い濃度熱水であると考えられる。一方、熊石・八雲地域では、ボーリング調査の結果から、この地域の地温の変化は地下深部からの熱伝導によるものであると考えられた。また、湧出する温泉水及び坑井熱水の成分分析の結果から、この地域の熱水は、火山ガスの作用を受けた高い濃度熱水と天水の混合であると考えられた。今回得られた比抵抗構造モデルと比較すると、八雲地域と熊石地域の特徴は類似しているが、両地域にまたがるような低比抵抗帯は確認できない。また、八雲地域における熱水は、比抵抗構造モデルと地質柱状図を比較すると、基盤岩である花崗岩や堆積岩類を貫く断層に伴う断層系に沿って上昇していると考えられる。八雲地域、熊石地域における地熱系の熱源は、他の高地温勾配の地域と異なり、過去のマグマ活動の残熱であると考えられる。

キーワード：地熱地域、八雲、熊石、濁川、比抵抗構造、マグネトテルリク法

Keywords: geothermal area, Yakumo, Kumaishi, Nigorikawa, resistivity structure, Magnetotelluric method

吾妻山周辺の地殻電気伝導度構造

A Magnetotelluric Exploration for Crustal Electrical Conductivity Distribution beneath around Azuma Volcano, Northeastern Japan

*市來 雅啓¹、海田 俊輝¹、中山 貴史¹

*Masahiro Ichiki¹, Toshiki Kaida¹, Takashi NAKAYAMA¹

1.東北大学大学院理学研究科

1.Graduate School of Science, Tohoku University

2015年9月4日から17日にかけて吾妻山大穴火口を中心とする約20km四方の領域に16点を設けて3次元地殻電気伝導度構造を推定する為の地磁気地電流(MT)観測を行った。データは各観測点32Hzサンプリングを3日間、1024Hzサンプリングを30時間それぞれ取得した。取得したデータはMetronix社procMTソフトウェアでMT応答関数を計算し、それらの応答関数を用いて位相テンソル解析及び3次元電気伝導度構造推定を行った。位相テンソル解析では広域にわたって構造の3次元性が高く不均質性が高い傾向を示す観測点が多い。本発表ではWSINV3DMT (e.g. Siripunvaraporn et al., 2009) を用いて推定した3次元電気伝導度構造を示し、その特徴とそれを基にした吾妻山の地殻深部からのマグマ・熱水供給過程を議論する。

[謝辞] 地熱技術開発(株)御中および日鉄鉱コンサルタント(株)御中よりMT参照点データを御提供頂きました。記して感謝致します。

キーワード：電気伝導度

Keywords: electrical conductivity

立山地獄谷における熱観測について

Introduction of fumarole temperature observation in the Tateyama Jigokudani valley

*丹保 俊哉¹、松田 好弘²*Toshiya Tanbo¹, Yoshihiro Matsuda²

1.富山県立山カルデラ砂防博物館、2.立山ガイド協会

1.Tateyama Caldera Sabo Museum, Toyama Prefecture, 2.Tateyama Guide Council

立山室堂の地獄谷は現在、弥陀ヶ原（立山）火山第4期（原山ほか、2000）の中心的な活動地域となっている。弥陀ヶ原火山の第4期活動は約4万年前から始まったと考えられ、最近1万年間では4回の水蒸気爆発があったことが立山室堂のテフラ層序の分析（小林、1983）から推定されているが、有史以降も1836（天保7）年に水蒸気爆発と考えられる活動があったことが、加賀藩十村役伊東家の「御触留」（富山県立図書館蔵）より読み解くことが出来る（中野・伊藤、1998）。また公的・学術的な記録ではないものの、佐伯（1977）には1949（昭和24）年に地獄谷にあった山小屋の経営者が目撃した小規模な水蒸気爆発と思われる現象について記述が残されている。

近年、立山室堂地獄谷の地熱活動は、2010年5月に発生した硫黄溶岩の流下と燃焼（増淵、2012）、2011年からは噴気する火山ガスの濃度が著しく上昇する（環境省、2012）など、それぞれの関連性については明らかではないものの目立った活動の変化を示している。硫黄溶岩の流下や燃焼は、地獄谷に残る各処の流下跡や実際の目撃事例が河野（1988）によって報告されており、古くは1700年代の加賀藩の記録にも残されている（廣瀬、1984）。また国内では知床硫黄山における大規模な溶融硫黄の噴出（気象庁、2005）をはじめ、近年では吾妻山においてもその発生が確認されているなど、噴気地帯においてはしばしば認められている現象である（気象庁、2005）。硫黄は比較的低温（約113℃～）で溶融することから小規模な発生要因として、高温の火山ガスそのものが熱源となり地表で昇華した硫黄を溶融させる場合（河野、1988、Harris et al., 2000など）や、比較的浅部に存在する地熱流体の貯留層から直接上昇、噴出する可能性も考えられるが、その発生イベントは不明な点が多い。

本稿では主に地獄谷の火山ガス温度の時間と領域の変化についての調査結果を報告する。地熱流体の活動について示唆する指標となり得るのか、地震・地殻変動などの地殻活動と地熱活動は関連した変化を示すのか、これを長期間連続的に観測し検証を試みた。

本研究はJSPS科研費25350494の助成を受けたものである。

キーワード：立山地獄谷、火山ガス、噴気孔温度

Keywords: Tateyama Jigokudani valley, fumarole gas, fumarole temperature

九重山周辺の比抵抗構造推定

Resistivity structure around the Kuju volcanic group

*塩谷 太郎¹、宇津木 充⁵、相澤 広記²、上嶋 誠³、小山 崇夫³、神田 径⁴、鍵山 恒臣⁵

*Taro Shiotani¹, Mitsuru Utsugi⁵, Koki Aizawa², Makoto Uyeshima³, Takao Koyama³, Wataru Kanda⁴, Tsuneomi Kagiya⁵

1.京都大学理学研究科、2.九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター、3.東京大学地震研究所、4.東京工業大学火山流体研究センター、5.京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター、6.京都大学大学院理学研究科 技術部

1.Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University, 3.Earthquake Research Institute, Tokyo University, Japan, 4.Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Tech., Japan, 5.Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, 6.Technical Division Graduate School of Science, Kyoto University

九重山は大分県と熊本県の県境に位置する地熱活動の活発な火山であり、特にその中心部の硫黄山と呼ばれている地域は噴気活動が特に活発である。九重火山の深部ではマグマと考えられる低速度領域が存在していること（吉川他, 2005）、深部から浅部に向かって火山性流体が供給されていること（e.g., Mizutani et al., 1986）が示唆されている。本研究では九重山における火山性流体の上昇経路を明らかにすることを目的として、2014年にキャンペーン観測を行った。この観測では九重山を中心とした約30kmの領域に63の観測点を設置した。我々はこの観測から得られたデータを用いて広帯域MT法による2次元比抵抗構造推定を行った。この解析にはOgawa & Uchida (1996) のインバージョンコードを使用した。本発表では、硫黄山を通る北北東-南南西方向の測線及びその東側の測線について解析した結果を示した。2つの測線における共通する特徴として地表付近で水平方向に広がる低比抵抗領域、深さ6kmから1kmへ連続する高比抵抗領域とその両側に低比抵抗領域が存在することが明らかになった。本発表では九重山地下の深さ6kmまでの比抵抗構造について議論する。

霧島火山群硫黄山周辺の温泉・地中温度の繰り返し調査

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

*鍵山 恒臣¹、吉川 慎¹、大沢 信二¹、三島 壮智¹、黄 有志¹

*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・硫黄山は、韓国岳北西に位置し、韓国岳北西の爆裂火口－硫黄山－不動池を経て白紫池にいたる南東－北西方向の火山列中でもっとも新しい火山である。硫黄山には古くから活発な噴気地帯が存在し、硫黄も採掘されていた。1970年代から1980年代にかけての熱的調査では、山頂部に150℃以上の高温の噴気地帯存在し、西側山麓のえびの高原では、95℃（現地における水の沸点）程度の噴気地帯が存在していた（鍵山他、1979）。1990年代以降、地熱活動は徐々に低下し、噴気は消滅したが、30℃程度の湧水は湧出を継続しており、同時に行ったAMTによる比抵抗構造調査では、山頂火口下に低比抵抗域が存在していることが明らかにされている（宇内他、2010）。2011年に発生した新燃岳の噴火の際には、硫黄山周辺の地熱活動にどのような影響が出るかが注目され、本研究者らも調査を行ったが、有意な変化を検出するにはいたらなかった。しかし、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地下で発生し、2015年12月には噴気が発生していることが確認された（気象庁予知連資料）。本研究者らは、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ってきた。鍵山他(2012)は、温泉湧水のアニオンインデックスを計算し、硫黄山に近接する西側および北側の湧水ではほぼ1.0となり、足湯では0.92と低下し、小林市内に湧出する温泉では0.35と低い値を示すことから、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。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2015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電気伝導度が大きく変動し、時間変化を議論するには適さないことがわかった。一方、足湯では電気伝導度が比較的安定しており細かく見ると、2008年に225 mS/m、2011年の新燃岳噴火以後235～245 mS/mであったが、2015年12月に256 mS/mに増大している。化学分析の結果を見ると、足湯では、硫酸イオン濃度が1060 mg/lから1130 mg/lに増大し、塩素イオン/硫酸イオン比は0.12から0.09まで徐々に低下している。一方硫黄山西麓では、硫酸イオン濃度は議論できないが、塩素イオン/硫酸イオン比は、0.002から0.014まで増大している。このことは、2014年8月の微動発生以降、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のに対して、硫黄山西麓では塩素イオン濃度がより増大していることを示していると考えられる。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。

えびの高原の地中温度の変化：1980年代まで40℃程度の噴気が出ていたえびの高原中部において1m深地中温度の連続測定を行った結果、年周変化を上回る温度変化は検知されなかった。山頂部では現地の水の沸点程度の温度が測定されていることを考えると、地熱活動の活発化はまだ山頂部だけに限定されていることを示している。

文献

鍵山恒臣他(1979)：震研彙報，54，187-210。

鍵山恒臣他(2012)：地球惑星科学連合2012年大会SVC49-02

宇内克成他(2009)：地球惑星科学連合2009年大会V161-P004

気象庁134回予知連資料

キーワード：霧島火山群、硫黄山、地熱活動、電気伝導度、火山活動

Keywords: Kirishima Volcanic Group, Iwo-yama, Geothermal activity, Electrical conductivity,
Volcanic actiovity

霧島火山南西部における重力探査

Gravity surveys in southwestern part of the Kirishima volcanic area

*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、霧島火山南西部に位置する温泉地域（霧島温泉郷）の断層構造などの浅部地下構造を解明する目的で、主に丸尾地域及び林田周辺地域を対象とした重力探査を実施した。そして、この重力探査で得られた測点に産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）の日本重力データベースの測点を加え、重力異常図を作成した。

重力異常図からは、丸尾地域の鹿大リハビリテーションセンター付近に北東－南西の走向を持つ重力異常の急傾斜部分が確認できた。これは、本地域に存在が推定されている断層構造を捉えたものと考えられる。さらにその西側には重力の低異常域が広範囲に広がっていることが判明した。従って、この地域は低密度層が深部まで到達した陥没構造であり、周辺地域より温泉水を貯留しやすい、温泉帯水層となりうる構造をしていると推定された。

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米倉侑作氏には、現地重力探査やデータ解析などで多大な協力を頂いた。

産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）日本重力データベースDVD版。

キーワード：霧島火山、重力探査、温泉、地下構造

Keywords: Kirishima volcanic area, gravity survey, hot springs, subsurface structure