

活火山周辺における表層電気伝導度分布

Conductivity distribution of the surface layer around active volcanoes

鍵山 恒臣^{1*}, 宇津木 充¹, 吉川 慎¹, 小森 省吾²Tsuneomi Kagiya^{1*}, Mitsuru Utsugi¹, Shin Yoshikawa¹, Shogo Komori²¹ 京都大学理学研究科, ² 台湾中央研究院¹ Graduate School of Science, Kyoto University, ² Academia Sinica, Taiwan

Kagiya and Morita(2008) は、火山活動には、マグマが地表に噴出しやすいか地下に留まりやすいかによって「噴火卓越型」から「地熱活動卓越型」まで幅広い多様性があることを示している。また、その視点に立って、異常現象が捉えられても噴火に至らない「噴火未遂事象」やマグマが地下に留まるイベントを繰り返す中で、深部から上昇してきたマグマが滞留しているマグマとぶつかることによって、カルデラ生成噴火などの「低頻度大規模噴火」が発生するという仮説を提唱している。こうした現象は、マグマが地表にまで到達することなく地下に滞留し、マグマに含まれている揮発性成分が地表から噴出することに特徴があると考えられる。したがって、揮発性成分が火山の周辺にどの程度拡散しているか大変興味を持たれる。地熱地域では、地下深部から供給される火山ガスが地表に噴出するとともに帯水層に付加されて周辺に拡散していると考えられる。鍵山(2006)は、霧島火山群において地下浅部の帯水層の比抵抗が火口中心から周辺に向かうにつれて高くなるとともに、通常は高比抵抗であることが一般的な表層の比抵抗も中心部ほど低くなる傾向が見られること、地熱活動の活発な火山ほど低比抵抗域の面積が広がることを示している。VLF-MT 観測によって得られる電気伝導度は、深さ数 m から 100m 程度までの表層に関する情報であるが、短時間に多数の点で測定が可能であり、比較的電磁気ノイズの大きい場所でも測定が可能であるので、火山・地熱活動の詳細な分布を知ることが可能になる。

阿蘇カルデラは、中岳火口に湯だまりを有し、その熱水が周辺に拡散しているか大変興味もたれる。また、内牧温泉など、カルデラ内に存在する温泉の熱源と中岳の火山活動との関係も興味もたれる。こうしたことから、阿蘇カルデラの北部において VLF-MT による電気伝導度調査を実施した。以下にその概要を述べる。

阿蘇カルデラ北部全域の特徴：阿蘇カルデラの表層電気伝導度は大きく 2 つに大別される。カルデラ床である阿蘇谷は、100 μ S/cm 以上の高電気伝導度を示し、かつ比較的均質である。一方、中央火口丘群はそれ以下の低電気伝導度域となっている。この結果は、阿蘇谷において地下水が豊富であり、過去にカルデラ湖を形成していたことを反映しているのに対して、火口丘群では、緻密な溶岩や空隙の多いスコリアなどで覆われているためと思われる。

中央火口丘群の特徴：火口丘群は全般に低電気伝導度であるが、個々の火口丘ごとに異なる特徴を持っている。中岳(火口近傍を除く)や北西に位置する米塚、杵島岳などでは 30 μ S/cm 以下となっている一方、中岳の西に位置する草千里では 30 μ S/cm 以上となっている。また、西部の吉岡や湯之谷、地獄、垂玉などの温泉地周辺では、300 μ S/cm 以上の高電気伝導度域となっている。中岳の周辺部は低電気伝導度であるが、火口のごく近傍では 300 μ S/cm 以上の高電気伝導度となっている。また、中岳の北側山麓の仙酔峡付近では、米塚や杵島岳の北側山麓が低電気伝導度であるのに対して高電気伝導度となっている。この結果は、中岳の湯だまりから熱水が流出していることを示唆している。

阿蘇谷の電気伝導度分布：阿蘇谷はほぼ全域で高電気伝導度を示すが、内牧温泉から三重塚にかけての領域および赤水温泉周辺において 300 μ S/cm 以上を示している。内牧 - 三重塚の延長には中岳が位置しており、なんらかの構造があるのかもしれない。また、内牧温泉の高電気伝導度領域は西南西 - 東北東方向に伸びる傾向があり、この線は温泉の並びや阿蘇カルデラ北部の地震活動の並びに一致する。これらの特徴は内牧温泉の熱水が構造線に規定されていることを示唆している。

こうした結果は、阿蘇カルデラにおいて、マグマから火山ガスがなんらかの構造線に支配されつつ発散されており、その脱ガス量が高電気伝導度領域の広さからかなり大きいことを示している。このことは、阿蘇火山においてしばしば噴火未遂が起きていること(地熱活動卓越型となっていること)と矛盾しない。

キーワード: 活火山, 電気伝導度, 地熱活動, 噴火未遂

Keywords: Active volcano, Electrical conductivity, Geothermal activity, Failed eruption

伊豆大島火山における自然電位の経時変化とその意味 Temporal variations of self-potential at summit area of Izu-Oshima volcano

松島 喜雄^{1*}, 西 祐司¹, 鬼澤 真也², 高倉 伸一¹, 長谷 英彰³, 石戸 経士¹

Nobuo Matsushima^{1*}, Yuji Nishi¹, Shin'ya Onizawa², Shinichi Takakura¹, Hideaki Hase³, Tsuneo Ishido¹

¹産総研 地質調査総合センター, ²気象庁 気象研究所, ³東京大学地震研究所

¹Geological Survey of Japan, ²Meteorological Research Institute, JMA, ³Earthquake Research Institute, University of Tokyo

1) はじめに

2006年から伊豆大島山頂カルデラにて自然電位の連続測定を行っている。測線は三原山下から剣ヶ峰脇を経て、楡形山麓を通りカルデラ南東側の裏砂漠へ向かう11地点(測線長約2km)からなる。各地点の1分毎の電位差を測定しデータロガーで記録するとともに電話回線にて最短で一日一回つくばへデータを転送している。また、カルデラ内の1地点において気温、気圧、降水量等の接地気象要素を測定しデータロガーで記録している。

2) 測定結果

約1年の欠測(2010年4月~2011年5月)、複数回の2か月程度の欠測、裏砂漠の観測地点においてノイズが激しいことを除いて、おおむね順調にデータを取得している。基準点の取り方によって各地点の変動の様子は変わるが、全地点に共通して年周変動を示し、夏季に値が高く、冬季に低くなる傾向にあり、振幅の最大は100mVに達する。各観測点では、降雨に伴い数日間の短期的な変動を示し、これは1m程度の深さまでの地中の水分量が変化することによって生じ得ることが分かっている(松島他、2008)。このことから類推して、年周変動もおそらく、土壌水分量が変化することによって現れているものと考えられる。土壌水分の観測結果および、降雨時の比抵抗の観測結果(高倉他、2011)を参考に、年周変動の原因について考察する。このような年周変動を除くと、各地点とも火山活動に起因するような経年的なトレンドは示していない。

3) 火山活動の活発化に伴い予想される変化

火山活動が活発化してマグマが上昇した場合に予想される自然電位の変動を求めてみた。多孔質媒質中の熱水系のシミュレーションを行い、熱水の流れに伴う携帯電流を電流源とした電位分布を専用のシミュレーターであるSTARで計算した。現状の自然電位分布を説明する地下水系(Onizawa et al., 2009)に対して、マグマの頭位が火口直下の海水準にある場合(Case1)、さらにそこから8kg/sの量で水蒸気が脱ガスしている場合(Case2)、8kg/sで脱ガスしマグマ直上から地表へ至る領域の鉛直方向透水係数を2桁大きくした場合(Case3)、80kg/sで脱ガスしCase3と同様に鉛直方向の透水係数を2桁大きくした場合(Case4)について計算を行った。80kg/sの値は、前回の噴火活動期における地表からの最大の水蒸気放出量の半分に相当する。計算に際しては、地層の比抵抗を固体の比抵抗と空隙の比抵抗の並列回路とし、固体の比抵抗の温度依存性、空隙の比抵抗の含水量とその成分の依存性を考慮した。ここで脱ガスの凝縮相は1・m程度の極めて低い比抵抗を示す。計算を行ったのはマグマの定置と脱ガス開始から約10年間で、その期間に脱ガスが地表へ達したのはCase3、4の場合で、いずれも地表での顕著な自然電位変動が現れた。基準点を楡形山麓の点とした場合の各地点(火口中心からの距離で示す)の10年後の電位を下に示す。計算結果は、最大で約200mV程度の正異常となることを示している。脱ガスの上昇に伴い、地表近くでは、ガス相の上昇と、凝縮相の下降のカウンターフローとなっている。携帯電流をもたらすのは下降する凝縮相のみなので、その直上では自然電位の負異常をもたらす。しかし脱ガスの凝縮相が比抵抗に及ぼす影響のほうが勝り、結果的には地層の比抵抗の低下に伴って自然電位は正異常となっている。Case4の場合、脱ガス開始から約1年後、まだ脱ガスは地表に到達していない時点でも、三原山近傍の地点での自然電位は約100mVの正異常となることが確認された。

キーワード: 伊豆大島火山, 自然電位, 熱水系, 数値シミュレーション

Keywords: Izu-Oshima volcano, Self-potential, Hydrothermal system, Numerical simulation

AMT法による台湾北部、七星山・馬槽・大油坑地域における比抵抗構造調査 Resistivity structure around Chishinshan, Matsao, and Tayukeng areas, Taiwan, revealed by audio-magnetotellurics

小森 省吾^{1*}, 宇津木 充², 鎌山 恒臣², 井上 寛之², 陳中華¹, 江協堂³

Shogo Komori^{1*}, Mitsuru Utsugi², Tsuneomi Kagiya², Hiroyuki Inoue², Chang Hwa Chen¹, Hsieh Tang Chiang³

¹ 中央研究院地球科学研究所, ² 京都大学火山研究センター, ³ 国立臺灣大學海洋研究所

¹Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, ²Aso Volcanological Laboratory, Kyoto Univ., ³Institute of Oceanography, National Taiwan University

放熱活動の活発な火山における電磁気観測では、比抵抗の低い領域が浅部にしばしば見出される。これは、マグマから放出された高温・高塩濃度の揮発性物質が帯水層に付加することで高導電性の熱水が生じること、熱水変質により母岩の導電性が高まることによる。低比抵抗域の空間分布を明らかにすることで、地下水流動による揮発性物質の輸送量を推定する上で強い拘束条件を与えることができることが期待される。

台湾北部には、金山断層・嵌脚断層中に発達した地溝中に形成された20以上の火山体が存在し、大屯火山群と呼称される。七星山は、大屯火山群の中で現在最も活発な噴気・放熱活動を有している。歴史時代に噴火記録がないこともあり、本火山群の活動は終了したものと考えられていたが、比較的若い噴出物の発見 (Chen and Lin, 2002; Belousov et al., 2010)、高い³He/⁴He比を持つ噴気 (Yang et al., 1999; Ohba et al., 2010)、高温物質の存在・流体流動を示唆する震源分布・地震波形 (Konstantinou et al., 2007) から、七星山の深部に潜在的な噴火可能性を有するマグマが存在するのではないかということが最近になって指摘されている。こうした結果に基づき、大屯火山群の将来の噴火可能性について、マグマ脱ガスの観点から拘束条件を与えることを目的に、宇津木・他 (2012, WS at TVO) はAMT法による浅部比抵抗構造調査を七星山において行った。その結果、七星山の深部1~2 kmの深さに比抵抗の低い領域の存在を示唆するpreliminaryな構造が得られている。

宇津木らの研究を踏まえ、本研究では、低比抵抗領域がどの程度の広がりを持っているかを明らかにするため、七星山のおよそ2 km北東の馬槽・大油坑地域においてAMT法による浅部比抵抗構造調査を行った。両地域では、浅部に活発な温泉・噴気活動が見られており、七星山下のマグマ中の揮発性物質の放出と関連があると見られている。観測は2台のPhoenix MTU5A systemを用い、2012年12月9日~16日にかけて行われた。両地域をまたぐよう合計10地点について、日中4時間の観測を1日2点行った。得られた時系列データはFFTにより周波数領域に変換され、Gamble et al. (1979) によるリモートリファレンス処理とともに周波数ごとのインピーダンスを求めた。本観測によって良好なデータが得られた周波数領域は1~10400 Hzであった。比抵抗構造解析には、本研究で得られた馬槽・大油坑地域の他に、宇津木・他 (2012) で得られた七星山のデータを併せて用いた。

まず最初に、七星山・馬槽・大油坑の3地域にまたがる構造の大局的な特徴を把握するため、インピーダンスの回転不変量を用い、各周波数ごとの見掛け比抵抗分布について検討を行った。その結果、以下のような特徴が見出された。数kHzの高周波数では、10~30 mの見掛け比抵抗の低い領域が、冷水坑・馬槽・大油坑の各地域にスポット状に見られる。周波数の減少とともに、この領域は徐々に拡大する。数10 Hzでスポット状に見られていた低比抵抗領域が1つにつながるようになり、3 m以下の領域が七星山の中心付近に出現する。これらの特徴は、七星山中心に存在する熱水が帯水層中を流動し、浅部に向かう流れの中で冷水坑・馬槽・大油坑の各地域へ分かれ、地上で放出されているということが示唆される。

インピーダンスフェーズテンソル解析 (Caldwell et al., 2004) では、七星山・馬槽・大油坑のそれぞれの地域で主軸の方向に異なる特徴が見られることが分かった。七星山周辺では、フェーズテンソルの主軸は主に金山断層にほぼ直行するものが卓越する。馬槽地域では、金山断層にほぼ直行する方向と、活発な温泉の湧出の見られる、七股山と七星山に挟まれた谷筋の方を向く。大油坑地域では、噴気地の方を向く。これらの特徴をもとに、各地域で卓越する平均的な構造走向を、七星山周辺でN52.5°E、馬槽地域でN70°E、大油坑地域でN90°Eと推定した。本発表では、Ogawa and Uchida (1996) のコードを用い、各地域において2次元比抵抗構造を推定した結果についても扱う予定である。

キーワード: 低比抵抗域, 熱水, 熱水変質, マグマ脱ガス, 大屯火山群, 台湾

Keywords: low resistivity region, hydrothermal fluids, hydrothermal alteration, magma degassing, Tatun Volcano Group, Taiwan

阿蘇中岳第一火口における熱水流入過程 Fluid injection at the 1st crater of Aso volcano

横尾 亮彦^{1*}

Akihiko Yokoo^{1*}

¹ 京都大学火山研究センター

¹ Aso Volcanological Laboratory, Kyoto University

阿蘇中岳第一火口は湯だまりとも呼ばれ、エメラルドグリーンのお湯で満たされていることが多い。しかし、数年に一度の頻度で、お湯が干上がって、露出した火口底から火山灰を放出することがある。直近では2011年5月~6月にそのような活動があった。湯だまりとして安定した状態にあることと、お湯がなくなり、火口底から物質放出が起こることは、表面現象としては明瞭な違いではあるが、火口下で発生している現象の本質は同じであると考えられている (Terada et al., BV, 2012)。すなわち、噴火現象の有無に関わらず、火口下からは常に火山起源の熱流体の注入があり、火口内がお湯で満たされているときは熱水として流入し、お湯がなくなり火口底が露出している状態では、熱流体は冷却されることなくそのまま破砕物として放出される。本研究ではこのことを地球物理観測の見地から検討する。2011年から2012年にかけての火口東観測点の地震・空振記録を用いた相互相関解析 (Ichihara et al., GRL, 2012) を行ったところ、2011年5月の噴火活動期間中には明瞭な相関縞模様が確認された。その特徴は、空振によって観測点地面が揺らされたことを示すものであり、噴火活動による空振励起があったことを想起させる。一方、湯だまりが回復した噴火終了後の期間であっても相関縞模様が発現した。このときの相関縞模様は、いわゆる噴火期間のような“理想的な”場合の特徴を示さなかったが、バックグラウンドの連続微動 (Takagi et al., JVGR, 2009) の影響下で空振が地面を揺動したとして説明が可能である。空振ネットワーク観測記録によれば、噴火期間、噴火終了後のいずれの場合であっても、その波源は中岳第一火口中央部に求まる。噴火期間後の空振シグナルは、火口底に急激な熱水流入が起きることによってその直上の湯だまり水面が揺らされ、大気を振動させたものと推定される。もし、より急激に、かつ、大量の熱流体の注入が起きれば、2003年、2004年の土砂噴出イベント (宮縁ほか, 火山, 2005) のような現象として認識されるのであろう。上記のような仮説が正しいか否かを検証するためには、湯だまりの温度や水位変化などに加えて、流体移動に伴って発生する微動 (Taisne et al., GRL, 2011) について注意深くモニタリングし、これらの観測結果と相関縞の発現の有無との関係性について検討する必要があると考えている。

北海道東部，川湯温泉における近年の泉温の上昇について

Rising of the temperature of Kawayu hot springs in recent years, eastern Hokkaido, Japan

岡 孝雄^{1*}

Takao Oka^{1*}

¹ アースサイエンス株式会社

¹Earth Science Co. LTD, Japan

川湯温泉について、弟子屈町の市街計画に関連して現況調査を行った(2011年12月)。その結果、大部分の泉源は65～50前後で、ほぼ1950年代から1960年代半ばにかけての高い状態に回復していることが分かった。川湯温泉は屈斜路カルデラ内の北東部の湖岸低地にあり、そこでは摩周火山やアトサヌプリ火山群に源のある川がファンデルタ状の扇状地を形成している。従来の地質調査・ボーリング資料の収集に加えて、あらたに30mボーリングが温泉街周辺で行われ、地下100m前後までの地質は下位から、湖沼堆積物、摩周火砕流堆積物 Ma-f および段丘堆積物であることが確認できた。同温泉の温泉学的な調査は、北大地球物理学教室による1952年10月および1955年10月の調査(福富ほか)、同じく1970年12月の調査(浦上ほか)、道立地下資源調査所による1978年、1999年の一斉泉質分析の調査がある。特に、北大の2つの調査では1m深地温調査が実施され、川湯温泉の形成と湧出のメカニズムが「アトサヌプリ火山を源とし、周囲の地下水と混合しながら流下するもの」であることが明らかにされ、福富らの調査から浦上らの調査の15年の経過の間に、流下高温部(1m深地温調査により把握)の面積の減少・湧出温度の低下が明らかになっていった。浦上らから41年後の今回の1m深地温調査では、それがやや拡大していることが分かった。75の泉源・水井戸群の泉温・湧出量・泉質(pH・電気伝導度)なども測定し、泉温的には福富らの1950年代の調査の頃に回復していることが明らかになった。1999年の調査では40～55未満が大半であるが、今回の調査では55以上が半数で、55から60未満が泉温分布のピークで、明らかにここ10年あまりの間に急激な回復が認められる。

アトサヌプリ火山の活動に直結する川湯温泉であるが、これは温泉街の衰退にともなう温泉水利用量の減少という、社会経済的要因が関係していると思われるが、火山活動との関係も今後、検討されるべきであろう。

キーワード: 川湯温泉, アトサヌプリ火山, 屈斜路カルデラ

Keywords: Kawayu hot springs, Atosanupuri volcano, Kutcharo Caldera

九重火山からの火山性二酸化炭素放出量の推定 Estimation of volcanic carbon dioxide emission rate from Kuju Volcano, Japan

藤光 康宏^{1*}, 前田 典秀², 江原 幸雄³, 野田 徹郎³

Yasuhiro Fujimitsu^{1*}, MAEDA, Norihide², Sachio Ehara³, NODA, Tetsuro³

¹九州大学大学院工学研究院, ²九州大学大学院工学府, ³地熱情報研究所

¹Faculty of Engineering, Kyushu University, ²Graduate School of Engineering, Kyushu University, ³Institute for Geothermal Information

大分県九重火山の熱水系の数値モデル構築のデータとするために、九重火山地域からの火山性二酸化炭素放出量の推定を行った。

まず、二酸化炭素放出の形態として、火山中心部の噴気孔からの噴気によるもの、噴気孔周辺の裸地の土壌ガスによるもの、山腹部の土壌ガスによるもの、山麓の温泉水によるものの4つを考え、それぞれについて過去の研究結果や現地測定結果から具体的な数値を見積もった。噴気孔からの噴気によるものとしては、観測結果より現在の九重火山の活動が1995年水蒸気爆発以前の状態に戻っていると判断し、江原ほか(1981)が示した約166 t/日を採用した。噴気孔周辺の裸地の土壌ガスによるものとしては、糸井(1993)が示した土壌二酸化炭素濃度分布の結果を、九重火山で蘭ほか(2008)により行われた北川式ガス検知管とCO₂流量計による土壌二酸化炭素測定の結果から得られた、二酸化炭素濃度から流量への換算式により換算して、約0.8 t/日と見積もった。山腹部の土壌ガスについては、北川式ガス検知管による60点の土壌二酸化炭素濃度測定と共に、15点の土壌ガスサンプルについて炭素同位体分析を行い二酸化炭素の起源を推定した。その結果、山腹部についてはほぼ全てが有機物起源の二酸化炭素であると考えられ、火山起源の二酸化炭素放出量は0 t/日とした。最後に、山麓の温泉水によるものとしては、岩倉ほか(2000)により火山起源の炭酸泉であると示されている長湯温泉を考え、平均湧出量と平均二酸化炭素濃度より約5.0 t/日という放出量を得た。

以上より、九重火山からの火山性二酸化炭素の放出量は、噴気孔からの噴気と温泉水によるものが卓越していると推定された。

蘭ほか(2008)九重火山における土壌二酸化炭素濃度測定及びインドネシア・メラピ、メルバブ、ウンガラン火山との比較。日本地熱学会平成20年学術講演会講演要旨集, P15.

江原ほか(1981)九重硫黄山からの放熱量・噴出水量・火山ガス放出量とそれから推定される熱水系と火山ガスの起源。火山第2集, 26巻1号, pp.35-56.

糸井(1993)土壌ガス探査。火山発電に関する基礎的研究 - 九重火山・九重硫黄山における熱構造・熱過程・熱抽出に関するケーススタディ -, 平成1~4年度科学研究費補助金(一般研究(A))研究成果報告書(課題番号:01420038), pp.104-113.

岩倉ほか(2000)長湯温泉(大分県)から放出される二酸化炭素の起源。温泉科学, 50巻2号, pp.86-93.

キーワード: 九重火山, 二酸化炭素, 放出量

Keywords: Kuju Volcano, carbon dioxide, emission rate