

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22310109
 研究課題名（和文） 電磁誘導および全磁力モニタリングによる水蒸気爆発場監視システムの開発
 研究課題名（英文） Development of monitoring system for phreatic eruptions using electromagnetic induction and magnetic total force
 研究代表者
 小川 康雄（OGAWA YASUO）
 東京工業大学・火山流体研究センター・教授
 研究者番号：10334525

研究成果の概要（和文）：

電磁誘導を用いた比抵抗構造モニタリングと全磁力モニタリングによる地下温度監視によって、水蒸気爆発場を監視するシステムの開発を行った。電磁誘導については、半径30mの送信及び受信ループを同一地点に配置する方式で観測点直下の比抵抗構造を精密に計測するハードウェアの開発を行った。全磁力については、草津白根火山湯釜火口周辺に4点配置して、火山体が時間とともに磁化を強めること、すなわち火山体が冷却していることを突き止めた。これは湯釜火口周辺で高温度域が広がりを見せていることと対照的で効率よく放熱が進んでいることを示している。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a monitoring system for phreatic eruption environment (1) with electromagnetic induction method, which images resistivity model and (2) with magnetic total force stations, which detects the temporal changes of temperature at depth. Regarding the electromagnetic induction methods, we developed a coincident loop system, where transmitting and receiving loops with radius of 30m are located at the same location. Regarding the magnetic total forces, our measurements of four stations at Kusatsu-Shirane volcano found decreasing the magnetization of the volcanic edifice, which means that the volcanic body is cooling, although surface thermal areas are expanding at the Yugama crater. We interpret that the volcano is effectively releasing heat from the surface, but the volcano at 500m depth is cooling.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2011年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2012年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			0
年度			0
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：火山噴火 電磁気モニタリング

1. 研究開始当初の背景

わが国で発生する噴火の多くは水蒸気爆発型噴火であるが、その発生予測は、マグマが直接関与する噴火に比べて困難であるとされる。一般的に噴火規模が小さく、マグマの顕著な移動を伴わずに噴火が発生する事例も報告されているためである。しかしながら、過去には大きな人的被害をもたらしたケースもあることから、マグマ性噴火を監視する観測手法に一定の道筋がつけられた現在、水蒸気爆発型噴火の発生予測は、緊急に取り組むべき課題と位置づけられる。

2. 研究の目的

本研究計画では、従来までの力学的モニタリング手法に加え、水蒸気爆発の発生に深く関与する火山流体の挙動と火山体の構造に着目し、電磁誘導・地磁気・火山ガスによる水蒸気爆発発生場の複合モニタリング手法を開発し、検証実験を通じて水蒸気爆発に至る過程を解明することを目指す。

3. 研究の方法

(1) Volcano-loop システムの改良

活動的な火口の直下の比抵抗構造を精密にモニターするためのループ型電磁探査装置を試作し改良を加えた。この装置では、半径 30m の送信ループに直流電流を送信し、それをステップ状に急激に遮断することによって、それによって地中に生ずる誘導電場を、送信ループと同じ場所にある半径 30m の受信ループで測定する。この方式では、送信ループと受信ループが同じ位置にあることから、ループ直下の構造を選択的に高感度に捕らえることができること、また、電流を地下に流すために電極を接地させることも無いことから、観測も容易であるという利点がある。これらは火山の構造監視のためには有利である。

初年度には、ループはインピーダンスが低いので昇圧することなく送信機のバッテリー電源 12V を利用し、IGBT を利用することによって送信波形を矩形に近づけることとした。送信および受信信号は、10kHz の 24 ビット A/D で計測することとした。またシステムはインターネットを介して遠隔から操作可能とした。

試作機の初期では、送受信波形に ringing が顕著に現れた。これは 24bit-A/D 変換回路のデジタルフィルターに問題があることが判

明した。そこで A/D 変換を 16bit のコンパレータ方式のものに変更した。ダイナミックレンジを確保するため、A/D 前に増幅しないものと 1000 倍したものをそれぞれ別のチャンネルに入力して、これらを合成する方式に変更した。これによって ringing 自体は解決した。次いで、引き続きループの inductance と capacitance による送信ループの電流遮断後のアンダーシュートを抑えるためにダンパー抵抗を調整した。ダンパー抵抗が小さすぎると送信波形はステップから外れてアンダーシュートしてしまう。逆に大きすぎると送信波形がなまってしまう。ステップが直線的なランプ波形になるまで調整を行った。次いで受信ループでは、送信ランプに対する出力がステップになるように調整した。開発は予定より遅れ、今後、実際の火山観測に使用する予定である。

(2) 全磁力モニター

プロトン磁力計を 4 式、順次購入し、ソーラパネルを電源として用いて、草津白根火山の水釜北斜面と湯釜南斜面にそれぞれ 2 カ所設置して、オフラインのモニターを開始した。これにより、地磁気データと火山活動との対比が行えるようになった。観測データには、火山体が帯磁する傾向が見られる。このことから、火山体は徐々に冷却していることが推定された。

(3) 火山ガス観測

2010 年秋頃から湯釜内火口内北壁に熱異常が現れ始め、2011 年にはその活動が顕著になり、弱い噴気活動が確認され、その面積は広がる傾向で推移している。

また草津白根山山頂北側に分布する噴気帯では沸点及びそれを超える噴気が円弧状に配列している。このうちの一つでは、噴気温度が沸点を 10°C 程度上回っており、加圧蒸気が引き続き放出されていることがわかっておる。

4. 研究成果

水蒸気爆発を起こす活動的な火口直下の比抵抗をモニターし、地下の熱水流体や蒸気の分布を監視するための、volcano-loop システムを試作した。また、火山体の深部低温化・高温化の変動に伴う火山体の帯磁・消磁現象を計測するために、ソーラパネルを電力源とする全磁力測定装置を 4 台（草津白根火山湯釜火口水釜火口の南に 2 台、北に 2 台）設置した。その結果、湯釜・水釜は、時間ともに帯磁が進む傾向が観測から判明した。このことは、火山体が低温化していることになる。一方、表面現象としては、草津白根湯釜火口

北壁では、2010 年秋から高温異常域が出現し、そのエリアが広がる傾向を見せる。また湯釜・水釜北側斜面の円弧状の噴気帯も相変わらず沸点を超えるガスを放出している。このことと、全磁力の結果とは一見矛盾するように見えるが、火山深部には熱の供給が無く、火山表面からの放熱が進んでいくことによって、効率的に火山体が冷却されているというように解釈できよう。実際に、新たに出現した湯釜火口北壁では、蒸気のトラップとなる低比抵抗を示す粘土キャップが最も薄くなっているため、そこから噴気が出現するのは、構造上自然なことと解釈できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Aizawa, K., T. Koyama, M. Uyeshima, H. Hase, T. Hashimoto, W. Kanda, R. Yoshimura, M. Utusgi, Y. Ogawa, K. Yamazaki, Magnetotelluric and temperature monitoring after the 2011 sub-Plinian eruptions of Shinmoe-dake volcano, Earth Planets Space, 査読有 2013 印刷中
- ② Kanda, W., T. Yamazaki, Y. Ogawa, T. Hashimoto, S. Sakanaka, K. Aizawa, S. Takakura, T. Koyama, K. Yamada T. Kobayashi S. Komori, Shallow Resistivity Structure of Sakurajima Volcano Revealed by Audio-frequency Magnetotellurics, Bull. Volcanol. Soc. Jpn., 査読有, 58 巻, 1 号, 2013, 251-167.
<http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/J/BackNo/indexJ.58.1.html>
- ③ Shinohara, H., J. Hirabayashi, K. Nogami and M. Iguchi, Evolution of volcanic gas composition during repeated culmination of volcanic activity at Kuchinoerabujima volcano, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., 査読有, 202 巻, 2011, 107-116. doi:10.1016/j.jvolgeores.2011.01.011
- ④ Aizawa, K., W. Kanda, Y. Ogawa, M. Iguchi, A. Yokoo, H. Yakiwara, T. Sugano, Temporal Changes in Electrical Resistivity at Sakurajima Volcano from Continuous Magnetotelluric Observations, J. Volcanol. Geotherm. Res., 査読有, 199 巻, 2011, 165-175, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.11.003>
- ⑤ 横山達也・野上健治・小川康雄、草津白

- 根火山ボーリングコアの粘土鉱物の分析、CA 研究会論文集、査読無、2011, 107-116.
- ⑥ 長竹宏之・小川康雄・神田径、VOLCANO LOOP の理論計算、CA 研究会論文集、査読無、2011, 18-23.
 - ⑦ Aizawa, K., A. Yokoo, W. Kanda, Y. Ogawa, M. Iguchi, Magnetotelluric Pulses Generated by Volcanic Lightning at Sakurajima Volcano, Japan, Geophys. Res. Lett., 査読有, 37 巻, 2010, L17301, doi:10.1029/2010GL044208
 - ⑧ Asamori, K., K. Umeda, Y. Ogawa and T. Oikawa, Electrical Resistivity Structure and Helium Isotopes Around Naruko Volcano, Northeastern Japan and its Implication for the Distribution of Crustal Magma, International Journal of Geophysics, 査読有, Volume 2010, Article ID 738139, doi:10.1155/2010/738139

- ⑨ Okubo, A., Kanda, W., Numerical simulation of piezomagnetic changes associated with hydrothermal pressurization, Geophys. J. Int., 査読有, 181 巻, 2010, 1343-1361, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04580.x

[学会発表] (計 19 件)

- ① Y. Ogawa, Nurhasan, S. B. Tank, N. Ujihara, Y. Honkura, & T. Yamawaki, 3D imaging clay-cap and underlying gas reservoir by magnetotelluric modeling and micro-earthquake monitoring at Kusatsu-Shirane volcano, Japan, IAVCEI, Kagoshima, 2013年7月21日、鹿児島県民交流センター (鹿児島市)
- ② 小山 崇夫・相澤 広記・辻浩・神田 径・長谷 英彰・山谷 祐介・渡邊 篤志・橋本武志・田中 良・高倉 伸一・小川 康雄・上嶋 誠・長竹 宏之・吉村 令慧・武尾 実、浅間山山頂域電磁気構造探査序報、地球惑星科学連合大会、2013 年 5 月 19 日、幕張メッセ (千葉市)
- ③ 吉村 令慧・小川 康雄・行竹 洋平・神田 径・小森 省吾・後藤 忠徳・本多 亮・原田 昌武・山崎友也・加茂正人・安田陽二郎・谷 昌憲、箱根火山周辺の三次元比抵抗構造、地球惑星科学連合大会、2013 年 5 月 19 日、幕張メッセ (千葉市)
- ④ 相澤 広記・小山 崇夫・長谷 英彰・上嶋 誠・神田 径・宇津木 充・吉村 令慧・山谷 祐介・橋本 武志・山崎 健一・小松 信太郎・渡邊 篤志・小川 康雄、広帯域 MT 探査による霧島火山群の 3 次元比抵抗構造、地球惑星科学連合大会、2013 年 5 月

- 19日、幕張メッセ（千葉市）
- ⑤ 神田 径・笠谷 貴史・八木原 寛・市原 寛・橋本 武志・小山 崇夫・宇津木 充・井上 寛之・園田 忠臣・小川 康雄、始良カルデラ周辺の比抵抗構造、地球惑星科学連合大会、2013年5月19日、幕張メッセ（千葉市）
- ⑥ Y. Ogawa, H. Fukino, M. Ichiki, and W. Kanda, Three-dimensional imaging of fluids under the volcanic arc, around Naruko Volcano, NE Japan, 5th International Symposium on Three-Dimensional Electromagnetics, Sapporo, Japan, 2013年5月9日、北海道大学（札幌市）
- ⑦ Nurhasan, R. Prihantoro, D. Sutarno, W. Srigutomo, Y. Ogawa, Three dimensional conductivity imaging of volcanoes from Magnetotelluric Data, 2012年度CA研究会、2013年1月11日、気象庁柿岡地磁気観測所（茨城県石岡市）、
- ⑧ 神田 径・小川康雄・高倉伸一・小山崇夫・橋本武志・小森省吾・園田忠臣・佐藤 泉・井上直人・宇津木 充、桜島火山の三次元浅部比抵抗構造、2012年度CA研究会、2013年1月11日、気象庁柿岡地磁気観測所（茨城県石岡市）、
- ⑨ S. Boonchaisuk and Y. Ogawa, 3D Electromagnetic Imaging of NE-Japan Forarc Near Zao Volcano, 21st Electromagnetic Induction Workshop, Darwin, Australia, 2012年7月31日、ダーウィン（オーストラリア）。
- ⑩ 小川康雄・吹野浩美・市來雅啓・神田径、広帯域MT探査による地殻流体の3次元イメージング、2011年度CA研究会 2011年12月14日、東京大学地震研究所（東京都文京区）
- ⑪ Y. Ogawa, H. Fukino, M. Ichiki, W. Kanda, Three-dimensional Imaging Of Geofluids Beneath NE-Japan Arc Using Wide-band Magnetotellurics, AGU fall meeting, San Francisco, 2011年12月9日、サンフランシスコ（米国）
- ⑫ Nurhasan, Y. Ogawa & D. Sutarno., Resistivity Structure of Volcanic Zones derived from Magnetotelluric Data using Phase tensor and Induction Vector Analysis, IUGG Melbourne, 2011年7月2日、メルボルン（オーストラリア）
- ⑬ H. Fukino, Y. Ogawa, M. Ichiki, W. Kanda, B. Tank., Three-dimensional Electrical Resistivity Modelling of the Onikobe Caldera -Implications for Volcanoes and Earthquake Activity, IUGG Melbourne, 2011年7月2日、メルボルン（オーストラリア）
- ⑭ 小川康雄・Nurhasan・山脇輝夫・野上健治・神田径、草津白根火山の3次元比抵抗構造と新たな高温域との関係、CA研究会、2011年2月24日、京都大学防災研究所（京都府宇治市）
- ⑮ 寺田暁彦・野上健治、草津白根火山・湯釜火口湖の熱活動、2010年日本火山学会秋季大会、2010年10月11日、京都大学（京都市）
- ⑯ 小川 康雄、地震発生場と火山の電磁イメージング:最近の成果、AOBセミナー（招待講演）2010年9月27日、東北大学（仙台市）
- ⑰ G. J. Hill, T. G. Caldwell, H. M. Bibby, Y. Ogawa, S. L. Bennie, E. A. Bertrand, and H. Keys, Structure of the Tongariro Volcanic System, New Zealand: Preliminary results from a 3-D Magnetotelluric Survey, 20th Electromagnetic Induction Workshop, 2010年9月24日、Giza(Egypt)
- ⑱ 横山達也・野上健治・小川康雄、草津白根火山のポーリングコアの粘土鉱物解析、2010年日本地球惑星科学連合2010年大会、2010年5月25日、幕張メッセ（千葉県千葉市）
- ⑲ 小川 康雄、地殻の比抵抗構造と地震の分布との関係、日本地球惑星科学連合2008年大会、2010年5月25日、幕張メッセ（千葉県千葉市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 康雄 (OGAWA YASUO)
東京工業大学・火山流体研究センター・教授
研究者番号：10334525

(2) 研究分担者

神田 径 (KANDA WATARU)
東京工業大学・火山流体研究センター・准教授
研究者番号：00301755

野上 健治 (NOGAMI KENJI)
東京工業大学・火山流体研究センター・教授
研究者番号：70251676