

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：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22710171

研究課題名（和文） 火山活動度診断のための新しい熱流計測システムの開発

研究課題名（英文） A measurement of heat-discharge rate from steaming ground in volcanoes: Development of new technique for a volcano surveillance

研究代表者

寺田 暁彦（TERADA AKIHIKO）

東京工業大学・火山流体研究センター・講師

研究者番号：00374215

研究成果の概要(和文)：

火山活動監視能力を強化するために、噴気地の熱流量モニタリングを目的とした、全く新しい熱流計測装置を開発した。本装置は、氷箱熱流計測の原理を応用し、火山ガスが運ぶ伝導伝熱、対流伝熱および潜熱を電氣的に測定する。本装置を用いて現地観測を行ない、氷箱熱流計測法との比較するために、箱根火山に観測定点を設けた。また、噴気地全体からの総放熱量を測定するために、箱根火山に置いて航空機を用いた空中赤外観測を行った。実際の火山で観測を行うことで、本装置の有効性を検証することを期待している。

研究成果の概要(英文)：

We have developed a new measurement system for volcano surveillance. In this study, I focus on a method of taking reliable measurements of the heat-discharge rate through steaming ground. The system enables to electrically measure a conductive, convective and latent heat carried by volcanic gas. To apply the new measurement system to an actual volcano, measurement sites of heat-discharge rate have been deployed at the northern slope of Owakudani, Hakone volcano. Besides, an air-borne IR survey was carried out above these sites. I expect the new technique will be applied to test its validity at Hakone volcano.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			0
年度			0
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

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 火山モニタリング

1. 研究開始当初の背景

本研究の主たる対象である噴気地とは、地面が温かく、火山ガスが地表面全体からジワジワと

染み出している場所で、火山でふっつに見ることができる。噴気地は、火山地下浅部の熱的状态を伺い知る窓、のような存在である。実際、南西

諸島の口永江良部火山では、地震活動とともに噴気地の盛衰が観察されている(井口・他, 2007). 伊豆大島火山でも、噴火直前に温度やガス量が増加したとの観察記録が、古くから残されている(諏訪・田中, 1959).

このように、噴気地は、熱水・マグマの深さや温度、圧力などを反映していることが明らかである(Italiano and Nuccio, 1992; Harris and Maciejewski, 2000). しかし、地表面の、どこからともなく染み出してくる火山ガス量や熱流量を測定することは大変困難である。そのため、噴気地を用いた火山活動のモニタリング研究は進んでいない。全国各地の活動的火山においては、火山噴火を予知するために、地震や地殻変動は24時間モニタリングされている。そのような最重要火山であっても、火山ガスが運ぶ熱流量は測定されていない。

冒頭に述べたように、噴気地は火山の地下浅部活動を鋭敏に反映する。マグマが上昇を開始すれば、マグマ本体よりも先に、マグマから放出された火山ガスや熱が地表面に達する。これを捉える技術を開発することは、地震観測などの既往の観測技術に、新たな武器を追加することを意味する。

熱流計と呼ばれる装置は広く市販されており、過去には火山へ適用された例もある(湯原・他, 1980)。しかし従来の熱流計は、主として伝導的な伝熱量を計測する。噴気地のように対流伝熱や水蒸気の潜熱(火山ガスの上昇)が卓越する場所では、従来の熱流計は役立たない。実際、既存の熱流計は、現在は火山観測に利用されていない。

2. 研究の目的

火山活動監視能力を強化するために、噴気地の熱流量モニタリングを目的とした、全く新しい熱流計測装置を開発する。本装置は、氷箱熱流計測(Terada *et al.*, 2008)の原理を応用し、熱流量を電氣的に高精度で測定することを目指す。

また、本装置を用いて現地観測を行うために、実際の火山に観測定点を設け、繰り返し観測および氷箱熱流計測法との比較を行う。また、その火山からの総放熱量を測定するために、航空機を用いた空中赤外観測を行う。

3. 研究の方法

観測装置としては、センサ部、センサ制御装置、記録装置、電源および野外での使用に耐え

る筐体からなり、これらを自作あるいは専門業者へ依頼して特別に制作して、装置を組み上げる。さらにシステム全体としては、地中温度計や雨量、風速計および記録装置などが必要であり、これらは市販製品を利用する。

現地観測のために、場所選定および航空機と赤外カメラを用いた空中赤外観測を実施する。これにより、地表面温度と熱流量の関係を経験的に導くことができれば、赤外面像を積分することで、対象地域からの総熱流量を推定できる。

4. 研究成果

現状では、装置を組み上げた段階であり、現地観測による実証試験には至っていない。一方、空中赤外観測などを実施し、今後の実証実験の準備は整った。以下で経緯を述べる。

(1) 熱流計測装置の開発

本研究で開発を進めている熱流計測装置の要であるセンサ部について検討を重ねた結果、R素子が最適との結論に至った。また、想定される噴気地の熱流量と、バッテリーの容量に基づき、移動観測に用いるセンサのサイズを見積もった。この結果、センサは最大でも5 cm × 5 cm程度で、これまでの氷を用いた観測で測定してきた測定面積と比較してやや小さい。すなわち、本測定は地表面熱的不均質の影響を受けやすいことが予想される。したがって、小型で多点測定が可能な可搬型のシステムを目指すこととした。

ただし、市販のR素子をそのまま用いても、素子から発熱を十分に逃がすことが困難である。これは、活発な噴気地では熱流量測定が難しいことを意味する。この対処策として、素子冷却方法を検討した。R素子の冷却は、通常、水冷式が用いられ、市販製品が流用できる。この場合、冷却水の蒸発によって失われる熱量評価を機械的に行う仕組みが複雑となる。

そこで、R素子の冷却は空冷式とした。これにより、装置全体の簡易性・軽量性が確保できるばかりでなく、現実の火山噴気地で予想される熱流量範囲を広くカバーできることが分かった。この空冷によってシステム外へ輸送される熱量を評価するために、温度センサを組み込んだ。この温度計測値と、あらかじめ計測した平均気体流量に基づいて、空冷で運ばれる熱量を補正することが可能である。

このように、当初想定よりも装置はやや煩雑となった。しかし、センサおよびセンサ制御は市販品を流用すること、記録計に工夫を加えて、R素子から得られる測定値、温度を時刻に対して外

部メモリに記録する装置を、専門業者に依頼して特別に制作することで、装置の複雑さを低減させた。また、測定値は、付属する液晶窓に表示されるため、移動しながらの繰り返し測定が容易である。別に用意したロガーを用いて、測定値を無線LANに乗せることもできる。

ただし、現構成であっても、装置全体の重量が 10 kg を超えること、防水性能や耐腐食性火山ガス性能が今後の課題として残されている。R 素子制御部は AC 100V 仕様の市販品を流用しているため、本来の DC 24V で動作する簡素な装置を制作することで、観測システムの軽量化を見込んでいる。その他、雨量や風速などの気象観測システムを準備した。

(2) 氷観測および空中赤外観測

装置軽量化を見越して、腐食性火山ガス成分に乏しい箱根火山大涌谷をテストフィールドに選び、氷を用いた熱流計測定点を設置した。また、ほぼ同時期に、軽飛行機に赤外カメラを搭載して、いくつかの火山において上空から地表温度分布を計測した。

以下では、箱根火山における測定結果について述べる。本飛行では、飛行経路にあたる草津白根火山および弥陀ヶ原火山においても観測を行っており、その詳細は別に報告している。

箱根火山では、2001 年に上湯場と呼ばれる地域で始まった地熱活動(噴気地 A-D)が衰退するとともに、隣接域に新たに噴気地 E が 2011 年頃に形成されている。これら A-E の面積は 20,000 m²であった。従来までの方法(Sekioka and Yuhara, 1974)を適用すると、総放熱量は 2.8 MW である。この値は、既存の大涌谷噴気地のそれに匹敵する。新しい熱流計測装置で現地観測を行うことで、上記推定を検証することができるであろう。

また、2012 年 12 月には、同地熱活動域において氷を用いた熱流量計測を行った。その結果、噴気地 D における放熱量は、2009 年に、やはり氷を用いて測定した熱量の 1/5 へ減少していた。すなわち、噴気地 E の形成は、噴気地 A-D の衰退を補う関係にある。この結果を受けて、2012 年 12 月、噴気地 E 周辺 4 か所において 1 m 深地中温度連続観測を開始した。

そして 2013 年 1 月、当地の直下で 2001 年以来となる地殻変動を伴う群発地震活動が始まった。そこで、2013 年 2 月にはさらに 9 か所に地中温度観測点を設け、地下活動と噴気地 E との関係を検討中である。このように、2013 年の群発地震に先行する地表面温度の変化を、本研究で捉えることができた。本装置を用いた連続観

測が実現すれば、空中赤外観測と合わせて、火山ガス放出量の変化を定量的に示すことができるだろう。箱根火山は腐食性のガスが少ない一方、地震活動と地表面熱活動が連動するため、本研究として最適のフィールドであり、2013 年度以降、現地観測を行う予定である。

以上で報告したように、現時点で装置を実際のフィールドへ適用するには至っていない。しかし、装置重量と火山ガスに対する脆弱性を改善してゆくことで、現地観測を行う目途がつつある。現在の氷を用いた観測手法(Terada et al., 2008)では、自動観測や測定値のテレメータが不可能である。本装置を適用することで、噴気地から放出される熱流量を、遠隔地から精度よくモニタリングできるようになる。本装置は、噴気地における伝導・顕熱・潜熱による熱流量を電気的に計測するものであり、これまで定量観測できなかった火山の地表面活動を物理量として知ること、地震などの地下活動との関係を明らかにできるであろう。

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 11 件)

1. 東京工業大学(寺田暁彦)(2013)弥陀ヶ原火山・地獄谷における空中赤外観測:総放熱量の推定,火山噴火予知連絡会会報,印刷中,査読なし
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/CCPVE05.html>
2. 福井敬一・寺田暁彦(2013)霧島山新燃岳 2011 年 2 月の脱ガス活動, 駿震時報, 印刷中, 査読なし
<http://www.jmbisc.or.jp/hp/book/jma0170.htm>
3. 原田昌武・小田原啓・松沢親悟・代田寧・板寺一洋・寺田暁彦(2013)箱根大涌谷の北側斜面における近年の地表面変化と熱赤外カメラによる観測, 温泉地学研究所報告, 44, 55-62, 査読有
<http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/modules/mysection2/item.php?itemid=194>
4. Terada, A. and Y. Sudo (2012) Thermal activity within the western-slope geothermal zone of Aso volcano, Japan: Development of a new thermal area, Geothermics, 42, 56-64, doi: 10.1016/j.geothermics.2012.01.003, 査読有
5. Terada, A., T. Hashimoto and T. Kagiya(2012) A water flow model of the active crater lake at Aso volcano, Japan: fluctuations of magmatic gas and

- groundwater fluxes from the underlying hydrothermal system, Bulletin of Volcanology, 74, 641-655, doi: 10.1007/s00445-011-0550-4, 査読有
6. 上木賢太・寺田暁彦(2012)草津白根火山の巡検案内書. 火山, 57, 235-251, 査読有
http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/J/BackNo/indexJ.57.4.html
 7. 橋本武志・寺田暁彦・江尻 省・中村卓司・阿保 真(2012)一般用デジタルカメラを利用した簡易SO₂ カメラの製作, 火山, 57, 219-225, 査読有
http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/J/BackNo/indexJ.57.4.html
 8. 寺田暁彦(2012)阿蘇火山中岳の火口湖「湯だまり」の火山学的理解, 月刊地球, 399, 34, 12, 712-721. 査読なし
http://www.kaiyo-chikyu.com/
 9. 寺田暁彦・吉川 慎・大島弘光・前川徳光・松島喜雄(2012)空中赤外線観測に基づく噴気地および火口湖面の放熱量推定-有珠火山・登別火山・北海道駒ヶ岳火山-, 北海道大学地球物理学研究報告, 75, 24-41, 査読なし
http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/49008
 10. 松島喜雄・大島弘光・森 濟・前川徳光・鈴木敦生・寺田暁彦・鍵山恒臣(2012)携帯型赤外カメラを用いた航空機による地表面温度測定-有珠、登別、樽前-, 北海道大学地球物理学研究報告, 75, 43-58, 査読なし
http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/49008
 11. 寺田暁彦(2010)火山における熱観測, 火山, 55, 155-163, 査読有
http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/J/BackNo/indexJ.55.3.html

[学会発表] (計 7 件)

1. 寺田暁彦・福井敬一, 日本火山学会 2012 年秋季大会, 霧島火山新燃岳 2011 年噴火における噴気放熱率・放水率の時間変化, 長野県御代田町, 2012 年 10 月 15 日
2. 寺田暁彦, 阿蘇火山の火口湖・湯だまりの地下浅部に推定される温水だまり, 地球惑星科学関連学会 2012 年合同大会, 千葉市, 2012 年 5 月 24 日.
3. Terada, A. and Hashimoto T, Long-term Sustainability of a Hot Crater Lake: Insights from Numerical Simulations. IUGG 2011, Melbourne, Australia, 5 July 2011.
4. 寺田暁彦・吉川 慎・大島弘光・前川徳光・松島喜雄, 有珠火山 2000 年新山からの地表面放熱量の時間変化, 地球惑星科学関連学会 2011 年合同大会, 千葉市, 2011 年 5 月 23 日.
5. Terada, A. Hashimoto, T. and Kagiya, T., Volcanic Lake System at Aso Volcano, Japan: Fluctuations in the Supply of Volcanic Fluid from the Hydrothermal System beneath the Crater Lake. AGU 2010 Fall Meeting, America, 14 December 2010, Invited speaker.
6. 寺田暁彦・野上健治. 草津白根火山・湯釜火口湖底の熱活動, 日本火山学会 2010 年秋季大会, 京都市, 2010 年 10 月 9 日.
7. 寺田暁彦・吉川 慎・野上健治・大倉敬宏・鍵山恒臣. 活動火口に形成された強酸性火口湖における水温モニタリングシステムの開発, 地球惑星科学関連学会 2010 年合同大会, 千葉市, 2010 年 5 月 25 日.

[産業財産権]

○出願状況

測定原理と計測機構について出願予定.

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

寺田 暁彦(TERADA AKIHIKO)

東京工業大学・火山流体研究センター・講師
研究者番号:00374215

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし