

令和元年6月27日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K17822

研究課題名(和文) 始良カルデラ下マグマと温泉の関係及びその流路構造解明

研究課題名(英文) Relationship between geological structure and chemical characteristics of hot springs around Aira caldera

研究代表者

川端 訓代 (Kawabata, Kuniyo)

鹿児島大学・理工学研究科・特別研究員

研究者番号：10773468

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では温泉水を利用し始良カルデラ下に存在するマグマと温泉の関係・地下流路構造を明らかにする事を目的とした。始良カルデラ周囲の温泉・地下水を採取し、溶存イオン・酸素水素同位体・ヘリウム同位体・水中ラドンの分析を行なった。分析の結果、カルデラ周囲に湧出する流体の殆どが天水由来であることが分かった。ヘリウム同位体比分布は始良カルデラ南北のみで高くなる特徴があり、カルデラの南北方向でマントル由来ガスが上昇している事を示している。本地域では湾の南北方向に鹿児島地溝が存在するとされており、これに沿って発達した断層を通じてマントル由来ガスが上昇している実態が明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鹿児島湾を形成する始良カルデラは活火山桜島と若尊を有する巨大カルデラであり、周囲には温泉が多数湧出している。温泉成分の分析と地質調査から、温泉がどのように形成されたのか、マグマとどのように関わり持つのかを調査した。分析・調査結果から、温泉の特徴は地質構造によって大きく規制されており、着目する点として鹿児島地溝に関係する断層方向に沿ってマントル由来のヘリウムが含まれる温泉が分布する事が挙げられる。鹿児島湾では地下深くから断層の裂け目を通してガスが上昇し水と混じり温泉が形成されている。今後これらの温泉をモニタリングする事でマグマ活動など地下の変化を検出できる可能性が開かれた。

研究成果の概要(英文)：Aira caldera located in the Kagoshima Bay is likely to have a large magma chamber, supplying magma to active volcanoes Sakurajima and Wakamiko in the caldera. Around Aira caldera, there are many hot springs which are presumed to be affected by the volcanic activity. We tried to clarify relationship between geological structure and chemical component of hot springs gas and water, especially focusing on helium isotopes ratio. We sampled 24 hot springs water and analyzed stable hydrogen and oxygen isotopes ratio, helium isotopes ratio, dissolved ions and radon isotope concentration. The results show that most of all hot springs is meteoric water origin. The hot springs including mantle helium was recognized only at northern and southern region of the caldera. The distribution is also related to fault distribution formed by Kagoshima rift activity. These results suggest that mantle originated gas is upwelling through the faults associated with Kagoshima rift.

研究分野：地球化学

キーワード：始良カルデラ 温泉 断層 ヘリウム同位体比 マグマ

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

### (1)【地殻変動と地殻流体について】

地殻内に存在する流体は地殻流体と呼ばれている。流出する地殻流体の同位体分析法・機器の発達により、流体組成の同位体分析から流体の起源に関する情報を得る事が可能となってきた(風早ほか, 2014)。火山地域では温泉が多数湧出し、マグマの活動変化に伴う亀裂形成や地盤上下変動の時間スケールが短く、地殻変動に伴う流体変化が顕著に現れる。例えば、2014年9月に噴火した御嶽山ではヘリウム同位体比が噴火の前後で変化し、噴火の前兆が捉えられる可能性が指摘されている(Sano et al., 2015)。流体の変化から噴火など地殻変動予測を推測できる可能性が高まってきていた。

### (2)【始良カルデラと桜島の火山活動について】

日本列島はプレート沈み込み帯に位置し、噴火や地震など数多くの災害を引き起こしてきた。中でも九州地方で頻発したカルデラ噴火による被害は甚大である。しかしカルデラ噴火規模のマグマ活動の実態は未知である。鹿児島県中心街に隣接する始良カルデラ下にはマグマ溜まりが存在するとされ、カルデラ内には活動的な火山「桜島」や海底火山の「若尊(わかみこ)」を有する。桜島では歪計・地震計が設置されCO<sub>2</sub>の放出量や降下火山灰が測定されており、若尊でも噴出する熱水調査が定期的に行われている(例えば木川田ほか, 2007)。両火山における流体の同位体組成から桜島・若尊はカルデラ下マグマと繋がりがあつた事が明らかとなつてきた(Rouilleau et al., 2013)。桜島では2015年8月マグマが上昇し昭和噴火以来初めて警戒レベルが4に上がった。また若尊においても2015年にCO<sub>2</sub>量の上昇が報告され(岡山大学プレスリリース 15.10.23)、現在始良カルデラ下マグマが活動的になっていると考えられていた。

## 2. 研究の目的

本研究では鹿児島県の温泉水を利用し、始良カルデラ下に存在するマグマと温泉の関係・地下流路構造を明らかにする。始良カルデラは活火山「桜島」「若尊」を有する巨大カルデラである。始良カルデラ内外では、火山の影響を受けた温泉が多数湧出している。始良カルデラ内の桜島や若尊に湧出する温泉や流体はマグマとの関係が研究された例がある。しかし、カルデラ周囲については、温泉と地質の関係についての議論に限定されている。そこで本研究ではカルデラ周囲の温泉を調査しマグマとの関係・地質構造との関係を議論する事によって、カルデラの浅部流路構造を明らかにすることを目的とした。さらに、活動が活発になり始めた桜島内の温泉をモニタリングすることによって噴火と温泉変化の検出を試みた。

## 3. 研究の方法

(1) 温泉水の成分解析・同位体比解析を行い、始良カルデラ下に存在するマグマと温泉の関係を明らかにした。鹿児島県下の始良カルデラ周辺の鹿児島市、霧島市、垂水市から合計温泉から21サンプル、地下水2サンプルを採取し、以下の分析を行なった。(a) 酸素水素同位体比分析、(b) ヘリウム同位体比(<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He)分析、(c) 溶存イオン分析、(d) ラドン同位体分析。酸素水素同位体比からはマグマ水と天水(雨水)の混合率、ヘリウム同位体比からマグマ起源ガスの混合率を推定した。ラドン濃度からは帯水層の地質情報や流体の通過する亀裂生成場所に関わる情報を得た。これらの分析結果を地図上にプロットし、地質・地質構造との比較・カルデラ内マグマが影響を与える地域を特定した。

(2) 桜島に湧出する3温泉を月に1~3回サンプリングを行い、(1)に挙げた分析を定期的に行なった。これらの結果を噴火情報と比較し、噴火に伴う温泉変化検出を試みた。

## 4. 研究成果

(1) 本研究では温泉水を利用し始良カルデラ下に存在するマグマと温泉の関係・地下流路構造を明らかにする事を目的とした。始良カルデラ周囲の流体(温泉・地下水)を採取し、溶存成分の分析を行なった(溶存イオン・酸素水素同位体・ヘリウム同位体・水中ラドン)。ラドン測定に関して、本研究では新たに軽量のポリエチレンボトルを用いた水中ラドン濃度推定法を開発し、この手法を用いて測定を行なった。本開発法は論文にまとめた。一方、始良カルデラ周囲の地質を詳細に解析し、既往研究である湾内の地質構造探査結果をまとめ温泉分析結果との対比を行なった。この結果をもとに温泉水と地質構造の関係について議論を行った。

流体分析の結果、カルデラ周辺に湧出する流体の殆どが天水由来であることが明らかとなった。鹿児島市内では天水とマグマ水の混合で形成されたと考えられる温泉が2ヶ所確認された。鹿児島市は始良カルデラの西縁にあたり、基盤岩がハーフグレーベン構造を呈し東へ落ち込んでいる。マグマ水の混合が考えられる温泉はグレーベンを形成する断層上、グレーベン構造中の局所的な凹地に位置しており、断層を通じてマグマ水が混入したと考えられる。

ヘリウム同位体比(<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He)分布は始良カルデラである鹿児島湾の南北のみで高くなる特徴が示された(図1)。このことは湾の南北方向でマントル由来ガスが上昇していることを示している。湾内の地質構造探査では湾北部に南北走向の断層が複数確認されており、この断層の北側(陸上延長)でヘリウム同位体比が高いことから、断層を通じたヘリウムガスの上昇が推測される。始良カルデラ南部にあたる桜島においても島の南北でのみヘリウム濃度が高い傾向が確認された。桜島では過去の複数の噴火の際に板状に溶岩が上昇したと考えられている。時代に

よって南北、東西と一様でない方向に溶岩流出があったにも関わらず、ヘリウム同位体濃度が南北のみで高くなる。この結果と始良カルデラ北部の地質構造を考慮すると、湾北縁から南部の桜島までを切断する大断層、もしくは断続した断層群が存在する可能性が考えられる。本地域では湾の南北方向に鹿児島地溝が存在するとされており、地溝の活動に伴う断層である可能性が高い。

本研究の結果、地下深くからマントル由来ガスやマグマ水が断層を主とする地質構造に規制されて上昇し、天水と混合して温泉を形成していることが明らかとなった。カルデラ下マグマの影響はカルデラの南北ライン、そして西部（鹿児島市内）に及んでいる実態が明らかとなった。

(2) 3年間継続した桜島内の温泉定期観測では、ヘリウム同位体比にスパイク的变化が確認された。この変化は火山ガス量、重炭酸イオン濃度と正の相関が見られることから、マグマからの脱ガスの増加に伴う変化を捉えていると推測できる。同時期のラドン濃度に変化が見られないことから、新たな亀裂が生じることなくガス量が増加していると考えられる。これらの結果は温泉モニタリングにより噴火時のマグマ・地殻の情報を検出することが可能である事を示している。

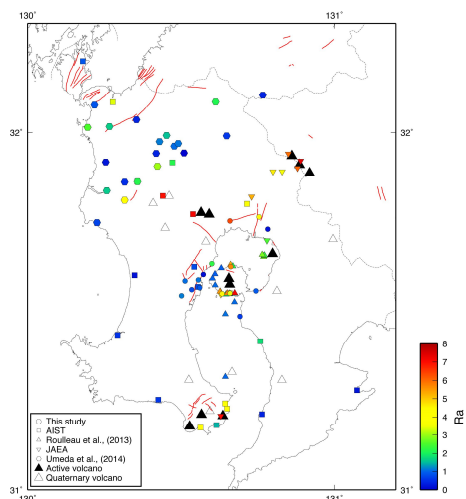


図 1. ヘリウム同位体比 (Ra) マップ。  
(コンパイルデータを含む)

#### 引用文献

- 風早ほか, 2014, 日本水文学会誌, 44 巻, 第 1 号, pp.3-16,  
Sano et al., 2015, *Scientific Reports* 5, Article number:13069  
木川田ほか, 2007, 温泉科学, 57, pp.30-41  
Roulleau et al., 2013, *J Volcanol Geotherm Res*, 258, 163-175

#### 5. 主な発表論文等

##### 〔雑誌論文〕(計 2 件)

- (1) 川端 訓代, 渡部 真衣, 北村 有迅, 「鹿児島市に湧出する温泉水・地下水中ラドン濃度と活断層の関係」, 鹿児島大学理学部紀要, Vol.51 pp.52-59  
(2) 川端 訓代, 北村 有迅, 富安 卓滋, 「ポリエチレン保存容器から大気への拡散を考慮した水中ラドン濃度推定法の開発」, 分析化学, Vol.68, 5, pp.333-338

##### 〔学会発表〕(計 3 件)

- (1) 川端訓代, 森川徳敏, 風早康平, 高橋浩, 高橋正明, 児玉谷仁, 鹿野和彦, 北村有迅, 富安卓滋, 始良カルデラ周辺の温泉と地質構造の関係, 日本地球惑星科学連合大会 2018 年大会, ポスター発表, 2018 年 5 月 23 日  
(2) 川端訓代, 細野高啓, 佐藤努, 高橋浩, 高橋正明, 井出淨, 北村有迅, 小泉尚嗣, 深水慶介, 2016 年熊本地震における地下水ラドン濃度変化, 日本地球惑星科学連合大会 2018 年大会, ポスター発表, 2018 年 5 月 22 日  
(3) 渡部真衣, 北村有迅, 川端訓代, 日本地質学会西日本支部第 169 回例会, 広島, 2018 年 3 月 3 日. ポスター

##### 〔図書〕(計 1 件)

- (1) 土屋健, ジオルジュ編集部, 「理系に育てる基礎のキソ 地球のお話 365 日」, 技術評論社, 2018 年 12 月

##### 〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：  
ローマ字氏名：  
所属研究機関名：  
部局名：  
職名：  
研究者番号（8桁）：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：風早康平  
ローマ字氏名：Kohei Kazahaya

研究協力者氏名：森川徳敏  
ローマ字氏名：Noritoshi Morikawa

研究協力者氏名：角森史昭  
ローマ字氏名：Fumiaki Tsunomori

研究協力者氏名：富卓滋  
ローマ字氏名：Takashi Tomiyasu

研究協力者氏名：高橋浩  
ローマ字氏名：Hiroshi Takahashi

研究協力者氏名：高橋正明  
ローマ字氏名：Masaaki Takahashi .

研究協力者氏名：児玉谷仁  
ローマ字氏名：Hitoshi Kodamatani

研究協力者氏名：北村有迅  
ローマ字氏名：Yujin Kitamura

研究協力者氏名：鹿野和彦  
ローマ字氏名：Kazuhiko Kano

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。