

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻流体の化学的観測による地震火山活動評価システムの高度化と応用

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化  
イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化  
エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測  
(4) 中長期的な火山活動の評価  
イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究  
イ. 首都直下地震  
(3) 研究基盤の開発・整備  
イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでに開発してきた四重極質量分析計による観測システムを高度化し本宮観測点などにおいて観測を実施し、周囲の地震火山活動とHe,N<sub>2</sub>,Arの組成の時間変化との対応を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題では、本宮観測点などにおいて地下水・噴気観測を実施する。採取した地下水や噴気のガス成分の組成を、四重極質量分析計によって連続的に計測する。

毎年2回の地下水・噴気サンプリングを行い、<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>Heをはじめ測定可能な全ての化学分析を実施する。<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>Heの分析と酸素水素同位体比の測定は産総研で実施する。

これらの分析結果を集約するとともに、それぞれの地域での地殻変動や火山活動の情報を収集し、周囲の地震火山活動とHe,N<sub>2</sub>,Arの組成の時間変化との対応を明らかにする。また、データが蓄積された段階で「先行現象に基づく地震発生の確率予測」を主課題としているグループとデータを共有し、データを評価する。

(8) 令和5年度及び計画期間中（令和元年度～5年度）の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2022年9月から2023年9月は三重県度会郡大紀町の大紀観測点で観測を行った。大紀観測点の溶存ガスは、酸素濃度で大気量を見積もると40%が大気起源であり、60%近くの深部起源ガスが含まれていることが分かった。観測期間中の通常の地震は0回、深部低周波地震は6回あったが、これらに応答するような溶存ガス組成の変化検出できなかった。質量スペクトルをGiggenbachの方法で自動解析すると、大紀観測点の溶存ガスが高濃度で安山岩質マグマ端成分のガスを含んでいることを突き止めることができた。

・計画期間中（令和元年度～5年度）の成果の概要

この研究の目的は、温泉溶存ガス連続測定システムの高度化を行って実用性を検討するとともに、紀伊半島直下の深部低周波地震の活動を、温泉に溶存するガスの連続観測によって検出が可能かを明らかにすることであった。このために、深部低周波地震の震源域があつて第四期火山が確認されていない紀伊半島の3つの温泉で観測を行った。その結果、温泉溶存ガスの連続観測によって、深部低周波地震の活動と関連していそうな変化を検出することはできなかったが次の成果を得た。

【新しい自動サンプリング装置を用いた地殻流体連続観測システムの開発】（投稿準備中）

1. 温泉水の採水・溶存ガスの抽出と分析までを全自動で行う装置を開発した。
2. 得られた質量数スペクトルをGiggenbachの方法で自動解析するシステムを開発した。
3. これらを組み合わせたシステムにより、地殻流体の化学観測システムの高度化を行うことができた。

1997年に五十嵐によって初めて開発された、地下水溶存ガスを四重極質量分析計でその場観察する手法(Igarashi+(1997))は、その後改良を加えられながらいくつかの研究で使われてきた(Tsunomori+(2008), Fu+(2021))。これらの研究では温泉遊離ガスを測定に使用してきたが、遊離ガスが少ない場合は溶存ガスを積極的に抽出することが求められる。そこで本研究ではまず、溶存ガスを積極的に抽出する仕組みを導入した自動サンプリング装置の製作を行うことで、地殻流体の化学的観測システムの高度化を目指した。そして、この装置を用い、深部低周波地震の震源域で第四期火山が確認されていない紀伊半島の3つの温泉で観測を行い、深部低周波地震を温泉溶存ガスの組成変化で検出できないかを検討することを目指した。

連続観測に先だって、Morikawa+(2016)で報告された温泉のうち、本宮観測点(HON)・川湯温泉(KWY)・阿曾温泉(TAI)について、温泉水の酸素水素同位体比およびヘリウム同位体比を分析した。酸素水素同位体比は、日本の平均的な値の範囲内であり、天水線に乗っていたことから、これらの観測点の水は天水起源であり、いわゆるマグマ水を含んでいないことがわかった。一方、ヘリウム同位体比は大気の値で規格化した値で4.5Raから5.8Raであり、これら観測点の溶存ガスが深部起源のガスを多く含んでいることが確かめられた。そこで、2021年6月から12月までは、産総研が水位観測を行っている本宮観測点で、続いて2022年1月から7月までは、本宮観測点から南に2kmの位置にある川湯観測点で、そして、2022年9月から2023年9月は三重県度会郡大紀町の大紀観測点で観測を行った。

本宮観測点の溶存ガスは、酸素の量から評価すると大気に二酸化炭素とメタンが追加されたような組成で、酸素濃度によって見積もると90%以上が大気起源ガスであった。観測期間中、2021年10月5日のポンプメンテナンスの時の不連続な変化を除いて、組成は安定して推移した。また、通常の地震は4回、深部低周波地震は25回あったが、これらに応答するような溶存ガス組成の特徴的な変化は観測できなかった。川湯観測点の溶存ガスは、本宮観測点と同様に評価すると85%が大気起源ガスであった。組成は安定して推移した。観測期間中の通常の地震は4回、深部低周波地震は28回あったが、これらに応答するような溶存ガス組成の特徴的な変化は観測できなかった。大紀観測点の溶存ガスは、酸素濃度で大気量を見積もると40%が大気起源であり、60%近くの深部起源ガスが含まれていることが分かった。観測期間中の通常の地震は0回、深部低周波地震は6回あったが、これらに応答するような溶存ガス組成の変化検出できなかった。

いずれの観測点の溶存ガス組成の時間変化にも紀伊半島で発生した地震に対する応答は検出されず、紀伊半島直下の深部低周波地震の発生に呼応するような変化も検出できなかった。本計画の当初目的の一つであった、地下水観測にもとづく深部起源ガスの観測によって深部低周波地震の検出は、残念ながらできなかった。しかし一方で、もう一つの目的であった安定して測定を行う測定システムの高度化には成功し、いずれの観測点でも得られた質量スペクトルをGiggenbachの方法で自動解析するこ

とができた。この結果、3つの観測点のうち、HONとKQYの溶存ガスはほぼ大気起源のものであったが、TAIの溶存ガスが高濃度で安山岩質マグマ端成分のガスを含んでいることを突き止めることができた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望  
製作したガス連続観測システムは、高度化できただけでなく、観測点の移動も容易にできるものとなったことから、今後の地殻流体や火山ガスなどを移動観測することが可能になり、地震・火山活動の推移モニタリングに応用できる。

(9) 令和5年度の成果に関連の深いもので、令和5年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Tsunomori,F., Morikawa, N. and Takahashi, M.,2024,Deep-Seated Fluids in Thermal Waters Before and After the 2016 Kumamoto Earthquakes,Groundwater,10.1111/gwat.13394,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

角森史昭・森川徳敏・高橋雅明・川端訓代,2023,地震火山相互作用の検出を目的とした地下水溶存ガスの連続観測,JpGU2023,C001421

(10) 令和5年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地球化学観測（採水・同位体等）

概要：温泉水の採水・溶存ガスの抽出と分析までを全自動で行う装置を開発し、得られた質量数スペクトルをGiggenbachの方法で自動解析するシステムを開発した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：三重県度会郡大紀町阿曾 34.340510 136.409909

調査・観測期間：2022/9/-2023/9/

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

(11) 次期計画における課題名：

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

角森史昭（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

小泉尚嗣（滋賀県立大学）,森川徳敏（産業技術総合研究所）,川端訓代（鹿児島大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：角森史昭

所属：東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設