

Press Release

令和 7 年 11 月 27 日

報道機関 各位

能登半島北東部の温泉・深層地下水の定期観測が深部流体の 起源と令和 6 年能登半島地震に先立つ変動を明らかにした

■ ポイント

- ・能登半島北東部の温泉・深層地下水を定期的に調査し、ヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) ※¹ の時間変動を観測しました。
- ・ $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比のデータと地震波トモグラフィ※² を組み合わせることで、マントルから上昇した流体が能登半島北東部の群発地震に関与したことを明らかにしました。
- ・ $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比データを用いて地殻の体積ひずみを推定しました。計算された体積ひずみは、令和 6 年能登半島地震に先立って変動しました。

■ 概要

2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震以前から、能登半島北東部では長期的な群発地震が観測されていました。富山大学・高知大学・東京大学・金沢大学などからなる研究チームは、2022 年から定期的に能登半島北東部の温泉・深層地下水を調査して、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の時間変動を観測しました。観測された高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と地震波トモグラフィは、マントルから上昇した流体が群発地震に関与したことを示唆しています。また、令和 6 年能登半島地震に先立つ $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の低下は、ひずみの変化に伴い変形した帯水層の岩石からの脱ガスに起因するものと考えられます。本研究成果は、Nature Communications 誌にて 2025 年 11 月 26 日（水）（日本時間）に掲載されました。

■ 研究の背景

2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震は、地域に甚大な被害をもたらしました。それ以前から、能登半島北東部を震源とする長期的な群発地震が観測されており、地下深部に存在する流体（深部流体）の挙動が、地震を引き起こす要因となった可能性が指摘されてきました。地震のメカニズムを解明するためには、こうした深部流体の起源を明らかにすることが重要です。しかし、これまでその点については明確な結論が得られていませんでした。温泉や地下水に含まれる $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は、マントルや地殻起源物質の混入を反映して変化するので、流体の起源や、地震に伴う岩石の変形・脱ガスなど、地下で起きている現象を知る手がかりとなります。また、地震波トモグラフィは地下の構造を推定する上で非常に有効な手法です。本研究では、深部流体の起源と、群発地震に伴い能登半島北東部の地下で発生した現象の理解を目的として、当該地域の温泉における $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の時間変動を観測し、その結果を地震波トモグラフィと組み合わせて分析しました。

■ 研究の内容・成果

本研究チームは2022年6月から2024年10月にかけて、定期的に能登半島北東部の温泉（図1の #1 ASY, #2 TKR）で温泉水・遊離ガス試料を採取し、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比などを測定しました。図2aは、 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比を用いて大気起源ヘリウムの混入率を推定し、その影響を補正して得られた大気補正 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の時間変動を示しています。これらの値は非火山地域としては非常に高く、マントル起源ヘリウムの混入を示唆しています。図3は、地震波トモグラフィに基づく日本の地下深部構造の模式図であり、マントルウェッジから能登半島直下まで、高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を持つマントル物質が上昇可能であることを示唆しています。能登半島直下まで上昇したマントル物質は、図4のように直径約1kmのマグマを供給し、これが冷却・固化する過程でマントル起源ヘリウムを含む水・流体を放出し、蓄積された深部流体が群発地震を駆動したと考えられます。そして深部流体の成分が浅部の帯水層まで到達することによって、高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を持つ温泉として観測されたものと解釈できます。また、2地点の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は2023年5-7月において同時に低下しました（図2a）。これは群発地震によって変形した帯水層の岩石から、低い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を持つ成分が脱ガスしたことによるものと考えられます。本研究では、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の変動に基づき、岩石から脱ガスしたヘリウムの量と、変形に伴う体積ひずみを推定しました（図2b）。ヘリウム同位体比の低下から計算した体積ひずみは令和6年能登半島地震に先立ち増加しており、地震の前兆現象と言えるかもしれません。

■ 今後の展開

温泉や深層地下水における $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の定期観測と地震波トモグラフィを組み合わせた研究手法は、地下の構造の解析や、地震に関与する流体の起源・挙動の解明に役立ちます。また、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は「ひずみ計」としても有用であると考えられます。今後は、内陸で地震活動が活発な地域や、大地震が予測されている南海トラフ周辺でも、同様の観測研究を開始することが重要です。

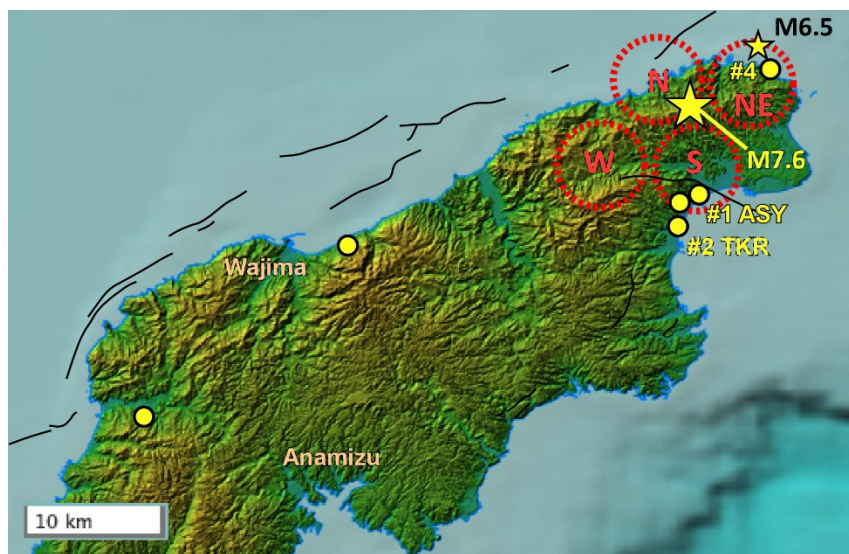


図 1. 調査地点

丸印は本研究の調査地点を示し、定期観測を行ったサイト #1 ASY, #2 TKR は北東部に位置します。星印は2023年5月に発生したM6.5地震、2024年1日に発生したM7.6地震の震央を示します。破線の円で囲まれた領域は、震源集中域 Clusters S, W, N, NE (Amezawa et al., 2023, *Geophys. Res. Lett.*; Nishimura et al., 2023, *Sci. Rep.*)を示します。黒線は活断層（井上・岡村（2010）地質調査総合センター；尾崎（2010）地質調査総合センター）です。本図は「地理院地図（電子国土 Web）」（国土地理院；<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>）で出力したベースマップを修正して作成しました。

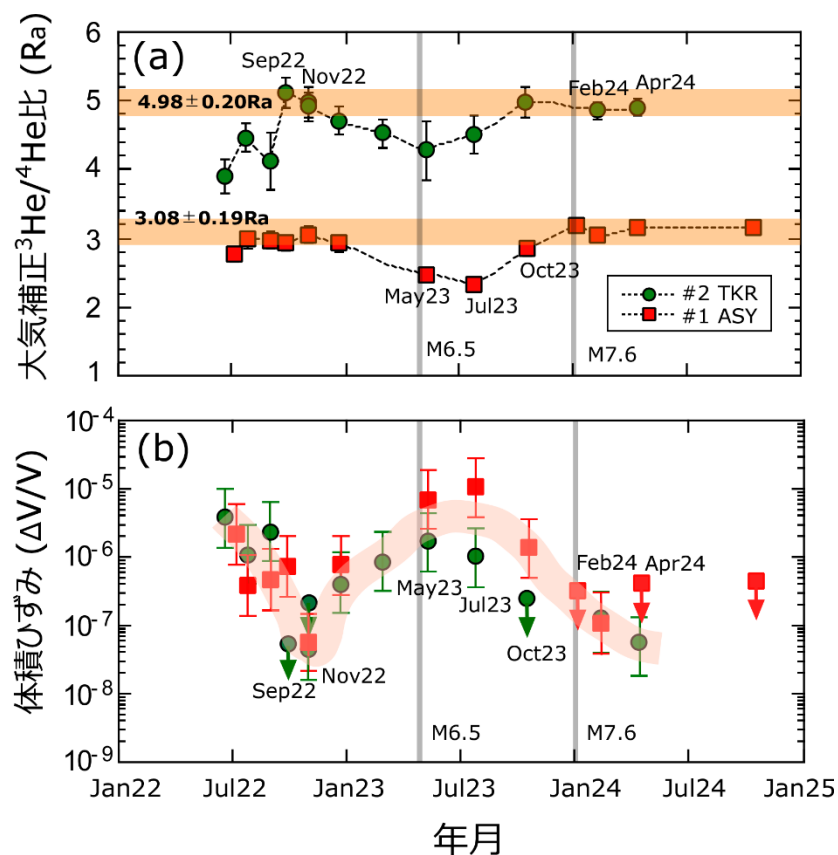


図 2. 調査地点における大気補正 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と体積ひずみ推定値の時間変動
 四角印は#1 ASY、丸印は#2 TKR における時間変動を示します。灰色の帯は、2023 年 5 月の M6.5 地震、2024 年 1 月の M7.6 地震の発生時期を示します。エラーバー: 2σ
 (a) 大気補正 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の時間変動
 橙色の帯は $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比のベースラインを示します。
 (b) 体積ひずみの推定値の時間変動
 下向きの矢印が付いているシンボルは上限値を意味します。赤色の帯は、ひずみの増減トレンドです。

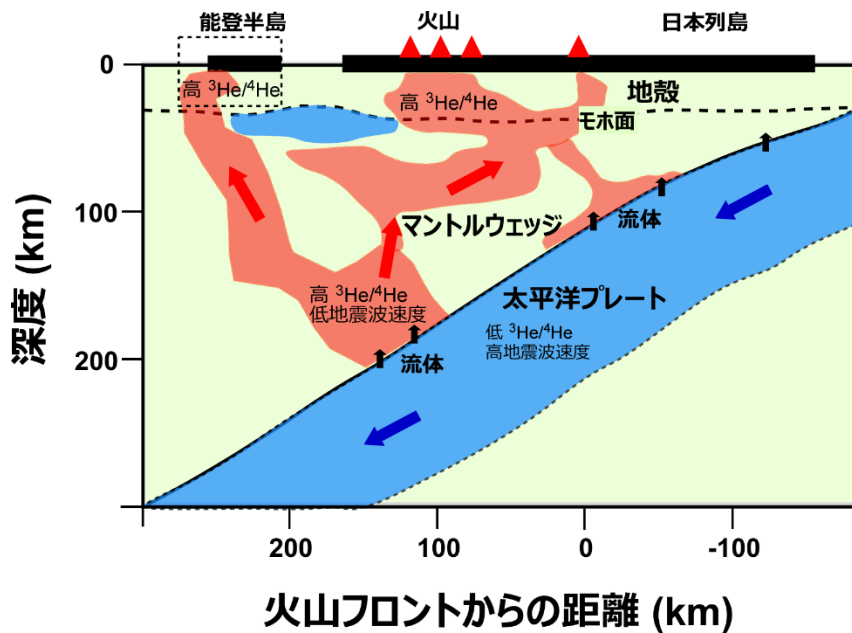


図 3. 日本列島の地下構造の模式図

赤色で示される低速度域は柔らかく、物質が上昇可能と考えられます。

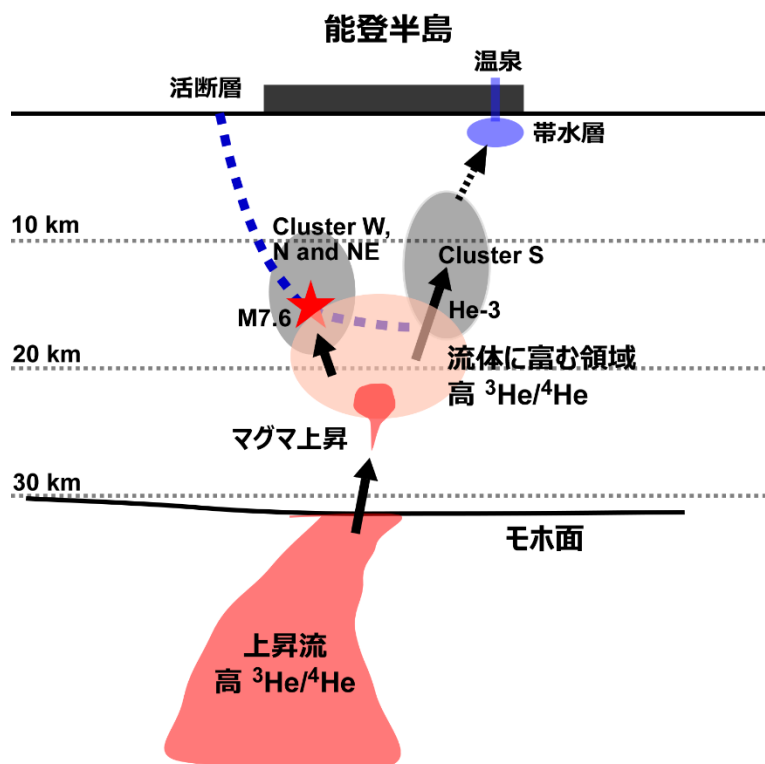


図 4. 能登半島の地下構造の模式図

本図は Nishimura et al. (2023, *Sci. Rep.*), Kato (2023, *Geophys. Res. Lett.*) を参考に作成しました。温泉で観測された高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と地震波トモグラフィから、このようにマントル起源ヘリウムを含む深部流体が上昇していると考えられます。

【用語解説】

※1) $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比

ヘリウムの安定同位体比をこのように表します。ヘリウムには質量数 3 と 4 の安定同位体が存在し、主に ^3He は地球形成時に宇宙空間から固体地球内部に取り込まれた始原的な成分、 ^4He はウランやトリウム放射壊変で生成された α 粒子です。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はマントルでは高く、地殻では低いため、温泉・地下水中の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を測定することによってヘリウムの起源を解析することができます。

※2) 地震波トモグラフィ

地震波の到着時刻データを用いて、地下の地震波速度構造を推定する手法です。地震波速度は物質の密度などに応じて変動するため、地下の構造を調査する上で有用です。

【発表詳細】

題目：

Helium isotope anomaly in groundwater prior to the 2024 Noto Peninsula earthquake

著者：

Takanori Kagoshima, Yuji Sano, Naoto Takahata, Yume Kawamoto, Tomo Shibata, Ying Li, Tomoaki Morishita, Yoshihiro Hiramatsu, Junichi Nakajima

掲載誌：

Nature Communications

DOI : 10.1038/s41467-025-65717-9

発表日時：

2025 年 11 月 26 日

本件に関するお問い合わせ先

【研究に関すること】

富山大学 学術研究部理学系

助教 鹿児島 渉悟

TEL : 076-445-6577 または 076-445-6545

Email : kagos@sci.u-toyama.ac.jp

高知大学 海洋コア国際研究所

所長/特任教授 佐野 有司

TEL : 088-864-6712 Email : yuji.sano@kochi-u.ac.jp

金沢大学 理工研究域地球社会基盤学系

教授 平松 良浩

TEL : 076-264-6519 E-mail : yoshizo@staff.kanazawa-u.ac.jp

金沢大学 理工研究域地球社会基盤学系

教授 森下 知晃

TEL : 076-264-6532 E-mail : moripta@staff.kanazawa-u.ac.jp

【広報担当】

富山大学総務部総務課広報・基金室

TEL : 076-445-6028 E-mail : kouhou@u-toyama.ac.jp

高知大学広報・校友課広報係

TEL : 088-844-8643 E-mail : kh13@kochi-u.ac.jp

東京大学大気海洋研究所附属共同利用・共同研究推進センター広報戦略室

E-mail : kouhou@aori.u-tokyo.ac.jp

金沢大学理工系事務部総務課総務係

TEL : 076-234-6957 E-mail : s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp