

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510250

研究課題名(和文)希ガス同位体を用いた変動地形が明瞭でない活断層調査法の構築

研究課題名(英文)Helium isotopes as a tool for detecting concealed active faults

研究代表者

梅田 浩司(Umeda, Koji)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター・リーダー

研究者番号：60421616

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：東北地方太平洋沖地震によって誘発されたと考えられる活断層の周辺において、地下水等を採取し、主成分組成、水素・酸素同位体組成および溶存ガス中の希ガス同位体組成の定量を行う。その結果、主震の震源近傍では、地震後に $3\text{He}/4\text{He}$ 比の若干の増加が、震源から数十km以上離れた地域では、 $3\text{He}/4\text{He}$ 比が若干減少する傾向が認められた。このことは、震源近傍では断層活動によって地下深部のマントル起源のヘリウムの上昇が、震源から離れた地域では、揺れによって岩石中の微小割れ目から地殻起源のヘリウムが地下水に付加されたと考えられる。また、希ガス同位体は変動地形の明瞭でない活断層の調査に有効であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study was undertaken to elucidate spatial and temporal changes of $3\text{He}/4\text{He}$ ratios around a source region before and after an inland earthquake using both existing and new and helium isotope data from hot spring and drinking water wells. Gas samples near the main active fault and its surrounding faults are characterized by an increase in postseismic $3\text{He}/4\text{He}$ ratios. In contrast, the postseismic ratios decreased by up to about 30 % away from the mainshock epicenter. Episodic faulting could either release stored crustal (radiogenic) helium from host rocks, or enhance the transfer of mantle volatiles through permeable fault zones, such that subsequent fluid flow near to the source region could then explain the spatio-temporal variations in $3\text{He}/4\text{He}$ ratios. Consequently, helium isotopes can be regarded as a tool for investigating and/or mapping concealed active faults with no surface expression.

研究分野：自然災害科学

キーワード：活断層 ヘリウム同位体

1. 研究開始当初の背景

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、M9.0の地震と津波によって多くの人命や財産を失ったばかりではなく、それに伴う原子力事故の影響は我々の日常生活のみならず産業全般にも及び、その深刻さも日々増している。国民の大切な生命や財産を地震から守ることは、世界有数の地震多発国である日本の責務であり、そのための調査研究も政府の地震調査研究推進本部のもと関係研究機関によって進められてきた。このうち、活断層は過去に発生した地震の痕跡であり、将来にわたっても同様な活動が生じる可能性が高いことから、これらの断層の位置や活動性に関する情報は防災の観点から極めて重要となる。日本列島の主要な活断層については、活断層研究会編(1991)等によってその分布が取りまとめられている。

一般に、活断層の調査は、空中写真判読等によって活断層地形を識別する地形学的手法、活断層周辺を掘削して断層の変位や周辺の地層との切断・被覆関係等を調べる地質学的手法および反射法地震探査や重力探査等によって活断層の地下構造を推定するための地球物理学的方法を組み合わせで行われる(例えば、原子力安全委員会, 2008)。しかしながら、活動性が低い断層($< 0.1 \text{ mm/y}$)については、断層変位がその後の侵食によって不明瞭(地形学的検知限界; Kaneda, 2003)になるほか、平野部の厚い沖積層で覆われている伏在断層についても従来の調査手法では活断層としての認定が困難である。そのため、これらの活断層の存否を確認するためには、地形・地質学的手法や地球物理学的手法を補完するための新たな調査法の構築が必要となっている。

活断層から水素、二酸化炭素、ラドン、ヘリウム等の揮発性物質が放出されているといった観測事例がいくつか報告されている。これらの放出は、内陸地震が発生する前後に見られる放出(非定常放出)と断層活動が生じていない静穏な期間における放出(定常放出)に区別される(例えば、野津, 2005)。このうち、不活性ガスであるヘリウムは、地殻中での化学反応を生じにくいことから、地下深部の化学的な情報を得るための重要な指標の一つである。これまでにも、1984年長野県西部地震の前後に温泉ガス中のヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比)が増加したこと(Sano et al., 1986)、米国のSan Andreas断層付近では活動が静穏な時期にも高いヘリウム同位体比が観測されている(Kennedy et al., 1997)。

応募者らのグループでは、いくつかの非火山性の温泉に含まれる溶存ガス・遊離ガスの希ガス同位体を含む地球化学的な特徴からその成因について論じてきたが、これとは別に、2000年鳥取県西部地震および2004年新潟県中越地震の震源域およびその周辺に掘削された地下水井や温泉井から採取した試料に

ついての分析も予察的に行ってきた。その結果、これらの震源域では全般的に高いヘリウム同位体比が観測された。特に2000年鳥取県西部地震震源域の観測では、モーメントテンソル解から求められた起震断層セグメントに近い試料ほど高いヘリウム同位体比を示すこと等から、これらの地震に関連する断層はマントル起源のヘリウムが地殻浅所に上昇するための通路となる可能性が考えられる(Umeda and Ninomiya, 2009)。そのため、地下水の溶存ガス等に含まれるヘリウム同位体比は、変動地形の明瞭でない活断層を確認するための有効な地球化学的指標になることが示唆される。しかしながら、高いヘリウム同位体比を示すガスは断層活動直後のみに放出された現象(非定常放出)であることも否定できないことから、調査法としての有効性を示すためには、断層活動前後に観測したガスの化学組成を比較することが不可欠となる。

2. 研究の目的

本研究では、日本列島の代表的な活断層を対象に、地下水に含まれる溶存ガスのヘリウム同位体比の特徴を把握するとともに、内陸地震を引き起こす活断層やその周辺岩盤がマントル起源ヘリウムを地殻浅所まで運ぶための通路となり得るかを検証する。その上で断層活動が活発な時期と静穏な時期におけるヘリウム同位体比の違いを明らかにすることにより、地下水の溶存ガスの希ガス同位体を指標とした活断層の地球化学的な調査法の実用化を図る。

3. 研究の方法

本研究では3年間の研究期間において、東北地方太平洋沖地震によって誘発されたと考えられる活断層(十日町断層、湯ノ岳断層、井戸沢断層、牛伏寺断層等)の周辺において、地下水等を採取し、主成分組成、水素・酸素同位体組成(δD , $\delta^{18}\text{O}$)および溶存ガス中の希ガス同位体組成(He , Ne 等)の定量を行う。その上で、特にヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比)に着目し、断層周辺の空間的分布の特徴や地震発生の前後の経時変化を明らかにする。また、天水(大気)や基盤岩に由来するヘリウムの影響を考慮した上で、活断層周辺でのマントル起源ヘリウムの地殻内の輸送プロセスに係るモデルを構築するとともに、希ガス同位体を指標とした活断層の地球化学的な調査法の実用化を図る。

4. 研究成果

今回の試料の採取・分析によって、十日町断層および牛伏寺断層では、地震前後の化学組成等に関するデータを多く取得することができた。その結果、主震の震源近傍では、地震後に $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の若干の増加が、震源から数十km以上離れた地域では $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が若干減少する傾向が認められた。このことは、震源近傍では断層活動によって地下深部のマントル起源のヘリウムの上昇が、震源から離れた地域では、揺れによって岩石中の微小

割れ目から地殻起源のヘリウムが地下水に付加されたことが示唆される。しかしながら、牛伏寺断層や十日町断層のような活断層近傍では高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が観測されること、地震の前後に顕著な増加、減少が認められないことから、特に変動地形が明瞭でない活断層の調査法として、希ガス同位体を指標とする地球化学的アプローチは有効であると考えられる。

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 7件)

Umeda, K., Asamori, K., Makuuchi, A., Kobori, K. and Hama, Y. (2015) : Triggering of earthquake swarms following the 2011 Tohoku megathrust earthquake, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1029/2014JB011598.

Umeda, K., Asamori, K., Makuuchi, A. and Kobori, K. (2014) : Earthquake doublet in an active shear zone, southwest Japan: constraints from geophysical and geochemical findings, *Tectonophysics*, 634, 116-126, doi: 10.1016/j.tecto.2014.07.025.

梅田浩司, 安江健一, 石丸恒存 (2014) : 地層処分と地質環境の長期安定性: 地質環境の長期予測と不確実性についての検討例, *原子力バックエンド研究*, 21, 43-48.

Umeda, K., Asamori, K. and Kusano, T. (2013) : Release of mantle and crustal helium from a source fault following an inland earthquake, *Appl. Geochem.*, 37, 131-141, doi: 10.1016/j.apgeochem.2013.07.018.

Umeda, K., Kusano, T., Ninomiya, A., Asamori, K. and Nakajima J. (2013) : Spatial variations in $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios along a high strain rate zone, central Japan, *J. Asian, Earth Sci.*, 73, 95-102, doi:10.1016/j.jseaes.2013.04.016.

梅田浩司, 谷川晋一, 安江健一 (2013) : 地殻変動の一樣継続性と将来予測: 地層処分の安全評価の視点から, *地学雑誌*, 122, 385-397.

Umeda, K., Kusano, T., Asamori, K. and McCrank, G. F. (2012) : Relationship between $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios and subduction of the Philippine Sea plate beneath Southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, 117, B10204, doi:10.1029/2012JB009409.

[学会発表](計 7件)

Umeda, K., Asamori, K., Tamura, H., Sueoka, S. and Shimizu, M. (2014) : Geophysical and geochemical signatures associated with mantle fluids beneath an active shear zone, southwest Japan, Abstract T31C-4611 presented at 2014 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 15-19 Dec. (Moscone Center, サンフランシスコ, 米国)

梅田浩司, 浅森浩一, 幕内 歩, 小堀和雄 (2014) : 南九州の剪断帯の深部比抵抗構造

と地下水中のヘリウム同位体比, 日本地球惑星科学連合大会予稿集, HCG36-06. (幕張メッセ, 千葉市)

Umeda, K., Asamori, K., Makuuchi, A. and Kobori, K. (2014) : A highly active shear zone in southwest Japan: constraints from geophysical and geochemical findings, Asia Oceania Geosciences Society's 11th Annual Meeting, SE27-A023. (Royton Sapporo Hotel, 札幌)

梅田浩司, 浅森浩一, 草野友宏 (2013) : 震源断層周辺のヘリウム同位体比の分布: 活断層の調査・評価技術の構築に向けて, 日本地球惑星科学連合大会予稿集, SCG60-06. (幕張メッセ, 千葉市)

Umeda, K., Asamori, K., Kobori, K. and Tamura, H. (2013) : Geochemical constraints on the earthquake swarm following the 2011 Tohoku earthquake, Abstract S51B-2342 presented at 2013 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 9-13 Dec. (Moscone Center, サンフランシスコ, 米国)

Umeda, K., Kusano, T., Asamori, K. and Sueoka, S. (2012) : Release of mantle helium from seismicity regions induced by the 2011 Mw 9.0 Tohoku earthquake, Abstract T21B-2564 presented at 2012 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 3-7 Dec. (Moscone Center, サンフランシスコ, 米国)

梅田浩司, 草野友宏, 浅森浩一 (2012) : 希ガス同位体を用いた活断層の調査手法の開発, 日本地質学会第 119 年学術大会講演要旨集, T3-O-1. (大阪府立大学, 堺市)

[図書](計 3件)

Umeda, K., Asamori, K., Komatsu, R., Kakuta, C., Kanazawa, S., Ninomiya, A., Kusano, T., and Kobori, K. (2013) : Postseismic leakage of mantle and crustal helium from seismically active regions, In *Helium: Occurrence, Applications and Biological Effects*, edited by S. B. Davis, pp.115-178, ISBN 978-1-62808-612-6, Nova Science Publishers Inc., Yew York.

二ノ宮淳, 梅田浩司, 浅森浩一 (2013) : 新潟 - 神戸歪み集中帯におけるヘリウム同位体比分布, *月刊地球*, 35, 297-304.

Umeda, K., Ninomiya, A., Shimada, K. and Nakajima, J. (2012) : Helium isotope variations along the Niigata-Kobe Tectonic Zone, Central Japan, In *Encyclopedia of Earth Science Research*, edited by F. Sato and S. Nakamura, pp. 165-193, ISBN 978-1-61470-247-4, Nova Science Publishers Inc., Yew York.

[その他]

ホームページ等

<http://www.jaea.go.jp/04/tono/antei/antei.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅田 浩司 (UMEDA Koji)
独立行政法人日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門 東濃地科学
センター リーダー
研究者番号：60421612

(2) 研究分担者

浅森 浩一 (ASAMORI Koichi)
独立行政法人日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門 東濃地科学
センター 研究員
研究者番号：80421684

末岡 茂 (SUEOKA Shigeru)
独立行政法人日本原子力研究開発機構
高速炉研究開発部門 もんじゅ運営計
画・研究開発センター 技術職
研究者番号：80634005