

熊本地震に伴う地下水中のヘリウム異常と地殻の歪み変化

1. 発表者：

佐野 有司（東京大学 大気海洋研究所 教授）
高畑 直人（東京大学 大気海洋研究所 助教）
鹿児島 涉悟（東京大学 大気海洋研究所 特任助教）
柴田 智郎（京都大学 地球熱学研究施設 准教授）
尾上 哲治（熊本大学 大学院先端科学研究部 准教授）
趙 大鵬（東北大学 地震・噴火予知研究観測センター 教授）

2. 発表のポイント：

- ◆2016年の熊本地震の前後で深層地下水中のヘリウム同位体比が変化したことを観測した。
- ◆深層地下水中の同位体比の変化から推定したヘリウム増加量と地震による地殻の歪みとの間に定量的な関係を見いだした。
- ◆深層地下水のヘリウム同位体比を定期観測することで、地殻の歪み変化を事前に捕らえ、地震予知研究に貢献できる可能性がある。

3. 発表概要：

東京大学、京都大学、熊本大学、東北大学の研究グループは、多大な人的被害をもたらした2016年熊本地震の震源域近くで、地震後すぐに深さ1000mの地下水を採取し溶存する気体成分を分析した。その中でヘリウムの同位体比（注1）が地震の前後で変化し、帯水層を構成する岩石が地震により破壊されることで、岩石中の放射性起源ヘリウムが地下水に付加されたと推定された。そして地震による地殻の体積歪み（注2）変化量が大きいほど、ヘリウムの付加量が多いことを明らかにした。これまでも大地震の前後で地下水のラドンなど化学成分が変化することは知られていたが、本研究では世界で初めてヘリウムの変化量を地殻の歪み量と関連づけて定量的に評価した。地震が多発する日本において大地震のメカニズムを解明することは防災面からも重要であり、深層地下水や深海堆積物間隙水を利用することで、ヘリウム同位体から観測の難しい地殻の歪み変化を評価できる可能性がある。

4. 発表内容：

[研究の背景]

日本は地震大国であり、東海地震をはじめとした海溝型巨大地震については地殻変動観測を中心とした地震予知の研究が行われているものの、1995年に起こった兵庫県南部地震のような内陸型の地震については、観測例は少ない。その理由として、内陸型の地震が海溝型のように比較的短い周期で起こるものではないことと、地震発生メカニズムが単純ではなく観測方法が確立されていないことなどが挙げられる。これらの観測はGPSや歪み計などを用いた地球物理学的観測が主であり、地下水の溶存成分など地球化学的なものは数が限られる。しかし地震に伴い、地下水の水位や流量が変化したり、ラドンなど溶存化学成分が変化することが報告されており、地震予知に有益な情報を得られる可能性がある。これまでのところ、地下水の化学成分変化と地震の規模などの相関関係は報告されていないが、それが室内実験等の結果と併

せて定量的に説明できるようになれば地球化学的観測が従来の地球物理学的観測を補強するものになることが期待される。

[研究内容]

本研究グループはこれまでに1995年兵庫県南部地震や2011年東北地方太平洋沖地震に関連して、海洋地球化学の立場から地下水や海底堆積物間隙水に溶存するヘリウム同位体比に異常を発見している。ヘリウムは希ガスであり、化学反応や生物活動に左右されないため、海洋・地球内部の物質循環のよいトレーサーとして使われている。例えば兵庫県南部地震では、地下水中のヘリウム同位体比が地震後に低下し、その低下量から地震によって放出されたヘリウム量を見積もった。この時は、観測点は1つであり定量的な議論ができなかったが、2016年の熊本地震では複数の観測点でヘリウム同位体比の有意な変動を観測し、地殻の歪みと関連した議論を可能にした。

熊本地震は2016年4月16日に起こったM7.3の本震の他に、M6.5とM6.4の地震が直前に起こっている(図1)。震源の深さは10数kmと浅く一連の地震で深度7が2回観測されるなど大きな直下型地震であった。この地震では50名が亡くなり、1800名以上が負傷した。また経済的損失は最大で4兆6千億円に上がると発表された。

本研究グループは、地震後の帯水層の地球化学的変動を明らかにするため、地震断層付近において地下水の調査を行った。観測した井戸は図1に示す7ヶ所で、深さは280~1300mであり、地震直後の4月28日と29日に地下水を採取した。これらの井戸は別の研究グループにより2010年8月に観測されており、地震の前後の変化を比較することができる。地下水は銅管に採取して密封し、実験室に持ち帰ってから地下水に溶けている気体を抽出した。抽出した気体を精製してヘリウムを純化して、ヘリウムの濃度と同位体比を高精度希ガス用質量分析計で測定した。

その結果、多くの観測点でヘリウム同位体比の変化が見られ(図2a)、特に地震を起こした断層に近い観測点ほど大きな変化が見られた(図2b)。図2bはヘリウム同位体比の変化量を示しており、ほとんど同位体比が低くなる方向に変化した。これは地下水の帯水層を構成する岩石中に⁴Heが多く含まれており、地震により岩石が破壊されることで岩石中のヘリウムが地下水に付加されたと考えられる。このヘリウムは岩石中でウランやトリウムが放射壊変することにより生成する成分で放射壊変起源(radiogenic)の成分と呼んでいる。妥当な仮定のもとに、岩石から放出されたヘリウムの量を計算したところ、断層モデルから計算した体積歪みの変化量とよい相関があることがわかった(図3)。つまり歪みの変化が大きいほど多くのヘリウムが岩石から地下水に付加されたことを示しており、地球化学的な観測量(ヘリウム)と地球物理学的な観測量(歪み)の間に定量的な関係があることを世界で初めて示した観測例である。この結果は、地震のメカニズムの解明に役立つだけでなく、将来起こりうる大地震を予測する上で地下水のヘリウムが体積歪みの良い指標となることを示している。

[今後の課題]

地震学や測地学、地球電磁気学など地球物理学的手法による地震予知研究に比較して、ラドンやヘリウムをはじめとした海洋・地球化学的観測を行っている研究者は極めて少ない。深層地下水や深海堆積物中のヘリウム異常と体積歪みの関係が定量的に評価できるようになれば、海洋地球化学的観測も地震予知の基礎的研究手段の1つとなるであろう。地震発生危険度の高い陸上や海底断層の近くで、このような観測体制を強化して、ヘリウム同位体の定

期的観測を行い、地殻変動や歪み量などの地球物理学的観測結果と併せて総合的に解釈することで、より精度の高い地殻変動の評価と将来の地震予知につながることを期待される。

5. 発表雑誌：

雑誌名：「Scientific Reports」（オンライン版：11月29日）

論文タイトル：Groundwater helium anomaly reflects strain change during the 2016 Kumamoto earthquake in Southwest Japan

著者：Yuji Sano*, Naoto Takahata, Takanori Kagoshima, Tomo Shibata, Tetsuji Onoue, Dapeng Zhao

DOI 番号：DOI: 10.1038/srep37939

6. 注意事項：

日本時間 11月29日（火）午後7時（イギリス時間：29日（火）午前10時）以前の公表は禁じられています。

7. 問い合わせ先：

大気海洋研究所

助教 高畑直人

Tel:04-7136-6102

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

大気海洋研究所

教授 佐野有司

Tel:04-7136-6100

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

8. 用語解説：

（注1）ヘリウムの同位体比

ヘリウムには安定な同位体が2個あり、その比（ $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比）をヘリウムの同位体比と呼んでいる。 ^3He はマントル起源の物質であり火山活動を評価するのに用いられる。一方 ^4He は地殻中のウランやトリウムが放射壊変することで生成され、地殻を構成する岩石中に多い。地下水にこれらの物質が混合することで $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が変化する。

（注2）歪み

外から何らかの力が加わることで岩盤が変形することを歪みと呼び、歪みにより変化する体積の割合を体積歪み変化量と呼ぶ。

9. 添付資料：

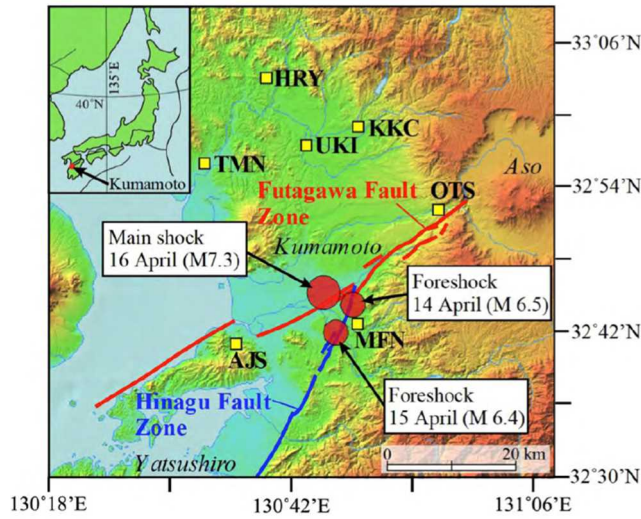


図 1. 熊本地震の震源（中央付近の円）、熊本地震に関連する断層（下方から右肩上がりにある 2本の線）、地下水採取点（四角）。

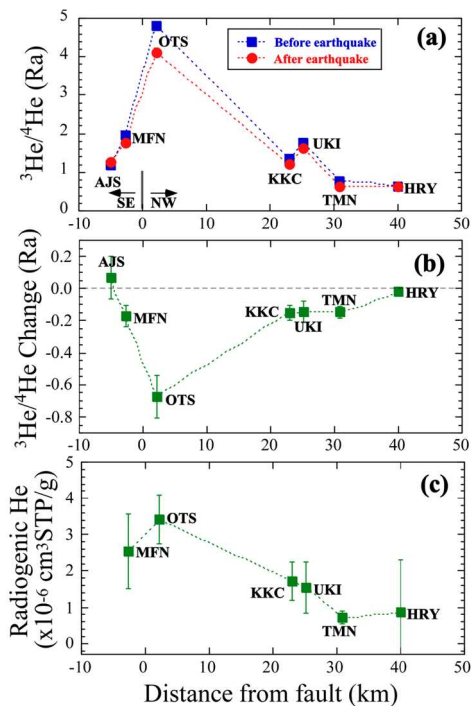


図 2. 地下水中のヘリウム同位体比の変化と地震を起こした断層からの距離の関係。(a)地震前（青・■）と地震後（赤・●）のヘリウム同位体比の変化。(b)地震前後のヘリウム同位体比の変化量。負の値は地震後に比が下がったことを示す。(c)岩石から地下水に付加された放射壊変起源のヘリウムの量。断層に近いほど同位体比の変化が大きく、地下水に付加されたヘリウムが多い。

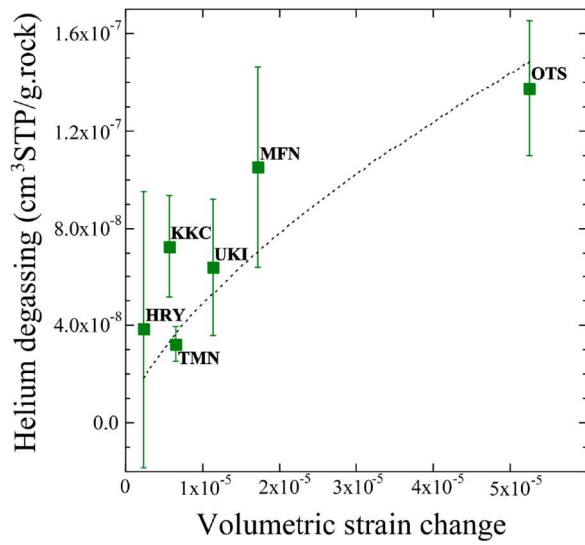


図 3. 岩石から地下水へのヘリウムの放出量と体積歪み変化量の関係。地震による体積歪みの変化が大きいほど、岩石からヘリウムが多く放出されており、きれいな相関が見られる。地下水のヘリウムを連続観測することで、地殻の歪み変化を捕らえられる可能性がある。