

## 2016年度大学共同研究（学長指定研究）

### 「熊本地震関連共同研究（公募型）」

#### 研究成果報告書

所属・職・氏名：理工学部・教授・谷水雅治

研究課題：微量元素の化学分析による阿蘇山西麓地下水の地震後の変移解析

研究期間：2016年7月12日～2017年3月31日

研究成果概要（2,000字程度）

#### 1. はじめに

熊本県熊本市とその周辺地域は、阿蘇山西麓域に降った雨水が地中へと涵養し、西方に流動して有明海へと流出する途中に位置しており、豊富な地下水資源に恵まれている。人口の集中する熊本市周辺域の上水道は、ほぼすべてが地下水で賄われている稀な地域である[1]。2016年4月に発生した熊本地震(M6.4～M7.3)では、益城町では最大震度7を観測し、布田川断層の北側で1m以上の沈降、南側で30cm以上の隆起の上下変動が観測された[2] (図1)。家屋の倒壊や断層の出現が確認されるとともに、地下水に関しても、枯渇や新たな湧水などが認められ、大規模な水道水の断水も発生した。当該地域の地下水の水質は地域住民の生活に直結しており、科学的視点から地震に伴う地下水の水質変化を把握することは、住民の安全・安心な生活へとつながり、地域復興への一助となる。

本研究では、地球化学的・分析化学的視点から無機元素濃度を利用して、熊本地震に関連した地下水の水質変化の有無をさぐった。特に、雨水の直接的な涵養により形成された浅層地下水である熊本地域の地下水に、新たな断層の形成に伴う長期停滞水や火山性熱水の混入の有無について、元素濃度指標をもとに評価した。

#### 2. 手法と試料

本研究で目的とする深部起源地下水の浅層地下水への混入を検出する指標として、水(H<sub>2</sub>O)の酸素(O)および水素(H)の同位体比、<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O比と<sup>2</sup>H/<sup>1</sup>H比(D/H比)を利用した。この指標は、雨水のような地球表層に存在する水と、長期停滞水や火山性熱水のような地殻内部に存在する深部起源地下水を見分けることができる。これに加えて、浅層地下水に比べて長期停滞水と火山性熱水に特徴的に多く含まれる微量元素であるホウ素(B)、リチウム(Li)の濃度を測定した。両元素は、岩石中に微量に存在する元素であり、岩石と地下水が接触することで、少しずつ地下水のほうに溶け出す性質がある。高温では特にLiが地下水中に溶け出す傾向があることから、BとLi濃度が本目的の指標として用いられている。

分析試料は、熊本市が水質モニタリング用に設置した管理井戸から、熊本市内全域をカバーするように採水した(図2)。また、同地域周辺に認められる自然湧水も複数採水した。試料は採水時にpH、酸化還元電位、溶存酸素濃度、電気伝導度を測定し、プラスチック容器に保存したのち、研究室において各種主要溶存イオン濃度を滴定法とイオンクロマトグラフィーにより

定量した。B および Li 濃度は誘導結合プラズマ質量分析法により定量した。水の  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  と D/H 同位体比は、キャビティリングダウン分光法により各同位体の振動に由来するスペクトルのピーク高さから決定した。

### 3. 結果と考察

本成果報告では、2016 年夏に採水した地下水試料と、熊本地震前の 2015 年夏に同地点から研究代表者が採水した試料の比較に焦点を当てて、以下に結果と考察を述べる。

#### 3-1 水の酸素-水素同位体比

得られた水の  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  比と D/H 比から、同位体標準物質からの千分率のずれとして表現した、 $\delta^{18}\text{O}$  値と  $\delta\text{D}$  値を計算した。地震前後に採取した水の同位体比を、横軸に  $\delta^{18}\text{O}$  値、縦軸に  $\delta\text{D}$  値をプロットすると、すべての点は天水線と呼ばれる一直線上に分布した (図 3)。地球上での様々な緯度や高度での降水は、すべてこの天水線上に乗ることが知られている。これに対して、地殻内部に起因する深部起源地下水は、岩石との間の同位体交換反応により、この天水線よりも  $\delta^{18}\text{O}$  の値が高い位置 (図 3 右上方枠外) にプロットされることが知られている [3]。

得られた結果として地震前後の測定値が天水線上にすべて乗ることは、すべての採水地点の地下水が雨水由来であることを示唆している。なお、一見して、データの作る直線が天水線の傾きよりも少し緩やかに見えるのは、地表での水の部分的蒸発による同位体比の変動と考えられる。この効果は、降水が地表から地下に浸み込む前に、ふたたび蒸発するとき生ずる同位体比の変動であり、天水線よりも少し緩やかな傾きを持つことが特徴である。地震前後の  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  比と D/H 比の変化はわずかであり (図 3)、天水線上に位置するため、本指標からは、地震前後での水質の大きな変化は認められなかった。

#### 3-2 溶存イオン濃度組成の変化

3-1 と同様に、地震前後で比較できる採水地点について、塩化物イオン (Cl)、ホウ素イオン (B)、リチウム (Li) イオンの相対濃度の割合を三角プロット上で表した (図 4 左)。Cl は、地下水中の主要溶存陰イオンのひとつであり、周囲の岩石からの溶解の影響が相対的に小さいため、地下水中で濃度変動の少ない代表的なイオンである。濃度そのものの値は、溶存イオンの少ない雨水の地下水への直接の流入による、地下水中のイオン濃度の希釈などの影響を受けるため、三角プロットとして B と Li 濃度を Cl 濃度の比として表現することで、希釈効果の影響を排除することができる。B 濃度は、長期停滞水の指標として使われており、とくに油田かん水などでは濃度が高いことが知られている。一方 Li 濃度は、火山性熱水の指標として近年注目されている。したがって三角ダイアグラムを使うことで、従来の地下水流路とは異なる経路からの地下水の混入の有無について、把握することができる (図 4 右) [4]。

結果として、ほとんどの地点において地震前後でプロット位置の大きな変化は認められなかったが、一点のみ大きな変動が認められた。素直に解釈すれば、白川観測点 (図 2 の No. 16 地点) は、長期停滞水の混入の可能性がある。今後ほかの化学分析手法を用いて、継続的に調査を進めていく必要があると考える。

### 4. 結論と展望

水の酸素-水素同位体比と溶存微量元素濃度といった化学的指標を用いて、熊本地震に伴う地

下水の水質の変化の有無について、特に深部起源地下水の混入の可能性に注目して検討した。その結果、従来の地下水流路への新たな地下水の混入は地震後、ほとんどなかったとの結論に至った。しかし、地震後一時的には地下水の濁りや水位の変化が観測井戸において確認されており、特に図1中で示した断層付近でその傾向が認められている。本研究でも、白川管理井戸で深部起源の長期停滞水の混入が示唆されたため、この地域に注目して研究を継続していく必要がある。今後は2017年度から新しく採択された複数の科学研究費補助金を利用して、理学的および工学的な側面から熊本地域地下水の水質について評価を行っていく予定である。

謝辞：本研究費の採択にあたり、審査に携わっていただいた方々に感謝いたします。本研究を遂行するに当たり、採水や化学分析の一部は、熊本大学大学院先端機構 細野高啓博士、総合地球環境学研究所研究基盤国際センター計測・分析部門のスタッフ、海洋研究開発機構高知コア研究所のスタッフの助力を得て進められました。本研究は、関西学院大学理学部化学科 杉本直人君の卒業研究の一環として行いました [5]。

## 5. 引用文献

[1] たとえば、井川(2015), GSJ 地質ニュース, 4, 58-62. [2] 国土地理院 (2016), 地震予知連絡会会報, 96, 557-589. [3] 酒井, 松久 (1996), 安定同位体地球化学, 東京大学出版会, pp. 83-141. [4] 網田ほか (2014), 日本水文科学会誌, 44, 17-38. [5] 杉本(2017), 2016年度関西学院大学理工学部化学科卒業論文要旨, p. 17.

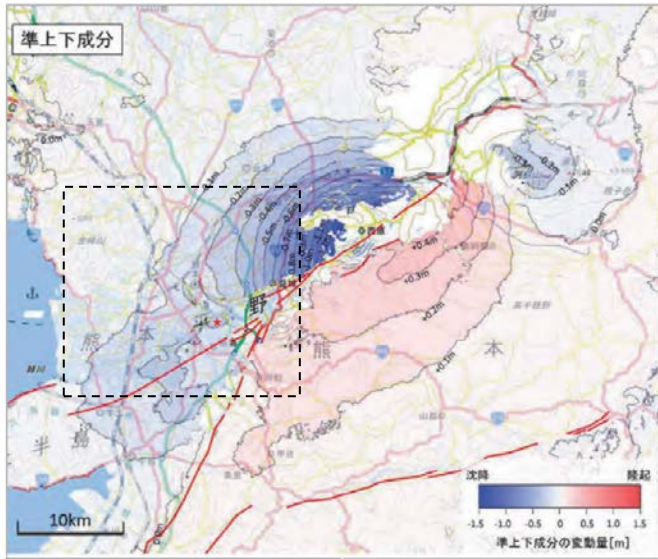


図1 だいち2号を用いた熊本地震に伴う地殻変動の準上下成分の推定[2]. 本調査地域(図2)を四角の点線枠で示している.

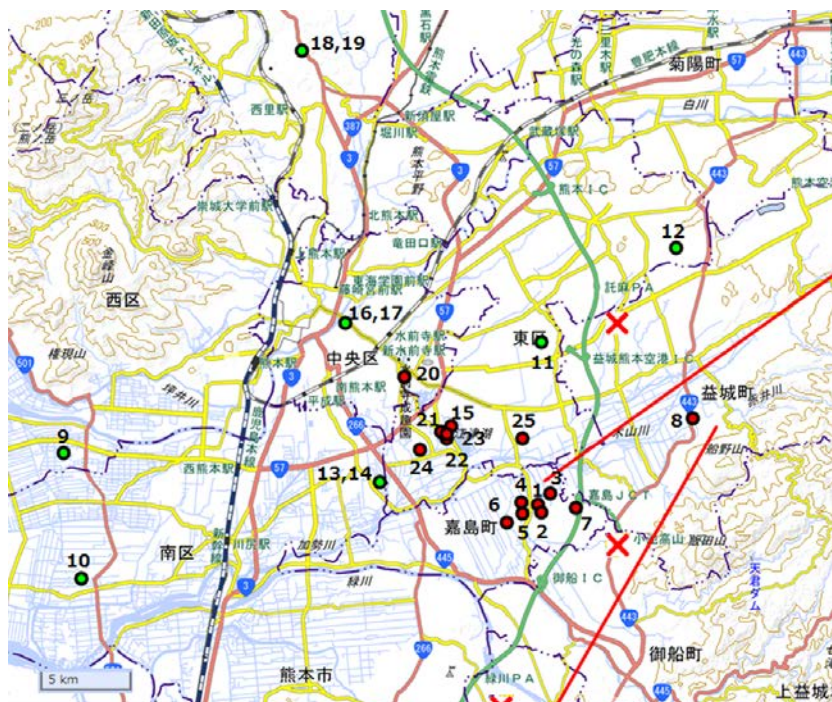


図2 国土地理院が提供する地図(電子国土 Web)上に示した本研究での採水地点. 緑丸は管理井戸、赤丸は自然湧水地点を示す. 赤い直線と×印はそれぞれ活断層と熊本地震の震源位置を示す.

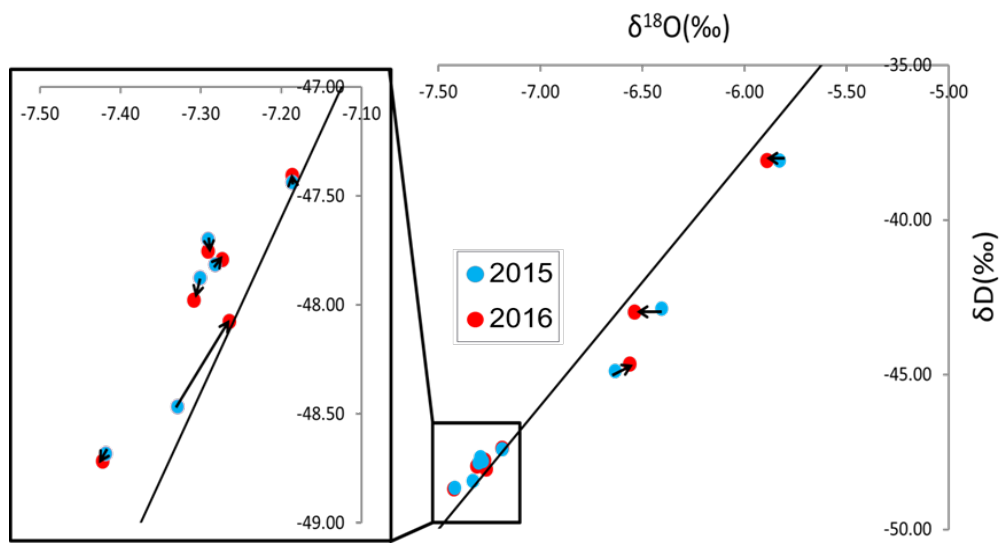


図3 地震前後での水の<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O比とD/H比の比較.

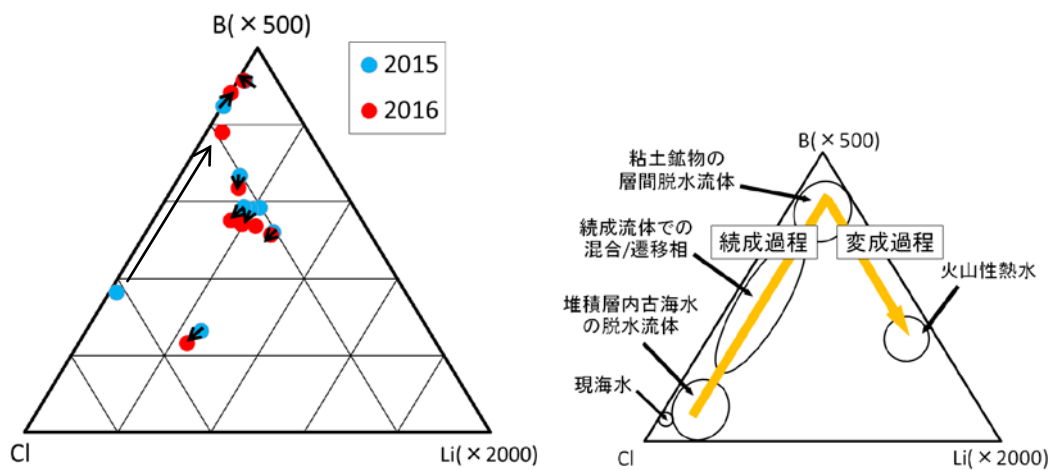


図4 Cl-B-Li 三角プロットによる、(左)地震前後の水質変化と、(右)プロット位置から示唆される地下水の起源[4].