

【解禁時間】

令和2年6月2日(火)午後6時



関西学院大学
KWANSEI GAKUIN UNIVERSITY

令和2年6月1日

報道機関 各位

熊本大学
関西学院大学

熊本地震後にみられた地下水位の異常上昇の原因 — 巨大地震による山体地下水の解放を捉えた！ —

(ポイント)

- 平成28年(2016年)熊本地震発生後、広域地下水流動系の涵養域を中心に、最大10 m程度の地下水位の異常上昇が確認されました
- 熊本地震発生前後に採水した様々な水試料の安定同位体比を分析することで、この水位異常上昇をもたらした原因は、地震活動によって阿蘇西麓山体帯水層の透水性が増大し、山体起源の新たな水が流下部へと供給されたためだと分かりました
- 巨大地震発生に伴う水位上昇や水量増加の原因やプロセスについては不明な点が多く残されていましたが、本研究により、詳細な水文環境変化を明らかにすることができました。また、本研究の成果は、地下水を飲用水源とする熊本地域において、水資源の保全やガバナンスの観点から重要だといえます。

(概要説明)

熊本大学大学院先端科学研究部の細野高啓 准教授らの研究チームは、カリフォルニア大学バークレー校のMichael Manga 教授ら、ならびに関西学院大学工学部の谷水雅治 教授らとの共同研究により、平成28年(2016年)熊本地震発生前後に採水した様々な水試料の安定同位体比を分析しそれらの変化特徴を読み解くことで、熊本地震後に広域地下水流動系の涵養域を中心に観測された地下水位の異常上昇は、阿蘇西麓山体に蓄えられていた山体地下水が透水性の増加に伴い解放され、流下部の広域地下水流動系に新たに付加されたことが原因で生じたことを突き止めました。巨大地震発生に伴う水位上昇や水量増加については、これまで世界で多く観測されてきましたが、その原因やプロセスの詳細については不明な点が多く残されてきました。地下水都市熊本は多くの観測井戸を有し、今回はその直下で地震が発生したため、結果的にこれまでになく十分な比較材料となる情報を入手でき、地震による上記水文環境の変化特徴を世界で初めて詳細に捉えることに繋がったといえます。本研究の成果は、地域の安全な水利用対策に生かされることとなります。

本研究は、Nature Publishing Groupオープンアクセス誌「*Nature Communications*」

に、令和2年6月2日午後6時(日本時間)に公開されます。また、本研究は以下の支援を受けて実施したものです。

- サントリー熊本地下水みらいプロジェクト
- 2016 JST 国際緊急共同研究・調査支援プログラム(J-RAPID)
- 文部科学省 科学研究費助成事業 基盤研究B(17H01861)
- 文部科学省 科学研究費助成事業 基盤研究C(17K00527)
- The National Science Foundation(USA)(1615203)
- 2016年度 関西学院大学大学共同研究

(説明)

[背景]

地震発生に伴い池や井戸の水が枯れる、突如流水が生じる、または水位が上昇するなどのいわゆる水文環境の変化は、古くはローマ時代に遡り、これまで世界の多くの地域で記述されてきました。その原因として、地殻変動による間隙水圧の変化、地震動による透水性の増大、また新たな亀裂を通じた水の移動など、様々な説が提案されてきました。これら原因を特定するためには、手掛かりとなる情報を入手するための観測井戸や水源または河川観測地の存在が重要となります。ところが、特に内陸直下型地震の場合、地震が起こった地域でたまたまこれら観測点が時空間的に整っていることは一般的に希だといえます。また、災害発生前から発生後のデータと比較するために必要な各種データが揃っているケースはますます少なくなります。このような背景から、地震によってどのような水文環境の変化が生じるのかという問いに対し、私たちはこれまであまり明瞭なイメージを持っていませんでした。

熊本市周辺地域は飲用水源のほぼ100%を地下水で賄っている国内随一の地下水都市として知られています。そのため、同地域では多くの観測井戸が存在し、水位や水質など様々なデータが継続的に観測されています。今回、こうした地域の直下で巨大内陸地震が発生したため、結果的に地震発生前後の各データを比較できる十分な情報を入手でき、地震による水文環境の変化をこれまでになく詳細に捉えることに繋がりました。また、災害が地域のみずがめに及ぼす影響を把握することは、水資源の保全や健全な水利用を継続する上で重要といえます。こうした観点から、地元の大学である熊本大学の研究チームが中心となり、サントリーホールディングス(株)の資金援助を受け日本地下水学会の専門家集団からなる研究チームを発足させました。そして、公益財団法人くまもと地下水財団をはじめとした地元行政からの協力を得ながら、3年計画で研究が進められてきました。加えて、関西学院大学の谷水教授らの研究チームとも共同で継続的な試料採取調査を実施してきました。これらの成果についてはこれまでいくつか報道を通して発信してきましたが、その一部が正式に論文として受理されましたので今回ご報告する次第です。

[研究の内容]

熊本地震発生に伴い様々な水文環境変化が起こったことについては既にいくつかの報告・報道があります。今回の論文で注目したのは、本震発生後から認められた、特に広域地下水流動系の涵養域(図1a)で顕著だった地下水位の異常上昇(図1b)の原因です。この水位異常上昇は、本震発生から1年以内に最大10 m程度の上昇ピークを記録し、その後落ち着いてはいるものの、本震から3年経過した時点でも続

いています。この原因は、平常の水文サイクルとは異なる場所からの水の流入が生じたためだと考えられ、その起源について解析を行いました。

今回水の起源特定のツールとして用いたのが水の安定同位体比というものです。水は水分子 H_2O からなり、それぞれ水素 H と酸素 O 原子から構成されます。 H は 1H と 2H 、 O は ^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O の異なる質量をもつ「安定同位体核種」を有し、それらの存在比($^2H/^1H$ および $^{18}O/^16O$)のことを安定同位体比とよびます。地球表層の水の安定同位体比は、蒸発や凝縮など地球上で起こる様々なプロセスを介してほんの僅かに変化するため、場所によって固有の数値をとるようになります(*注釈、詳しくは補足資料参照のこと)。私たちはこうした水の安定同位体比を水の起源を推定するマーカーとして利用することで、ターゲットとなる水がその場所に至る原因やプロセスを調べることができます。

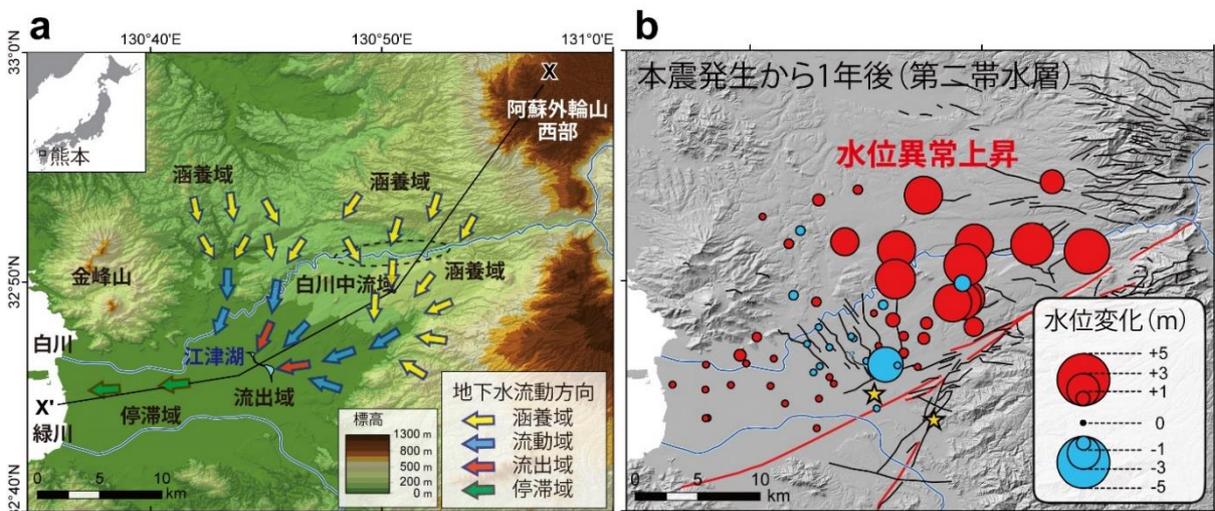


図1. a. 熊本地域における広域地下水流動系の概略、ならびにb. 地震前と比較した地震から1年後の地下水位の変化量(赤丸:上昇、青丸:低下)。

今回、地震発生前後における水の安定同位体比を比較し、異常水位上昇をもたらした原因を特定することを試みました(図2)。なお、図中において各安定同位体比($^2H/^1H$ および $^{18}O/^16O$)は標準物質(水の場合は海水)からのずれの千分率である δD および $\delta^{18}O$ の標記で示されています。

[成果]

$\delta^{18}O$ と δD の関係図から、熊本地域涵養域において採水した地下水の安定同位体組成は、地震以前はおおまかには低標高山体湧水、涵養域土壌水、白川河川水の組成範囲をカバーするような広い組成特徴を持っていたものが(黒枠の組成範囲)、地震発生後はその多くが低標高山体湧水の組成と類似した、より限定された組成範囲内(青枠の組成範囲)に収斂していることが読み取れました(図2b)。また、同様の傾向はより流下部の地下水流動域から流出域(図1a)にかけても認められました(図

2c)。主にこうした同位体比の変化特徴の観察から以下の考えに至りました。

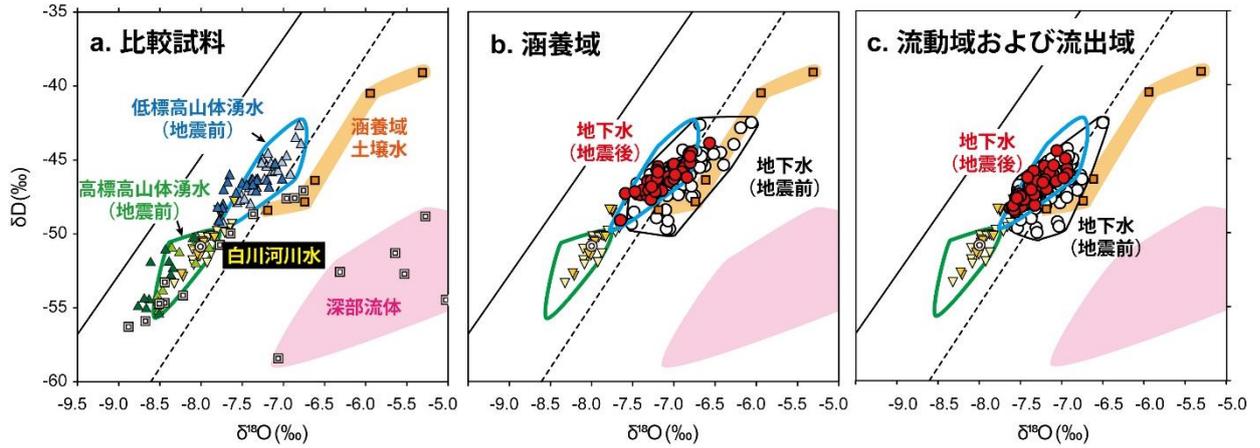


図2. 様々な水試料の安定同位体組成: a. 比較試料、b. 涵養域における地下水試料、c. 流動域ならびに流出域における地下水試料

すなわち、地震発生前は、地域の地下水は低標高山体帯水層地下水、涵養域土壌水、白川中流域における河川水由来の浸透水が主な涵養源となるような水循環系が発達していたが、地震発生後、阿蘇外輪山西部ならびに西麓にて発生した地震破砕により山体帯水層の透水性が増加し、低標高山体を涵養源とするような山体に蓄えられていた地下水が解放される形で流下部にある広域地下水流動系のいわゆる‘地下水プール’として知られる涵養域部分に付加され、その寄与が一気に高められることで同エリアの水位が上昇したと説明されます(図3)。さらに、一度地下水プールに付加された山体地下水は、選択流などを通じて地下水流動域から流出域にまで達し、本震直後に低下した地下水位(図3b)を一年以内にほぼ回復させたことまで分かってきました(図3c)。

阿蘇西麓山体に限定して概算しても 10^8 m^3 以上の水が山体から解放されたことが試算されています。地震発生により高まった透水性は、根詰まりなどが原因でまた元の状態に戻ることが想定されます。他の研究の見積もりを合わせると、多くの場所では本震発生から5年程度で元の水位レベルに落ち着くと推定しています。

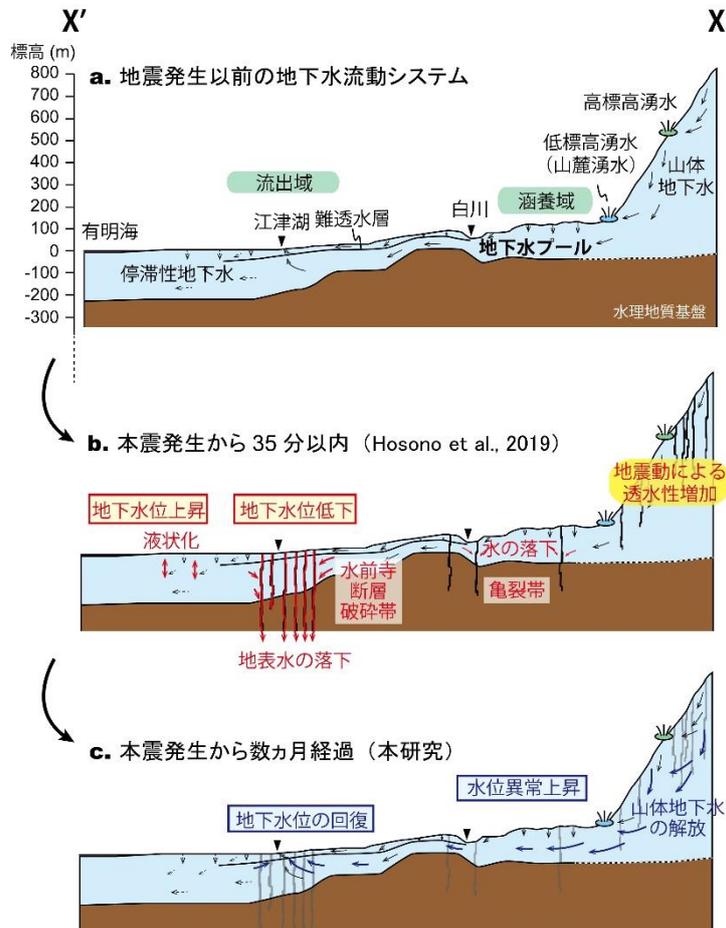


図3. a. 地震発生前、b. 本震発生直後、c. 本震発生から数カ月後の地下水流動系またはその変化の概要を示した水理地質断面図(断面は図1aのX-X'に相当)

[展開]

本研究は、巨大地震が地域に及ぼす水文環境変化をこれまでになく詳細に明らかにしています。加えて、発見された現象は、環太平洋地域などにある本邦と類似した気候・地質条件におかれている地帯ではどこでも起こりうる、といった地球規模での普遍性についても言及しています。研究の成果は、今後世界の類似・関連現象を取り扱う際に参考にされ学術の進展に貢献できるとともに、災害時における地域の水利用の指針を構築する上で役立てられると期待されます。

(論文情報)

論文名: Stable isotopes show that earthquakes enhance permeability and release water from mountains

著者: Takahiro Hosono*, Chisato Yamada, Michael Manga, Chi-Yuen Wang, Masaharu Tanimizu (*責任著者)

掲載誌: *Nature Communications*

doi: 10.1038/s41467-020-16604-y

URL : <http://dx.doi.org/>

【お問い合わせ先】

<研究に関すること>

熊本大学大学院先端科学研究部

水圏環境科学研究室

准教授 細野高啓

電話 : 096-342-3935

e-mail : hosono@kumamoto-u.ac.jp

関西学院大学理工学部

環境・応用化学科

教授 谷水雅治

電話 : 079-565-9760

e-mail : tanimizum@kwansei.ac.jp

<報道に関すること>

熊本大学総務部総務課広報戦略室

電話 : 096-342-3271

e-mail : sos-koho@jimu.kumamoto-u.ac.jp

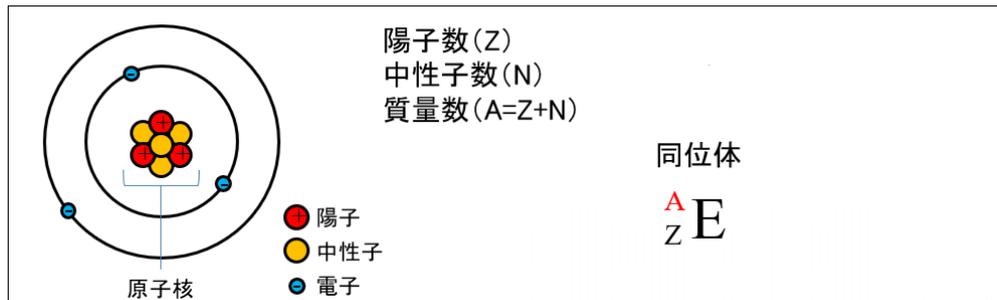
関西学院広報室

電話 : 0798-54-6873 (報道対応専用)

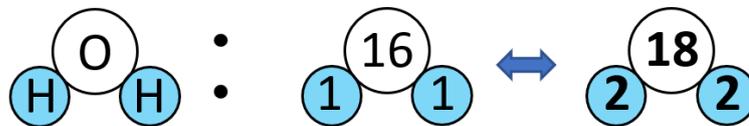
e-mail : kg-koho@kwansei.ac.jp

同位体比・同位体比の変動・ δ 表記

地球上に存在するさまざまな元素は、その化学的性質をもとに作成された周期表に、原子番号順（原子核中の陽子の数の順番）に整然と並べられています。原子核には陽子のほかに中性子が存在し、同じ陽子数でも中性子の数が異なるものが存在します。この、原子番号（陽子数）が同じで、中性子数が違うものを相互に、同位体と呼びます。同位体を区別するために、陽子数と中性子数を足し合わせた、質量数を使います。同位体は原子番号が同じなので、元素としての性質は同位体相互で非常に似ていますが、重さに相当する質量数が違うため、わずかにちがう物理的・化学的性質を持っています。



本研究では、水(H₂O)分子のなかの水素(H)と酸素(O)の同位体(¹H, ²H; ¹⁶O, ¹⁷O, ¹⁸O)に注目しています。これらの同位体の組み合わせからは、一番軽い ¹H₂¹⁶O と一番重い ²H₂¹⁸O では、分子量が 18 と 22 と約 20%異なるために、分子の挙動に若干の違いが生じ、例えば沸点は、前者が 99.97°C なのに対して、後者は 101.54°C です。分子量が大きいため、液体の水を水蒸気にするために多くのエネルギーを要する結果です。



地球上の様々な水の同位体比を測定すると、たとえば ¹⁸O と ¹⁶O の粒子数の比である ¹⁸O/¹⁶O 同位体比は、0.00188 から 0.00206 まで変動することが知られています。この同位体比の変動幅は非常に小さいため、習慣的に「ずれの割合」として千分率で表記します。同位体比の場合は、分析試料の ¹⁸O/¹⁶O 測定値に対して、基準となる水試料（標準海水）の ¹⁸O/¹⁶O 測定値との差（ずれ）をとり、この差を基準値で割ったあとに 1000 倍することで、千分率となります。この計算から得られる千分率の値を δ 値と呼び、酸素の場合は $\delta^{18}\text{O}$ 値、水素の場合は δD 値と呼びます。このような計算は日常生活においても、昨日の株価からくらべて今日は 5% 上昇した、などとニュースで、ずれの百分率として述べられることと同様です（千分率では‰を利用します）。

地球表層を循環する水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、0‰の標準海水に対して、おおよそ+10‰から-40‰の範囲に入ります。軽い同位体を含む水は液体の水から水蒸気になりやすく、逆に雲の中では、重い同位体を含む水蒸気が降雨として液体の水に変化しやすい性質があります。このような性質から、低緯度地域から高緯度地域に向かって、また海岸部から内陸部に向かって、さらに山地の低標高域から高標高域に向かって、雨雲から生成する雨水の同位体比は軽くなっていく、つまり $\delta^{18}\text{O}$ 値は小さな値をとるようになります。本研究の例でも、図 2 a の低標高山体湧水と高標高山体湧水では、標高が高いほうが δ 値が低い、つまり、軽い同位体に富んだ雨水が降り、地下水となっていることを反映しています。