

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01861

研究課題名（和文）熊本地震による地下水環境変化の全容解明

研究課題名（英文）Groundwater environmental change due to 2016 Kumamoto Earthquake

研究代表者

細野 高啓（Hosono, Takahiro）

熊本大学・大学院先端科学研究部（理）・准教授

研究者番号：30367065

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、主として安定同位体トレーサー法、次世代水文シミュレーション、PCR分析といった先端技術を駆使し、これまで詳細は分からなかった巨大地震発生に伴う帯水層環境変化の全容を、学際的アプローチにより総合的に評価し明らかにしたものである。本件研究は、2016年熊本地震の発生をきっかけに開始され、日本最大の地下水都市として膨大な観測データを保持する熊本地域を舞台に、4年余りの歳月をかけて取得した過去の蓄積データや新たな採水に基づく分析結果をベースに、地域帯水層環境変化の実態を世界で初めて詳細に調べ上げ、新たな方法論までを取りまとめることで、独創的かつ国際的にも第一級の成果を生み出したものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義は、これまで困難だった地下水流動変化の量的収支に加え、水質と菌叢の時空間変遷過程までを、世界で初めて詳細に描写できた点にある。この成功は、国内最密の観測井戸を有し、水位のみならず水質や菌叢特徴に至るまで、地震前の状況を知る多項目比較データが蓄積されていた、地下水都市熊本ならではのことである。熊本の場合、震災による水位変動は大よそ5年内には元に戻り水質についても飲用に問題ないことが科学的に判断できる。これら情報は市民講座、一般書発行、報道を通じて広く発信され、健全な地下水利用に基づく生活や、一般住民の理解・啓蒙に既に反映されている。

研究成果の概要（英文）：This study describes entire picture of the post seismic hydro-environmental changes observed after the 2016 Kumamoto crustal earthquake depicted through multidisciplinary approaches involved advanced scientific technologies including stable isotopic tracer methods, advanced hydrogeological numerical simulation and PCR analysis. We collected water level archives and water samples from all possible water bodies in and around watershed in Kumamoto, where the finest well monitoring network is developed over our country, during 5 years after the earthquake. We have depicted detailed processes in changing hydrological, hydrochemical and microbiological systems after the earthquake, and also shown how and when these changes will be recovered static states like before the earthquake. These findings include quite new aspects that have not been reported elsewhere over the world and beneficial as a base for future works in other areas and for water resource management in Kumamoto.

研究分野：環境動態解析分野，水圏環境科学分野

キーワード：熊本地震 地殻変動 水循環 地下水 安定同位体比 水位変動 物質移動 菌叢解析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

熊本は地域住民約 100 万人の飲用水源を全て地下水で賄う国内随一の地下水都市域である。したがって、地下水位や水質を観測するための観測井戸が全国で最も密集する地域となっている。2010～2015 年度までの間、研究代表者は CREST ならびに科研費若手 A の援助を受け、この地下水の広域流動機構ならびに水質変化過程解明をメインテーマとして研究を推進してきた。結果、最新の広域地下水流動モデルの構築に成功してきた。また、各種安定同位体を用いた水質進化過程の特徴や水質汚染の実態を明らかにしてきた。こうした矢先、2016 年 4 月に熊本地震が発生した。巨大地震の発生は、地下水位、水質、生態系に至るまで、地下環境に様々な影響をおよぼすことが知られている。しかし、多くの研究地域では地下水観測網が発達しておらず、十分な証拠を抽出できないことが理由で、以下のような、現象理解が進んでいない点が残されていた。

- 地震前後の地下水位の変動理由として、地殻歪の発生、断層破碎帯の形成による水みちの変化、不飽和帯土壌水の落下など、いくつかの要因が報告されている。
→しかし、広域的な地下水流動の変化については良く分かっていなかった。
- 地震発生に先立って起こる水質変化と地震予兆を関連させるなど、定点における水質や同位体比の時系列変化についていくつかの重要な報告がある。
→しかし、水質や同位体比の広域時空間変化特徴に関する研究はこれまでほとんどなかった。
- 間隙率の大きな石灰岩帯水層では地震後地下水中の微小動物の量・種類が激減する例について、わずかに報告がある。一方、熊本の地下水中には微小動物ではなく微生物が生息する。
→しかし、地震が与えるこうした微生物生態系への影響については全く知られていなかった。
- 地震振動によって不飽和帯中の汚染物質は帯水層中へと運搬されるのか？また、地表付近のインフラ破壊は化学汚染として地下環境にも影響するのか？
→しかし、重要な問題にもかかわらず、こうした観点からの検証研究はこれまでなかった。

2. 研究の目的

2016 年 4 月の地震直後、熊本平野では湧水の枯渇や新たな湧水の出現など、地下水流動系の変化を意味する明らかな兆候が認められていた。研究代表者は、上記学術的問題点の解決に不可欠な地震前の実態を掌握している状況にあって、今後、地震後の水位変動データや水質分析用試料が系統的に取得できれば、本研究テーマを遂行できるのではないかと考えた。そこで、熊本地震の発生に伴う地下水環境変化の全容を解明するため、以下の 6 つのサブテーマを設け、それぞれに対して目標を定めた。最終的には 6 つの研究の成果を総括し、本研究の達成を目指した。

- 1) 水位データを用いた広域的な地下水流動系の変動解明 (水位班)
観測井戸 (計 135 地点) の水位変動パターンから、水位変動要因ならびに時間を追った地下水流動系の変化を読み解く。最終的には数値解析モデルでの可視化を試みる。
- 2) 水質・同位体データを用いた水の起源追跡 (水質班)
水質、ならびに水の酸素・水素安定同位体比の変化を水位変化に対応させた形で解析し、広域流動場における水質変化や水の起源の変化要因を解明する。
- 3) 地震の予兆を探るための時系列水質変化解析 (地震予知班)
熊本平野、南阿蘇、九重の 3 つの箇所、震災前後半年間の連続採水試料を確保できる状態にある。この水質・各種同位体比を分析し、震災前の水質変化の兆候を見出す。
- 4) 地震後現れた新たな地下水系の発生機構解明 (新湧水班)
熊本地域において、地震後新たな湧水が複数確認されている。この新湧水の湧出量や水質・同位体比をモニタリングし、その起源ならびに湧出メカニズムを解明する。
- 5) 微生物生態系の変容把握 (微生物班)
代表的な観測井戸において、地震後採水した地下水の菌叢解析を行う。同地点で地震前に把握している菌叢との比較検討から、地震による帯水層中の菌叢の変化を評価する。
- 6) 汚染物質漏洩の影響評価 (汚染班)
水質班と同地点において、地震前後の窒素汚染の実態と起源の変化を読み解く。同時に、化学汚染の網羅分析を行い、地下水への化学汚染物質漏洩の影響を包括的に理解する。

3. 研究の方法

研究の目的で述べた 6 つのサブテーマに対し、各分野の専門家を班長とした班を設けた (以下、水位班、水質班、地震予知班、新湧水班、微生物班、汚染班とよぶ)。研究期間は全体として 4 年間とする。以下、その計画の詳細を述べる。

- 1) 水位班

観測井戸地下水位データは4つの異なる管轄（国交省、熊本県、熊本市、上下水道局）からそれぞれ入手する。得られた水位データは、国土地理院の地震後の標高データが公表されてから地盤沈降の影響を補正する。地震発生前後の水位変化を説明するメカニズムを明らかにし、最終的には地下水流動シミュレーション（地圏環境テクノロジー所有のGetflows）を駆使し、流動変化の可視化を試みる。

2) 水質班

熊本地域の観測井戸や民間井戸約100地点において採水を行う。一般水質、栄養塩、微量成分、酸素・水素同位体比を測定し、分析にはそれぞれ、研究室設置のイオンクロマトグラフ、吸光度計、ICPMS、同位体質量分析装置を用いる。採水は年2回行う。また、上下水道局が毎年3回行っている水質検査と、熊本大学が独自に行っている年4回の水質検査の結果についても整理も行う。これらデータをもとに、広域流動系における水質の変化を読み解く。

3) 地震予知班

継続な水位・水質データをもとに、地震予知に資するような‘地震の兆候’を意味する情報やデータが検出されるかどうかを読み解く。

4) 新湧水班

阿蘇市狩尾地域において1地点の計5地点において、地震後新たな湧水が確認されている。これら新湧水を発生させた地下水系の起源ならびに湧出メカニズムを解明するため、湧出量観測用の水位計の設置と、1カ月に1度の頻度で、水質・同位体比測定用試料の採取を行う。分析は水質班の内容と同様。

5) 微生物班

震災以前の地下水中の菌叢特徴が代表地点について明らかとなっている。毎年1~2回の頻度で菌叢解析用の試料を採水し、分析を実施する。4年間毎年実施する。地震前後の比較を通して、地震による変化を見出す。

6) 汚染班

水質班の試料採取地点と重複する地点において、窒素トレーサーとして窒素安定同位体比分析用試料と、人工有機化学物質測定用試料をそれぞれ採取する。いずれも熊本大学設置の質量分析装置を用いて測定する。

4. 研究成果

4.1. 各班の成果

1) 水位班

地震発生から5年後までの水位データをすべての観測点について入手した。これらデータを基に広域地下水流動系における水文学的变化が明らかとなった。主な発見として、断層裂罅系の発生に伴う水の地下深所への呑み込み現象、ならびに、山体地下水の解放に伴う下流部地下水位上昇現象があげられる（図1）。特に、後者の発見についてはNature Communications誌に掲載された。加えて、量的な収支までを含めた地下水流動変化を、Getflows地下水流動シミュレーションを通して可視化した。

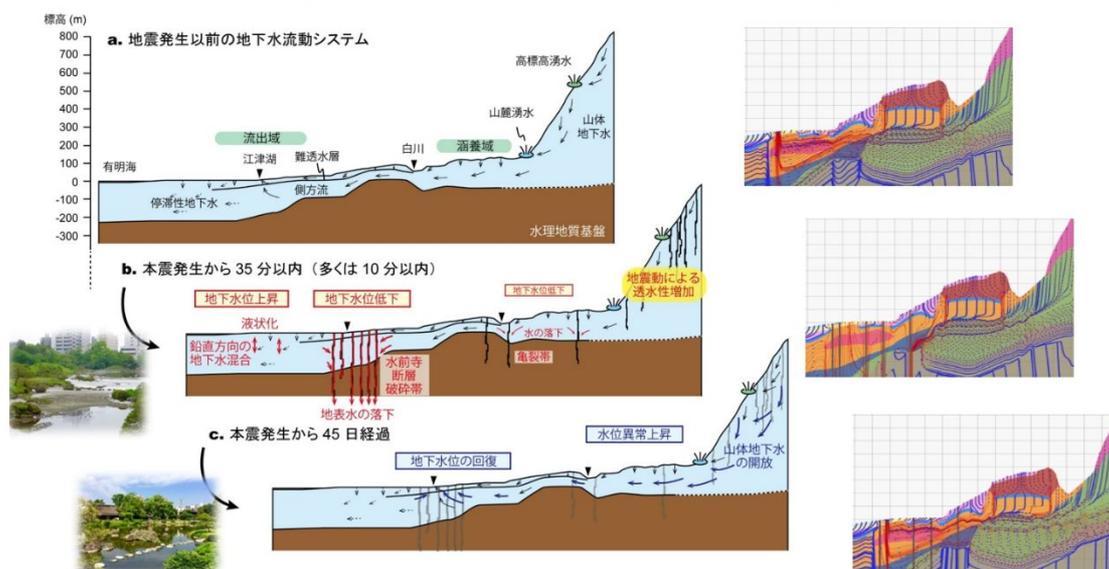


図1. 熊本地域阿蘇西麓から有明海に沿った地下水流動系を例にとり、熊本地震後の地下水流動変化を示した模式図

2) 水質班

熊本地域の観測井戸約100地点において採水を行うと同時に、3つの異なる管轄（国交省、熊本

市、上下水道局)における長期水質観測データを入手した。これらデータ解析を基に広域地下水流動系における水質変化機構が明らかとなった。主な発見として、山体地下水の解放・混合に伴う希釈現象、断層裂隙系を通じた深部流体湧昇現象、断層破壊に伴う溶存ケイ素の増加、不飽和帯における土壌水の落下現象などがあげられる。また、こうした水質変化特徴は、self organizing map といった機械学習を通じて統計的な分類を行った。これら成果を Journal of Hydrology 誌に掲載した。

3) 地震予知班

採水・分析を継続し地震前後の水位・水質データベースの構築を4年にわたり継続したが、熊本地震では地震予知につながる顕著なシグナルは得られなかった。

4) 新湧水班

熊本平野と阿蘇市狩尾地域において地震後に湧出した新湧水を対象として月に一度の採水を実施し、水質分析と同位体分析を計画しこれを実施した。その結果、阿蘇市狩尾地域において地震活動によって湧出した深部流体の存在が明らかとなった。一方、熊本平野において出現した湧水は人的なものであった。阿蘇市狩尾地域における新湧水は地下深所からの寄与を受けた、温泉に類似する流体に相当することが明らかになり、地震後の亀裂に沿って被圧されたこれら深部流体が湧昇するプロセスが明らかとなった。この結果は Scientific Reports 誌に掲載された。

5) 微生物班

地震以前の地下水中の菌叢特徴が分かっている代表地点において、地震後4年間の菌叢変化特性を追跡した。その結果、地表水の地下への呑み込みと山体地下水の解放に伴い、地表や山体に生息していた微生物が地震後に平野部地下水流動系に付加されることで地域帯水層における菌叢が長期にわたり大きく変化する実態が明らかにされた。この結果を Journal of Hydrology 誌に掲載した。

6) 汚染班

水質班と連携して、窒素成分ならびに人工有機化学物質濃度を測定するとともに、関連する項目をピックアップして、地震前後の比較を行った。窒素成分に関しては不飽和帯土壌中の汚染物質が振動により揺さぶられて飽和帯水層中へと落下する現象をとらえることに成功した。また、人工有機化学物質測定用を通し、断層亀裂帯を通じた下水成分の地下水への漏洩が定量化された。前者の結果は Journal of Hydrology 誌や Minerals 誌に、また、後者の結果については Science of the Total Environment 誌に掲載された。

4.2. 全体の取りまとめ

本件研究は、主として安定同位体トレーサー法、次世代水文シミュレーション、PCR分析といった先端技術を駆使し、特にこれまで詳細は分からなかった巨大地震発生に伴う帯水層環境変化の全容を可視化することで、地域水循環全体における水文、地質、水質、微生物生態環境への影響を総合的に評価したものである。地震による被害は、地表での現象は目に見えるため把握しやすいが、地下での現象は目に見えないため現状の把握は難しく、現象の理解が遅れていた。すなわち、地下水資源や上下水網などの地下インフラが受ける影響を把握することは重要であるにもかかわらず、これらを評価する技術や方法論が確立されてこなかった。本件研究は、2016年熊本地震の発生をきっかけに開始され、日本最大の地下水都市として膨大な観測データを保持する熊本地域を舞台に、4年余りの歳月をかけて地域帯水層環境変化の実態を世界で初めて詳細に調べ上げ、全容モデルを確立し方法論までを取りまとめることで、独創的かつ国際的にも第一級の成果を生み出したものである。

本件研究の従来研究と異なる最も大きな特徴は、本件研究がこれまで困難だった地下における流動変化の量的収支に加え、水質と菌叢の時空間変遷過程までを詳細に描写できた点にある。この成功を生み出した鍵は、地下水都市熊本では、国内最密の観測井戸を有し、水位のみならず水質や菌叢特徴に至るまで、地震前の状況を知る多項目比較データが蓄積されていたことである。この重要性にいち早く気づき、今まで調べたくても誰も調べられなかった地震前後の変化を、独創的な学際的アプローチにより比較検証した結果、水循環系全体を網羅した巨大地震による環境変動応答の全容解明にたどり着いた。当該研究からの成果は、実用レベルでの社会実装が可能なステージへと突入している。すなわち、熊本の場合、震災による水位変動は大よそ5年内には元に戻り水質についても飲用に問題ないことが科学的に判断でき、これら情報は市民講座、一般書発行、報道を通じて広く発信され、健全な地下水利用に基づく生活や、一般住民の理解・啓蒙に既に反映され始めている。

4.3. 成果発信

熊本地震から3年となる2019年4月のタイミングで、これまでの研究成果から見てきた地震による地下水環境変化の全容を、地元紙(熊本日日新聞、西日本新聞)を通して地域住人を含

めた一般の人々に広く分かり易く紹介した。また、これ以外にも地震 - 地下水関連の多数の記事を、雑誌の報告欄や新聞等各メディアを通して発信した。その数は合計 15 件になる。

我々の研究活動の成果を、地域住民を含めた一般の人々に広く伝えるため、地震から丁度 3 年のタイミングを見計らって開催されたサントリーホールディングス(株)主催の地元住民向けの『水の国応援ツアー』(3月30日サントリー熊本工場他)および一般市民向け公開シンポジウム『巨大地震が熊本の地下水環境に与えた影響の科学的解明』(日本地下水学会・熊本大学・くまもと地下水財団・熊本日日新聞社共催, 参加者約 400 名)において、一連の成果にもとづく講演を実施した。

本研究助成による研究成果の一部は、地震に遭遇した熊本地域の一般市民の方々から全国各地の専門家まで幅広い読者に理解していただけるよう、出来るだけ分かり易い邦文で取りまとめ、『巨大地震が地下水環境に与えた影響』と題した書籍の出版に力を注いだ。研究の学術的成果は、国際科学雑誌 10 編、書籍・国内誌論文 5 編、国内外の公演・学会で合計 42 件発表した。

4.4. 今後の活動について

国際共同研究加速基金(国際共同研究強化 A)『直下型地震による地下環境変化のグローバルモデル創出』が採択されている。本研究は、基課題研究『熊本地震による地下水環境変化の全容解明』を通して構築された『熊本モデル』をベースに、世界の類似テクトニクス地域における研究事例や現地調査の結果を取りまとめることを計画している。具体的には、世界からの研究成果を専門国際学術雑誌の特集号としてグローバルスケールで取りまとめることで、地域研究から全球スケールの研究にまで発展させ、火山 - 地震多発地域において普遍的な現象を見出すことを目指す。今後はこうした国際共同研究を通じて、同現象に対する共通性ないし特異性について整理していきたいと計画している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Hosono Takahiro, Hossain Shahadat, Shimada Jun	4. 巻 79
2. 論文標題 Hydrobiogeochemical evolution along the regional groundwater flow systems in volcanic aquifers in Kumamoto, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 410
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12665-020-09155-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hosono Takahiro, Yamada Chisato, Manga Michael, Wang Chi-Yuen, Tanimizu Masaharu	4. 巻 11
2. 論文標題 Stable isotopes show that earthquakes enhance permeability and release water from mountains	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2776
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-020-16604-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Nakagawa Kei, Shimada Jun, Yu Zhi-Qiang, Ide Kiyoshi, Berndtsson Ronny	4. 巻 11
2. 論文標題 Effects of the Japanese 2016 Kumamoto Earthquake on Nitrate Content in Groundwater Supply	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 43 ~ 43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/min11010043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ichikawa Tsutomu, Nakagawa Kei, Berndtsson Ronny	4. 巻 79
2. 論文標題 Earthquake effects on artificial groundwater recharge efforts in south Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 142
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12665-020-8868-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Rahman A.T.M. Sakiur, Hosono Takahiro, Quilty John M., Das Jayanta, Basak Amiya	4. 巻 141
2. 論文標題 Multiscale groundwater level forecasting: Coupling new machine learning approaches with wavelet transforms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Water Resources	6. 最初と最後の頁 103595 ~ 103595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.advwatres.2020.103595	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tawara Yasuhiro, Hosono Takahiro, Fukuoka Youichi, Yoshida Takafumi, Shimada Jun	4. 巻 583
2. 論文標題 Quantitative assessment of the changes in regional water flow systems caused by the 2016 Kumamoto Earthquake using numerical modeling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 124559 ~ 124559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhydro.2020.124559	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakagawa Kei, Yu Zhi-Qiang, Berndtsson Ronny, Hosono Takahiro	4. 巻 582
2. 論文標題 Temporal characteristics of groundwater chemistry affected by the 2016 Kumamoto earthquake using self-organizing maps	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 124519 ~ 124519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhydro.2019.124519	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Morimura Shigeru, Zeng Xiangyong, Noboru Naoki, Hosono Takahiro	4. 巻 581
2. 論文標題 Changes to the microbial communities within groundwater in response to a large crustal earthquake in Kumamoto, southern Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 124341 ~ 124341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhydro.2019.124341	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hosono Takahiro, Masaki Yukako	4. 巻 580
2. 論文標題 Post-seismic hydrochemical changes in regional groundwater flow systems in response to the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquake	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 124340 ~ 124340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhydrol.2019.124340	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Rahman A. T. M. Sakiur, Hosono Takahiro, Kisi Ozgur, Dennis Boateng, Imon A. H. M. Rahmatullah	4. 巻 65
2. 論文標題 A minimalistic approach for evapotranspiration estimation using the Prophet model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrological Sciences Journal	6. 最初と最後の頁 1994 ~ 2006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/02626667.2020.1787416	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakagawa Kei, Amano Hiroki, Berndtsson Ronny, Takao Yuji, Hosono Takahiro	4. 巻 107
2. 論文標題 Use of sterols to monitor surface water quality change and nitrate pollution source	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ecological Indicators	6. 最初と最後の頁 105534 ~ 105534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecolind.2019.105534	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Taniguchi Makoto, Burnett Kimberly M., Shimada Jun, Hosono Takahiro, Wada Christopher A., Ide Kiyoshi	4. 巻 7
2. 論文標題 Recovery of Lost Nexus Synergy via Payment for Environmental Services in Kumamoto, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Environmental Science	6. 最初と最後の頁 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fenvs.2019.00028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hosono T., Yamada C., Shibata T., Tawara Y., Wang C. Y., Manga M., Rahman A. T. M. S., Shimada J.	4. 巻 55
2. 論文標題 Coseismic Groundwater Drawdown Along Crustal Ruptures During the 2016 Mw7.0 Kumamoto Earthquake	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 5891 ~ 5903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019WR024871	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hosono Takahiro, Hartmann Jens, Louvat Pascale, Amann Thorben, Washington Kirstin E., West A. Joshua, Okamura Koki, Bottcher Michael E., Gaillardet Jerome	4. 巻 8
2. 論文標題 Earthquake-induced structural deformations enhance long-term solute fluxes from active volcanic systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14809
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-32735-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計49件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Hosono, T., Manga, M., Wang, C.-Y. and Working Group of Japanese Association for Groundwater Hydrology
2. 発表標題 Coseismic hydroenvironmental changes in response to 2016 Mw 7.0 Kumamoto crustal earthquake, southern Japan: insights from multidisciplinary approaches
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atwood, A., West, A. J., Ide, K., Hosono, T., Clark, M., Zekkos, D., Medwedeff, W., Tiwari, S., Chamlagain, D.
2. 発表標題 Response of chemical weathering and hillslope hydrology along an exhumation gradient in central Nepal
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atwood, A., West, A. J., Ide, K., Hosono, T., Clark, M., Zekkos, D., Medwedeff, B., Tiwari, S., Chamlagain, D.
2. 発表標題 Response of chemical weathering and hillslope hydrology along an exhumation gradient in central Nepal: Landslides, fracturing and more
3. 学会等名 Galileo Conferences (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hermawan, O. R, Hosono, T., Yasumoto, J., Nozaki, M.
2. 発表標題 Underground dam construction impact to the groundwater quantity and quality of Ryukyu limestone aquifer in southern Okinawa island, Japan
3. 学会等名 46th IAH Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Okamura, K., Hosono, T., Romero-Mujalli, G., Amann, T., Louvat, P., Hartmann, J.
2. 発表標題 Distribution and formation of highly saline water in the northwest plain of Aso caldera, south Japan
3. 学会等名 Goldschmidt 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福島宏司, 柴田智郎, 細野高啓, 井手 淨
2. 発表標題 2016年熊本地震における地下水位の潮汐応答の変化
3. 学会等名 第41回陸水物理学会信濃大町大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中知茂, 細野高啓, 井手 淨
2. 発表標題 アナログデータを用いた熊本地震における地下水位変化の解析
3. 学会等名 日本応用地質学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井手 淨, 細野高啓, 利部 慎, 深水慶介, 徳永貴大, 嶋田 純
2. 発表標題 溶存フロン濃度および安定同位体 トレーサーの変動から見た 熊本地震前後の湧水湧出系の変化
3. 学会等名 日本応用地質学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安元 純, 村尾 海, 廣瀬(安元)美奈, 安元 剛, 水澤奈々美, 渡部終五, 井口 亮, 細野高啓, 高田遼吾
2. 発表標題 地下水の物質輸送における微生物の影響 - 分子生物学的手法を用いて -
3. 学会等名 2019年度日本水文科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本卓樹, 細野高啓, 奥村 梓
2. 発表標題 熊本地域における地下水中硝酸態窒素濃度の分布・時間傾向及び台地涵養域における窒素負荷要因の解明
3. 学会等名 日本地下水学会 2019年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡村幸樹, 細野高啓, Hartmann, O. J., Amann, T.
2. 発表標題 阿蘇カルデラ北西部で見られる高濃度地下水の分布域の特定および水質形成機構の考察
3. 学会等名 日本地下水学会 2019年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田敏孝, 細野高啓, 木庭亮一, 渡邊和博, 本田智宣, 鍋田亜由美
2. 発表標題 阿蘇黄土(リモナイト)の岩石学的特徴
3. 学会等名 日本地質学会第126年学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hosono, T.; Yamada, C.; Shibata, T.; Tawara, Y.; Shimada, J
2. 発表標題 Coseismic groundwater level change after the 2016 Kumamoto earthquake.
3. 学会等名 45th IAH Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Boateng, D.; Hosono, T.; Okumura, A.; Sakiur Rahman, A.T.M.; Shimada, J.
2. 発表標題 Deciphering downward movement of nitrate through volcanic unsaturated formation using high composition 15N and 18O tracers.
3. 学会等名 45th IAH Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kagabu, M.; Ide, K.; Hosono, T.; Nakagawa, K.; Shimada, J.
2 . 発表標題 Tank model analysis of coseismic groundwater-level changes induced by 2016 Kumamoto Earthquake.
3 . 学会等名 45th IAH Congress (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Masaki, Y.; Shimada, J.; Hosono, T.
2 . 発表標題 Coseismic change of groundwater quality after the Kumamoto earthquake using long-term public observation data.
3 . 学会等名 45th IAH Congress (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Miyakoshi, A.; Taniguchi, M.; Ide, K.; Kagabu, M.; Hosono, T.; Shimada, J.
2 . 発表標題 Changes in groundwater flow estimated by repeated measurements of subsurface temperature in the Kumamoto area, Japan: Effects of 2016 Kumamoto earthquake.
3 . 学会等名 45th IAH Congress (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Sakiur Rahman, A.T.M.; Hosono, T.; Tawara, Y.; Boateng, D.; Shimada, J.
2 . 発表標題 Fully Coupled Surface and Subsurface Flow Simulation with Model Validation Using Stable Isotopes and Tracer of Kumamoto Region in Japan.
3 . 学会等名 45th IAH Congress (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Shimada, J.; Hosono, T.; Nakagawa, K.
2 . 発表標題 Scientific Research Project on the effect of 2016 Kumamoto earthquake to the local hydro-logical system including groundwater.
3 . 学会等名 45th IAH Congress (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Tawara, Y.; Fukuoka, Y.; Yoshida, T.; Hosono, T.; Rahman, S.; Shimada, J.
2 . 発表標題 Numerical modeling study on reproducing groundwater level change caused by the 2016 Kumamoto Earthquake.
3 . 学会等名 45th IAH Congress (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Gaspard, F.; Opfergelt, S.; Hartmann, J.; Hosono, T.; Delmelle, P.
2 . 発表標題 Seasonal variations of dissolved Ge:Si ratios in streams from the Aso caldera, Kyushu, Japan.
3 . 学会等名 Goldschmidt 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Romero-Mujalli, G.; Hartmann, J.; Hosono, T.; Amann, T.; Louvat, P.; Bottcher, M.
2 . 発表標題 Evaluating the contribution of high temperature fluids to surface waters using Se/SO ₄ ratios and the stable isotopes of sulfur and carbon for the Aso caldera, Japan.
3 . 学会等名 EGU General Assembly (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本直人, 先山正祐, 細野 高啓, 谷水雅治
2. 発表標題 11B- 7Li同位体指標を用いた地下水の起源推定と熊本地震の影響評価
3. 学会等名 2018年度日本地球化学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 細野 高啓, 山田 千聡, 柴田 智郎, 田原 康博, 嶋田 純
2. 発表標題 熊本地震による地下水位変化メカニズム
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮越 昭暢, 谷口 真人, 井手 淨, 奥村 梓, 利部 慎, 細野高啓, 嶋田 純
2. 発表標題 地下温度の繰返し測定による熊本地域の地下水流動変化の検討 - 2017・2018年測定値と過去データの比較
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田原 康博, 吉田 堯史, 福岡 庸一, 細野 高啓, 嶋田 純
2. 発表標題 熊本地震によって生じた地下水位変化の数値モデリング
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 正木 結香子, 細野 高啓, 嶋田 純
2. 発表標題 長期的地下水観測データを用いた熊本地震前後の水質変化の特徴
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡村 幸樹, 細野 高啓
2. 発表標題 阿蘇北西部における熊本地震後の地下水湧出機構の解明
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川端 訓代, 細野 高啓, 佐藤 努, 高橋 浩, 高橋正明, 井手 淨, 北村有迅, 小泉尚嗣, 深水 慶介
2. 発表標題 2016年熊本地震における地下水ラドン濃度変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井手 淨, 深水 慶介, 徳永 貴大, 利部 慎, 細野高啓, 嶋田 純
2. 発表標題 熊本地震前後における湧水の湧出環境変化 地下水年代トレーサーを用いた検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森村 茂, 登 直幹, 曾 祥勇, 竹下 美海, 細野 高啓, 嶋田 純
2. 発表標題 熊本地震による地下水中の微生物群集構造の変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 利部 慎, 井手 淨, 細野高啓, 中川 啓, 嶋田 純
2. 発表標題 熊本地震後の異常水位上昇のタンクモデル解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本 直人, 谷水 雅治, 細野 高啓
2. 発表標題 微量元素濃度組成と金属元素同位体比からみた熊本地域地下水の地域的特徴と熊本地震による影響評価
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ishii, E.; Kannan, K.; Hosono, T.; Agusa, T.; Nakata, H
2. 発表標題 Assessment of groundwater pollution using persistent sewer tracers after the 2016 Kumamoto earthquake.
3. 学会等名 International Symposium on Pollutant Responses in Marine Organisms (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hosono, T.; Hashimoto, M.; Hartmann, J.; Louvat, P.; Bouchez, J.; Gaillardet, J.; Washington, K.E.; West, J.; Okumura, A.; Ide, K.; Sato T.; Takahashi, H.A.
2. 発表標題 Geochemical characteristics of new spring water occurred after the Kumamoto earthquake
3. 学会等名 Goldschmidt 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kawabata, K.; Hosono, T.; Sato, T.; Takahashi, H.A.; Ide, K.; Kitamura, Y.
2. 発表標題 Change of groundwater radon concentration caused by 2016 Kumamoto earthquake
3. 学会等名 CWB 2017 International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yamada, C.; Hosono, T.; Shibata, T.; Shimada, J.
2. 発表標題 Mechanisms of groundwater level changes after the 2016 Kumamoto earthquake.
3. 学会等名 44th IAH Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小屋野柊佑, 上野大介, 宮脇崇, 門上希和夫, 梶原夏子, 佐藤克久, 東房健一, 阿草哲郎, 細野高啓, 中田晴彦
2. 発表標題 熊本震災ガレキ仮置き場を対象としたAIQSターゲットスクリーニング分析法を用いた木材処理剤による環境汚染実態の把握
3. 学会等名 第26回環境化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 阿草哲郎, 木村直登, 石井絵里, 橋本美穂, 村上理佳子, 内山幸子, 細野高啓, 中田晴彦
2. 発表標題 熊本地震による地下水質への影響：微量元素編
3. 学会等名 第26回環境化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石井絵理, Kurunthachalam Kannan, 細野高啓, 阿草哲郎, 高菅卓三, 中田晴彦
2. 発表標題 下水トレーサーによる熊本地震前後の地下水質の変動評価
3. 学会等名 第26回環境化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本直人, 細野高啓, 谷水雅治
2. 発表標題 微量元素B, Liからみた熊本市地下水の起源解析
3. 学会等名 第66回日本分析化学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川端訓代, 細野高啓, 佐藤努, 高橋浩
2. 発表標題 2016年熊本地震における地下水ラドン濃度変化
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 細野高啓, 山田千聡, 柴田智郎, 田原康博, 嶋田純
2. 発表標題 熊本地震による地下水位低下メカニズム
3. 学会等名 日本地下水学会2017年秋季講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井手浄, 細野高啓, 鈴木弘明, 古閑仁美, 嶋田純
2. 発表標題 基準点の変動に伴う標高再測量で判明した, 熊本地域における過去の観測井標高値の疑義とその補正
3. 学会等名 日本地下水学会2017年秋季講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田千聡, 細野高啓, 中田晴彦, 石井絵里, 阿草哲郎, 柴田智郎, 先名重樹, 奥村梓, 嶋田純
2. 発表標題 熊本地震後の地下水位上昇と酸素・水素安定同位体比の比較検討
3. 学会等名 日本地下水学会2017年秋季講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 利部慎, 井手浄, 細野高啓, 中川啓, 嶋田純
2. 発表標題 タンクモデルを用いた熊本地震後の異常水位上昇の解析
3. 学会等名 日本地下水学会2017年秋季講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Sugimoto, T. Hosono, and M. Tanimizu
2. 発表標題 Origin of groundwater in Kumamoto city estimated from multi stable isotope proxies (B, Li, O H)
3. 学会等名 7th Asia-Pacific Winter Conference on Plasma Spectro-chemistry (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷水雅治・杉本直人・仲井涼・R. Umam・森康則
2. 発表標題 温泉水のホウ素・リチウム同位体システムからみた深部起源流体の特徴
3. 学会等名 2017年度日本地球化学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本直人・細野高啓・谷水雅治
2. 発表標題 阿蘇山西麓域における同位体指標B,Liを用いた地下水の起源推定
3. 学会等名 2017年度日本質量分析学会同位体比部会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 公益社団法人 日本地下水学会 編	4. 発行年 2020年
2. 出版社 成山堂書店	5. 総ページ数 272
3. 書名 地下水・湧水の疑問50	

1. 著者名 嶋田 純, 細野高啓	4. 発行年 2020年
2. 出版社 成文堂	5. 総ページ数 224
3. 書名 巨大地震が地下水環境に与えた影響	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森村 茂 (Morimura Shigeru) (20230146)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授 (17401)	
研究分担者	谷水 雅治 (Tanimizu Masaharu) (20373459)	関西学院大学・理工学部・教授 (34504)	
研究分担者	中川 啓 (Nakagawa Kei) (90315135)	長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・教授 (17301)	
研究分担者	中田 晴彦 (Nakata Haruhiko) (60311875)	熊本大学・大学院先端科学研究部(理)・准教授 (17401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------

米国	カリフォルニア大学バークレー校	南カリフォルニア大学		
ドイツ	ハンブルグ大学			
フランス	パリ地球物理研究所			
スウェーデン	ルンド大学			