

2) 続・熊本地域の地下水管理行政の現状について

中堀 靖範, 嶋田純^{*1}, 細野高啓^{*1}, 勝谷仁雄^{*2}, 古閑仁美^{*2},
川崎雅俊^{*3}, 小林嵩丸^{*4}, 田原康博^{*4}

要 旨

熊本地域では生活用水のほぼ 100%を地下水で賄う等, 地下水は県民の暮らしや経済活動を支える共通の基盤となっている。この地下水の質と量を健全な状態で次世代に引き継ぐため, 様々な主体により地下水の調査研究や保全の取組みが長年に渡り進められてきた。本報文では平成 22 年 (2010 年) 以降の県内の地下水保全の主な取組みと, その後明らかとなった熊本地域の地下水流動等の解析結果について整理した。

キーワード: 地下水, GETFLOWS, 涵養

はじめに

熊本県は, 県内の上水道水源の約 80%を地下水に依存しており, 地下水に恵まれた全国的にも極めて稀な県である。中でも阿蘇外輪山西麓から熊本平野及びその周辺の台地に広がる熊本都市圏は県人口の半数を超える約 100 万人を擁しており, その生活用水のほぼ 100%を地下水で賄っているほか, 工業や農業などの産業用水にも多くの地下水が利用される等, 地下水は県民の暮らしや経済活動を支える共通の基盤となっている。

一方で, 熊本県内では平成元年 (1989 年) 頃から地下水の硝酸性窒素汚染が確認され, また同時期には熊本地域における地下水位の低下も顕在化していた。このような状況から, 地下水の質と量を健全な状態で次世代に引き継ぐため, 行政のみならず様々な主体により地下水の調査研究や保全の取組みが長年に渡り進められてきた。

熊本地域における地下水保全の状況については平成 22 年 (2010 年) までの取組みについて小嶋¹⁾が報告しており, 本報文では平成 22 年 (2010 年) 以降の県内の地下水保全の主な取組みと, その後明らかとなった熊本地域の地下水の流動等の解析結果について報告する。

1. 平成 22 年 (2010 年) 以降の地下水保全の主な取組み

平成 22 年 (2010 年) までの熊本地域における地下水保全の取組みは小嶋が報告しており, 平成 8 年 (1996 年) に第一次熊本地域地下水総合保全管理計画を策定, 平成 16 年 (2004 年) には第一次計画を引き継ぐ形で第二次熊本地域地下水総合保全管理計画を策定し, これに

基づいて地下水涵養や採取量抑制, さらに地下水質悪化等に対する様々な施策が行われてきた。特に, 平成 16 年 (2004 年) には熊本地域で人工涵養が開始され, それまで低下傾向であった菊陽町辛川の観測井の地下水位は平成 17 年 (2005 年) を境に増加傾向に転じている

(図 1)。この地下水位の回復基調は, 平成 22 年 (2010 年) までの地下水保全の取組みはもちろんのこと, それまでの取組みを地域全体でより一層強化して本日まで継続した取組みの積み重ねによるものと考えられる。

そこで, 本報文では平成 22 年 (2010 年) から令和 5 年 (2023 年) までの熊本地域の地下水保全の主要な取組みについて整理した。

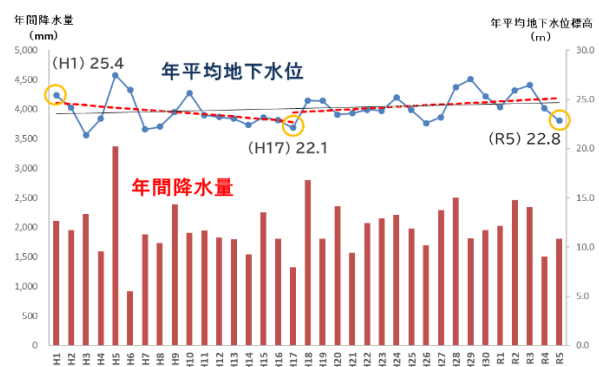


図 1 菊陽町辛川の年平均地下水位と降水量の経年変化

1.1 公益財団法人くまもと地下水財団の設立

平成 22 年 (2010 年) 頃の熊本地域では, 地下水の硝酸性窒素汚染対策や水量保全に係る地下水涵養の推進に

^{*1} 熊本大学 ^{*2} 公益財団法人くまもと地下水財団 ^{*3} サントリーホールディングス株式会社

^{*4} 株式会社地圏環境テクノロジー

向け、様々な団体により地下水保全の取組みが進められていた。

その中でも、①熊本地域の地下水保全を図るため熊本県と熊本地域の市町村で構成された「熊本地域地下水保全対策会議」、②地下水利用企業や農業団体、熊本県、熊本市周辺自治体などで構成された「熊本地域地下水保全活用協議会」、③地下水保全に取り組んでいた「財団法人熊本地下水基金」の3組織については、平成24年(2012年)に統合され、熊本地域の住民、事業者、行政が一体となって地下水保全に取り組む新組織として公益財団法人くまもと地下水財団(以下、「財団」という。)が設立された。

財団の活動は、地下水の調査研究、広報啓発、助成事業等多岐に渡っており、その中でも設立当初から継続的に取り組んでいる地下水涵養の主要な取組みとして、水田オーナー制度と冬期湛水事業がある。

熊本地域の豊富な地下水は、阿蘇山の火砕流堆積物が100m以上も厚く降り積もった水の浸透性の高い地層が広がる白川中流域において、約400年前の加藤清正公の時代から堰と用水路を築いて広域的に水田が開墾されたことにより、水田を通じて莫大な量の水が浸透することで育まれたとされている。その一方で、熊本地域は都市化により昭和51年(1976年)以降の40年間で住宅等の非涵養域が約2.2倍に拡大した。水田等の涵養域が減少すると自然涵養量が減少するため、これが地下水量の減少の大きな要因の一つになっていると指摘されてきた(図2)²⁾。このような状況で、地下水量を保全するためには現在の地下水涵養量をできる限り維持し、さらには増やしていく必要があり、そのためには営農の維持や人工的な地下水涵養が求められる。

財団が実施する水田オーナー制度は、地下水涵養に取

り組む事業者等が地下水涵養効果の高い地域の水田で米を契約栽培する制度で、営農の維持に貢献するものである。令和4年(2022年)までの10年間で財団が実施した水田オーナー制度により涵養された地下水の総量は約29万2,063m³とされている²⁾。

また、冬期湛水事業は稲刈り後の冬場の休耕田に水を張って地下水を涵養する取組みで、農地の減少により水田からの涵養量が減る中、限られた涵養地で水張り期間を増やすことで人工涵養量を増やす取組みである。平成24年度(2012年度)～令和5年度(2023年度)の12年間で財団が行った冬期湛水事業により涵養された地下水の総量は約1,902万m³とされている²⁾。

後述するとおり、熊本地域では県条例により地下水採取許可者に対して地下水涵養の目標設定を課しており、半導体関連企業の進出に伴い、地下水を利用し、地下水涵養に取り組む企業が今後増えることが予想される。そのため、財団による地下水涵養の取組みは今後ますます重要となり、財団には熊本地域における地下水保全の中心的な役割が期待される。



図3 大津町瀬田地区の冬期湛水の様子

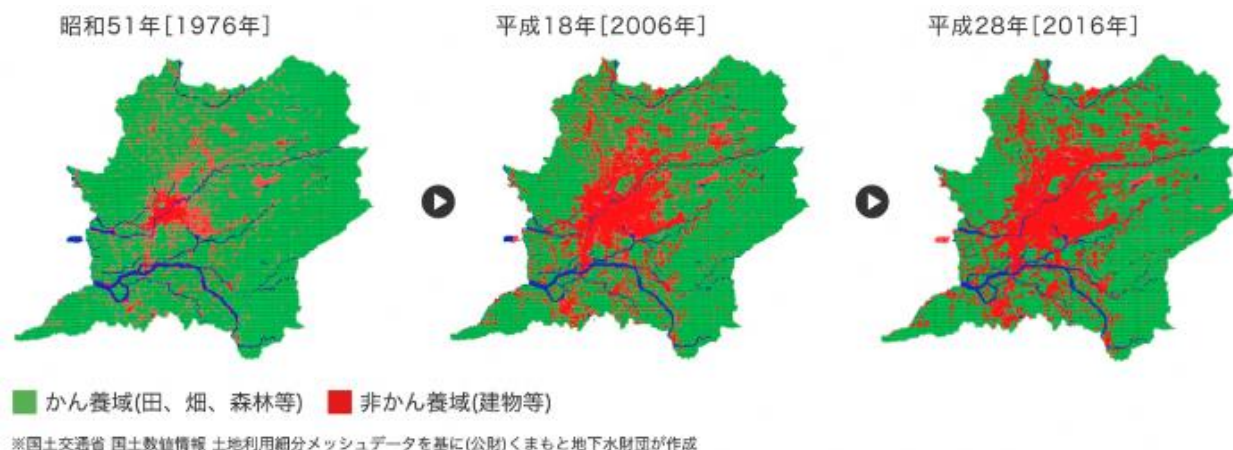


図2 熊本地域のかん養域と非かん養域の推移

1.2 熊本県地下水保全条例の改正

熊本県では、地下水の適正管理を目的とした「熊本県地下水の採取に関する条例」(昭和 53 年(1978 年))と地下水汚染防止対策を目的とした「熊本県地下水質保全条例」(平成元年(1989 年))により、全国的にも早い段階から地下水保全に係る規制や取組みを進めてきた。これらの条例は平成 10 年(1998 年)に熊本県地下水保全条例(以下、「条例」という。)として統合された後、平成 23 年(2011 年)に大きな改正(以下、「平成 23 年改正」という。)が行われた。主要な改正概要を以下にまとめる。

(1)地下水を公共水として位置づけ

水質汚濁防止法では、河川、湖沼、海域を公共の用に供される水域(公共用水域)として定めているが、これに地下水は含まれていない。地下水の流動は、河川及び海への流出を繰り返す水の循環の一部をなすものであり、県民生活及び地域経済の共通の基盤となっていることを踏まえ、熊本県では平成 23 年改正において地下水を「公共水」として条例に位置づけ、事業者、県及び県民が連携、協働して保全の取組みを推進することとした。

(2)重点地域の指定

改正前の条例では、地下水の採取に伴う障害が生じ、及び生ずるおそれのある地域等を指定地域として指定し、地下水保全の取組みを特に推進してきた。平成 23 年改正では、指定地域の中でも特に地下水の水位が低下している地域等を重点地域として指定し、地下水の採取や水利用の合理化、地下水の涵養等の規制を強化した。現在この重点地域には、熊本市周辺の熊本地域※が指定されている。

※熊本県地下水保全条例で定める重点地域(熊本地域)
(図 4)は、熊本市、菊池市(旧旭志村・旧泗水町のみ)、宇土市、合志市、大津町、菊陽町、西原村、御船町、嘉島町、益城町、甲佐町



図 4 熊本県地下水保全条例で定める重点地域

(3)地下水採取許可制度の導入

平成 23 年改正前の条例では、一定規模以上の揚水機による地下水採取の届出制度を導入し、地下水の採取量の報告を義務付けていたが、平成 23 年改正では大口の揚水機による地下水採取の許可制度を新たに導入した。特に、重点地域として指定した熊本地域では揚水機の吐出口の断面積が 19cm² 超の揚水機を設置する井戸を許可の対象とし、許可の要件として揚水試験の実施や水量測定器の設置等を規定した。これにより、新たな大規模揚水による周辺地域への地下水位の著しい低下や塩水化、地盤の沈下等の地下水障害を未然に防止するだけでなく、地下水採取者が揚水量を適正管理できる体制を整備した。

(4)水利用の合理化及び地下水涵養目標の導入

県では、地下水採取許可制度の導入とともに、地下水の合理的な使用の促進に関する指針(地下水使用合理化指針)及び地下水の涵養の促進に関する指針(地下水涵養指針)を定め、平成 23 年改正により地下水採取の許可を受けようとする者に対し、これらの指針を踏まえた水利用の合理化計画や地下水の涵養計画の作成を義務付けた。特に重点地域の地下水採取許可者に対しては、地下水涵養指針により「許可採取者が地下水涵養を実施すべき量に関する目標」を具体的に定めた。この目標について、平成 23 年改正当時は地下水採取量の 1 割としていたが、地下水の収支バランスを保ち、持続的に利用していくため令和 4 年(2022 年)9 月に地下水採取量に見合う量(原則 10 割)に改正した。

(5)地下水汚染の防止に向けた改正

地下水汚染の未然防止に向けては、平成 23 年度(2011 年)に水質汚濁防止法が改正され、全国的な規制として有害物質を使用・貯蔵する事業場に対して事前の届出と構造基準の適合、排水基準の適合及び自主検査等の義務が課された。熊本県では平成 23 年改正による独自の規制として、水質汚濁防止法に定める有害物質や条例に定める指定物質に係る井戸水の水質検査の実施を義務付け、有害物質や指定物質を使用する事業者が自ら地下水汚染の有無を確認するようにした。

2. 熊本地域の地下水の流動等の解析

熊本地域の地下水の流動等の解析は様々な主体により行われてきた。最初に行われた広域的な地下水解析には地下水総合保全管理計画(平成 8 年(1996 年))策定に向け、平成 4 年度(1992 年度)から平成 6 年度(1994 年度)にかけて県及び熊本市が実施した地下水総合調査がある。

この調査データ等を基に、国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所は熊本地域の水循環機構の解明と白川の定常流量の検討等のため GETFLOWS[®]による熊本地域水循環モデル（以下、「熊本モデル」という。）を構築した³⁾。

GETFLOWS[®]とは、株式会社地圏環境テクノロジーが開発した地表水と地下水の完全水理連成および熱輸送を包含した統合型地圏流体シミュレーターである。熊本モデルでは気象、地表の地形・土地利用、地下の地質構造、水利用等の条件を設定し、三次元格子を用いてモデル化されている。

国土交通省により構築された熊本モデルは、その後、熊本大学やサントリーグローバルイノベーションセンター株式会社、財団等様々な主体により、熊本地域の硝酸性窒素汚染の解析、熊本地震による地下水位や湧水量の変動等の解析に用いられ、その都度熊本モデルには新たなデータが組み込まれて再構築されてきた^{4)~8)}。

県においても、半導体関連企業の集積により熊本地域の地下水採取量の増加が見込まれることを踏まえ、地下水の持続的な利用を図ることを目的として、前述の団体との協働により熊本モデルの再構築に取組み、熊本地域の地下水について解析を行った。本報文では、熊本モデルの再構築の概要と地下水の流動等の解析結果について報告する。

2.1 熊本モデルの再構築

熊本地域には精緻な三次元格子モデルを構築するための豊富なデータが存在する。

まず、正確な地質データの豊富さが挙げられる。熊本地域には現在も 3,000 以上の井戸が存在しており、熊本地域の地質断面図⁹⁾では、この豊富な井戸の地質情報を基にした熊本地域全体の地質データを取りまとめている。熊本モデルの再構築に当たっては、この資料を基に熊本地域の地質情報をより正確に再現し、地質ごとに透水係数、間隙率等のパラメータを設定する等緻密な地下水の流動を再現した。

次に、地下水に係る観測データの豊富さも挙げられる。県では県内 34 箇所の地下水観測井のうち 17 井を熊本地域に設置しており、加えて熊本市も熊本市内 20 か所 33 本の観測井を設置している¹⁰⁾。さらに、東海大学の調査を引き継ぎ、財団では江津湖の湧水量調査を継続的に実施している。加えて、県では昭和 53 年（1978 年）から一定規模以上の井戸による取水量の報告を取りまとめ、延べ 6,000 以上の井戸による地下水採取量を集計してきた。これらのデータを、河川流量や気象データ等と

組み合わせて解析することで、より精度の高い水循環の現況再現を行い、熊本モデルを再構築することができた。なお、熊本モデルの現況再現解析や再構築に係る詳細については、川崎ら¹¹⁾や小林ら¹²⁾により報告されている。

2.2 熊本地域の地下水の流動等に係る解析結果

再構築した熊本モデルにより、熊本地域の地下水の流動等に係る解析を行った。主な事柄については以下のとおりである。

なお、広範囲の地下の水理地質構造を詳細に把握することには限界があり、シミュレーションモデルによる予測結果は構築した水理地質情報の精度に応じた範囲で相応の誤差が生じ得る。また、熊本モデルは今後の更なるデータ更新により再構築する予定であり、本報文で示す流線図や地下水の貯留量、水収支等の予測結果は今後も相応に変化する場合があることに留意が必要である。

(1) 熊本地域の地下水の流線図

熊本モデルの精緻化によって得られた地下水の流線図を図 5 に示す。この流線図は、地表面直下に置いた粒子を地表水および地下水の三次元流動場に沿って追跡した結果を二次元平面上に投影したもので、地表水を青線、地下水を緑線で描画している。

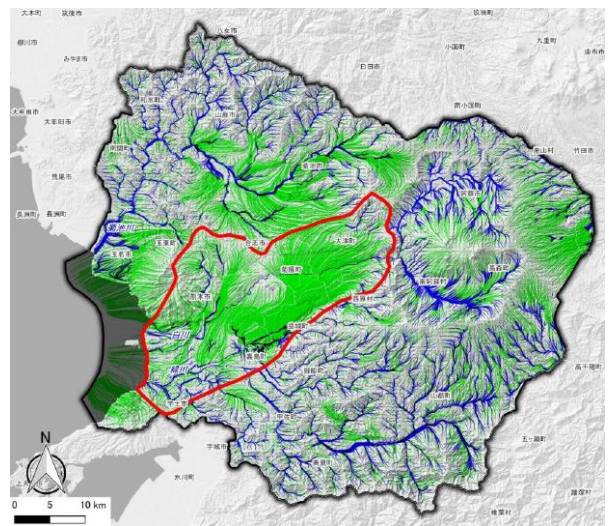


図 5 熊本地域及びその周辺の地表水・地下水の流線図

まず、白川中流域から江津湖周辺の下流に向けて地下水の流れが卓越しており、これが日量 50 万 m^3 を超える江津湖の湧水量につながっていると考えられる。

また、阿蘇カルデラ内の降水により生み出される地下水はカルデラから出る際、多くは一度表流水として湧出

し、白川へと流れていることが視覚的に示された。なお、阿蘇カルデラから立野火口瀬を通じて熊本地域に直接流入している地下水も確認されており¹³⁾、カルデラ内の全ての地下水が表流水となり白川へ流出しているわけではないことに留意が必要である。

(2) 熊本地域の水収支及び地下水貯留量

再構築した熊本モデルにより熊本地域の地下水の貯留量と水収支を算出した。対象範囲は、地下水の流線を基に熊本地域へと流れ込む図 5 に示す赤線内の範囲とし、深度により地層の違いはあるものの、表土～先阿蘇火山岩類を包含する深度範囲（基盤岩は含まない）までを対象とした。その結果、第一帯水層 14.5 億 m^3 、第二帯水層 85.5 億 m^3 、深部帯水層 771 億 m^3 となり、合計 871.2 億 m^3 の地下水が貯留されていることがわかった。これは琵琶湖の貯水量（275 億 m^3 ）¹⁴⁾ の約 3.2 倍に相当する。また、このうち熊本地域で主に利用されている第 1、第 2 帯水層の地下水の合計貯留量は、地下水の年間採取量（令和 3 年度実績：1.6 億 m^3 ）の 62.5 年分に相当する約 100 億 m^3 と試算された。

次に、熊本モデルから算出された平成 27 年（2015 年）の水収支を表 1 に示す。地下水の流入量の約 90% は雨水の地下浸透（涵養）が占めている。これは降雨量によって毎年大きく変動することが推定される。一方、流

出量の約 75% が湧水、約 14% が地下水の揚水が占めており、人工的な地下水採取に比べて湧水の方が 5 倍以上多いことが推定された。この地下水の収支の経年的な推移（図 6）を見ると、流出量に比べ流入量がより大きく変動しており、降水に比べて地下水の変動が小さく相対的に安定していることが示されるとともに、流入量よりも流出量が上回る年があることも推定された。

地下水は表流水とは異なり貯留性が大きく、その貯留量が熊本地域は膨大であるため、降雨量が少なくなることと流出量が流入量を上回った場合でも直ちに地下水が枯渇することではなく、安定して水利用ができることが改めて確認された。

ただし、地下水の流出量は経年変動が少ないが、流入量は毎年大きく変動しており、これは降雨量の変化によるものと考えられる。流出量の構成要素の一つである地下水の採取量が変動することは流出量を変動させることになるため、持続可能な水利用を目指すためには降雨からの涵養を補うように安定的な流入量の補強が必要であり、そのためには人工的な涵養を拡大することが重要と考えられる。

ま と め

熊本地域では、様々な主体により地下水の調査研究や保全の取組みが長年に渡り進められ、特に平成 16 年（2004 年）の人工涵養開始翌年を境に熊本地域の地下水位は回復傾向へと転じた地点もある。このような地下水保全の取組みは平成 22 年度（2010 年度）以降さらに加速し、財団の設立や条例の改正等が行われ、現在の地下水保全の体制が維持されている。

また、GETFLOWS[®]を用いた熊本地域の地下水解析についても、これまで様々な主体によって実施されてきた。県においても、大学や民間企業、財団等との協働により熊本モデルの再構築や解析を実施し、熊本地域の地下水の流動や貯留量等について改めて明らかにした。一方で降雨量が少ない年には流入量よりも流出量が大きく、貯留量が減少している時期があることもわかった。今後、半導体関連企業の進出等に伴い地下水涵養域における開発が進められ、地下水採取量が増加する可能性を考慮すると、安定的な地下水量確保のため、水利用の合理化による地下水採取量の削減や人工的な地下水涵養の取組みがますます重要となる。

熊本地域における経済発展と地下水保全を両立し、豊かな地下水を未来へ守り、育て、活かしていくためにも、引き続き地下水保全に向けて官民一体となった地下水保全の取組みが求められる。

表 1 熊本地域の水収支（平成 27 年（2015 年））の試算結果

流入成分		流出成分	
項目	水量	項目	水量
地下水流入量	1.2 (207)	土壌蒸発量	0.0 (4)
浸透量	10.6 (1879)	地下水流出量	1.1 (199)
		湧水量	8.3 (1475)
		地下水取水量	1.5 (259)
流入成分合計	11.8 (2086)	流出成分合計	10.9 (1936)

※億 m^3 /年（カッコ内は mm /年）

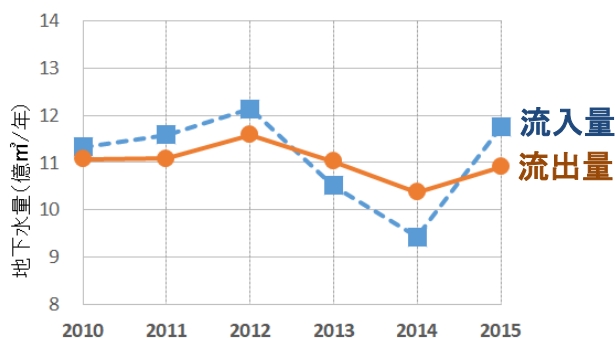


図 6 熊本モデルによる地下水の流出量と流入量の試算結果

謝 辞

熊本モデルによる地下水解析に際しては、熊本大学の嶋田純名誉教授や細野高啓教授をはじめ、公益財団法人くまもと地下水財団の勝谷仁雄事務局長と古閑仁美氏、サントリーホールディングス株式会社の川崎雅俊氏等多くの方に多大な協力や助言をいただきました。ここに改めて感謝の意を表します。

文 献

- 1) 小嶋一誠：地下水学会誌, 52(1), 49-64 (2010).
- 2) 公益財団法人くまもと地下水財団ホームページ.
<https://kumamotogwf.or.jp/> (2025 年 2 月閲覧).
- 3) 中元道男, 萩原健介, 北嶋清：平成 24 年度九州国土交通研究会論文集, (2012).
- 4) 嶋田純：戦略的創造研究推進事業 CREST 研究領域「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究課題「地域水循環機構を踏まえた地下水持続利用システムの構築」終了報告書, (2016).
- 5) 田原康博, 吉田堯史, 福岡庸一, 細野高啓, 嶋田純：熊本地震によって生じた地下水位変化の数理モデリング, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, AHW24-06 (2018).
- 6) 細野高啓, 山田千聡, 柴田智郎, 田原康博, 嶋田純：熊本地震による地下水変化メカニズム, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, AHW24-04 (2018).
- 7) 川崎雅俊, 田原康博, 福岡庸一, 嶋田純：日本地下水学会 2022 年春季講演会講演予稿, 134-139, (2022).
- 8) 川崎雅俊, 田原康博, 福岡庸一, 嶋田純：日本地下水学会 2022 年秋季講演会講演予稿, 216-220, (2022).
- 9) 熊本地盤研究会：“熊本地域の地質断面図～地下地質と熊本地震～” (2019), (熊日出版).
- 10) 熊本市ホームページ.
https://www.city.kumamoto.jp/kankyo/hpkiji/pub/detail.aspx?c_id=5&type=top&id=27515 (2025 年 2 月閲覧).
- 11) Masatoshi Kawasaki, Motomitsu Sawada, Yasuhiro Tawara, Takamaru Kobayashi, Yo-ichi Fukuoka, Kazuhiro Tada, Jun Shimada, Takahiro Hosono, Kimio Katsuya, Keiichi Shin-no, Hitomi Koga and Yasunori Nakahori : EGU General Assembly 2024, 14-19, (2024).
- 12) 小林嵩丸, 多田和広, 田原康博, 中堀靖範, 嶋田純, 細野高啓, 古閑仁美, 勝谷仁雄, 川崎雅俊：熊本地域水循環モデルの構築, 日本地下水学会 2024 年秋季講演会講演予稿集, (2024).
- 13) 市川勉：森林環境 2023, p.84-96, (2023).
- 14) 滋賀県ホームページ.
<https://www.pref.shiga.lg.jp/ippan/kankyoshizen/biwako/gaiyou.html> (2025 年 2 月閲覧).