

直下型地震と地下水位変動の関係の解明 —地下水位は地殻歪みを感知するセンサーとして機能—

概要

京都大学大学院総合生存学館 山本駿 大学院生（博士後期課程）、工学研究科 小池克明 教授、総合生存学館 山敷庸亮 教授、熊本大学理学部 嶋田純 名誉教授の共同研究により、2016年4月に発生した熊本地震前後の長期にわたる多地点での地下水位観測データを詳細に分析した結果、地下水位は地殻歪みを感知するセンサーとして機能し、特に主要な帯水層である砥川溶岩での変動が地殻歪みと関連することがわかりました。地下水位データから降水量、気圧、地球潮汐の影響を統計学的に除いた残差成分は、2011年3月東北地方太平洋沖地震後は低下しましたが、2014年頃から上昇に転じたという傾向の変化が見出され、この低下は応力解放、増加は地殻歪みの増大によると解釈しました。熊本地域でのその後の2つの地震でも、衛星測位システム（GNSS）による地殻変動と地下水位残差成分変動のパターンが変化する時期が整合しました。帯水層の3次元数値モデルに観測井の分布を重ね合わせたところ、地震発生源になった布田川断層帯に連続する砥川溶岩の地下水位ほど地殻歪みに敏感であることを明らかにできました。

本研究の成果は、2023年12月21日に英国 Nature Research 社が刊行するオンラインジャーナル「*Scientific Reports*」誌で公開されました。

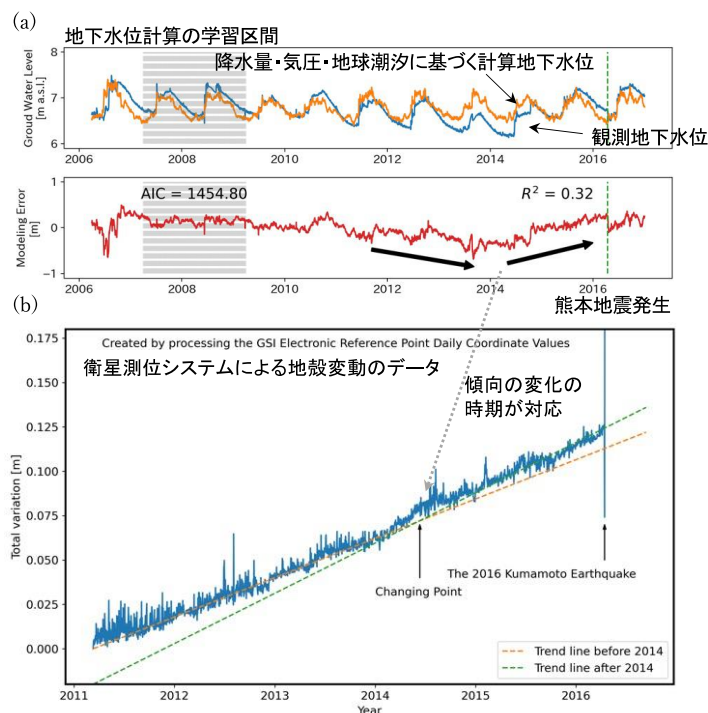


図 1 (a) 2016 年 4 月熊本地震の発生前後での地下水位変動と計算モデルによる残差成分, (b) GNSS の観測データによる地表の地殻変動パターンを近似する 2 本の直線 (2014 年前後)

1. 背景

熊本地域では主要な水源として地下水を利用しているため、多くの観測井戸が存在し、水位や水質などのデータが継続的に観測されています。また、地下水系や帯水層構造に関する多くの研究成果も蓄積されています。この継続的な地下水観測により、地震前後の地殻歪みと地下水位変動との関係、およびその関係の地質による相違や断層に繋がった帯水層での敏感性などの新たな知見が得られ、学術的に貢献できました。本研究の成果は、地震と関連する地殻歪みと水文環境の変化との理解を深めるだけでなく、地下水資源の保全、地震に対する防災計画や観測ネットワークの強化などにも寄与します。

2. 研究手法・成果

研究成果のポイント

- ▶ 2016年4月熊本地震の前後での長期にわたる地下水位データから降水量・気圧・地球潮汐の影響を除去し、地殻変動に関連した成分を抽出した。
- ▶ 多孔質で透水性の高い地層における地下水位の詳細な観測により、高い空間密度で地殻歪み変化を把握できる可能性がある。
- ▶ 水質や地殻深部由来ガスなどの地球化学的観測および衛星測位システム (GNSS) や微小地震活動などの地球物理学的観測と地下水変動とを組み合わせた総合的解釈は、より精度の高い地殻変動評価に繋がると期待される。

熊本地域では2016年4月の熊本地震後も断続的に比較的大きな地震が発生しています。そのため、熊本地震前9年間と後7年間の計16年にわたる地下水位変動データを解析の対象に選び、降水量・気圧・地球潮汐を地下水位変動の主要因とした多変量回帰モデルを作成し、モデルに基づく計算値と実測値との差、すなわち3要因では説明できない水位変動（残差成分）は地殻歪みに関連すると仮定しました。17箇所地下水観測井戸のうち、4箇所が残差成分の大きな井戸でした。残差成分は、2011年3月の東北地方太平洋沖地震の発生後は低下し続け、2014年頃に増加に転じ、熊本地震まで増加し続けたという特徴があり、これは応力解放から地殻の歪みの増大に転じたためと解釈しました。この変動パターンの転換は衛星測位システム (GNSS) 観測データによる地殻変動データのトレンドが変化する時期と重なることも見出されました。

ボーリングデータから作成した帯水層の3次元数値モデルと観測井戸を重ね合わせたところ、これら4箇所の井戸での地下水注入部（ストレーナ）は多孔質で透水性の高い砥川溶岩と先阿蘇火山岩類の上部に位置することがわかりました。地殻歪みとの関連が特に明瞭な残差成分を示した井戸は、熊本地震発生源となった布田川断層帯まで繋がり、砥川溶岩からなる帯水層にストレーナが設けられていることも明らかになりました。

上記の多変量回帰モデルに基づく地下水位の残差成分の変動は、2019年と2022年に熊本地域で発生した地震でも同様のパターンを示し、地殻歪みとの関連がより確からしいものとなっています。これらの成果は、多孔質で透水性の高い帯水層での地下水位が地殻歪みに敏感に反応し、地下水位の詳細な観測により、従来よりも高い空間密度で地殻歪み変化を把握できる可能性を示しています。

3. 波及効果、今後の予定

地下水位と地殻歪みの関係をより詳細に明らかにするためには、水質や地殻深部由来ガスなどの地球化学的観測および衛星測位システム (GNSS) や微小地震活動などの地球物理学的観測による結果と併せた総合的な解釈が必要です。また、本研究で見出された特徴が、他の地域での多孔質で透水性の高い帯水層における地下水位変動でも見られるかを確かめるために、観測データの蓄積や残差成分の解析を含むデータの解釈を深め、地下水位-地殻歪み関係の普遍性と精度を高める今後の研究発展を期待します。

<論文タイトルと著者>

タイトル: Detecting groundwater level changes related to the 2016 Kumamoto Earthquake (2016年熊本地震に関連する地下水位変動の検出)

著者: Shun Yamamoto, Katsuaki Koike, Yosuke Alexandre Yamashiki & Jun Shimada

掲載誌: Scientific Reports DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50133-0>

<参考図表>

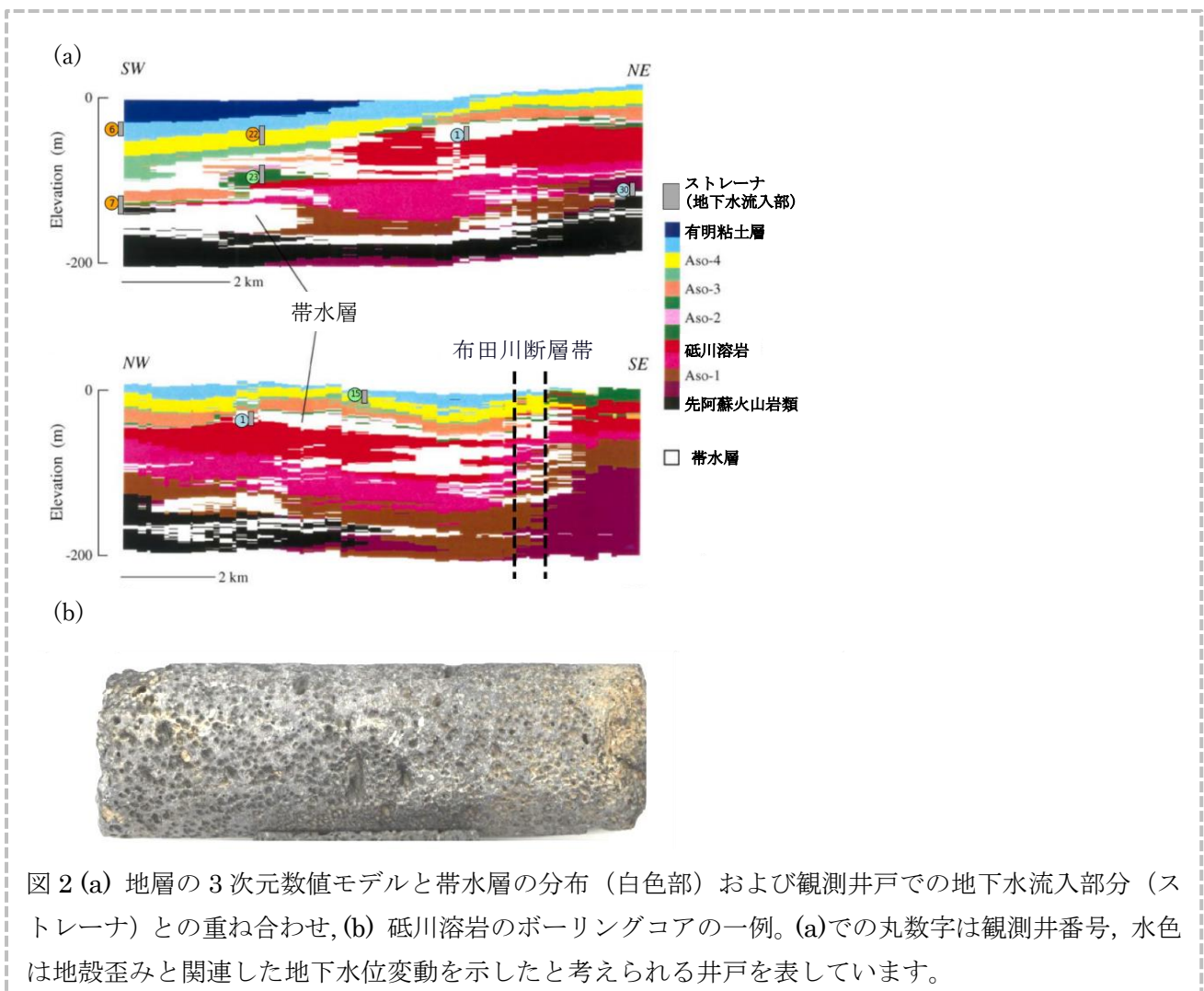


図 2 (a) 地層の 3 次元数値モデルと帯水層の分布 (白色部) および観測井戸での地下水流入部分 (ストレーナ) との重ね合わせ, (b) 砥川溶岩のボーリングコアの一例。(a)での丸数字は観測井番号, 水色は地殻歪みと関連した地下水位変動を示したと考えられる井戸を表しています。