

令和 3 年 6 月 30 日現在

機関番号：82727

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03793

研究課題名（和文）地下水位変動観測のための接地抵抗変化の測定による推定方法開発に関する研究

研究課題名（英文）Estimation Method of Groundwater Level Fluctuation by Measurement of Ground Resistance Change

研究代表者

領木 邦浩（RYOKI, Kunihiro）

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校（能力開発院、基盤整備センター）・能力開発院・教授

研究者番号：70522085

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：社会に被害をもたらす地下水位上昇のモニタリングを目的として建築物等の接地抵抗値の連続測定を実施し、地下水位変動観測値との関係を検証した。また、その理論的背景について検討した。

接地抵抗値の変化に影響を及ぼすであろう気温・大気圧・地下水温・地下水電気伝導度・降水量の連続観測を合わせて行い、接地抵抗値との関係を検討した。

その結果、地温の年周変化に伴う周期的な変動や降雨の影響による極短期的な変化を補正すれば地下水位の変動をモニタリングする手段の一つとして有用であることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、突発的な豪雨に伴う地下水位の急上昇によってしばしば予期しない出水が起こり、被害が生じている。そこで、地下水位のモニタリングを目的として建築物等の接地抵抗値の連続測定を実施し、地下水位変動観測値との関係を検証した。このため、その理論的背景について検討した。

観測の結果、地温の年周変化に伴う周期的な変動や降雨の影響による極短期的な変化を補正すれば地下水位の変動をモニタリングする手段の一つとして有用であることが判明した。今後はここで確立した観測を維持し、地下水位の急上昇を察知する手法が確立できるよう、検討を重ねて行く。

研究成果の概要（英文）：In order to monitor the rise of groundwater level, which causes damage to the society, continuous measurement of earthing resistance of buildings was carried out and the relationship with the observed groundwater level change was verified. In addition, the theoretical background of this study was discussed.

There were observed, in addition, that Air temperature, atmospheric pressure, groundwater temperature, and groundwater conductivity, all of which may affect the change in earthing resistance. Continuous observation of precipitation was also carried out there. The relationship between these factors and the earthing resistance was investigated.

As a result, it was found that it is useful as one of the methods to monitor the groundwater level fluctuation by correcting for the cyclic fluctuation caused by the annual change of ground temperature and the short-term change caused by rainfall.

研究分野：物理探査学、都市地盤構造地質学

キーワード：大地抵抗率 接地抵抗 繰り返し測定 地下水位変動 水位観測井 地下水流動経路 地温 武蔵野台地

1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化に伴って突然発生する予測困難で局地的な豪雨により、災害が多発している。このような災害を生じさせる可能性が高い豪雨に対しては気象庁より記録的短時間大雨情報が提供され、災害に備える体制が整いつつある。降水の多くは地表水として河川に流入し、短時間に河川の溢水等の被害をもたらすと共に一部は地下へ浸透する。短時間の大雨による地下への浸透は、通常の地表水の流出経路外を多量に流れる水により常時とは異なるメカニズムで生じる可能性がある。一方、2~3 ヶ月の比較的長期にわたる継続的な過剰降水の頻度も年々大きくなってきている。数ヶ月にわたる断続的な降水は通常より多く順次地下へ浸透し、自由地下水面の上昇をもたらす。その結果、都市で利用されている人工的な地下空間に地下水の大量漏洩を引き起こすことがある。東京都地質調査業協会(2000)によると、JR 武蔵野線の新小平駅で 1991 年に土砂交じりの地下水が大量に擁壁の開口部から駅構内に流入して冠水した時、この駅の東およそ 1km に位置する長期水位観測井で 3 ヶ月程の間に水位が約 6m 上昇した。この災害による被害額は 35 億円に上った(東京都建設局, 1991)。

東京都環境局自然環境部(2006)によると、近年の動向として、東京都内の多くの地域で地下水位の上昇が認められた。この上昇は長期的には地盤沈下の原因となった地下水の過剰揚水の規制に起因するものであるが、地盤沈下が継続しているにも関わらず地下水位が上昇している地域もあり、その要因の解明が課題となっている。同様の指摘は大阪平野でも存在し(長屋, 2007)、上昇した地下水の浮力による建築構造物への影響や地震時の地盤の液状化への懸念が掲げられている。

以上のような増加傾向にある地下水の水位変動をもたらす災害を未然に防ぐためには、地下水面の水位を常時観測する必要がある。関東平野を始めとする都市機能の集中する平野部では地下水の伏流の挙動は、地質環境学上、十分に解明されていない。地下水位の変動をもたらす自然災害を未然に阻止するためには、その変化特性を解明することが不可欠であるにもかかわらず、現状は広範囲の地域に高々数点の観測井が存在するにとどまり、地下水の挙動を解明し得る研究段階とは言い難い。相当多くの観測点で、極言すればいたるところにおいて、観測井を設置して地下水位を連続的に直接監視することは現実的ではない。したがって、観測井での観測に替わる方法の理論を構築し、これを実用化してゆく必要性がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、地下水の水位を観測井に依らずいたるところで連続的に推定し、これらの地点で推定された水位の時空的分布に基づいて地下水の挙動を明らかにすることである。

従来、地下水の水位観測は観測井で行われてきており、観測井を用いずに測定することは困難であった。本研究では地表付近の大地抵抗率が地層中の間隙水の多寡に関係する(西田・青山, 1993)ことに着目し、常時観測により大地抵抗率の変動の特性を明らかにして、地下水位変化との関係を解明する。地層中の間隙水の多寡、具体的には間隙中の水の飽和度は原位置で簡単に測定できないが、降水の時空的集中のような短時間の変化においては一義的に自由地下水位に関係すると考えることができる。

地質体から採取されたサンプル試料の電気抵抗率が土質を初めとする多くの因子に依存することは、すでに多くの既存の研究により良く知られているが、実験室内でのサンプル試料ではなくバルクの原位置地質体としての電気抵抗率に関与する因子の詳しい性質は、未だ明らかにはされていない。したがって、原位置地質体の抵抗率の特性を明らかにすることは地質学上大変意義があり、かつ、都市工学・建築工学分野における応用利用に資するものである。一方、電気設備等で使用される接地極の抵抗値は大地抵抗率に依存する。このため、大地抵抗率の測定に替えて接地極の抵抗値を測定することによって地下水位を推定し得ると仮定できる。

3. 研究の方法

地下水の水位推定を行うために、大地抵抗率の測定が必要となる。大地抵抗率の測定は観測井を用いた水位の直接測定に比べると容易ではあるが、多くの地点で同時に行えるほど簡単ではない。大地抵抗率の測定は抵抗率計による計測が一般的である。この場合、深さ方向の変化は地表に展開した 4 つの電極の間隔に依存するため、ある深さまでの地質情報を得ようとするとその深さの約 3 倍の電極展開距離が必要になり、この間で順次電極を移動させてデータを取得する必要がある(Wenner, 1915/16)。

一方、大地抵抗率の変化に伴って変動するものに大地の自然電位や電力設備等で使用される接地極の抵抗値がある。大地の自然電位の連続観測は、必要な電極が 2 つであり、それらを固定して観測できる(領木・他, 2008)など、大地抵抗率の連続観測に比べて容易であり、観測費用も軽減される。他方、接地極はまさに都市のいたるところに存在しており、接地極の抵抗値の測定方法(電気と工事編集部, 2014)も、測定対象の接地極以外の固定された補助電極を 2 つ用いて一定の電流を流入するなど若干の相違があるものの、自然電位の測定方法と大きく異ならない。

本研究では大地抵抗率と地質体の諸物性、特に地下水位、地下水の電気伝導度・水温、地温・

気温・気圧・降水量等の季節変動との関

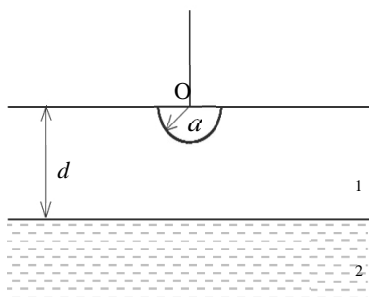


図1 二層構造上の接地極 a : 接地極の等価半径、 d : 第1層の層厚、 ρ_1, ρ_2 : 第1層、第2層の抵抗。

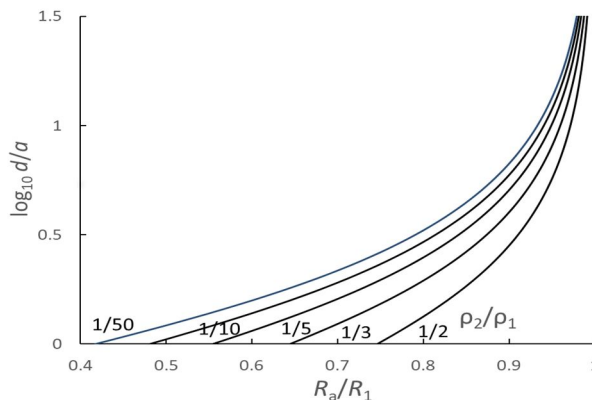


図2 二層構造上の接地極の接地抵抗理論曲線 R_a : 接地抵抗値、 R_1 : 単層の場合の接地抵抗値 (領木、2019)。

表1 観測井および測定機器の諸元

観測井	位置	35° 44' 19.2" N 139° 29' 41" E
	孔口標高	81.92m
	孔長	30.17m
	内径	50.0mm
水位計	応用地質社製	S&DL miniEC 10m計
接地抵抗計	横河製作所製	3235型



図3 測定位置 北緯 35° 44' 19" 東経 139° 27' 41" 職業能力開発総合大学校内。BH: 検証用ボーリング孔削井の位置、SB: 測定に用いた A 種接地極を有する鉄筋コンクリート製校舎、E: 接地電極端子、P: 電位補助電極、C: 電流補助電極 (国土地理院(2021)に加筆)。

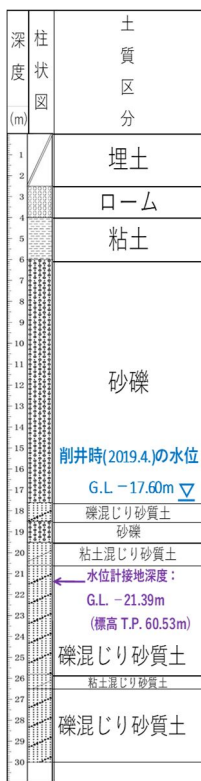


図4 観測井 BH のボーリング柱状図 深度は坑口 (標高 T.P. 81.92 m)からの深さ。

係を明らかにするため、1つの観測井によるこれらの連続観測を行い、かつ、地表で大地抵抗率の連続測定を実施した。また、電気工作物に付設される接地極において随時その接地抵抗値を測定すると共に、同等の試験用接地極を用意し、この接地極の抵抗値を連続測定してその挙動を把握した。得られた接地極の抵抗値および大地抵抗率の変動を、地質体の諸物性の時間的変動と比較することによって、これらの相互関係を考察し、接地極の抵抗値に基づく異常地下水位の推定手法に対する評価を行った。

4. 研究成果

関東ローム層のような比較的均一な地質構造を呈するところで地下水位が変化した場合、水平二層構造(図1)での第一層の層厚と等価接地抵抗の関係を考慮すると、接地抵抗が変化することが領木(2019)によって理論的に示された(図2)。そこで、不圧地下水の水位と接地極の接地抵抗との関係を調べるために関東ローム層が広く分布する地域内(図3)に観測井BHを設置し、地下水位の変動を10分間隔で測定した。図4に観測井のボーリング柱状図を示す。観測井および測定機器の諸元は表1の通りである。

観測井では同時に地下水温と地下水の電気伝導度および観測井直上での気温を10分間隔で測定している。観測

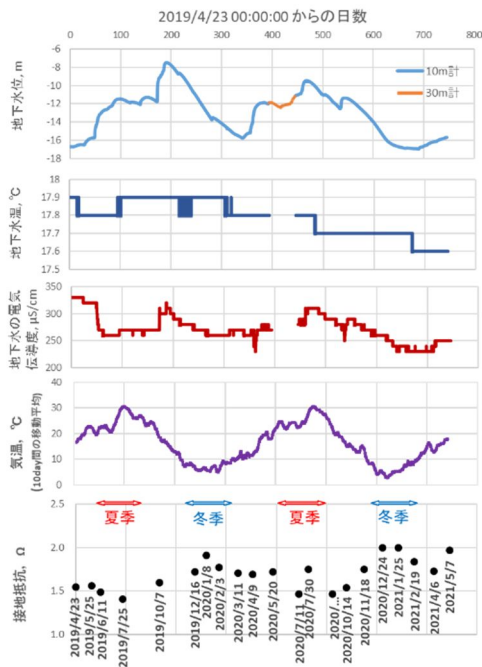


図5 連続測定の結果 期間は2019年4月23日~2021年5月7日。

井近傍では4階建鉄筋コンクリート建造物BSの電気設備保安用A種接地電極(A測線のE)の接地抵抗を1月程度の間隔で繰り返し測定した。A種接地は「電気設備の技術基準の解釈」第17条に規定されるものである。図5にこれらの測定結果を示す。ただし、気温は短時間成分の変動が大きいので、10分間隔での測定値を10日間にわたって移動平均を施した値で示している。図5に示された期間は2019年4月23日から2021年5月7日までである。水温の測定分解能は0.1であり、測定値は17.7~17.9と安定している。また、電気伝導度の分解能は10 μ S/cmである。

図5を見ると、観測坑掘削直後の不安定な時期を除けば水位が急上昇するときに地下水の電気伝導度が上昇し、水位が比較的緩やかに低下してゆくと地下水の電気伝導度も低下していることがわかる。このように、地下水水位の変化には地下水の電気伝導度の変化から見て時間遅れがあるものの、両者には正の相関が認められる。地下水水位の上昇が地下水への新鮮な水の流入に起因すると考えれば、この現象は溶存イオンが供給されるために地下水電気伝導度の上昇が生じたと解釈できる。逆に、水の供給が休止されれば地質体へのイオンの吸着が促進され、地下水電気伝導度は低下すると考えることができる。

水位と接地抵抗値との関係を見ると、大局的には水位が上昇するときに接地抵抗が低下し、水位の低下に伴って接地抵抗が上昇していることがわかり、両者の関係は調和的である。一方、気温の10日間の移動平均曲線に現れる周年変化と水位の変化を比べると、調和的であるが、位相は一致していない。概ね、気温の上昇時には接地抵抗は低下し、気温低下時には接地抵抗が上昇している。これらの極値付近に着目すると、接地抵抗の気温に対する位相の遅れは2ヶ月程度あることが分かる。このような接地抵抗値の周年変化特性は杉本・他(2011)や武馬・高橋(2002)など複数報告されており、普遍的な現象と理解できる。

海成粘土層が露頭する地域では海成粘土層に含まれる硫化鉱物の酸化に伴って地電位が形成されるとき、その周年変化が気温に対して遅れていることが報告されている(領木, 1990)。領木(2020)はこれを受けて、接地抵抗も地温の影響を受けるため、接地抵抗値の周年変化は気温に対し遅れ現象を示すであろうことを示唆した。図5に示された測定結果は、この指摘に調和的であ

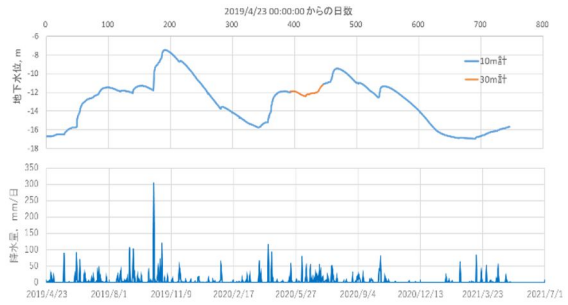


図6 観測井BHでの水位の変化と府中地域気象観測所の降水量の関係 降水量は気象庁(2021)による測定で、府中地域気象観測所(アメダス)は観測井から南南東約6kmの地点。期間は2019年4月23日~2021年5月7日。

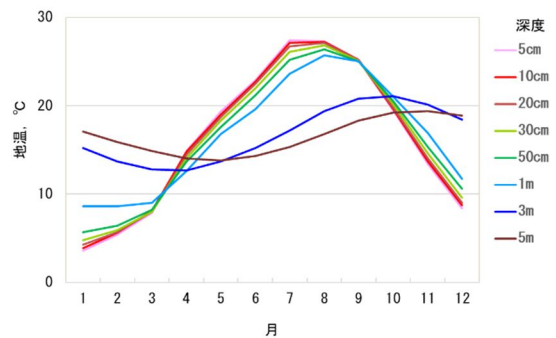


図7 東京気象台における1948年(深度1mは1950年)の地温 農林水産省・気象庁(1982)に基づく地温データベース(溝口, 2020)により作成。

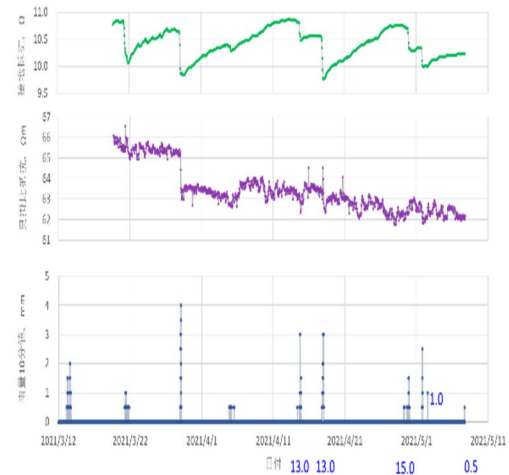


図8 B測線での測定結果 期間は2021年3月19日~2021年5月7日。

る。同様の地温の気温に対する遅れ現象は、広く日本中に毎年再現性良く認められてきた。その一例を図7の示す(農林水産省・気象庁、1982)。図7に示されるような数ヶ月に及ぶ地温の遅れ現象による大地の抵抗率の変化が今回も生じていると考えられ、その影響が接地極の接地抵抗値の変化に反映していると判断できる。

図3に示されたB測線では2021年3月19日から試験用A種接地相当電極を用いて接地抵抗値と近傍の大地の見掛抵抗率の1時間値を測定している。大地の見掛抵抗率測定は四極法(物理探査学会、2005)に従い、その電極配置係数は57.4m(換算電極間隔約9.14m)である。2021年5月7日までの測定結果を図8に示す。用いたA種接地相当電極は埋設後10年程度時間が経過しているため、その接地抵抗値は表層からの降雨の影響を除くと概ね安定していると考えられる。また、大地の見掛抵抗率の値は、設営当初には降雨の影響を受けていたが、時間と共に降雨の影響が現れなくなりつつあり、今後電極周辺の状態が安定してくれば降雨の影響を受けなくなるものと期待される。B測線におけるA種接地相当電極の接地抵抗値および近傍の大地見掛抵抗率と地下水位や地温の変動との関係を知るためには、今後充分にここでの経過観測を行う必要がある。

以上の測定を通じ、今後の課題として、(1)地温の変動の寄与分を補正するため、観測井近傍において深度別の地温の測定を行う必要がある、(2)地質体の抵抗率の温度係数の検討を行う必要がある、ことが明らかとなった。

<引用文献>

- 物理探査学会(2005)：新版物理探査用語辞典、pp. 279.
- 電気と工事編集部(2014)：電気工事基礎用語辞典(第3版)、オーム社、pp. 166-169.
- 気象庁(2021)：過去の気象データ検索、各種データ・資料、気象庁ウェブサイト、<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2021.5.10. 閲覧)。
- 国土地理院(2021)：地理院地図、国土地理院ウェブサイト、<http://maps.gsi.go.jp/index.html> (2021.5.10. 閲覧)。
- 溝口勝：日本の地温データ、東京大学大学院農学生命科学研究科溝口研究室、http://www.iai.ga.a-u-tokyo.ac.jp/mizo/research/soi/db/ground_T_db.html (2021.5.10. 閲覧)。
- 長屋淳一(2007)：大阪平野における地下水問題、21世紀COE「都市空間の持続再生学の創出」環境マネジメントグループ戦略研究公開シンポジウム「ひとがかえる都市の地下水」-現状と将来のよりよいマネジメントに向けて-、pp. 99-104.
- 西田一彦・青山 千彰(1993)：不飽和土の電気比抵抗特性と不飽和浸透計測への電気探査法の適用、土木学会論文集 1993, No. 475, pp. 1-9.
- 農林水産省・気象庁(1982)：地中温度等に関する資料、農業気象資料、No. 3, pp. 291.
- 領木邦浩(1990)：自然電位の年周変化 身近な地球物理学現象の教材化をめざして、大阪と科学教育、vol. 4, pp. 25-32.
- 領木邦浩・畑野貴志・奥村一智・神綾子・浅岡宏允(2008)：自然電位測定システムの製作とその適応例、近畿職業能力開発大学校紀要、vol. 16, pp. 68~73.
- 領木邦浩(2019)：不被圧地下水水位変化に伴う水害予測のための接地抵抗変化を用いた水位推定法の理論、技能科学研究、vol. 35, pp. 30-35.
- 領木邦浩(2020)：接地抵抗と地下水位の関係についての一考察、地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集、vol. 8, pp. 18-21.
- 杉本仁志、島崎克彦、戸栗和広、郷津宏之(2011)：接地抵抗の経年変化に関する一考察 - EP灰接地電極材を用いた接地電極 -、研究開発年報、東北電力技術開発研究所、vol. 45, PDF、<http://www.rikuden.co.jp/kenkyu/attach/nenpou045-13.pdf> (2021.5.10. 閲覧)。
- 武馬宏幸・高橋健彦(2002)：接地抵抗の季節変動に関する考察、電気設備学会誌、vol. 22, pp. 637-642.
- 東京都地質調査業協会(2000)：JR 武蔵野線新小平駅の浮き上がり、地下構造物と地下水位、技術ノート、vol. 30, pp. 20-20.
- 東京都建設局(1991)：平成3年災害別公益事業等被害集計表、運輸・通信・電力・ガス・上水道の各公益事業に生じた被害額等の状況、東京都平成3年の水害記録、過去の水害記録～浸水実績図～、http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/suigai_kiroku/h03/03_koueki.htm (2021.5.10. 閲覧)。
- 東京都環境局自然環境部(2006)：東京都における地盤沈下と地下水の現況に関する検証、東京都の地盤沈下と地下水の現況検証について - 地下水対策検討委員会検討のまとめ -、pp. 10-44.
- Wenner, F. (1915/16)：A Method of Measuring Earth Resistivity, *Bull. National Bureau of Standards*, vol. 12(4) 258, pp. 478-496.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 領木邦浩	4. 巻 47
2. 論文標題 接地抵抗観測による不被圧地下水の水位変化推定法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CONDUCTIVITY ANOMALY 研究会 2019 年 論文集	6. 最初と最後の頁 65-69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 領木邦浩	4. 巻 35
2. 論文標題 不被圧地下水水位変化に伴う水害予測のための接地抵抗変化を用いた水位推定方法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 技能科学研究	6. 最初と最後の頁 30-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 領木邦浩	4. 巻 8
2. 論文標題 接地抵抗と地下水位の関係についての一考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 18-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 武蔵野段丘小平における不被圧地下水水位変化に伴う水害と水位観測の必要性
3. 学会等名 職業能力開発研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 回転映像を用いた立体視ビューアの構築 - 教育訓練の展開と実務への応用 -
3. 学会等名 職業能力開発研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 地理院地図Globeを利用したシームレス地理情報ステレオビューア
3. 学会等名 第30回日本情報地質学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 接地抵抗による不圧地下水の水位変化推定の試み(1) - 理論の概要 -
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 地理情報ステレオビューアによる地理院地図Globeの立体視
3. 学会等名 第11回地理院地図パートナーネットワーク会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 接地抵抗による不被圧地下水の水位変化推定の試み(II) - 武蔵野台地での予察的観測 -
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 シームレス地理情報ステレオピュアーの応用と展望
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 接地抵抗観測による不被圧地下水の水位変化推定法
3. 学会等名 地球電磁気・惑星圏学会Conductivity Anomaly研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 接地抵抗と地下水位の関係についての一考察
3. 学会等名 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 武蔵野段丘小平における不被圧地下水の水位変動に伴う接地抵抗値の変化
3. 学会等名 職業能力開発研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 領木邦浩
2. 発表標題 接地抵抗による不被圧地下水の水位変化推定の試み(III) - 周年変化の特性 -
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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

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