

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：82716

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12365

研究課題名（和文）極小微動アレイ探査を応用した高密度地下水位モニタリングによる地下水・湧水評価

研究課題名（英文）Groundwater and spring water evaluation by high density groundwater level monitoring applying microtremor array exploration

研究代表者

宮下 雄次（MIYASHITA, Yuji）

神奈川県温泉地学研究所・研究課・専門研究員

研究者番号：40416079

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、従来不可能であった井戸を用いない高密度な地下水位測定を、極小微動アレイ探査を応用した新たな地下水面探査手法を開発することを目的とした。

微動アレイ探査は、地盤中のS波速度の鉛直分布を探査する手法である。本研究では、同一地点において2時期で探査を行う時差極小微動アレイ探査法を開発し、不飽和帯における水分量変化に伴う地下水面の検出と、GNSS-PPK測位による地盤標高計測手法を組み合わせた探査を行い、短時間に多地点での地下水面深度の探査を行った。

本手法を国内4地域において検証した結果、井戸を用いずに地下水面図を作成することが可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地下水は地表から直接触れることが出来ないため、「井戸」を通して調査を行うことが必要である。しかし、費用や場所、時間等の制約により、十分な調査井戸が得られない場合が多く、かつ、掘削した井戸によって、地下水の状態が変化したり、二次汚染が生じ可能性もあること等から、井戸によらない地下水調査手法の開発が求められていた。

本研究によって、井戸を用いずに地下水位を調査することが可能となることは、人体に置き換えると、開腹手術により病巣を確認していたのが、MRI等による体外からの検査が可能となることと同義であり、その学術的意義や社会的意義は極めて高いということが出来る。

研究成果の概要（英文）： The purpose of this study is to develop a new groundwater table survey method that applies the microtremor array survey to high-density groundwater level measurement without using a well.

Microtremor array survey is a technique to survey the vertical distribution of S-wave velocity. In this study, we developed a Time Differential Miniature Micro-tremor survey method that surveys the same site in two periods, and detected the groundwater table accompanying the change in water content in the unsaturated zone. In addition, by combining the ground elevation measurement method by GNSS-PPK positioning, we explored the depth of the groundwater table at multiple points in a short time.

As a result of verifying this method in four areas in Japan, it was shown that it is possible to create a groundwater table map without using wells.

研究分野：水文学、地球科学、環境科学

キーワード：極小微動アレイ探査 時差極小微動アレイ探査 地下水位 季節変化 GNSS-PPK測位

研究課題名:極小微動アレイ探査を応用した高密度地下水位モニタリングによる地下水・湧水評価

1. 研究開始当初の背景

地下水は地表から直接触れることが出来ないため、「井戸」を通して調査を行うことが必要である。しかし、費用や場所、時間等の制約により、十分な調査井戸が得られない場合が多く、かつ、掘削した井戸によって、地下水の状態が変化したり、二次汚染が生じ可能性もあること等から、井戸によらない地下水調査手法の開発が求められていた。

一方、物理探査手法の1つに、常時微動と呼ばれる地面の微小な揺れを、群列(アレイ)設置した微動計で観測し、地盤中のS波速度の鉛直構造を探査することが出来る「微動アレイ探査」という手法がある。この探査手法において、近年、微動計を半径0.6mの円周上と中心に均等に設置する「極小アレイ」配置による微動探査(極小微動アレイ探査)で、深さ数m~数十mまでの鉛直S波速度分布を、短時間(1地点当たり15分程度の計測)で行うことができるシステムが開発された。地盤中を伝わるP波やS波の速度は、土質や岩質ごとに異なることから、極小微動アレイ探査を多地点で実施し、S波速度の鉛直構造を探査することで、帯水層や基盤の分布などの地質構造を把握することが可能となった。

この調査特性は、短時間に多地点での測定が必要な「地下水調査」に最適であり、極小微動アレイ探査により得られるS波速度から地盤の帯水層構造だけでなく、地下水位情報を得ることが可能となれば、井戸が無く調査出来なかった地域や地形条件下においても、地表から井戸無しで地下水調査が出来るようになり、新たな地下水調査手法として画期的なものとなると考えられる。

2. 研究の目的

従来不可能であった井戸を用いない高密度な地下水位測定を、極小微動アレイ探査を応用した新たな地下水面探査手法を開発することで実現化し、地下水・湧水資源のモニタリング・評価精度を高度化させることを目的とした。

3. 研究の方法

3.1. 時差極小微動アレイ探査法(TDMM; Time Differential Miniature Micro-tremor survey method)の開発

微動探査によって得られるS波速度は、地盤の物性値により決定されるが、その地盤は、土や岩石などの固相部分と、地下水や土壌水などの液相部分、地表付近の不飽和帯に存在する気相部分の三相から構成されている。このため、地盤中の液相部分の割合(≒地下水位)が変化すれば、わずかではあるがS波速度が変化することが予想される。

このわずかなS波速度の変化を、同一地点で時期をずらして(時差:Time Differential)極小微動アレイ探査(Miniature Micro-tremor survey)を行うことで、土壌中の飽和/不飽和境界面となる地下水面深度の情報を抽出することが可能であると考えられる。

本研究では、この方法が実際に可能かどうかを検討するため、地下水位観測井近傍(調査地域 I: 神奈川県足柄平野)における繰り返し探査と、地形(地下水面深度)や地質、気象・土地利用条件の

異なる4地域(地域 I:神奈川県足柄平野(扇状地・水田・温暖)、地域 II:埼玉県加須市(沖積低地・水田・温暖)、地域 III:福島県天栄村(盆地・水田・寒冷)、地域 IV:山梨県甲府盆地(盆地・畑地・寒冷)において、2時期繰り返し探査を行った。

3.2. 簡易・高精度・迅速な地盤標高計測方法の確立

TDMM 法の開発により、井戸を掘削することなく多地点で迅速な地下水位測定が可能となった場合、測定した地下水面までの深さを、測定地点間で比較し、地下水面標高に換算する必要が生じる。

本研究では、GNSS 測位による微動探査地点の地盤標高の計測を行った。GNSS を用いた測位には、一台の受信機により位置を求める単独測位と、複数の受信機で同時に観測し相対的な位置を求める相対測位があり、相対測位の方がより測位精度が高い。微動探査による地下水位の測定精度は、数 cm 程度であると考えられることから、GNSS による地表面標高の測位精度も数 cm 程度が要求される。GNSS による相対測位において、数 cm 程度の精度が得られるのは、キネマティック測位もしくはスタティック測位と呼ばれる、基準局と観測点で同時に観測し、正確な位置情報が既知である基準局で得られた衛星からの電波の位相データを用いて観測点の位置を測位する方法である。

本研究では、農研機構農業環境変動研究センター(2019)の方法に基づき、調査地域内及び微動探査地点に GNSS 受信機を各一台ずつ設置し、受信機内に保存した観測データと、国土地理院から数日後に公開される電子基準点観測データを用いた後処理式のキネマティック(Post-Processing Kinematic ; PPK)測位を行った。調査地域内に設置した GNSS 受信機では終日受信を行い、各微動探査地点に設置した GNSS 受信機は、微動探査時間に合わせた 15 分間の受信を行った。これにより、微動探査と並行して GNSS 測位を行うことが可能となった。

4. 研究成果

4.1. 時差極小微動アレイ探査法(TDMM 法)

4.1.1. 定点による繰り返し測定結果

場所:足柄平野上流部扇状地に位置する二地点(H54,R50)

期間:2014年6月~11月に9回、2019年8月と2020年1月に各1回、計11回

微動計:2014年 白山工業製微動観測キットJU210、2019年度 同 微動観測装置JU410

解析手法:先名ら(2014)の方法

地下水位測定:上記2地点に併設された浅層地下水観測井

結果:地下水面近傍でS波速度が変化している探査があり(下記)、手法の有効性が見られた。

H54地点では11探査中8探査(S波速度増加が6探査)、

R50地点では11探査中10探査(S波速度増加が4探査)

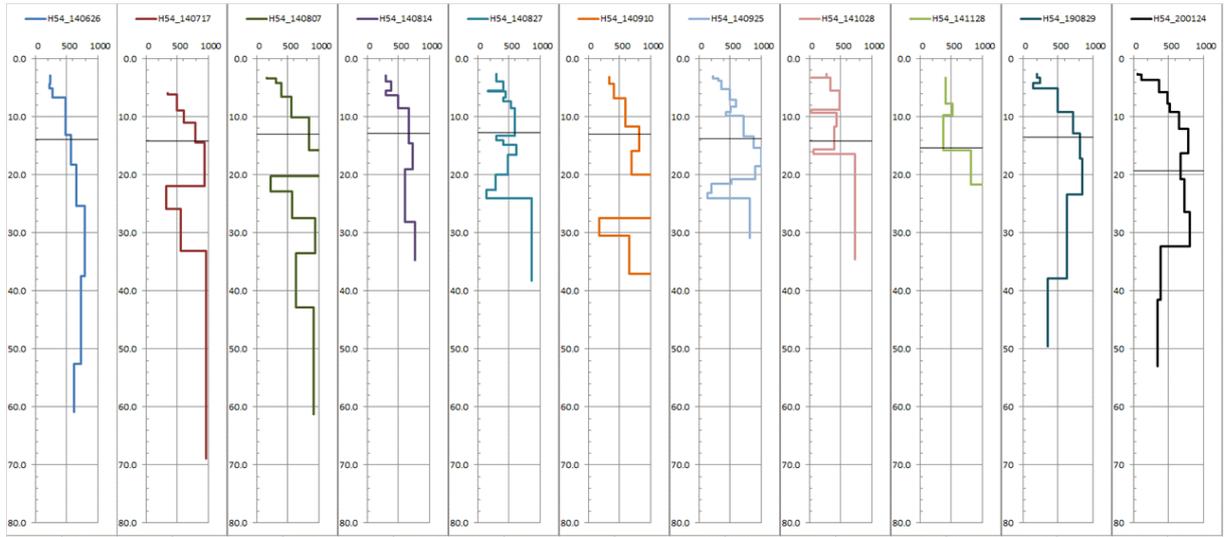


図 1.1 H54 地点における繰り返し微動探査結果と地下水位との関係

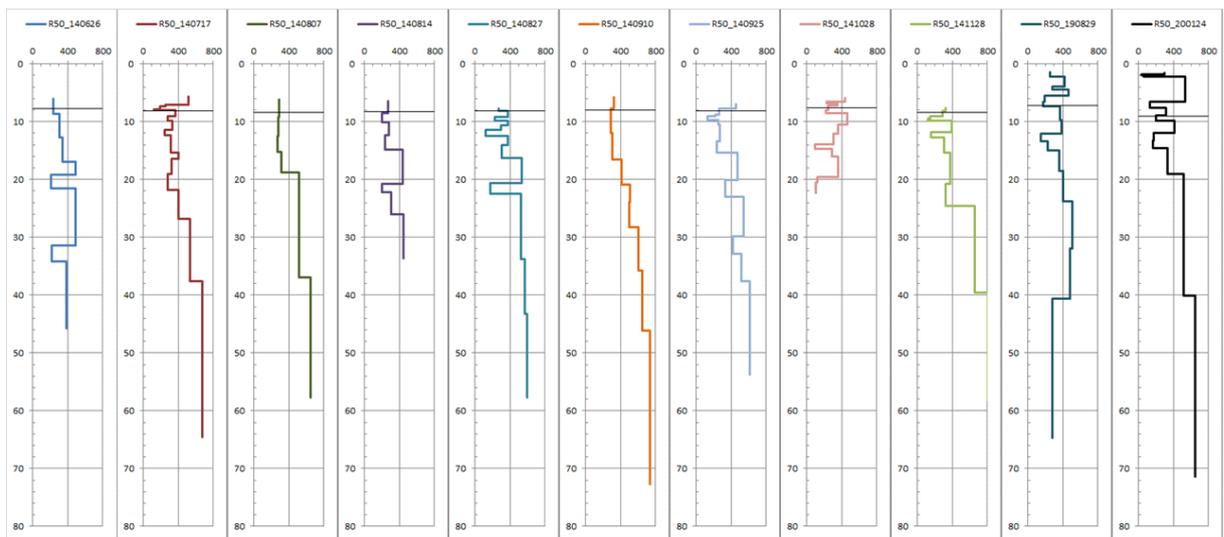
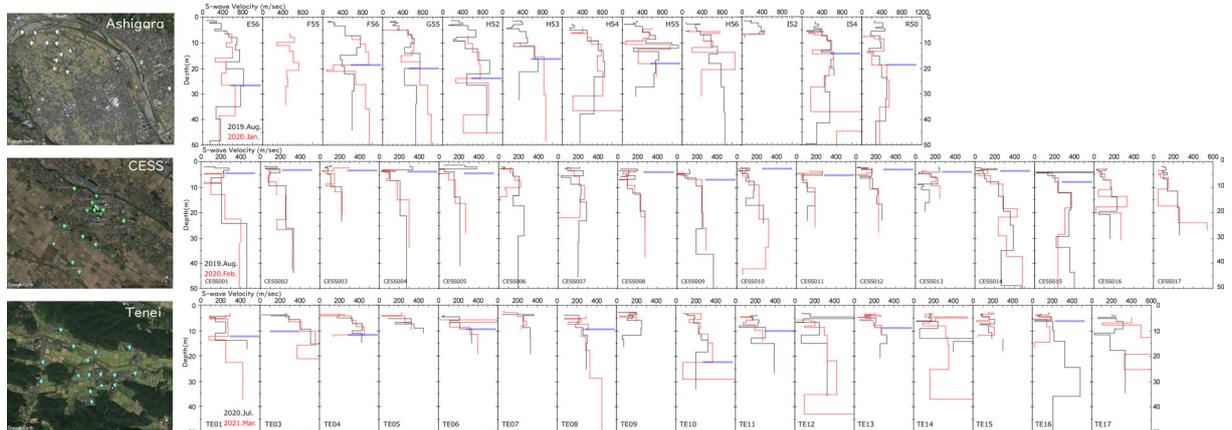


図 1.2 R50 地点における繰り返し微動探査結果と地下水位との関係

4.1.2. 4 地域における TDMM 測定



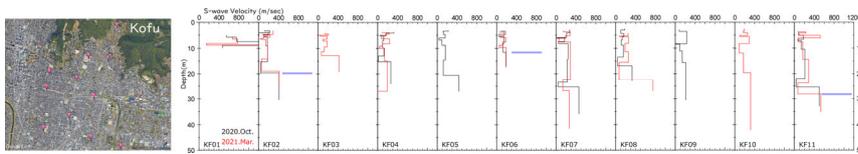


図 2 4 地域における TDMM 測定結果と推定地下水位

4.2. GNSS-PPK による地盤標高測位

地域 II~IV では、微動探査時に GNSS-PPK 測位解析を行い、微動探査地点の地盤標高を cm 精度で測位した。なお、地域 I では、探査時に測位を行うことが出来なかったことから、国土地理院公開の基盤地図情報(数値標高モデル)5m メッシュ(標高)データから、当該メッシュの標高値を用いた。

4.3. 地下水面図の作成と地下水流動機構の検討

TDMM 探査により検出した地表から地下水面までの深度と、GNSS-PPK により測位した探査地点の緯度経度及び地表面標高から、探査地点の地下水位等高線図(地下水面図)を作成した。



図 3 地下水面図(左から地域 I、地域 II、地域 III、地域 IV)

作成された地下水面図は、3地点しか地下水位が推定できなかった地域 IV を除き、おおむね地形勾配と整合していた。また、一般的に地下水面までの深さが深い扇状地に位置する地域 I, IV では推定された地下水面は深く、地下水面が浅い沖積低地に位置する地域 II, III では、地下水面は浅くなる傾向が見られた。

調査を行った地域には、井戸がほとんどない、もしくは井戸があっても許可が得られず調査が出来ないなど、従来の水文調査では、地下水面図を作成することは不可能な地域であった。しかし本手法を用いることで、井戸のない地域においても地下水位を推定し、地下水面図を作成する可能性が示された。また、今回解析では実施しなかったが、微動アレイ探査によって得られる S 波速度分布から、帯水層の深度や分布など水文地質構造を詳細に把握することも可能であることから、水文調査において微動アレイ探査の有効性は非常に高いことが本研究によって示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Endo Aiko, Yamada Makoto, Miyashita Yuji, Sugimoto Ryo, Ishii Akira, Nishijima Jun, Fujii Masahiko, Kato Takaaki, Hamamoto Hideki, Kimura Michinori, Kumazawa Terukazu, Qi Jiaguo	4. 巻 13
2. 論文標題 Dynamics of water-energy-food nexus methodology, methods, and tools	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Current Opinion in Environmental Science & Health	6. 最初と最後の頁 46 ~ 60
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.coesh.2019.10.004	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

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 宮下雄次・濱元栄起・先名重樹
2. 発表標題 Examination of groundwater level measurement method by microtremor array exploration
3. 学会等名 JpGU2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下雄次・濱元栄起・先名重樹
2. 発表標題 極小微動アレイ探査による地下水位測定手法の検討
3. 学会等名 JpGU2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 濱元栄起・白石英孝・相澤和哉・山崎身枝
2. 発表標題 埼玉県における地中熱源ヒートポンプシステムの実証試験 - 2021年夏の冷房運転結果 -
3. 学会等名 JpGU2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱元栄起
2. 発表標題 埼玉県における地中熱源ヒートポンプシステムの実証試験
3. 学会等名 日本地熱学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 先名重樹
2. 発表標題 地震観測点における微動アレイ観測に基づく地盤増幅率の基礎的検討
3. 学会等名 日本地震学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022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
研究分担者	先名 重樹 (SENNA Shigeki) (90500447)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・マルチハザードリスク評価研究部門・主幹研究員 (82102)	
研究分担者	濱元 栄起 (HAMAMOTO Hideki) (40511978)	埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・主任研究員 (82405)	

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
---------	---------