

精密制御定常震源システムACROSSによる、地震波速度の地下水位への応答の解析

Seismic velocity response to ground water level revealed by ACROSS and seismic array

*大庭 拓武¹、生田 領野¹、山岡 耕春²、辻 修平³、馮 晨²、渡辺 俊樹²、小池 遥之²

*Hiromu Ohba¹, Ryoya Ikuta¹, Koshun Yamaoka², Shuhei Tsuji³, Feng Chen², Toshiki Watanabe², Haruno Koike²

1. 静岡大学、2. 名古屋大学、3. 海洋研究開発機構

1. Shizuoka University, 2. Nagoya University, 3. Japan Agency for Marine Earth Science and Technology

本研究では、ACROSS（Accurately Controlled Routinely Operated Signal System）と地震計アレイを用いて、降雨に伴う地震波速度の時間変化を観測した。

ACROSSは、精密に制御された地震波を長時間継続して送信することにより地下構造の時間変化を捉えることを目的とした震源システムである。本研究では静岡県森町に設置したACROSS震源装置に対して約3km離れた地点に設置した地震計を用い、降雨に対する地震波速度の応答を調査した。2017年と2018年にそれぞれ2台の地震計を用いた3週間ずつの予備調査を行い、2020年9月から2021年9月、同じ場所に小規模地震計アレイを展開して観測を行った。

地震波速度は地下水位に伴って変化する。近年、地震波干渉法を用いた地震波速度のモニタリング（例えば、Kim & Lekic, 2019、Clements & Denolle, 2018など）がこれを明らかにしてきたが、地震波干渉法では環境震動中に優占する地震波が強調されるため、特定の実体波や表面波の波群毎に地下水に対する応答を調べることは難しい。波源としてACROSSを導入し、地下水位の変動に対する様々な波群の応答を別々に解析することで、地下水が地震波速度を変化させるメカニズムの特定を試みる。また、観測された地震波速度の変動がどの範囲の地下水位の変動を反映するのを知ることにも重要な課題である（例えば、Liu et al. 2020）。ACROSSを用いることで、地下水位の時間発展の局所・広域の違いに対応した地震波速度の変動を高い時間分解能で解析できる。

2017年と2018年の観測では、パーティクルモーションから到達している波の種類を特定し、2.8秒付近に到達し（速度に直すと1.1 km/s）水平成分が卓越する波をラブ波的、3.8秒付近に到達し（0.79 km/s）鉛直面内でレトログレードを示す波をレイリー波的と考えた。これらの地震波の走時変化は、降雨量からタンクモデルで予測される地下水位変化との間に高い相関がみられた。この際、地震波走時変化を最もよく説明するのは、降雨に対して時定数20日の指数関数的減衰応答であった。2つの波群は地下水位に対する感度が異なり、2.8秒の波群では0.035ミリ秒/m（=1.25%/m）、3.8秒の波群では0.024ミリ秒/m（=0.86%/m）である。2020年9月から開始したアレイ観測では、半径4、8、16mの同心円上に3つの三角形を配したSPAC法の典型的なアレイ構成に、震源方向の波数分解能を高めるために南側と北側に各2点を追加して14点の地震計を設置した。ACROSS信号のアレイ解析の結果、予備観測で降雨に対する応答が大きかった2.8秒と3.8秒付近の地震波の見かけ速度は直達S波と同じ（～2.5 km/秒）であり、表面波ではないことが分かった。

走時変化の原因範囲について調査するため上記2つの波群の地震計アレイ内での速度の変化を算出したところ、降雨に対応した変動は認められなかった。アレイに到達している地震波の走時変化は、アレイ直下ではなく、ACROSS震源から地震計アレイまでの経路の途中の地下水位変化に応答しているものと推定される。

以上から、降雨に対する地震波走時変化の20日の時定数は、広域の水の流動を表している可能性がある。2022年8月から開始したアレイ直下の地下水位の実観測を開始した。これと河川流量、近傍のHi-net観測点の地震波走時変動の解析結果とあわせて、地下水が地震波速度を変化させるメカニズムを考察したい。

参考文献

Clements. T., Denolle. A. M., (2018), Tracking Groundwater Levels Using the Ambient Seismic Field, *Geophysical Research Letters*, **45**(13), 6459-6465.

Kim. D., Lekic. V., (2019), Groundwater Variations from Autocorrelation and Receiver Functions, *Advancing Earth and Space Science*, **46**(23), 13722-13729.

Liu. C., Khurram. A., Eric. D., (2020), Seismic Velocity Changes Caused by Water Table Fluctuation in the New Madrid Seismic Zone and Mississippi Embayment, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **125**(8).

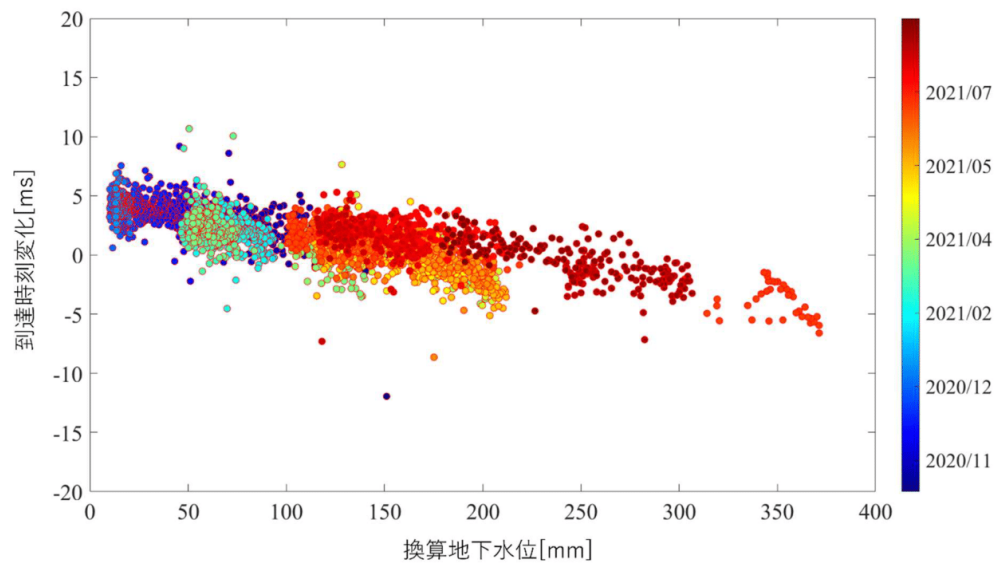


図. 2020 年以降における 2.8 秒の波群の到達時刻変化と換算地下水位の関係

到達時刻変化は正が早まりで負が遅れを示している。地下水位が 100mm 増加すると地震波は 2.3 ミリ秒遅れて到達する。