

## 津波により塩水化した帯水層への涵養プロセス検討における環境トレーサーの適用 Application of multiple environmental tracers for investigation of recharge process in tsunami-induced saline coastal aquifer

○土原健雄\*, 白旗克志\*, 吉本周平\*, 中里裕臣\*, 石田 聡\*

TSUCHIHARA Takeo, SHIRAHATA Katsushi, YOSHIMOTO Shuhei, NAKAZATO Hiroomi,  
ISHIDA Satoshi

### 1. はじめに

宮城県仙台平野南部の沿岸域では、東日本大震災の津波の浸水により地下水の塩水化が生じ、その後淡水層が形成されてきた。塩水化からの回復の要因には、降水の浸透、水田からの灌漑水の浸透（水田涵養）、内陸側からの地下水流動が想定され、それらの寄与度が地点によって異なると考えられる（土原ら，2021）。ここでは、塩水化した沿岸帯水層における涵養プロセスを検討するために、地下水中の溶存ガス（六フッ化硫黄，SF<sub>6</sub>）等の環境トレーサーを指標として用いて調査した結果について報告する。

### 2. 研究方法

調査地である宮城県亶理郡は亶理町・山元町の二町からなり、宮城県東南部の太平洋沿岸域に位置する。この地域では、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波の浸水により、広範囲の浅層地下水で塩水化が発生した。本研究では農林水産省東北農政局が設置した浅層地下水の観測孔の一部を対象に調査を実施した（Fig.1）。2020年9月の調査（土原ら，2021）と同じ観測地点のうち、4地点（A, E, G, J）の観測孔において、水面直下に加え、深部の地下水を井戸用採水器により採取した。深部地下水の採取深度は、電気伝導度（EC）が高く海水の影響のあると考えられる深度（管頭から9~25m）とした。採取した地下水の主要イオン濃度、水素・酸素安定同位体比（ $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ）、SF<sub>6</sub>濃度をそれぞれイオンクロマトグラフ（東亜 DKK 社製，ICA2000）、水同位体分析計（Piccaro 社製，L2120-i）、ECD 検出器付ガスクロマトグラフ（島津製作所社製，GC-8A）により測定した。

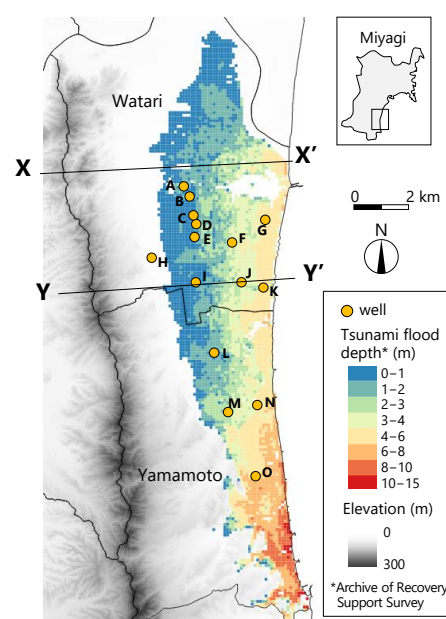


Fig.1 津波浸水深および地下水採取地点  
Tsunami flood depth and locations of  
groundwater sampling points

### 3. 結果および考察

Fig.2 に A, J 地点の深度別の EC 分布，Fig.3 に XX' および YY' 断面における地下水の滞留時間およびヘキサダイアグラムを示す。2020年8月の調査前1週間はほぼ無降雨の状態であったが、2021年9月の調査3日前には25mmの降雨があり、調査前3日間で合計37mmの降雨があった（アメダス亶理）。2020年と比較して2021年の浅部地下水のECが低下しており（Fig.2）、降水の浸透が影響していると考えられた。G地点は浅部と深部でほぼ同じ滞留時間であるが、

\*農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO

キーワード：地下水，塩水化，津波，涵養，滞留時間

それ以外の地点は浅部の滞留時間が短く、深部の滞留時間が長い。また、浅部地下水の滞留時間は、2020年測定時より短くなっている地点が多い。A, E, G, Jの4地点の浅部地下水のd値( $d\text{-excess}=\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$ )は、2020年の平均が11.4‰であるのに対し、2021年の平均は9.0‰に低下している。地域内で観測した降水のd値は、夏季に低く、冬季に高い周期的な変動を示しており、2021年9月の地下水のd値低下には降水の影響が伺える。採水の前日には、東北農政局の調査において観測孔から約100Lの揚水を行っていることから、調査前の降水が観測孔に直接侵入し残留していたとは考え難い。揚水後に降水由来の低ECの水が流動層を通じて選択的に孔内に戻った可能性は排除できないものの、地盤に浸透した降水が浅部地下水の淡水層形成に寄与していることを複数の水質項目が示唆している。

深部地下水の水質組成はNa-Cl型であり、塩水の影響が大きい(Fig.3)。深部地下水を採取した4地点のうち、J地点の地下水(管頭-25m)にメタンガス(24cc/mL, 参考値)の混入が確認された。例えば、G地点の深部地下水(管頭-9m)はCl濃度が5311mg/L、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度が851mg/Lであるのに対し、J地点の深部地下水はCl濃度が12012mg/Lと高いにも関わらず、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は43mg/Lと極めて低い。J地点の深部地下水は硫酸還元が進行する還元状態にあるといえ、より古い海水(化石塩水)が影響していると考えられる。これらの結果は、本地域の水質を検討する際には、津波時に浸透して残留する海水と深部の化石塩水とを区別する必要があることを示している。

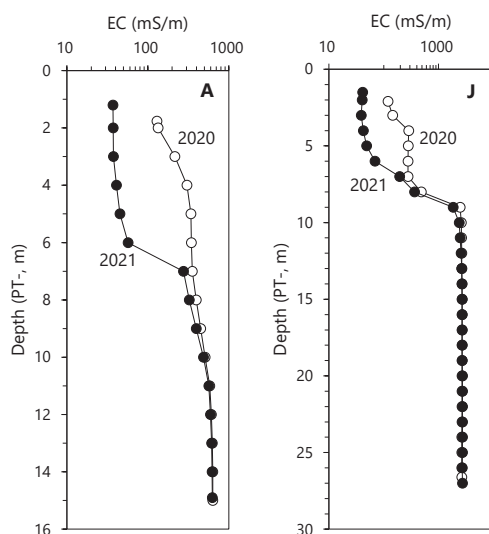


Fig.2 深度別のEC分布  
Vertical profile of groundwater EC

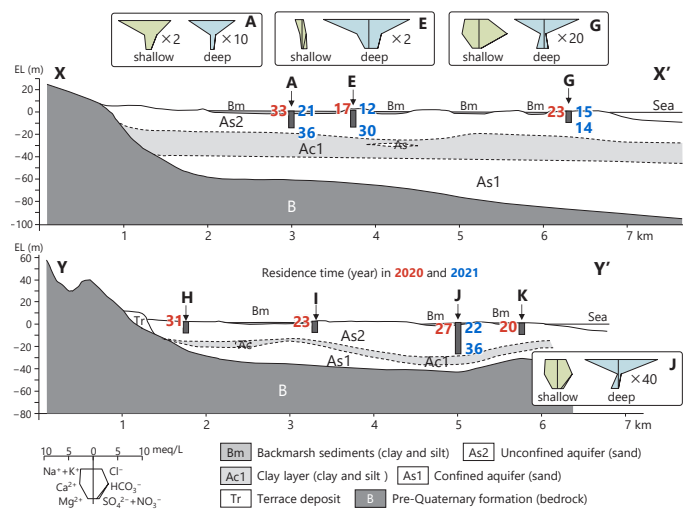


Fig.3 滞留時間およびヘキサダイアグラムの分布  
(断面図は東北農政局(2015)より作成)  
Residence time and hexa-diagram of groundwater

#### 4. おわりに

津波により塩水化した地下水が分布する地域において、滞留時間やその他複数の指標から降水の地盤内への浸透が示されるとともに、一部の地点においては津波時の残留塩水以外の化石塩水の深部地下水への影響が示された。ここで用いた複数の水質指標は、地下水の涵養プロセス、塩水化からの回復過程を検討する上で有用であると考えられる。

**謝辞** 本研究の一部は、JSPS 科研費 19K06301 の助成を受けて実施された。

**引用文献** 1) 土原ら(2021): 地球化学的調査による津波により塩水化した沿岸地下水の回復要因の検討, 2021年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 218-219, 2) 東北農政局(2015): 海岸地域における地下水調査「東北地区」(H23~H26)調査報告書, 220p.