

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 Geochemical investigation of recovery factors for tsunami-induced salinization of coastal groundwater

○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たが、その後浅層に淡水層が形成されつつある。塩水化からの回復に寄与する要因としては、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考えられる。本研究では、津波の影響を受けた地下水中の主要イオン濃度、水の水素・酸素安定同位体比 ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$)、六フッ化硫黄 (SF_6) 濃度を測定し、それぞれの水質要素と推定された滞留時間の関係性から、形成されている淡水層がどの涵養源の影響を受けているかについて検討した。

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（森ら，2012）。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 月に 15 地点の観測孔より井戸用採水器を用いて水面直下の地下水を採取した。採取した地下水の主要イオン濃度、 $\delta^2\text{H}$ および $\delta^{18}\text{O}$ 、 SF_6 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。重炭酸イオン (HCO_3^-) 濃度は、滴定法による pH4.8 アルカリ度から換算して求めた。

3. 結果および考察

北部の地下水の塩化物イオン (Cl^-) 濃度が高く、d 値 ($d\text{-excess}=\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$) が高い（Fig.2）。 SF_6 濃度より推定された滞留時間は 17~33 年であり、北部の地下水の滞留時間が長い傾向にある。

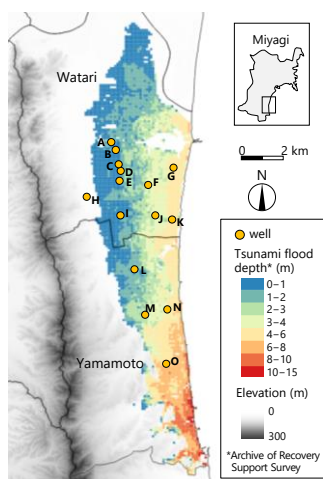


Fig.1 津波浸水深および地下水採取地点

Tsunami flood depth and locations of groundwater sampling points

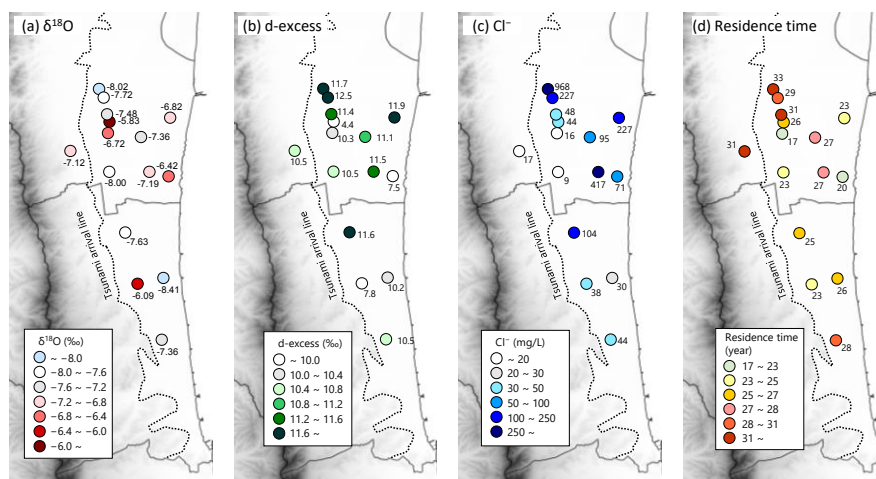


Fig.2 地下水の (a) 酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$), (b) d 値, (c) 塩化物イオン (Cl^-) 濃度, (d) 滞留時間の分布

Distribution of (a) $\delta^{18}\text{O}$, (b) d-excess, (c) Cl^- concentration and (d) residence time of the groundwaters

*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，水素・酸素安定同位体比，六フッ化硫黄

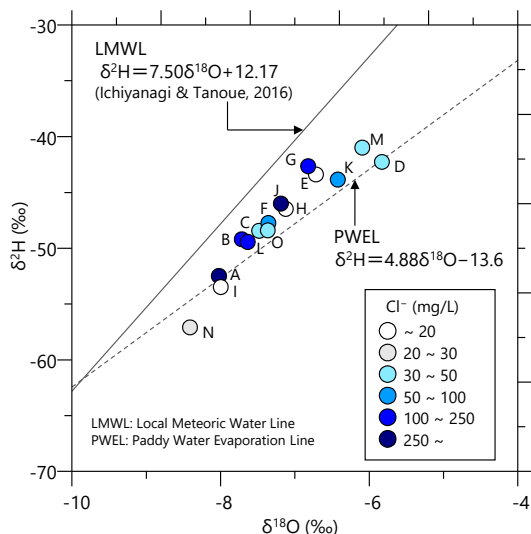


Fig.3 地下水の $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, Cl^- 濃度の関係
Relationship between $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and Cl^- concentration

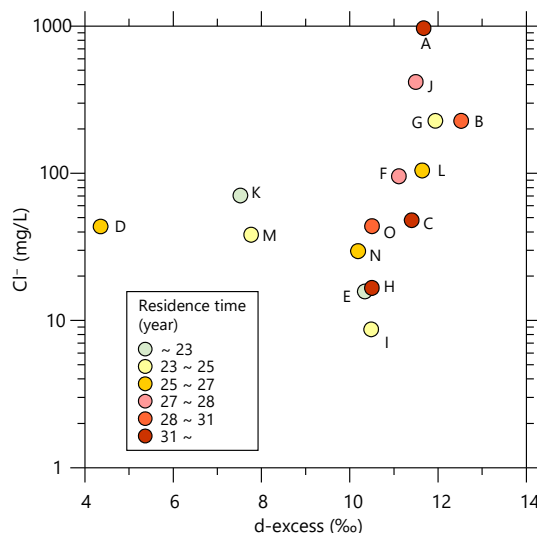


Fig.4 地下水の d 値, Cl^- 濃度, 滞留時間の関係
Relationship between d-excess, Cl^- concentration and residence time of the groundwaters

$\delta^2\text{H}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の関係において、本地域の地下水は天水線 (LMWL) と田面水の蒸発線 (PWEL) (土原ら, 2018) の間に分布し、その同位体比は地点によって異なる ($\delta^2\text{H}$: $-57.1 \sim -41.0\%$, $\delta^{18}\text{O}$: $-8.41 \sim -5.83\%$) (Fig.3)。海水の同位体比を 0% と仮定すると、海水の混入率が高いほど同位体比が大きくなるが、塩化物イオン濃度が高い地点ほど同位体比が高いとはいえない (Fig.3)。このことから、地下水の同位体比の差異は海水の混入によってのみ生じているのではなく、涵養源の寄与の違いが影響しているといえる。水田からの涵養の影響が大きいかほど同位体比は上昇して PWEL に近づき d 値は低下する。一方、降水の浸透の影響が相対的に大きいほど同位体比は LMWL に近づき d 値は上昇すると考えられる。

本地域の動水勾配は約 $1/2000$ 、透水係数は $2.7 \times 10^{-5} \sim 2.1 \times 10^{-4} \text{m/s}$ であることから (森ら, 2012)、ダルシー則を仮定した場合の流速は $0.4 \sim 3.3 \text{m/year}$ となり、地下水の流動性は小さいといえる。津波の浸透の影響を受けていない内陸側の地点 H の滞留時間は 31 年であった。一方で沿岸域側ではそれよりも滞留時間が短い地下水が多くみられる (Fig.2)。大気中の SF_6 濃度は単調増加しており、直近の降水や灌漑用水の浸透の影響が大きいかほど地下水中の SF_6 濃度は増加し、みかけの滞留時間は小さくなると推測される。地下水の d 値, Cl^- 濃度, 滞留時間の関係を Fig.4 に示す。津波の影響がなかった地点 H は、 Cl^- 濃度が低く、d 値は 10.5% である。d 値・塩分濃度が低く、滞留時間の短い地点 (D, K, M) は水田からの涵養の影響が大きいと考えられる。一方、塩分濃度が依然高く、滞留時間が長い地点 (例えば, A, B) は回復までに時間を要すると考えられる。

4. おわりに

津波により塩水化した地下水において、水質、同位体組成と溶存ガスにより推定された滞留時間の関係性を示した。これらの複数の環境トレーサーは、塩水化した地下水の回復要因の違いを検討する上で有用であると考えられた。引き続き観測を継続して異なる時期のデータを蓄積し、塩水化からの回復プロセスを明らかにしていくことが課題である。

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) 森ら (2012), 地下水学会誌, 54(1), 11-23, 2) 一柳・田上 (2016), 日本水文科学会誌, 46(2), 123-138, 3) 土原ら (2018), 平成 30 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 480-481.