

青森県太平洋沿岸地域の津波被災農地周辺における地下水水質の経年変化

Secular change of ground water quality around the Tsunami-stricken agricultural lands in the Pacific Coast Area of Aomori prefecture

○遠藤 明*
Akira ENDO

1. はじめに

青森県八戸市北部に位置する市川地区は、五戸川河口付近と奥入瀬川右岸の最下流域に水田、普通畑、イチゴ栽培用のビニールハウスが多く分布する低平地の農業地帯である。当地区では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に起因した津波によって、農地、ビニールハウス（全半壊48棟、浸水被害35棟）、水産加工工場などを含む約53haが冠水した。また、八戸市の北に位置する、おいらせ町および三沢市の沿岸部においても、農地の冠水と土砂流入、ビニールハウスや養鶏・養豚場の倒壊等の被害を受け、計79haの農地が冠水・流失した。津波の海水により被害を受けた当地域で行われている施設園芸（イチゴ、ハウレンソウ、ナガネギなど）においては、深さ5m程度の浅井戸（開放型井戸）をさく井することによって、不圧帯水層の地下水を利水している。このことから、当地域の地下水は作物生産を行う上で重要かつ貴重な水資源といえる。特に、当地域の基幹農作物のイチゴを作付けする際には、電気伝導度（EC）の低い灌漑水が必要不可欠であるため、帯水層の塩水化はあってはならない。当地域において帯水層が塩水化した主な要因は、震災津波の海水の流動によって井戸上面の蓋が移動・破壊したことにより、海水が井戸口元から浸入したことと、地表面における海水の直接浸透が考えられる。このことを受け、当地域の施設園芸生産者は、イチゴ生産の断念ないし一時停止、イチゴ以外の耕種作物への切り替え、井戸水の代用としての水道水の灌漑水といった、やむを得ない対応を余儀なくされてきた。

2. 調査項目および方法

(1) 調査井戸の概要と農作物生産の状況： 図1に地下水水質観測地点の井戸の概要を示す。調査対象井戸は、井戸周囲が防潮林、裸地を含む住宅の敷地や畑地に囲まれた三沢市六川目（調査地①）の2本の浅井戸aおよびb（海岸線からの距離はそれぞれ504mおよび552m）、井戸周囲が水田に囲まれた、おいらせ町風嵐（調査地②）の浅井戸c（海岸線からの距離647m）、井戸周囲が畑地に囲まれた八戸市市川町（調査地③）の浅井戸dおよび深井戸e（海岸線からの距離はそれぞれ422mおよび418m）の3箇所計5本である。井戸aおよびbを利用する生産者は、2013年まで水道水を井戸水の代用としていたものの、塩に比較的強いハウレンソウやナガネギなどの耕種作物を導入することで、2013年以降は井戸aを利用し安定的な生産が可能となっている。一方、井戸cを利用する生産者は、2013年に当該井戸水を利用してイチゴ栽培を行ったものの枯死した。このため、以降は生産する耕種作物をナガネギやタマネギ等に切り替えて生産するに至った。また、井戸dを利用していた生産者は、2012年に深井戸eをさく井し、被圧帯水層の地下水をイチゴ栽培用の灌漑水として利用したため、以降、ハウスイチゴを安定的に生産・出荷している状況にある。

(2) 試料採取および水質分析の方法： はじめに、樹脂製のバケツを用いて井戸水を採取したのち、開蓋した50mLポリ容器をバケツに沈めることで、空気を混入させずに地下水試料を分取した。次に、採取試料を実験室に持ち帰り、pH、ECおよびNa⁺濃度を、それぞれガラス電極法、電気伝導度法（D-54, Horiba）およびイオン電極法（B-722, Horiba）により測定した。次に、孔径0.45μmのシリンジフィルターを用いて試料液を濾過した後、濾過液をイオン交換水または超純水を用いて10~50倍に希釈した。最後に、イオンクロマトグラフ法（PIA-1000, Shimadzu）を用いて希釈試料液のCl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻濃度を定量した。なお、分析機器更新の都合上、2014年7月以降に採取した地下水試料については、サブプレッサ式イオンクロマトグラフ法（ICS-90, Dionex）を用いて希釈試料液のCl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺濃度を定量した。なお、地下水採取期間は2011年3月18日~2021年3月19日の10年間であり、計66~100回にわたり採取した。

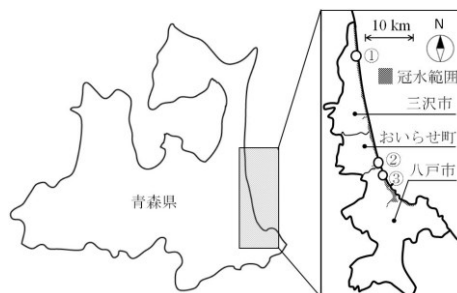


図1 水質調査地の位置図と冠水範囲
Location of groundwater quality investigation area and flooded area due to run-up the Tsunami

*弘前大学農学生命科学部 *Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University

キーワード： 地下水水質、電気伝導度（EC）、Cl⁻濃度、Na⁺濃度、津波被災農地、東日本大震災

(3) 水質分析結果の解析方法： 井戸 a では、地下水水質濃度が減衰しつつ周期的な変動が顕著に観測された。このため、地下水水質の指数的減衰を表す式 (式 (1) の右辺第 2 項) に対して、周期性を勘案した式 (1) を用いることにより、周期性を有する地下水水質の指数的減衰挙動を表現し、水質濃度の季節変動を把握した。

$$S = A_0 \sin(2\pi ft + \delta) + S_0 \exp(-\beta t^\gamma) \quad (1)$$

ここに、 S ：地下水の塩分濃度 (mg/L), S_0 ：地下水の塩分初期濃度 (mg/L), t ：時間 (d), A_0 ：振幅, f ：周波数, δ ：位相 (d), β と γ ：フィッティングパラメータである。

3. 結果および考察

井戸 a における EC と Cl⁻濃度の経日変化の特徴について述べる。図 2 A～C にそれぞれ、井戸 a における観測期間中の日降水量、地下水の EC および Cl⁻濃度の経日変化を示す。EC および Cl⁻濃度は、11 月～翌年 2 月頃の降水量が少ない冬場に高く、また、降水量が多い 6～8 月頃にかけて減少傾向にあった。この水質濃度の増減挙動を定量することで季節的な水質変動の傾向が明らかになる。当該地域のビニールハウス内で生産されているイチゴについては、灌水の EC が高いと成育に支障を来すため、イチゴを栽培する上で水質濃度の季節変動を把握する意義は大きい。式 (1) を用いたカーブフィットを行った結果、EC および Cl⁻濃度の周期 T がそれぞれ 360.4 d と 362.2 d と算出されたことから、当観測井戸の EC および Cl⁻濃度が周期的に変動することがわかった。また、EC および Cl⁻濃度の振幅 A_0 はそれぞれ 0.121 mS/cm と 27.4 mg/L であり、観測期間中の極大・極小値は経過時間に対して指数的に減衰した。井戸 a の近くにある井戸 b の EC と Cl⁻濃度に周期性が認められなかった理由は、井戸 b が井戸 a よりも内陸側に約 50 m 離れていることや、井戸 c, d, e のように周囲が農地のみで囲まれていない土地利用形態によるものと推察される。また、井戸 a における EC と Cl⁻濃度の明瞭な減少が認められた理由は、水面標高が高い上流側において雨水浸透によって地下水が涵養され、当該井戸が位置する下流方向へと流動した結果によるものと推察される。この潮汐現象による水圧の変動は地下水流動に影響を与えられとされるため、位相のずれを伴って塩水楔の陸側あるいは海側への移動に寄与していると推察される。したがって、井戸 a における水質濃度の周期的な変動は、降雨浸透により涵養された地下水流動と、潮汐変化で生じた海水—淡水境界面の移動が原因と推察される。なお、井戸 a 以外の EC および Cl⁻濃度の経日変化については、振幅が小さかったり、また、極大・極小値の出現時期が不順であったりしたため、式 (1) を用いたカーブフィッティング時に解が収束せず、フィッティングパラメータが得られなかった。なお、井戸 a 以外の井戸水質の特徴については、発表当日のポスター内に記載する。

4. おわりに

2011 年 3 月～2021 年 3 月の 10 年間にわたり、青森県太平洋沿岸地域の各調査井戸において地下水中の EC および各イオン種濃度の観測を実施してきた。その結果、地下水水質濃度に明瞭な周期性が認められた井戸 a や、水稻栽培の灌水に起因する降下浸透で生じた希釈効果が認められた井戸 c における水質挙動が明らかになった。東北地方太平洋沖地震から 10 年以上経過した現在の地下水の EC や水質濃度は減少し続けており、現状では、灌水に利用できる程度に回復しているといえる。また、井戸 a においては、降水量が多い時期に EC や Cl⁻濃度が低下することから、灌水時期を見極めた上で、灌水中の塩濃度に敏感なハウスイチゴの栽培にも利用できることがわかった。

謝辞： 地下水水質調査を実施するにあたり、青森県職員（農業普及部門）の担当者からは、井戸を所有する生産者を紹介頂きました。一連の水質調査では、福田健悦氏、小向清吉氏、橋 啓子氏の井戸を 10 年間の長期間にわたり使わせて頂きました。弘前大学農学生命科学部農地工学研究室の卒業生 神山 啓氏、葛西 聡氏、山口 天斗氏には、それぞれ 2012、2014、2016 年度の現地調査と室内試験に協力を頂きました。ここに記して皆様に感謝いたします。

参考文献： 遠藤 (2021) 農業農村工学会論文集, 89(2), IV_9-IV_12.

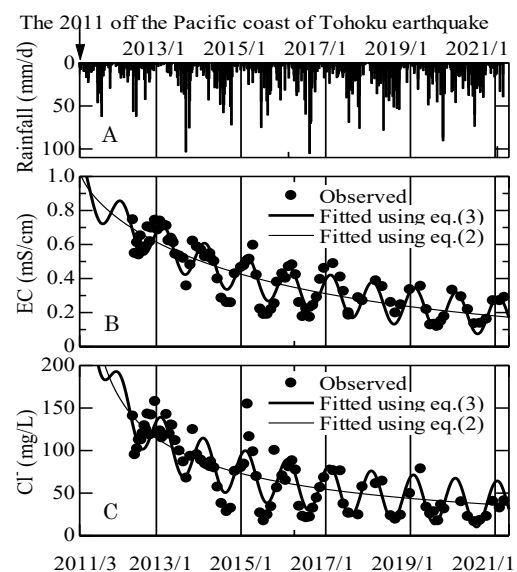


図 2 井戸 a における EC と Cl⁻濃度の経日変化 (A：日降水量, B：EC, C：Cl⁻濃度)
Temporal changes of the EC (B) and Cl⁻ (C) concentration in groundwater in investigated well 'a'