

青森県太平洋沿岸部の津波被災農地周辺の井戸水質の動向

Long-term Observation of Well Water Quality around the Tsunami-stricken
Agricultural Land in Pacific Coast Area of Aomori Prefecture

遠 藤 明[†]

(ENDO Akira)

I. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波により、青森県太平洋沿岸部では県最南の階上町～最北に位置する東通村までの全長約 87 km にわたり計 79 ha が冠水した。中でも、青森県八戸市市川地区（図-1 の点 C）は、五戸川河口付近と奥入瀬川右岸の最下流域に農地が多く分布する低平地の農業地帯である。本地区の農地では水稻、コムギ、ハウスイチゴなどの耕種作物が作付けされていたが、震災津波により農用地、イチゴビニールハウス（114 a、48 棟が全半壊、82 a、35 棟が浸水被害）、水産加工工場を含む約 53 ha が冠水被害を受けた。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・土砂流入、ビニールハウスや養鶏・養豚場の倒壊などの被害を受けた。その後、災害復旧事業や除塩事業などによって早急に農地の除塩が完了し、一部の水田において水稻が作付けできるようになった。

一方、当地域の施設園芸生産者は灌漑用水を井戸水に依存している。この井戸水は不圧地下水であるため、当地域では 5 m 程度の浅井戸を掘削することにより灌漑用水を確保している。しかし、巨大な震災津波による冠水被害を受けた青森県太平洋沿岸部低平地帯

の浅層地下水は高い電気伝導率で推移し、その傾向は現在も継続している。安瀬地ら¹⁾も東日本大震災後における地下水の塩水化の長期化について指摘している。このため、著者は 2011 年から現在に至るまで、青森県八戸市、おいらせ町および三沢市の井戸水質のモニタリングを通じ、施設園芸生産者に対して水質に関する助言を行うことを目的に継続的に調査しているのでここに報告する。

II. 調査対象地および方法

1. 調査地の概要

図-1 に調査地の位置図を示す。調査対象井戸は、同図ハッチ部に示した冠水範囲内の青森県三沢市六川目（図-1 の点 A）、青森県おいらせ町風嵐（図-1 の点 B）および青森県八戸市市川町（図-1 の点 C）に位置し、海岸線からの距離は 400～600 m 程度である（表-1）。調査地点は表層地質図²⁾から未固結堆積物（砂・礫・泥）に分類されており、国際土壌学会法による土性分類では砂壤土（SL）と判別された³⁾。なお、三沢市六川目と八戸市市川町の調査対象井戸は、震災前に掘削した「古井戸」と震災後に掘削した「新井戸」の 2 本の井戸の水質を調査対象とした。また、八戸市市川町の新井戸は深度約 50 m から地下水を汲み上げている深井戸であり、それ以外の井戸は浅層地下水を確

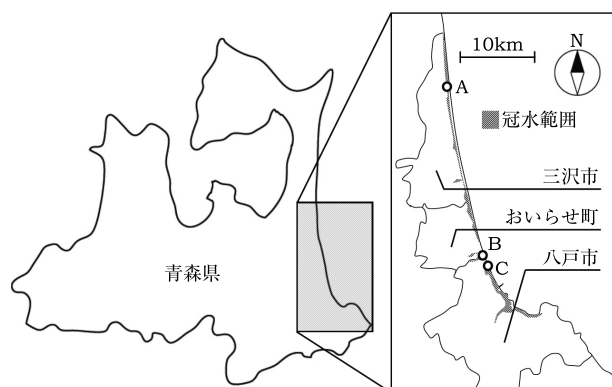


図-1 震災津波による冠水範囲と調査地点の概要

表-1 調査対象井戸の概要

位置情報	海岸線からの距離(m)	主要耕種作物
【地点 A】 三沢市六川目 E141° 24' 18" N40° 46' 18"	536	ホウレンソウ・ニンニク・ナガネギ・ブロッコリーなど (古井戸・新井戸)
【地点 B】 おいらせ町風嵐 E141° 27' 08" N40° 36' 21"	647	ハウスイチゴ・ナガネギなど
【地点 C】 八戸市市川町 E141° 27' 50" N40° 35' 25"	420	ハウスイチゴ (古井戸・新井戸*)

* 八戸市市川町の新井戸は深度約 50 m から地下水を汲み上げている深井戸である。

[†] 弘前大学農学生命科学部

保するための浅井戸である。

2. 調査項目および方法

(1) 採水方法と現場水質測定の方法 井戸水採水時の様子を写真-1Aに示す。はじめに、上部外形24 cm、全高18 cmの樹脂製バケツ(容量約7ℓ)の取っ手部分に塩化ビニール製のひもをくくり付け、井戸上部からバケツを自由落下させたのちに、ビニールひもを手繰り寄せることで井戸水の採水を行った。次に、50 ml ポリ容器を用いて、室内水質分析用の水試料をバケツ中の水から採取した。最後に、現場水質測定を行うため、マルチ水質モニタリングシステム(U-22, 堀場製作所)のプロープを採水したバケツ内に浸漬し、水素イオン濃度 pH, 電気伝導率 EC, 水温, 溶存酸素 DO, 酸化還元電位 ORP および溶存固形物総量 TDS を同時計測した(写真-1B)。

(2) 室内水質分析の概要 はじめに、現場で採取した50 ml ポリ容器の井戸水試料の pH と EC および Na^+ 濃度を、それぞれガラス電極法、電気伝導率法およびイオン電極法(コンパクト Na^+ メータ B-722, 堀場製作所)により測定した(写真-1C)。次に、井戸水試料の前処理を行うために、細孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ のシリンジフィルターを用いて井戸水をろ過し、イオン交換水を用いてろ過液を10~50倍に希釈したものを試料液とした。次に、イオンクロマトグラフ法(ICS-90, Dionex)による陰・陽イオン種の定量分析を行うため、溶離液生成後に試料液の各種イオン濃度を定量した。なお、陽イオン種については、機器入手の都合上、2014年7月18日以降に採水した井戸水試料を分析対象とした。このため、 Na^+ 濃度の測定の際には、同日以前と以降で、それぞれ、イオン電極法とイオンクロマトグラフ法を適用した。

(3) 水質分析の結果の整理 Endo and Kang⁴⁾は【地点C】の井戸に隣接する除塩未実施の津波被災水田(地表面付近の1:5土壌水抽出液の最大EC=約2.5 mS/cm)において、スクレーピング法と自然降水を併用した表土のリーチングに関する実証試験を行った。その結果、土壌水抽出液のECと積算降水量の関係を式(1)により表現し、217 mmの積算降水量によ

り土壌水抽出液のECが0.3 mS/cmを下回ったことを報告している。本調査においてもこの方法に倣い、式(1)を用いて非線形最小二乗法により水質分析の結果を整理した。

$$y = a \exp(-bP) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 y : 水質濃度 (mg/ℓ), P : 積算降水量 (mm), a および b : 曲線パラメータである。

なお、積算降水量を算出する際には気象庁⁵⁾の気象観測データ(三沢市および八戸市)を引用した。

III. 東北地方太平洋沖地震発生以降の井戸水質の動向(特に, pH, EC, Cl^- , Na^+ に着目して)

図-2に2011年3月~2016年3月の各水質項目の経日変化を示す。EC, Na^+ 濃度, Cl^- 濃度は時間の経過に伴い、わずかではあるものの確実に減少している。

pHはおおむね6.5~7.5の適正範囲にあったものの、市川町(古井戸)では降水量が少ない冬期間に8~9程度を超える高いpH環境にあった。市川町(古井戸)のECは震災津波による冠水以降、約半年にわたり1 mS/cmの非常に高いEC値で推移した。このため、当調査地点の生産者は、市川町(新井戸)のさく井工事が完了するまでの間、イチゴ栽培を断念せざるを得なかった。一方、六川目および風嵐の井戸水においても、震災から1年以上経過しても0.6~0.7 mS/cm程度の高いEC値で推移した。当地域では、負圧帯水層に混入した震災津波由来の海水成分の除去を促進するため、定期的に井戸水を汲み上げたものの、ECの顕著な減少には至らなかった。このため、当該地域の生産者は、施設園芸用の灌漑水を水道水に頼らざるを得ない状況が続いた。その後もECは増減しながら推移したが、震災から5年経過後の2016年3月には0.4 mS/cmまで減少した。愛知県発行の施肥基準⁶⁾では、常時使用する施設栽培用灌漑水のECが0.4~1 mS/cmかつ、 Na^+ 濃度および Cl^- 濃度が、それぞれ70 mg/ℓ, 100 mg/ℓ以上である場合は灌漑



写真-1 井戸水の採水と分析の様子 (A: バケツを用いた採水, B: 現場での水質計測, C: 井戸水試料の室内分析)

水として不適切であることを示している。また、0.4 mS/cm を下回っている場合においても、 Na^+ が全陽イオン種 (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) に占める割合として 60% 以上である場合は灌漑水に推奨できないと指摘している。調査対象井戸の Cl^- 濃度は、震災から 2 年半経過した 2013 年 10 月頃以降に 100 mg/l をおおむね下回るようになった（六川目の新井戸は同年 3 月頃に上限値以下）。また、図-2 から Cl^- 濃度の増減は降水量に依存するところが多いことが明らかになった。震災から 5 年経過した現在では 100 mg/l を下回っている。一方、 Na^+ 濃度は、震災から 4 年以上が経過した 2015 年でも 70 mg/l の超過がまれに確認された。同時期の六川目（古井戸）、風嵐および市川町（古井戸）においては、EC と Cl^- 濃度が上限値を超え、全陽イオン種に占める Na^+ が 60~70% を占めたため、灌漑用水としては利用を推奨できない状況にあった。2016 年以降は Na^+ および Cl^- が上限値を超過していないものの、今後の水質動向を注視する必要がある。 NO_3^- 濃度は風嵐と市川町（古井戸）において環境基準

値を超えることがあったが、2014 年以降はおおむね 20 mg/l 以下で推移した。2012 年 6 月以降の全調査井戸水の SO_4^{2-} 濃度は現在まで緩やかな減少傾向にあった。 NH_4^+ 濃度は市川町（古井戸）においてのみ 2014 年 12 月~2015 年 1 月に許容限界濃度を超えたものの、それ以降は全調査井戸水において許容限界濃度を下回り推移した。 Ca^{2+} 濃度は降水量が多い時期に減少する傾向にあった。

IV. 井戸水質と積算降水量の関係

図-3 に EC および Cl^- 濃度と積算降水量の関係を示す。横軸は 2012 年 6 月 12 日以降の積算降水量である。市川町（新井戸）を除く EC および Cl^- 濃度は、周期的な増減が認められたものの、積算降水量の増加に伴い指数的に減衰した。また、EC と積算降水量、 Cl^- 濃度と積算降水量の間には高い相関ないし中程度の相関が認められた。また、式 (1) の Cl^- 濃度の減衰度を表現する曲線パラメータ b は、EC と積算降水量の関係の曲線パラメータ b 値よりも大きかった（減衰の勾

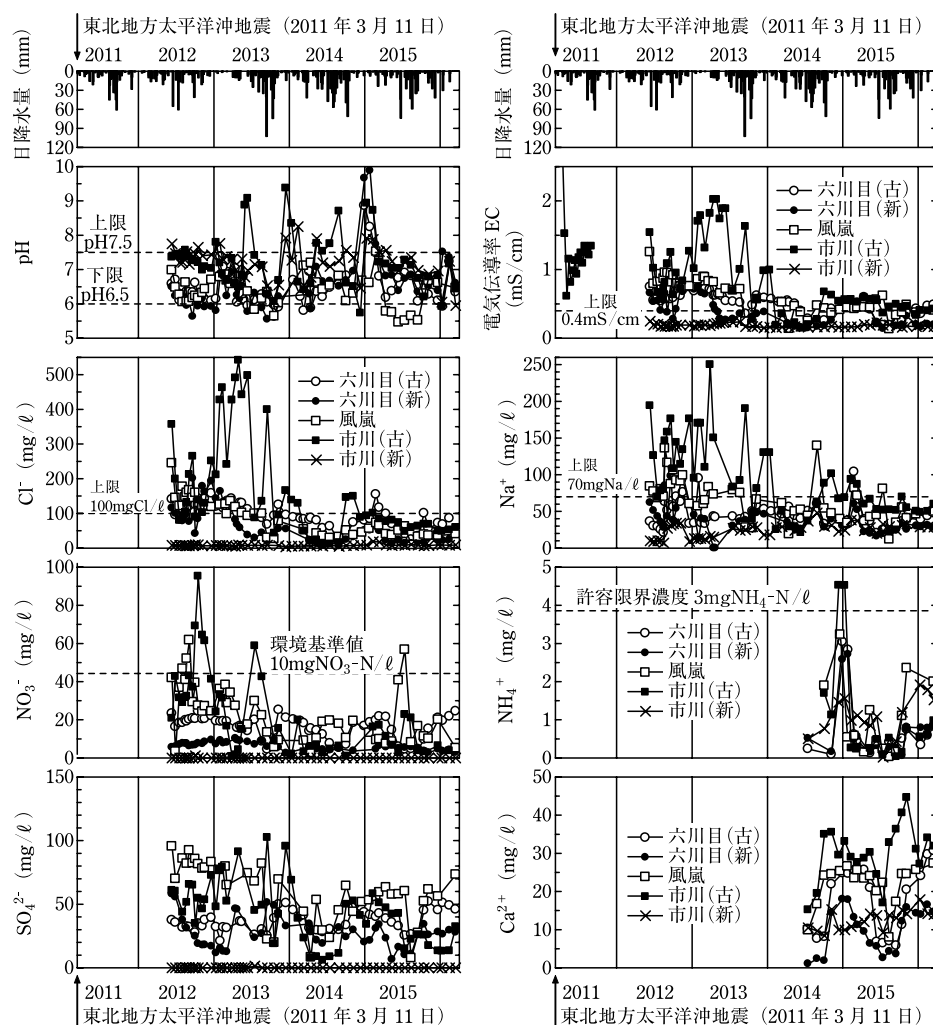


図-2 各調査地点における東北地方太平洋沖地震発生以降の井戸水質の経日変化

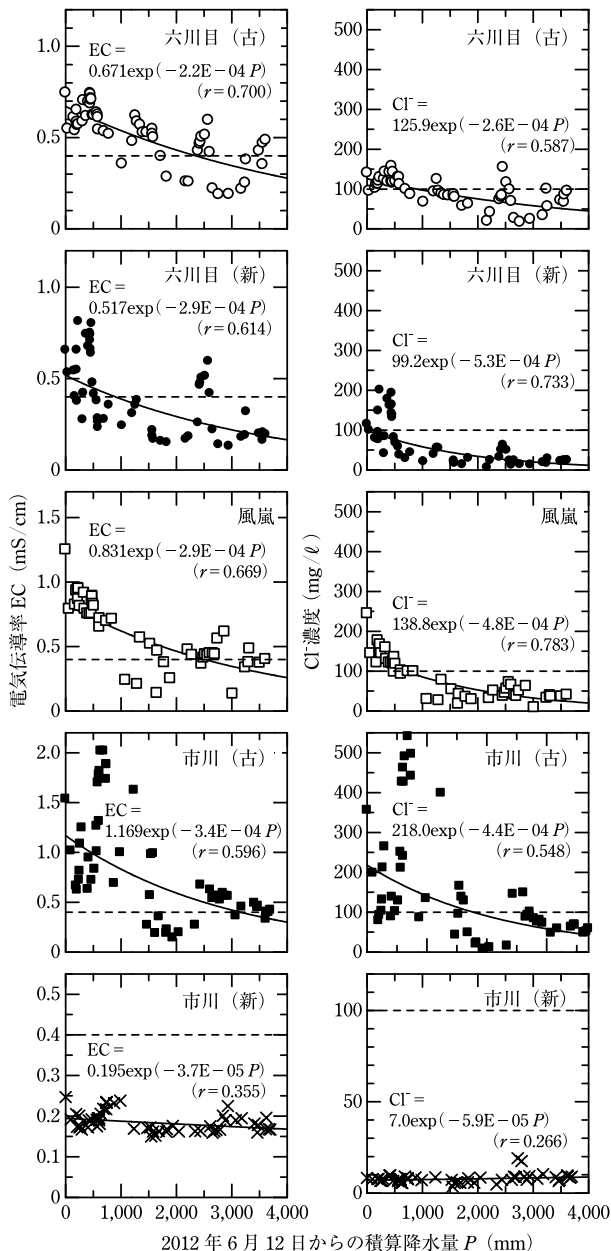


図-3 井戸水質と積算降水量の関係

配が大きかった) ことから, 少ない降水量により Cl^- 濃度が EC よりも顕著に減少することが明らかになった。なお, Cl^- 以外のすべての陰・陽イオン種と積算降水量との間には式 (1) に記した指数減衰が認められなかった。市川町 (新井戸) は深井戸であるため, 震災津波による湛水による塩水化の影響を受けることなく, EC と Cl^- 濃度がそれぞれ約 0.2 mS/cm と約 7 mg/l で推移した。

V. おわりに

東日本大震災から 5 年以上が経過した現在, 井戸水質は確実に回復している。三沢市六川目の生産者は, 2013 年から井戸水を利用し, 塩に比較的強いホウレ

ンソウやネギなどの耕種作物を栽培するようになった。おいらせ町風嵐の生産者は 2013 年に井戸水を利用し, 塩に弱いイチゴをビニールハウスにおいて栽培したものの, 栽培期間中に土壌 EC が高くなり枯死した。しかし, 現在ではネギやタマネギが作付けできるようになった。八戸市市川町では新井戸の井戸水をイチゴ栽培用の灌漑水として利用していたため, 2012 年から安定的にハウスイチゴを出荷している状況にある。現在, 各調査井戸の水質は安定傾向にあるものの, 今後も引き続き水質動向を注視するために調査を継続したいと考えている。

謝辞 井戸水質調査を実施するに当たり, 福田健悦氏, 小向清吉氏, 橘 啓子氏の井戸を拝借しました。青森県三八地域県民局地域農林水産部と青森県上北地域県民局地域農林水産部からは, 2011 年の井戸水データの提供と井戸水質に関するご助言を頂きました。弘前大学農学生命科学部農地工学研究室卒業生の神山啓氏と葛西 聡氏には現地調査と室内実験に関してご協力を頂きました。ここに記して皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 安瀬地一作, 中矢哲郎, 丹治 肇, 桐 博英: 地下への海水浸入へ水田灌漑用排水が与える影響に関する考察—東日本大震災前後の地下水電気伝導率実態調査結果—, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) 70(2), pp.I_1226~I_1230 (2014)
- 2) 国土交通省: 5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査 (八戸), <http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/5-1/0201.html> (参照 2016 年 5 月 13 日)
- 3) 遠藤 明: 農地土壌の塩類汚染浄化に向けた取り組み, 国立大学法人弘前大学 防災・日本再生シンポジウム (2011)
- 4) Endo, A. and Kang, D.-J.: Salt removal from salt-damaged agricultural land using the scraping method combined with natural rainfall in the Tohoku district, Japan, Geoderma Regional 4, pp.66~72 (2015)
- 5) 気象庁: 気象統計情報 (2016), <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 6) 愛知県: 施設栽培用かんがい水の塩類濃度に関する簡易水質診断, 農作物の施肥基準, p.111 (2011)

[2016.4.21.受理]

遠藤 明 (正会員)



略 歴

1975年 東京都に生まれる
1998年 岩手大学農学部農業生産環境工学科卒業
2004年 岩手大学大学院連合農学研究科博士課程修了
(独) 農業環境技術研究所, (学) 東洋食品工業短期大学などを経て
2011年 弘前大学農学生命科学部
現在に至る