

## 〔論 説〕

# 2011年東北地方太平洋沖地震による津波の千葉県旭市沿岸域における 地下水利用への影響\*

杉 田 文

## 1. はじめに

千葉県、九十九里海岸の北部に位置する旭市（東経140度39分、北緯35度43分）は、面積129.91km<sup>2</sup>、人口69624人（平成20年）を有する（図1）。北部と西部には北総台地が広がり穀倉地帯となっているが、東部海岸沿いの標高0 m～5 mの低地には、民家のほか多数の観光施設と水産加工工場が並ぶ。

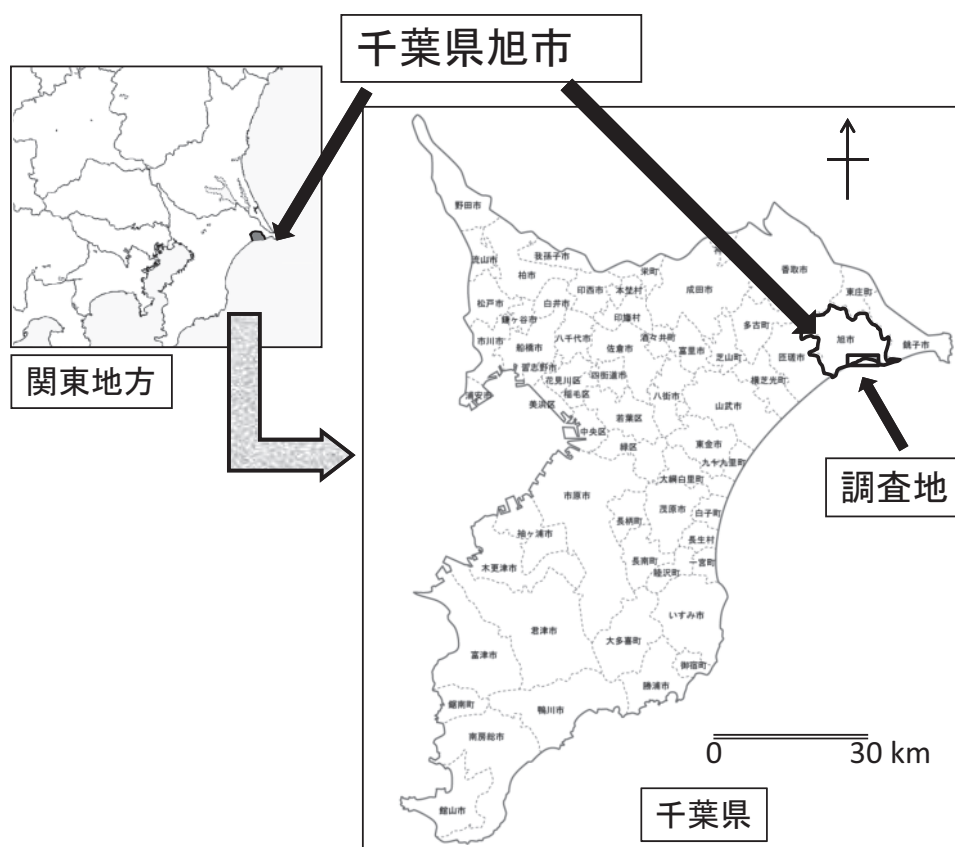


図1 調査地域図

\* 本稿の一部は2011年度日本水文科学会講演会および地下水学会誌54巻1号にて発表した。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（モーメントマグニチュード9）による津波は、旭市では334棟が全壊、13人が死亡という甚大な被害をもたらした。旭市における津波は最高で7.6mに達したと推定され（都司，2011），浸水域は国土地理院（2011）の空中写真および衛星画像を用いた概況調査によると，海岸より500mから1 km 内陸におよんだところもあった。

海岸沿いのほとんどの民家や水産加工所では，深さ3 m～7 mほどの浅井戸を所有し古くから利用してきた。3月11日に発生した津波により，井戸本体の損傷のほか，揚水ポンプの流失・破損といった物理的被害と井戸水の濁りや塩水化といった水質変化が生じた。本報告では，津波の発生から2カ月後および8カ月後に，これら海岸沿いの浅井戸の津波による被害状況とその後の地下水利用について聞き取り，および採水・水質分析をおこなったのでその結果をまとめる。

## 2. 調査方法

2011年4月26日と10月27日に，旭市の海岸沿いの井戸について聞き取りによる概況調査をおこなった。その後，5月9日，12日，17日および11月5日と7日に旭市の南部にあたる足川地区から仁玉地区，井戸野地区にかけて，津波の影響を受けた井戸の所有者からの聞き取りと採水をおこなった。地下水中の海水含有率の指標となる電気伝導度と水温（ともに HI98311，Hana Instruments）は現場で測定した。地上や地中構造物の損壊による地下水汚染発生の概況把握のため，採取した水試料は冷蔵保存の後，一週間以内にパックテスト（共立理化学研究所）を用いて硝酸イオン濃度を測定した。

各地区において海岸から内陸にむかって調査を開始し，津波を被らなかった井戸が見つかる地点までを調査範囲とした。海岸沿いの低地のほとんどの家および事業所で井戸を所有しているので，すべての井戸ではなく，適当な間隔をおいて調査を行う井戸を選定し，中でも津波時に在宅していて津波の被災状況およびその後の対応，井戸の使用状況の詳細な聞き取りが得られた地点のみを調査対象とした。

## 3. 九十九里の地質と津波前の地下水利用

房総半島の地質は海成の厚い第三系，第四系の砂岩・泥岩の互層に特徴づけられる（酒井ほか，2010）。半島の北東に位置する旭市では沖積層が広がり，その上を北西部台地から海に向かっていくつもの小河川や水路が海に流出している。金子ら（1994）は九十九里の海成砂質沖積地において沖積層内の不圧地下水位調査，井戸の検層および揚水試験をおこない，地下水位が地形面に沿っておよそ1/1000の勾配で海岸に向かって低下していること，透水係数が $5.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ と比較的大きいことを報告している。旭市内の沿岸部地下水も地形的見地から同様に北西部の台地で涵養された水が海へ向かって流れていると推定される。

旭市の水道普及率は81.7%，下水道の普及率は7.9%である（千葉県 2011）。海岸沿いの低地に位置するほとんどの家や事業所では，上水の供給があっても深さ3 m～7 mの浅井戸を所有しており，津波直前まで日常的に使用していた。聞き取り調査によると，現住人

が住み始めた時にすでに井戸があり、いつ掘削されたかわからないほど古い井戸が多かった。1947年に掘られた井戸がそのまま今日まで使用されているケースもあった。これらの井戸からの地下水は10年ほど前までは飲料に用いられていた。しかし、市による水道の普及促進と水質の悪化（塩水化）により、津波直前においては、飲料以外の用途に限って使用していた井戸が多く、民家では洗濯や洗車・庭の水やり、水産加工所では洗浄など飲料以外の用途に日常的に利用されていた。

#### 4. 津波による井戸および地下水利用への影響

調査対象とした井戸の中には、写真1に示すように家の壁などに津波の痕が残っていて、井戸が被った津波の高さを比較的正確に推定することができる場所もあったがその数は少なかった。ほとんどの井戸については、住民からの聞き取りのみで津波の高さ推定しなければならなかった。そこで、津波の高さについては①人（成人）の背丈以上、②人の背丈－ひざ丈以上、③ひざ丈－くるぶし以上、④くるぶし未満、⑤被らず の5つのカテゴリーに区分して聞き取りをおこなった。

海水の電気伝導率はおよそ $45000\mu\text{S}/\text{cm}$ であり、一方、台地上の津波の影響を受けなかった地下水の電気伝導率は高い値を示した1点（ $880\mu\text{S}/\text{cm}$ ）を除いて、 $167\mu\text{S}/\text{cm}$ から $476\mu\text{S}/\text{cm}$ の間の値を示した。海水の電気伝導率に比べ、地下水の電気伝導率が2桁低いことから、地下水の電気伝導率は海水がどの程度地下水に混ざったかを知る指標となる。

電気伝導度は溶存イオン量の総量の指標なので、水道水質基準はない。一般に電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下であれば飲用に問題はなく、味の上で $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ が飲用の許容限界の目安といわれる（Villholth, 2007）。



写真1 津波の痕

（揚水ポンプは壊れたが井戸は無事だった。）

表1 調査した井戸が被った津波の高さと地下水障害（5月）

被った津波の高さ		井戸損壊	ポンプ支障	濁り	味変化
人の背丈以上	6井戸	2	6	4以上	6
人の背－ひざ丈	12井戸	1	12	10以上	6以上
ひざ丈－くるぶし	23井戸	0	0	4以上	4以上
くるぶし未満	4井戸	0	0	2以上	—
被らず	5井戸	0	0	3以上	—

5月における調査井戸が被った津波の高さと地下水障害を表1にまとめた。主な被害は物理的なポンプの故障および井戸の損壊、そして水の濁りと味の変化である。

#### 4.1 津波の高さと物理的被害

##### 4.1.1 ひざ丈より高い津波による被害

5月と11月に採水調査をおこなった、のべ106本の井戸の内、2m以上の津波を被っても無傷であった井戸もあったが、3本の井戸が破損により利用できなくなった。内2本は人の背丈より高い津波を被った海岸に近い地点にあり、1本はひざ丈程度の津波を被った地点である。そのほかのひざ丈以上の津波を被った全ての井戸では、井戸は無事だったが揚水ポンプが破損または浸水のために動かなくなり、ひざ丈以上の津波を被ったすべての井戸で津波後に地下水の利用が一時的に困難となった。

写真2は家の壁に残った津波の痕である。この家は人の背丈以上の津波に襲われ住むことができなくなっているが、井戸本体は無事であった。揚水ポンプは流失したので、津波



写真2 津波の痕

（揚水ポンプは壊れたが井戸は無事だった。）



写真3 濃度低下がみられなかった井戸

(2 m以上の津波を被り、周辺の建屋や車は流されたが井戸は無事だった。)

後に新しいポンプを入手・設置して周囲の片づけや洗浄・家の工事などに揚水して利用し続けている。この井戸の5月の調査時点における地下水の電気伝導率は $3576\mu\text{S}/\text{cm}$ 、11月は $1110\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。水使用量が少ない周辺の井戸に比べ、低い値であるが、津波による海水混入の影響が8カ月後でも残っていた。

写真3の井戸を所有する家では2 m以上の津波により隣接する工場建屋や車が流失し、周りに何も無くなったが、井戸のみが無事に残った。揚水ポンプは使えなくなったが、津波の翌日に新しい揚水ポンプを設置して即日利用を再開している。井戸所有者によると、津波後は家内外の洗浄のために水が必要であったため、翌日に揚水ポンプを入手し、設置して事業所や近隣の洗浄に地下水を利用・提供したとのことであった。この井戸より得られた水の電気伝導率は5月に $2640\mu\text{S}/\text{cm}$ と周辺井戸より低い値であったが、11月においても $2520\mu\text{S}/\text{cm}$ と大きな濃度低下はみられなかった。

このようにひざ丈より高い津波に襲われた地区では上水の供給が止まり、家屋等の損壊が激しく、その撤去や洗浄のために津波直後から大量の水が必要であった。そのため、多くの井戸で津波直後より揚水ポンプを新調し、地下水利用を再開している。

津波2カ月後において、津波により損壊した井戸3本はいずれも掘り替えが終了して利用を再開していた。他の井戸も新しい揚水ポンプが設置され、ひざ丈より高い津波を被った井戸すべてで地下水利用が再開されていた。

#### 4.1.2 ひざ丈より低い津波の影響

ひざ丈より低い津波を被った井戸でも揚水ポンプが使えなくなったケースが多数あったが、井戸そのものが物理的な被害を受けた地点は皆無であった。くるぶしより低い津波を被った井戸では、井戸および揚水ポンプに被害は無かった。



旭市では、津波の物理的被害のほとんどが揚水ポンプの破損であり、家屋や工場の建屋が流失しても、井戸は物理的には無事であるケースがほとんどであった。このことは浅井戸が地上の構造物に比べて、地震にも津波にも耐性があり、揚水さえ可能であれば、地震直後から地下水の利用が可能であったことを意味する。

## 4.2 水質への影響

### 4.2.1 水の濁り

津波後、地下水を利用している住民から井戸水が白濁したという報告が市に寄せられた。しかし、聞き取り調査によると、水の濁りは井戸の利用再開から早い井戸で1日、長い所でも井戸の利用再開後1週間ほどで解消したとのことであった。内陸に位置し、電気伝導率が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下で津波の影響を受けていないと推定された井戸でも濁りがあった。また、津波後に揚水を再開すると、比較的短時間で濁りが解消した。これらのことから、地下水の濁りは、地震により井戸底やスクリーンあるいは井戸壁からの細粒物質が、一時的に井戸内の水に混ざったか巻き上がったことが原因である可能性が高い。本調査時には、濁りの残っている地下水を見つけることはできなかった。

### 4.2.2 津波の高さと電気伝導率

聞き取り調査において、味に変化があったというすべての井戸で「しょっぱくなった」という回答が得られた。津波による海水の混入が示唆されるが、普段飲用に使っていなかった井戸も多く、味に変化のあった井戸の正確な数は明らかでない。

表2に被った津波の高さごとに地下水の電気伝導率別井戸数をまとめた。また、図2に5月と11月における井戸が被った津波の高さごとに電気伝導率分布を100分率で示した。電気伝導率は海水が10%以上混入していると推定されるA： $4500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上、およそ2%以上10%未満の海水混入があると考えられるB： $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上 $4500\mu\text{S}/\text{cm}$ 未満、わずかな海水の混入が疑われるC： $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上 $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ 未満、そして海水の混入がないと推定されるD： $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 未満の4つのカテゴリーに区分した。

5月の調査時において人の背丈以上の津波を被った6本の井戸は、カテゴリーAが4本、Bが2本で、高い電気伝導率を呈した。Bに区分された2本は、いずれも掘り替えを行っ

表2 津波被高と電気伝導率別の調査井戸数（5月/11月）

電気伝導度 $\mu\text{S}/\text{cm}$	津 波 高					計
	①人の背丈 以上	②人の背丈 －ひざ丈	③ひざ丈 －くるぶし	④くるぶし 未満	⑤被らず	
A. 4500以上	4/5	3/2	0/0	0/0	0/0	7/7
B. 1000～4500	2/10	6/20	8/0	0/0	0/0	16/30
C. 500～1000	0/1	2/5	12/1	3/0	1/0	18/7
D. 500未満	0/0	1/4	3/5	1/2	4/1	9/12
計	6/16	12/31	23/6	4/2	5/3	50/56

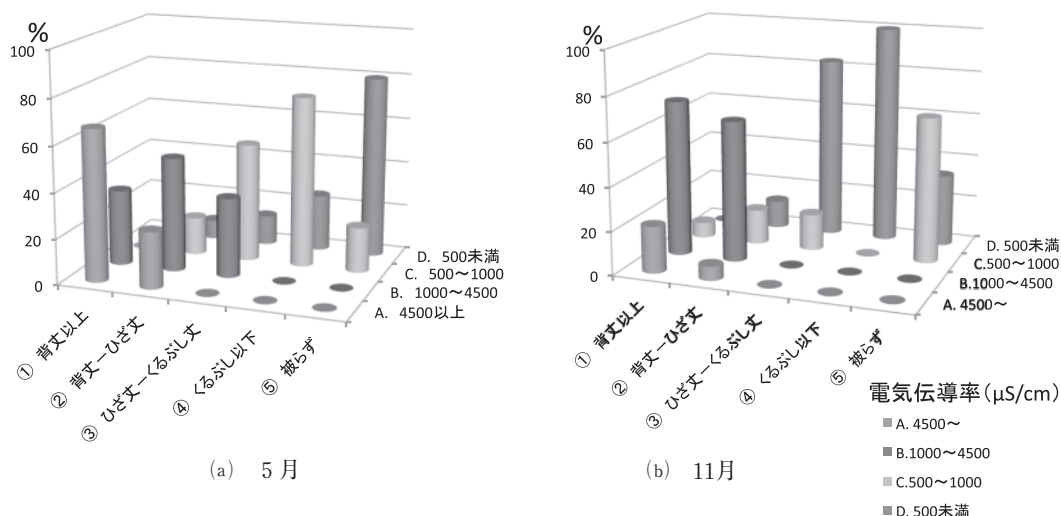


図2 被った津波の高さ別、地下水の電気伝導率分布

た井戸であり、掘り替えにより電気伝導率が低くなったことが考えられる。掘り替えをしていない井戸からの地下水が、より高濃度の塩分を有したことは、一部の海水が井戸を介して地下水へ到達していること、そして、掘り替えをおこなってもカテゴリーBの電気伝導率を示したことは、5月の時点で津波が井戸内のみでなく周辺の地下水へも混入していることを示す。

人の背丈-ひざ丈以上、の津波を被った井戸の電気伝導率はカテゴリーAからDまでに分布したが、半数がカテゴリーBであった。すなわち、ひざ丈以上の津波を被った井戸のほとんどで、海水の混入が生じていると推定される。ひざ丈以下の津波を被った③、④に区分された井戸ではカテゴリーCの電気伝導率を持つ井戸が多く、津波をかぶらなかった⑤に区分された井戸ではカテゴリーDと電気伝導率は低い値であった。したがって、被った津波の高さが海水の混入率に影響をおよぼしていると考えられる。

地震8カ月後にあたる11月の調査においては濃度の低下が認められた井戸と認められなかった井戸が混在したが、全体としては10000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  を超えるような高濃度点は無くなり、全てのカテゴリーで若干の塩分濃度の低下が見られた(図2)。

#### 4.2.3 電気伝導率の分布

図3に5月、図4に11月の電気伝導率の面的分布を示す。本地域の台地上の地下水の電気伝導率は500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  を下回るが、本調査をおこなった低地ではもともと地下水が塩水化傾向にあり、また、津波以前は調査をおこなっていないことから、電気伝導率500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以上1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  未満の値が津波の影響を示しているかは明らかでない。しかし、1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  を超えた地下水には明らかに海水が混入していると考えられる。5月、11月ともに電気伝導率は井戸ごとに大きなばらつきが見られた。

5月には海水の1/10程度である4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以上をもつ地下水が7か所、足川地区から井戸野にかけて海岸に非常に近い井戸で観測された。いずれもひざ丈より高い津波を被っ

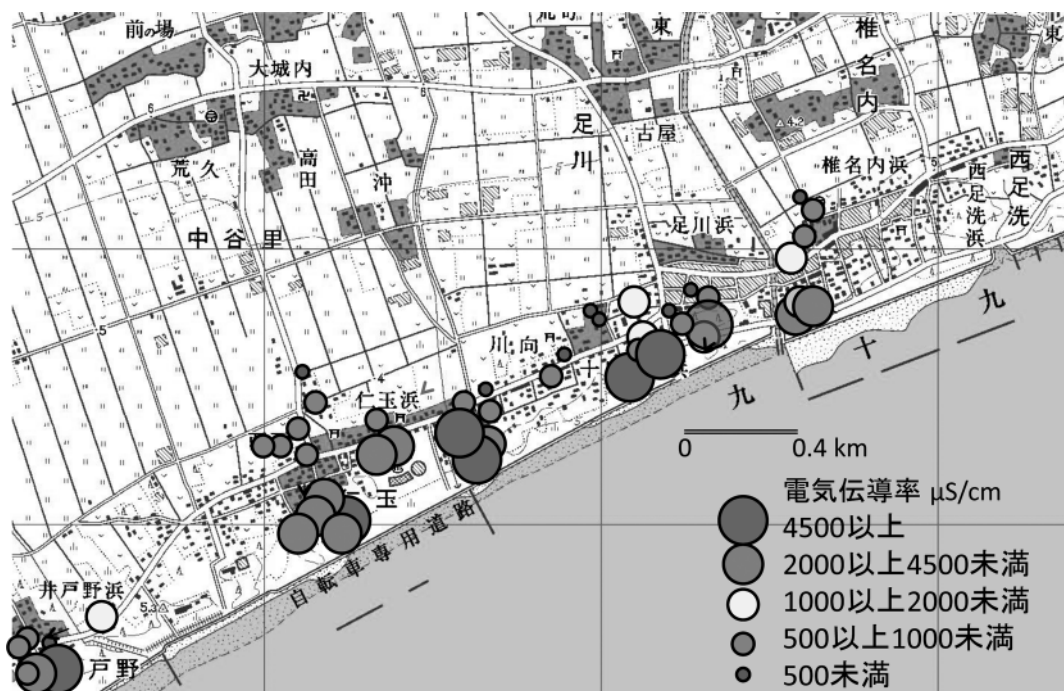


図3 地震の2ヶ月後における地下水の電気伝導率分布（5月）

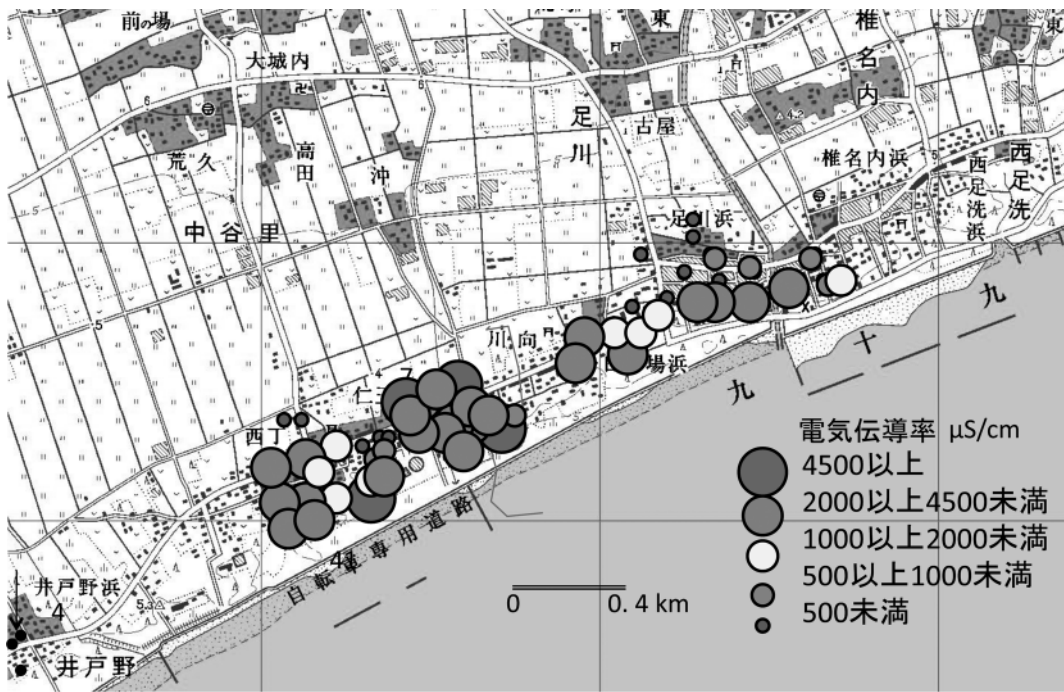


図4 地震の8ヶ月後における地下水の電気伝導率分布（11月）





写真 4 津波の浸入経路となった水路の一つ

た井戸である。また、5月の時点では海岸線に近い井戸では電気伝導度が $2000\mu\text{S}/\text{cm}$ を超える地点が多く、内陸にむかって値が低下していて、津波の高さが海水の地下水への混入率に影響を与えていることがうかがえる。

一方、11月には5月に観測された高濃度点では濃度の低下がみられたが、 $4500\mu\text{S}/\text{cm}$ を超える地下水が仁玉地区の水路沿いおよび道路沿いに新たに出現した。したがって11月には海岸からの距離と伝導率の関係は不明瞭となっている。

聞き取り調査によると、津波は海岸に到達すると海岸線から一斉に上陸すると同時に、近くの水路（写真4）に早い速度で浸入した。狭い水路に入った津波はすぐに両脇からあふれ出したため、水路の近隣では水路から津波が来たような状態となった。一部の住民は、海岸からの津波と水路からの津波がぶつかり、交差するのを目撃している。このため、水路近くの井戸は、内陸でも高い電気伝導率を呈していると考えられる。

また、海岸より内陸側 $0.3\text{km}$ から $0.4\text{km}$ のところを海岸線と並行に走る道路は標高が $4\text{m}$ 前後であるが、調査地域内の殆どで海岸線から浸入してきた津波はこの道路を超えた。足川地区西では $0.5\text{m}$ ほどの高さで道路を超え、仁玉地区では水路沿いに素早く入った津波がくるぶしほどの高さで道路北側に流れてきたとのことであった。道路に到達した津波高が低かった仁玉地区では、津波が引く時に、海水が道路沿いに取り残され、浸透したために11月に新たな高塩分の地下水が道路沿いに出現した可能性がある。

このような複雑な津波の流向および、残留分布が津波の影響による地下水の塩水化の空間分布を、さらにばらつきの大きいものに行っていると考えられる。

5月におけるECの最も高い値は $16008\mu\text{S}/\text{cm}$ であり、海水の $1/3$ ほどの塩分と推定された。この井戸は海岸から $200\text{m}$ ほど内陸にある。海岸との距離がほぼ同じ隣家の井戸の電気伝導率は $6572\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。この2つの井戸は共に $1.5\text{m}$ ほどの津波を被った。海岸からの距離も井戸深度もほぼ同じであるが、濃度の低い井戸は水産加工場が所有して津

波直後から地下水利用を継続しているため、津波後の積算揚水量が、民家所有の井戸に比べかなり多いと推定される。大量の揚水が海水が混入した地下水をすばやく除去し、淡水地下水との置換を促進した結果、電気伝導率が低下したと考えられる。使用量の多い井戸は11月には $1140\ \mu\text{S}/\text{cm}$ に、民家の井戸も5月以降揚水を続け、11月には $3220\ \mu\text{S}/\text{cm}$ に濃度が低下していた。WHO（2010）は津波後の揚水が必ずしも水質を回復させるものではなく、海水を引き込む可能性があるとして津波後の揚水に警鐘を鳴らしている。しかし、現在のところ、本地域では、揚水が地下水の循環を促進し、淡水を多く海岸側に引き寄せ、水質の回復に大きく寄与していると推定される。

#### 4.2.4 硝酸性窒素

津波による海水の浸入以外に、地震と津波による地上の家屋や水産加工工場、または地中にある浄化槽などの破損による地下水汚染を想定し、採水した地下水中の硝酸性窒素濃度についてパケットテスト（共立理化学研究所）を用いて測定した。検出限界は $\text{NO}_3^-$ として $1\ \text{mg}/\text{l}$ である。台地上の津波を被っていない地点を除くと硝酸性窒素が検出された井戸は3本で、他はすべて検出限界以下であった。5月に検出されたのは、ひざ丈－くるぶしの津波を被った1地点で濃度は $\text{NO}_3^-$ として $3\ \text{mg}/\text{l}$ 、人の背丈－ひざ丈の津波を被った1地点で $\text{NO}_3^-$ として $45\ \text{mg}/\text{l}$ 、および人の背丈以上の津波を被った1地点で、 $\text{NO}_3^-$ として $8\ \text{mg}/\text{l}$ である。比較的高濃度を示した民家の玄関先にある $45\ \text{mg}/\text{l}$ 地点の周辺井戸では硝酸性窒素は検出されなかった。スポット的に高濃度となった原因は明らかではないが、この井戸では揚水ポンプが破損しており、地上または地中構造物の破損が原因である可能性が高い。この井戸からの地下水は津波前も津波後も飲用に利用しており、所有者は「しょっぱくなった」という味の変化のみを認識していた。

### 5. 海水の地中への浸入経路

Leclerc ら（2008）は、スリランカにおける調査で、津波の地下水への浸入経路を次の4つに区分している。図5に概念図を示す。

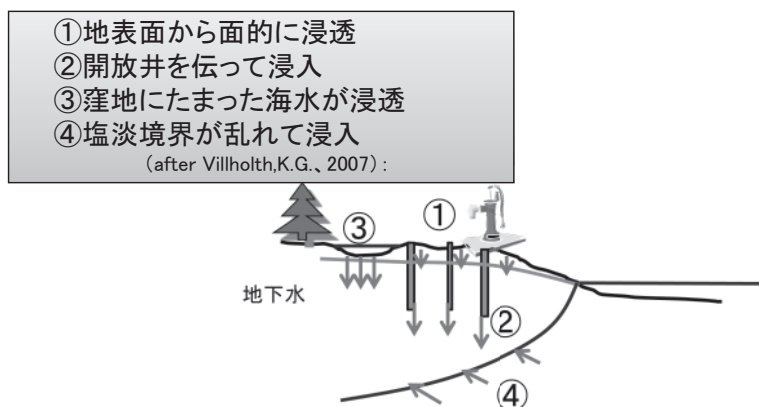


図5 海水の浸入経路

表 3 2011年11月における掘り替えを行った井戸と  
既成井戸の電気伝導率

既成井戸（深度 5 - 7 m） （ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）	掘り替え井戸 （ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）	掘り替え井戸深さ （m）
3900	1980	既成井戸と同じ
3300	1760	10m
2630	760	17m
5120	1010	13m
3660	1320	11m

- ① 地表面を覆った津波による地表面からの浸透
- ② 開口している井戸からの直接浸入。
- ③ 地表面の凹地にたまった海水の浸透
- ④ 海水—淡水境界面が地震により乱されることによる塩水化

本調査地域においては②の開口している井戸はなく、すべての井戸が蓋などで覆われていた。しかし、5月に調査においても、11月の調査においても掘り替えた井戸から得られた地下水の電気伝導率が、近くの掘り替えを行っていない井戸より低いことから（表3）、井戸を伝って海水が地下へ浸入したと考えられる。

一方、掘り替えた井戸から得られた地下水の電気伝導率は、津波の影響がなかった井戸の電気伝導率ほど低くはなかった。このことから地表面を広範囲で覆った海水が降下浸透し、5月の時点では5-7m深度にある地下水の水質に影響をおよぼしている（①）と考えられる。また、5月には電気伝導率が低かった11m深度の井戸から11月には1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ を超える地下水が得られたことから、海水浸透の影響が深度方向にも広がりつつあることが示された。

聞き取り調査によると、地形の微細な高低により津波が内陸に取り残され、くぼ地からの浸透（③）も生じたとのことで、海水がたまったというわずかなくぼ地に、その痕とみられる大量の白い砂の堆積物が地表面に残っていた。このようなくぼ地や道路の北側では、津波が引いたあとでも海水が残り、周囲より多くの海水が浸透した可能性がある。したがって、このようなところでは、今後、塩分を含んだ地表の砂を除去した上で、地下水水質への影響を注意深く観察する必要がある。

以上より、本研究地域において津波は地表面から広く浸透したと同時に、井戸を介しても地下へ浸入したと推定される。浸透した海水は津波の8カ月後において面的にまた、深度方向にも広がりつつあることが示された。

## 6. まとめ

東北地方太平洋沖地震により最大で7.6mに達する津波を被ったとされる、千葉県旭市の海岸沿いの地下水利用への津波の影響について、地震の2カ月後および8カ月後に住民への聞き取りと水質測定による調査をおこない、以下の結果を得た。

### 物理的被害：

ひざ丈以上の津波を被ったすべての井戸と、それ以下の津波を被った一部の井戸で、揚水ポンプが流失または故障して地震後に地下水利用が一時的に困難となった。井戸本体の破損により地下水利用ができなくなったのは、調査したのべ123本中3本のみであった。本地域の浅井戸は地上構造物に比べ地震や津波に強く、揚水手段さえ確保できれば津波が引いた直後から利用できたと推定される井戸がほとんどであった。

### 地震後の地下水利用：

地震後すぐに、がれきの片づけや洗浄に水が必要であったことから、揚水ポンプの破損があった井戸でも早い所では地震翌日から新しいポンプを設置して揚水を再開しており、地震2カ月後においては、井戸の掘り替え、新しい揚水ポンプの設置により、すべての井戸で地下水利用が再開されていた。

### 海水の混入：

地下水の電気伝導率分布には非常に大きなばらつきがみられ、海水の混入率が局所的に大きく異なることが示された。ただし、2カ月後においてはひざ丈以上の津波を被ったほとんどの井戸で電気伝導率が1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  を超え、海水の混入が広範囲で生じていることが考えられた。高い津波を被った地域では高い海水混入率がみられ、海水の混入率は津波の高さの影響を強く受けている。また、地震後の地下水揚水量が多い井戸は海水混入率が低く、揚水が海水の影響を受けた地下水を除去し、水質の回復を促進していることが示された。

### 海水の浸入経路と影響深度：

5－7mの浅い深さに掘り替えをおこった井戸から得られた地下水の電気伝導率は近隣の井戸からの地下水より値が低いものの海水の混入が認められたことから、海水は地表面から面状に浸透したと同時に、井戸を介して地下に浸透したと推測された。また、深度11m－17mの深さに掘り替えを行った井戸からの地下水には11月の時点で海水の混入が認められることから、津波の影響は地震後2カ月時点では深度7mより浅い部分に留まっていたが、8カ月後には10m以深に広がりつつあることがわかった。

塩水化した地下水は、長期的には自然に序々に淡水と入れ替わると推測される。しかし、これ以上の塩水化を防ぎ、より早く淡水に回復させるためには、津波によって運ばれてきた塩分を含む地表堆積物を除去するとともに、注意深いモニタリングをしながら地下水利用を継続することが淡水との置換を促進して効果的である可能性が高い。

### 謝 辞

本調査を行うにあたり、千葉県旭市市役所、および旭市の住民の皆さまにご協力いただいた。ここに記して感謝します。



## 参考文献

- 金子文宜・今泉眞之・浜田浩正・小前隆美 (1994): 九十九里海生砂質沖積地における帯水層係数と地下水流動の実態, 日本土壤肥料学会誌65, 3, 297-303.
- 酒井隆太郎・宗像雅広・木村英雄・市川八洲夫・中村克 (2011): 広域地下水流動モデル検証のためのデータ整備方法の検討—房総半島の例—, 日本原子力開発機構成果報告書.
- Leclerc, J-P., C. Berger, A. Foulon, R. Sarraute, and L. Gabet (2008): Tsunami impact on shallow groundwater in the Ampara district in Eastern Sri Lanka: Conductivity measurements and qualitative interpretations. *Desalination* 219, 126-136.
- Illangasekare, T., S. W. Tyler, P. T. Clement, K. G. Villholth, A. P. G. R. L. Perera, J. Obeysekera, A. Gunatilaka, C. R. Panabokke, D. W. Hyndman, K. J. Cunningham, Jagath J. Kaluarachchi, W. W.-G. Yeh, M. T. van Genuchten and K. Jensen (2006): Impacts of the 2004 tsunami on groundwater resources in Sri Lanka, *Water Resour. Res.*, 42, W05201, doi: 10.1029/2006WR004876.
- Ravisankar N. and S. Poongothai (2008): A Study of groundwater quality in Tsunami affected areas of Sirkazhi Talukm Nagapattinam District Tamilnadu, India. *Science of Tsunami Hazards*, 27, 1 Published Electronically.
- Villholth, K. G. (2007): Tsunami impacts on groundwater and water supply in eastern Sri Lanka, *waterlines* 26,1.
- WHO (2010): Cleaning wells after seawater flooding, WHO technical Note for Emergencies No.15.

## 参考ホームページ:

- 都司嘉宣 (2011) 「茨城・千葉での海岸津波高さ」  
[http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103\\_tohoku/tsunami](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/tsunami) (2011.7.07)
- 国土地理院 (2011) 「浸水範囲概況図20」  
<http://www.gsi.go.jp/common/000060334.pdf> (2011.7.07)
- 千葉県 (2011) 「指標で知る千葉県2010」  
<http://www.pref.chiba.lg.jp/toukei/toukeidata/shihyou/shihyou2010/index.html>  
(2011.7.07)

## [抄 録]

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に続いて発生した津波は東日本沿岸に甚大な被害をもたらした。津波の千葉県旭市沿岸部における地下水利用への影響について、地震2カ月後および8カ月後に住民への聞き取りと水質測定による調査をおこなった。

旭市に到達した津波は最大7.6mと推定され、地上構造物が大きな被害を受けた。地震直後、ひざ丈以上の津波を被った全ての井戸で揚水ポンプの流失等により地下水利用が一時的に困難となった。しかし、のべ123本の調査井（浅井戸）中、井戸本体に破損があったのは3本のみで、多くの井戸で地震後一週間以内に、地震2カ月後においてはすべての井戸で地下水利用が再開されていた。浅井戸は地上構造物に比べ地震や津波に強く、ほとんどの井戸で適当な揚水手段さえ確保できれば、地震直後から地下水利用が可能であったと推定される。

地震2カ月後、津波を被ったほとんどの井戸で電気伝導率が $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ を超え、海水の混入が広範囲で認められた。海水は地表面からの面状に浸透すると同時に井戸を伝っても地下に浸透したと推定された。海水混入率は局所的に大きく異なり、津波の高さの影響を強く受けていることがわかった。また、地震後の揚水が海水を含んだ地下水を除去し、水質の回復を促進していることが示された。地震8カ月後には多くの井戸で電気伝導率は低下したが、新たな高い値を示す井戸が出現し、その分布は面的にも深さ方向にも広がっていることがわかった。

塩水化した地下水は長期的には自然に淡水と入れ替わると推測されるが、これ以上の塩水化を防ぎ、より早く淡水に回復させるためには、地表面の塩分の除去とともに注意深いモニタリングをしながら地下水利用を継続することが効果的であることが示唆された。

キーワード：津波、東北地方太平洋沖地震、塩水化、電気伝導率

## — Abstract —

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake on March 11, 2011 was followed by massive Tsunami which had a devastating effect on the coastal area of eastern Japan. The impact of the Tsunami on groundwater usage and quality in Asahi-city, Chiba prefecture was investigated.

The maximum height of the Tsunami reached Asahi-city was estimated to be 7.6m. All wells that covered by the Tsunami higher than human knee level lost their groundwater usage due to electric pump failure. Only 3 out of 123 wells investigated were collapsed by the Tsunami. Many wells and pumps were repaired/replaced within one week after the Tsunami and all wells were in use 2 month after the Tsunami. This suggests that groundwater could be obtained through the wells right after the Tsunami if proper pumping measure would have been implemented.

Most groundwater affected by the Tsunami showed high electric conductivity (EC) of more than  $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicating broad area of groundwater contamination

by seawater 2 months after the Tsunami. The seawater entered into the shallow aquifer by infiltrating through the ground surface during the inundation, and also by flowing downward along/through the wells. The large variation in EC was observed among the affected wells. The EC value was, however, correlated with height of the Tsunami reached each area and also with post-tsunami groundwater pumping. The post-tsunami pumping is effective in reducing salt concentration in the groundwater. EC values in many wells decreased after 8 month after the Tsunami, however, new hot spots were found and seawater affected groundwater spreaded both laterally and vertically.

The groundwater quality should recover naturally in the long term. It was, however, suggested that removing salt containing deposits on the ground surface to avoid further salt infiltration, and groundwater pumping with careful monitoring to remove contaminated groundwater from the aquifer would be effective for faster recovery of the groundwater quality.

Key words: Tsunami, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, salinity, electric conductivity.