
災害による断水が発生した際の血液透析 における地下水の利用について

三上慶大*、佐藤隆太**、松岡厚志*、齋藤綾乃***、
朝倉受康***、畠山 卓***、熊谷 誠*
秋田赤十字病院 医療技術部 機器管理課*、同 腎臓内科***
秋田大学医学部付属病院 血液・腎臓・膠原病内科**

About using groundwater in hemodialysis when a water cut occurs due to a disaster

Keita Mikami*, Ryuta Sato**, Atsushi Matsuoka*, Ayano Saitou***,
Juko Asakura***, Takashi Hatakeyama***, Makoto Kumagai*
Equipment Management Division*, Department of nephrology***
Akita Red Cross Hospital
Department of Hematology, Nephrology and
Collagen Disease Internal medicine** Akita University Hospital

<緒言>

大規模自然災害時で広域断水が生じた場合、透析液の原水に公共水道水を使用している施設では、血液透析が施行不能となる。当施設では平成27年7月以降、医療用水・飲料水等の水源として91～98%を地下水から確保している。地下水と公共水道水の水質を調査し、長期間の広域断水時でも、地下水のみを原水とした血液透析が、施行可能かどうかを検証したので報告する。

<方法>

当施設における以下の項目について調査した

- 地下水源と公共水道水源
- 被災の危険性と立地条件（秋田市地震防災マップと秋田市災害ハザードマップ）
- 地下水処理方法
- 地下水処理システムの水供給能力
- 地下原水・公共水道水・処理後の地下水と公共水道水の混合水（以下：混合水）の水道水質基準（51項目）
- 透析用水・混合水・地下水・公共水道水の化学的汚染基準（12項目）と地下水・水道水・混合水・透析用水の生物学的汚染基準
- 地下水使用開始前後の透析用水伝導率と残留塩素と生物学的汚染の変動

水質調査方法

- 公共水道水の水質調査：51項目
仁井田浄水場の浄水処理後の水質データ¹⁾（2018年7月の公表値）を参照。
- 混合水の水質調査：51項目
エヌエス環境株式会社 総合分析センター（盛岡）にて毎月、水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法（平成15年厚生労働省告示第261号）に従い測定をし、当施設に提出している検査結果を参照。
- 地下水原水の水質調査：51項目
エヌエス環境株式会社 総合分析センター（盛岡）にて毎年8月頃に、水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法（平成15年厚生労働省告示第261号）に従い測定をし、当施設に提出している検査結果を参照。
- 地下水・公共水道水・混合水・透析用水の化学的汚染基準の水質調査：12項目
キット：PEK-12[®]（ニプロ）を用いて、外部委託にて調査。
- エンドトキシン測定
キット：Mini LAL[®]（富士フィルム）、装置：トキシノメーターMT-6500[®]を用いて比濁時間分析法にて調査。
- 細菌数測定
キット：37mmクオリティーモニター[®]（日本ポール）、M-TGE液体培地[®]（日研生物医学研究所）を用いてメンブランフィルタ（MF）法にて17～23℃で7日間の培養にて調査。

<結果>

1. 当施設の水源

当施設の水源は地下水と公共水道水の2系統である。

地下水源は猿田川水系であり深さ30.9mの深井戸である。深井戸は、硬い岩盤層の下で長い年月をかけて染み出た水が豊富にあり、地表汚染の影響を受けにくく、水質も安定している。ボーリング時の水質結果からも当施設の水質は安定していた。

公共水道水は雄物川水系であり仁井田浄水場から手形山配水場を經由し当施設へ配水されている。

2. 当施設の被災の危険性と立地条件

秋田市での最大震度の場合で想定される倒壊率を現した秋田市地震防災マップ（地域の危険度マップ 南部地域版²⁾）では、当施設の建物倒壊リスクはランク1（倒壊率3%未満）である。秋田市洪水災害ハザードマップ（猿田川³⁾）では浸水の被害は少ないと想定であり、秋田市の想定では建物倒壊と洪水の被災の可能性は低いという結果である（図1）。

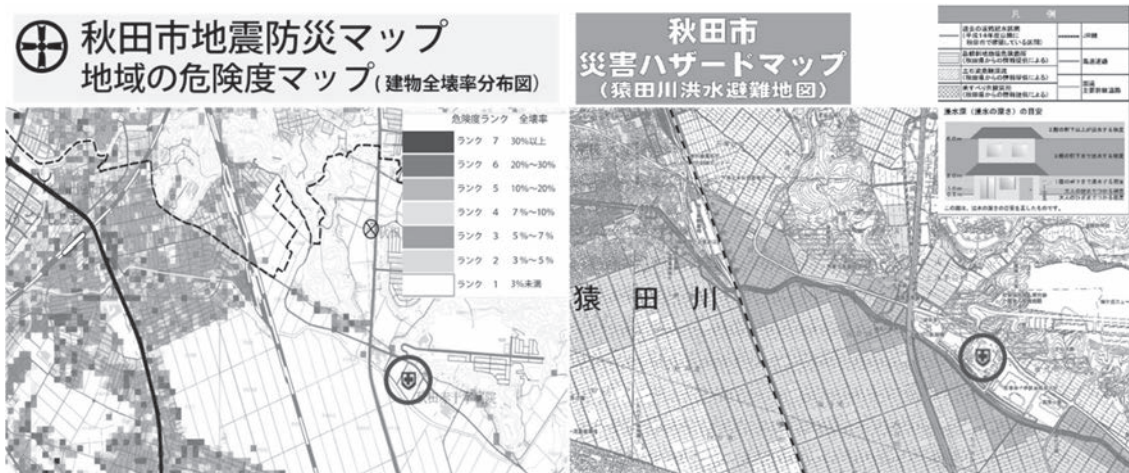


図1 秋田市危険度マップ、洪水ハザードマップ

3. 地下原水処理方法について

地下源水は徐鉄除マンガン濾過塔→活性炭濾過塔→RO膜濾過ユニットを經由して処理され、貯水槽で公共水道水と混合され供給される。水道法基準をみたすために、塩素は活性炭濾過塔にて除去されるので、RO膜濾過ユニットのあとに再度注入されるシステムとなっている（図2）。地下水処理システムは、伝導率・残留塩素・pH・圧力・水量など透析用水作製装置管理基準に準じた点検を毎日行っている。濁度、色度は週1回行っている。

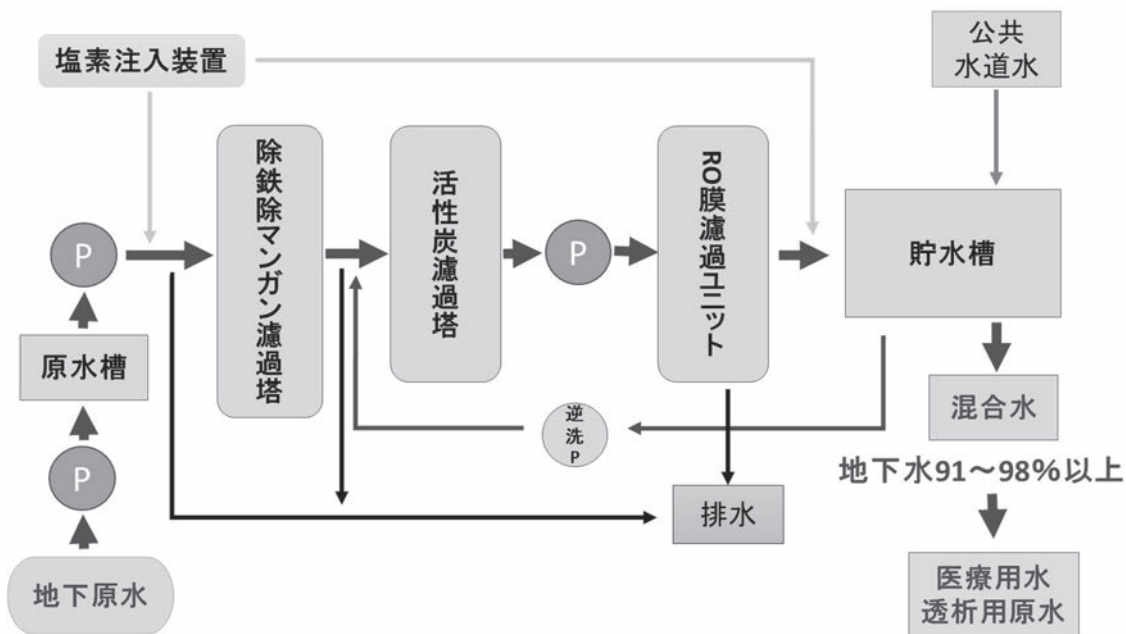


図2 地下水処理システム概要

4. 地下水処理システムの水供給能力

地下水処理システムの1日の最大供給量は297 tである。当施設での1日の水の平均総使用量は透析用原水を除いて230 tである。透析用原水の使用量はコンソール30台で、血液透析（HD）を

行った場合は1クール当たり12tである。

公共水道水の断水時に血液透析を1日3クール施行した場合における、当施設の水の総使用量を計算すると

$$36t + 230t = 266t (< 297t/\text{日})$$

これは地下水処理システムの最大供給量で必要十分量を満たしている。

また、地下水処理システムは、非常用発電機にて停電時も動作が可能である。

5. 地下原水・混合水・公共水道水の水質基準結果 (51項目)

地下原水は処理前なので基準値を超えているが、混合水・公共水道水は水道法の水質基準を満たしている (表1)。

表1 水道水水質基準51項目結果

		地下原水	混合水	公共水道水		地下原水	混合水	公共水道水
1 一般細菌	個/mL	0	0	0	27 総トリハロメタン	mg/L	<0.001	0.015
2 大腸菌	-	陰性	陰性	陰性	28 トリクロロ酢酸	mg/L	<0.003	0.002
3 カドミウム及びその化合物	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003	29 ブロモジクロロメタン	mg/L	<0.001	0.006
4 水銀及びその化合物	mg/L	<0.00005	<0.00005	<0.00005	30 ブロモホルム	mg/L	<0.001	<0.001
5 セレン及びその化合物	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	31 ホルムアルデヒド	mg/L	<0.008	<0.008
6 鉛及びその化合物	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	32 亜鉛及びその化合物	mg/L	<0.01	<0.01
7 ヒ素及びその化合物	mg/L	0.001	<0.001	<0.001	33 アルミニウム及びその化合物	mg/L	<0.02	<0.02
8 六価クロム化合物	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	34 鉄及びその化合物	mg/L	1.2	<0.03
9 亜硝酸態窒素	mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	35 銅及びその化合物	mg/L	<0.01	<0.01
10 シアン化物イオン及び塩化シアン	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	36 ナトリウム及びその化合物	mg/L	26	6.7
11 硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	mg/L	<0.02	0.03	<0.4	37 マンガン及びその化合物	mg/L	0.15	<0.005
12 フッ素及びその化合物	mg/L	<0.08	<0.08	0.16	38 塩化物イオン	mg/L	28	2.5
13 ホウ素及びその化合物	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	39 カルシウム、マグネシウム等(硬度)	mg/L	18	<5
14 四塩化炭素	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	40 蒸発残留物	mg/L	160	15
15 1,4-ジオキサン	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	41 陰イオン界面活性剤	mg/L	<0.02	<0.02
16 シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	<0.004	<0.004	<0.002	42 ジェオスミン	mg/L	<0.000001	0.000002
17 ジクロロメタン	mg/L	<0.002	<0.002	<0.001	43 2-メチルインボルネオール	mg/L	<0.000001	0.000001
18 テトラクロロエチレン	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	44 非イオン界面活性剤	mg/L	<0.005	<0.005
19 トリクロロエチレン	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	45 フェノール類	mg/L	<0.0005	<0.0005
20 ベンゼン	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	46 有機物(全有機炭素(TOC)の量)	mg/L	<0.3	<0.3
21 塩素酸	mg/L	-	0.06	<0.06	47 pH値	-	7.1	7.0
22 クロロ酢酸	mg/L	-	<0.002	<0.002	48 味	-	測定不可	異常なし
23 クロロホルム	mg/L	-	<0.001	0.005	49 臭気	-	金気臭	異常なし
24 ジクロロ酢酸	mg/L	-	<0.003	0.004	50 色度	度	16	<0.5
25 ジブromクロロメタン	mg/L	-	<0.001	0.004	51 濁度	度	1	<0.1
26 臭素酸	mg/L	-	<0.001	<0.001				

6. 透析用水・混合水・地下水・公共水道水の化学的汚染基準結果 (12項目)

透析用水のみ適応される基準のため、基準値を満たしている。混合水・地下水・公共水道水は化学的汚染基準を満たしていなかった。(表2)。

7. 生物学的汚染基準結果

透析用水のみに適応基準のため、測定結果は基準値を満たしている。処理後の地下水も基準を満たしていたが、混合水・公共水道水・地下原水はエンドトキシンが基準値を超えている (表3)。

8. 地下水使用開始前後の透析用水生物学的汚染の変動

2015年7月の地下水使用開始前後での、エンドトキシン・細菌数ともに変化はなかった (図3)。

9. 地下水使用開始前後の透析用水伝導率、残留塩素の変動

2015年7月の地下水使用開始前後での、伝導率・残留塩素も変化はなかった (図4)。

表2 化学的汚染基準12項目結果

		透析用水	混合水	地下水 (処理後)	公共水道水	基準値
1	アルミニウム	<0.001	<0.001	<0.001	0.027	0.01以下
2	総塩素	<0.05	0.5↑	0.4↑	0.4↑	0.1以下
3	銅	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1以下
4	フッ素化合物	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.2以下
5	鉛	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005以下
6	硝酸塩	<0.2	<0.2	<0.2	0.3	2以下
7	硫酸塩	<1	<1	<1	12	100以下
8	亜鉛	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1以下
9	カルシウム	<0.05	0.47	<0.05	7.4↑	2以下
10	マグネシウム	<0.05	0.15	<0.05	2.1	4以下
11	カリウム	<0.05	0.09	0.14	1.9	8以下
12	ナトリウム	0.27	5.2	7.9	12	70以下

表3 生物学的汚染基準結果

	透析用水	混合水	地下水 (処理後)	公共 水道水	地下原水	基準値
エンドトキシン	0.00035 ↓	0.1173	0.0018 ↓	3.126	0.293	0.05 EU/mL未満
細菌数	0	3	0	0	5.6	100 CFU/mL未満

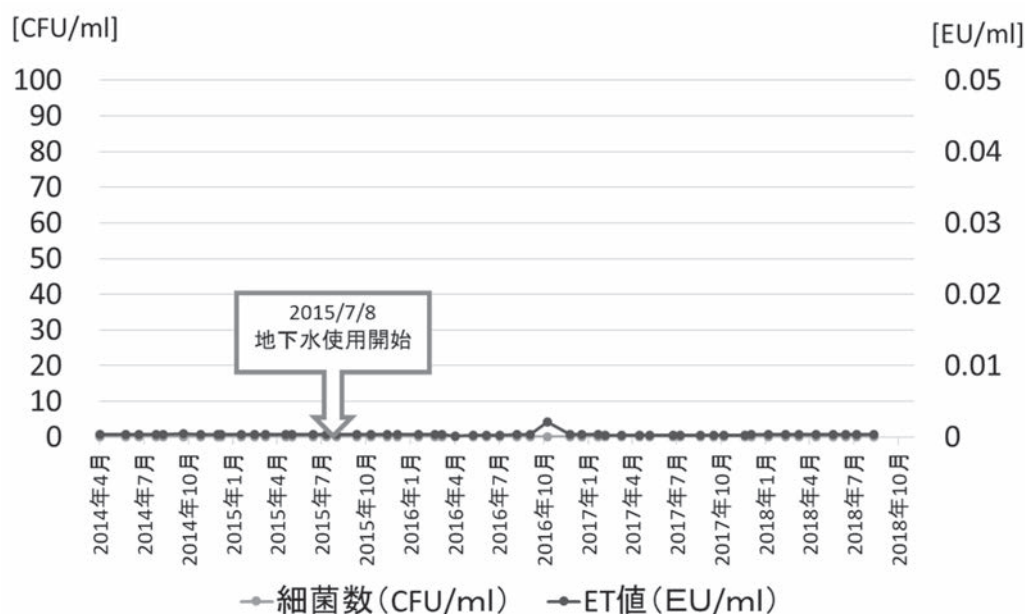


図3 透析用水の生物学的汚染の変動

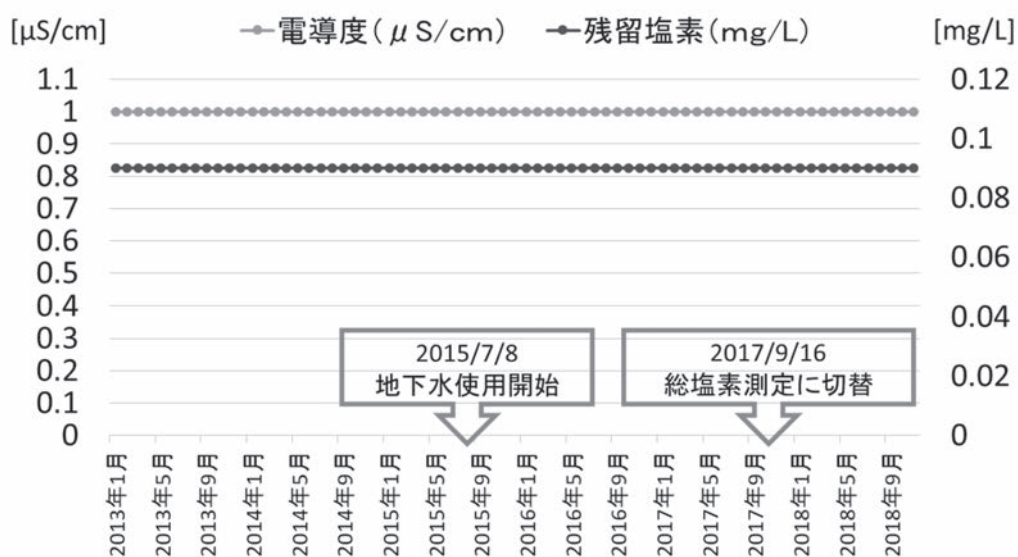


図4 透析用水の伝導率、残留塩素の変動

<考察>

● 電力・水・燃料の確保について

日本透析医学会の災害時透析医療展開への提言では、広域災害時の対処方法は二つの方法が示されている。地域透析拠点病院方式は、被災を免れた近隣の透析可能な地域中核病院に十分量の電気・水・燃料を集中投入し、そこに患者を集める方式とされ、域外移送方式は、ライフラインの稼働している遠方の透析施設に患者を搬送する方式としている⁴⁾。

秋田市の地域防災計画では「医療機関は、ライフラインの確保に係る貯水タンクおよび自家発電装置等の整備、災害時におけるライフライン等の優先使用、および優先復旧の契約等に努める」⁵⁾とあり、医療機関の規模によっては難しいと考える。

● 水質基準について

透析用水作製にあたっては、透析用原水が水質基準を満たすことが必須である。また、公共水道水の断水時であっても、当施設では水道法の水質基準を満たした地下水を使用できる可能性が高く、血液透析療法が継続可能であった。

<結語>

当施設では十分な地下水処理能力があり、断水時でも透析医療継続能力を有する。

当施設での地下水を使用した透析用水は、化学的・生物学的汚染基準を満たしていた。

<参考文献>

1) 水質検査結果速報値

<https://www.city.akita.lg.jp/suido/jigyo-shokai/1008191/1008411.html>

2) 洪水ハザードマップ（猿田川）

<https://www.city.akita.lg.jp/bosai-kinkyu/bosai/1002188/1009665/index.html>

-
- 3) 秋田市地震防災マップ地域の危険度マップ（南部地域版）
<https://www.city.akita.lg.jp/kurashi/bosai-kyukyu/1007817.html>
- 4) 政金生人、他：東日本大震災学術調査報告書 災害時透析医療展開への提言、一般社団法人日本透析医学会 東日本大震災学術調査ワーキンググループ、提言一覧：12項、医学図書出版株式会社、東京、2013.
- 5) 地域防災計画 第3編一般災害対策編 第2章 災害予防計画
<https://www.city.akita.lg.jp/bosai-kinkyu/bosai/1011437/1001601.html>