

災害時透析医療対策としての地下水利用

隈 博政

医療法人くま腎クリニック

key words：災害時透析医療，給水制限，水道代削減，地盤沈下，地下水汚染

要 旨

過去の災害事例を振り返ると，断水を含む給水制限が頻繁に実施されている。災害時における透析医療用水量の確保として，地下水利用の意義は大きい。さらに水道代の削減にもなる。しかし，地盤沈下や地下水汚染の問題があり，地下水利用に際しては揚水規制に合致した計画や浄水処理システムが必要である。

1 はじめに

2005年3月20日の福岡県西方沖地震では幸いにもライフラインへの被災が軽微で，翌日の透析治療には水道も電気も止まることは無かった。しかし，全国の過去の災害事例をみると，水道の給水制限は頻繁に行われている。

当院は，災害時における透析医療用水量の確保と水道代の削減を兼ねて，2002年1月に井戸ボーリング工事（井戸口径φ150 mm，掘削深度120 m）を行い，地下水利用を行っている。さらに2004年に非常用発電装置を設置し停電時においても揚水できるようにした。

ここでは，過去の給水制限の例，地下水とその利用およびメリット，地下水利用における問題点について述べる。

2 災害時の給水制限

① 福岡県の例

大きな河川がない福岡都市圏は慢性の水不足の状態であったが，1978年と1994年の大渇水で，それぞれ300日近い給水制限を実施した。特に，1978年は5時間給水や，4万戸を超えた完全断水もあった。しかし血液透析実施医療機関（以下，「透析施設」と略）に対しては，両期間ともに保健所の配慮により水道局が優先的に給水を行った（表1）。

② 沖縄県の例

1972年の本土復帰以来，1994年度までの23年間のうちの14カ年で延べ1,130日もの給水制限を余儀なくされた。特に，1981～1982年の渇水時の給水制限は326日間に及び全国の断水記録の1位である。最近では1991年に24時間断水を含む64日間にわたる給水制限を実施した。

③ 長崎県の例

1982年7月23日の集中豪雨で，水害にともなう断水被害が発生し，水道局や自衛隊は給水車や給水船による給水支援を行った。

④ 鹿児島県の例

1993年の大型台風13号による集中豪雨で，透析施設も機器の冠水などの被害や停電のほかに，長期間の断水があり，自家用揚水設備のない透析施設は水の確保に苦労した¹⁾。

⑤ 香川県の例

1994年は異常少雨で，6月29日から減圧給水，7月11日からは夜間断水の給水制限が実施され，11月14日の台風29号の降雨まで続いた。

表1 給水制限における非常用医療機関への給水の取り扱い方針

福岡市 平成6年7月27日

(目的)
1 渇水等に伴う給水制限を実施するに当たり、人命救助に支障が生じないよう、給水に関する必要な事項を定めるものである。
(定義)
2 非常用医療機関とは、人命救助のために、給水の確保について特段の配慮を要する医療機関で、別表の救急告示病院、総合病院及び人工透析実施病院をいう。
(事前協議)
3 営業所長と非常用医療機関の給水装置の所有者、使用者又は代表者（以下「医療機関」という。）は、給水制限を実施するにあたり、あらかじめ、次項及び第5項について協議し、双方の意思疎通を図るものとする。
(所有者等の責務)
4 医療機関は、次のことに努めるものとする。
(1) 断水時間中に医療上必要な水量（以下「所要水量」という。）を、給水時間中に、受水槽への流入や給水タンクでの備蓄により確保すること。
(2) 必要により、給水タンクなどの備蓄用具を準備すること。
(3) 井戸水などの利用により、所要水量を確保すること。
(断水中の受水及び運搬給水)
5 医療機関は、前項(1)及び(3)によっても、所要水量に不足をきたす場合は、断水時間中であっても、給水装置の所在地の営業所長に連絡することにより、次の方法により給水を受けることができる。
(1) 給水タンクとその積載車両などの受水用具を準備すること。 ただし、医療機関からの要請があり、営業課長が必要と認めた場合は、給水タンクを貸与する。
(2) 医療機関の受水は、医療機関の給水タンク及び車両により、営業所長の定める場所で、水道局が給水することとする。 ただし、営業所長が必要と認めた場合は、水道局の給水タンク及び車両により、医療機関へ運搬給水することができる。
(施行日)
6 この方針は、平成6年7月27日から施行する。

⑥ 阪神大震災の例

1995年1月17日の阪神大震災では、阪神・神戸地域の45カ所の透析施設のうち、施設の被害や断水、停電のため、21カ所で治療ができなくなった。内藤氏によると、水の確保には水道局や自衛隊からの給水車による給水や、海水一淡水化プラント車の手配も行っている²⁾。

1カ月以上もの断水があり、給水車による給水が始まるまでの間、20kgポリ容器や支援物資の500kg容器を車に積み込み、病院一水源地間を往復して透析用水を確保したり、井戸・湧き水・消火栓の水を雑用水に利用した病院もあった。

⑦ 岩手県の例

2003年1月、盛岡市築川のトンネル工事現場で起きた灯油流出事故で、沢田浄水場が給水している同市の一部地域が断水や水圧低下となり、給水車が透析施設に待機する事態となった。

⑧ 平成15年十勝沖地震の例

2003年の十勝沖地震における断水に際しては、給水車による配水などで透析医療が行われたが、この間の詳細が赤塚氏により報告されている³⁾。

⑨ 新潟県の例

2004年7月、新潟、福井両県は梅雨末期の集中豪雨に見舞われ、新潟県の1透析施設の断水に対して給水車による給水が行われた。

⑩ 2004年の台風23号の例

2004年10月20日に高知県に上陸した台風23号は、猛烈な風と豪雨で四国から近畿に大きな被害をもたらした。断水や浸水のため透析不能となり他施設に透析を依頼したり、予備貯水タンクや給水車により透析を行った施設があった。

⑪ 新潟県中越地震の例

2004年10月23日の新潟県中越地震では3施設が透析不能となり、透析患者を受け入れた喜多町診療所

では断水に対して給水車による給水を要請し、水道復旧後も水圧が低かったため地下水利用を開始した。

⑫ 宮崎県の例

2005年の大型台風14号により、宮崎市富吉浄水場の冠水で断水となり、災害協定を結んでいる都城、熊本、鹿児島、長崎市から給水タンク車の応援があり、また陸上自衛隊が給水タンク車など20台を派遣した。

3 災害時の治療用水の確保

渇水や台風、あるいは地震などの災害で給水制限となった場合でも、透析患者の生命維持のために、透析施設は所要水量を確保し治療に当たらなければならない。

非常事態の透析に最小限度必要な水量は、最低3時間の血液透析を300ml/分の透析液流量で行うとして、原水からの逆浸透装置(RO)における回収率を70%と仮定すれば、 $300\text{ml} \times 60\text{分} \times 3\text{時間} / 0.7 = \text{約} 80\text{l}$ で、洗浄準備工程を考慮して1人1回最低100l(平常時150~300l)が必要となる。つまり、災害時に1シフト50人の透析を行う場合5tの水量が必要で、1日2シフトなら10tの水量が必要となる。

給水制限時に所要水量を確保するには、地下水の利用か、あるいは水道局へ給水の要請をするなどの給水ルート確保が必要となる。その際には、給水タンクとその積載車両などの受水用具や、受水槽(耐震性タンク)を備えておくことが望ましい。

九州ブロックの地下水利用の普及程度を、各県透析医会の協力で調査した(表2)。

鹿児島県では井戸水の使用や自家発電装置の設置が進み、2002年における50施設の調査では、有効回答40施設中16施設(40.0%)で井戸水の使用がなされ、特に鹿児島市内にその傾向が顕著である。また、自家発電装置も有効回答42施設中32施設(76.2%)で設置されている。

長崎県においても、自家発電装置の設置は66.7%、受水槽の設置は82.4%、井戸水の利用は21.6%の透析施設で行われている。

沖縄県では、陸水の水資源開発だけでは供給不足を解消できないことから、1997年に逆浸透法(RO法)により40,000m³/日の生産水量が得られる「海水淡水化施設」を建設した。そのため、2005年の調査では、自家発電装置の設置とともに、大容量の受水槽設置が普及している。

4 地下水とその利用

1) 浅い地下水と深い地下水

雨水が地下に浸透し砂礫層を中心とする「帯水層」に蓄えられ、地下水となる。地層には水を通す「透水層」と通さない「不透水層」があり、幾重にも交互に積み重なっている。

手堀りや打ち込み式の工法で掘られる「浅井戸」は、表土の下から最初の「不透水層」までの浅い地層の地下水を利用するもので、小雨や空梅雨で水量減少や井戸枯れを来しやすい。さらに、有機溶剤などの汚染物質の混入など地表の影響も強く受けやすい。「深井戸」は「不透水層」の下の地下水(深層地下水)をくみ上げるもので、天候や地表土壌汚染の影響もほとんど受けず、また「深層地下水」は平地の背後に広がる山地に降った雨や雪が地下に浸透し、長い年月をかけて地層でろ過されたもので、清浄である。

2) 地下水利用の用途

日本の地下水使用量は年間合計で約131億m³であり、都市用水および農業用水使用量の約13%を占めている(図1)。地下水は水質や温度の変化がほとんどなく、天候と関係なく安定して得られること、また井戸による取水は水道のような大規模な貯水・取水・供給施設を必要としないことから、飲料水、農業用水、

表2 九州における井戸、受水槽、自家発電の保有状況

地域	井戸	受水槽	自家発電	回答率	調査年
鹿児島県	16/40 (40.0)	33/42 (78.6)	32/42 (76.2)	43/50	2002
長崎県	11/51 (21.6)	42/51 (82.4)	34/51 (66.7)	51/60	2005
沖縄県	3/47 (6.4)	45/46 (97.8)	40/47 (85.1)	47/55	2005
宮崎市	1/20 (5.0)	11/20 (55.0)	1/20 (5.0)	20/20	2005
福岡県	18/62 (29.0)	55/61 (90.2)	43/62 (69.6)	62/116	2005

() 内は%

工業用水として利用されてきた。

また、災害時や断水時における水道に代わる水源として、大型施設や工場等のみならず医療分野においても地下水利用が増加している。近年では、道路消雪用水・都市用冷暖房用水等にも幅広く利用されている。また、地震予知研究を目的として地下水の観測・研究が行われたり、地球温暖化への対策としても着目され

ている。

3) 地下水利用の方法

一般的な地下水活用システムを図2に示す。

従来の凝集沈殿・砂ろ過に加え、前処理で除鉄・除マンガン、活性炭ろ過し、最終的にMF膜やUF膜でろ過すれば、菌類やウイルス類まで除去し、地下水を水道水以上の水質にすることができる。海水の淡水化のみならず、各工業分野での技術進歩に伴う水の高純度化、高品質化にも適している。

5 地下水利用による水道代の削減

1) 水道料金について

水道料金は定額の基本料金と、使用した水量ごとの従量料金からなっている。基本料金は、口径が大きくなるほど高く、従量料金は、用途区分を設け、事業所などで使用する場合（家事以外用）は家庭で使用する場合（家事用）よりも高くなっている。これは、水が限られた資源であることから使用水量が多くなるほど1m³当たりの単価を高くして、節水を促す料金体系となっているためである。

地下水利用の場合でも、地下水利用システムのトラブル時には水道水を利用する必要があるため、水道利

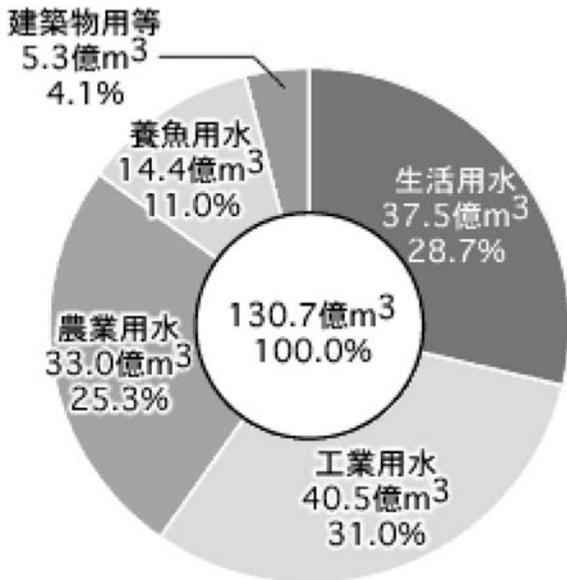


図1 日本の地下水利用

年間合計で約131億m³であり、都市用水および農業用水使用量の約13%。(国土交通省 土地・水資源局 水資源部ホームページより引用)

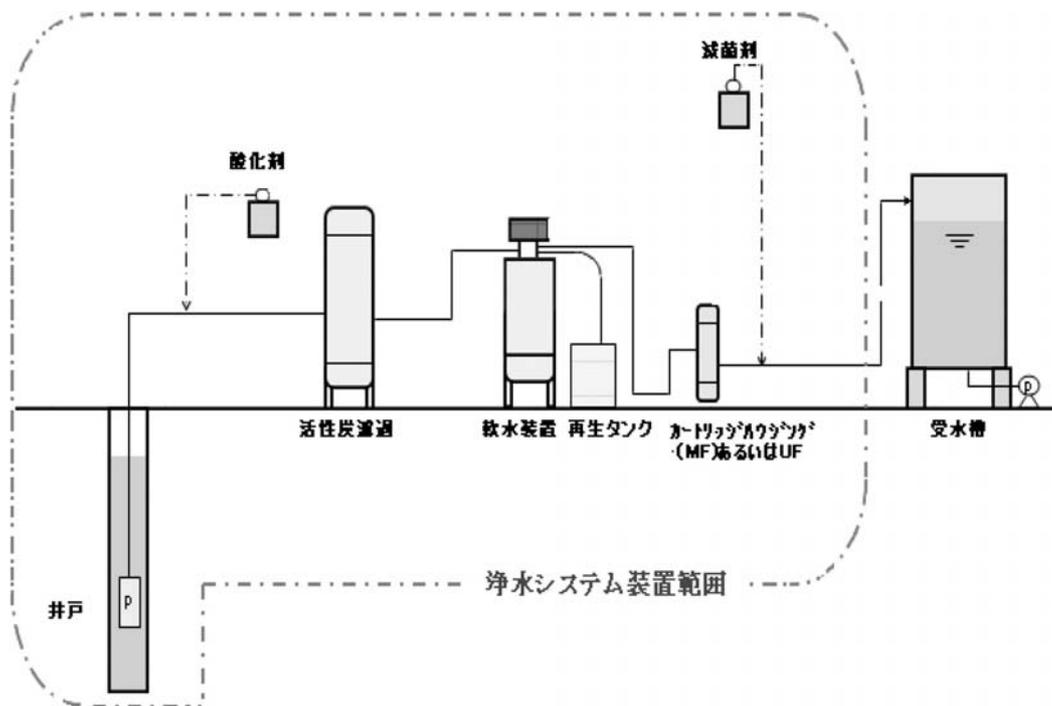


図2 井水浄水処理フローシート例
(ゼオライト(株) 嶋本謙司氏より提供)

用の契約をして基本料金のみ支払うことになる。

補足すれば、地下水利用のため水道水利用をしなくても、下水道料金の負担義務がある。この場合、基本料金は水道料金の場合と異なり、汚水排出量にかかわらず定額である。従量料金は、汚水排出量の該当する区分ごとに1 m³あたりの使用料が変わる。汚水排出量の決め方は、水道水のみ使用している場合は、水道の使用水量を汚水排出量とみなし、井戸水使用家庭は世帯人員に応じ、汚水排出量を認定している。それ以外の井戸水使用では揚水ポンプにメーター（井戸水を汲み上げる揚水ポンプの稼働時間を計測する「時間計」）を設置し、揚水ポンプの揚水能力に稼働時間を乗じて算出した水量をもって水道使用水量に代えている。

2) 地下水利用による水道代の削減

水道の使用水量が増加するにつれ従量単価が上昇するため、工場や病院、大型施設等では水道料金が高騰する。そのため、地下水の利用によりコスト削減を行っている医療施設も多い。

地下水利用による水道代の削減は、地域により水道代に差異があるが、福岡市の例では、下記のように井水導入の初期投資を約3年で償却できる。1日25 tを使用し、井水処理装置概算額（導入コスト）が1,200万円とした場合の例で示す。

●水道使用水量

$$25 \text{ m}^3 \times 365 \text{ 日} \times 488 \text{ 円/m}^3 \\ = 4,453,000 \text{ 円/年間 (導入前)} \cdots \cdots \text{①}$$

●地下水運転コスト

$$25 \text{ m}^3 \times 365 \text{ 日} \times 85 \text{ 円/m}^3 \\ = 775,625 \text{ 円/年間 (導入後)} \cdots \cdots \text{②}$$

上記②-①=3,677,375円/年間のコスト削減（年間メリット）になる。（導入コスト）÷（年間メリット）=12,000,000円÷3,677,375円=3.3年（償却年数）となり、4年目からは十分に地下水利用導入のメリットが望める。

6 地下水の利用とその問題点

1) 地下水利用と地盤沈下

地下水は地盤を構成する要素の一つで、地下水減少により地盤沈下が起きることがある。高度経済成長の過程で地下水採取量が急激に増大し、特に、関東平野、大阪平野、新潟平野、濃尾平野、佐賀平野において著

しい地盤沈下が起こった（図3, 4）。

2) 地下水保全にかかわる対策

① 地下水揚水規制

地下水の保全を目的に、工業用地下水を対象とする「工業用水法」（1956年制定、2000年最終改正）、建築物用地下水を対象とする「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」（1962年制定、2000年最終改正）があり、それぞれ地下水障害の発生地域を指定して地下水の採取規制をしている。また、広範囲に著しい地盤沈下が見られた関東平野北部、濃尾平野、筑後・佐賀平野の3地域については関係閣僚会議において決定された「地盤沈下防止等対策要綱」によって総合的な対策がとられている。

さらに、多くの地方公共団体で地下水の採取を規制する条例を制定している。

東京都は2001年に「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」（略称 環境確保条例）を制定し、井戸本数や1日揚水量規制、井戸揚水配管口径、ストレーナー位置を細かく規定した揚水規制で地盤沈下対策を強化するとともに、雨水涵養等の地下水保全対策を推進している（表3-1, 3-2）。

地下水を利用するには、奥多摩町、檜原村、島しょを除く東京都内全域で、吐出口断面積を6 cm²以下にし、揚水量を平均10 m³/日以下で最大20 m³/日以下とするか（所要水量によっては水道との併用が必要となる）、吐出口断面積によってストレーナーの位置を深くする必要がある。ただし、非常用災害用の井水であれば吐出口断面積に関する規制はない。その場合、あくまでも非常用災害用のため、通常時には原則として使用することはできず、維持管理のための月数回の揚水しか認められない。

大阪府、愛知県、千葉県においても同様に、地下水採取規制地域を設定している。新潟県および千葉県における工業用天然ガス採取に伴う地下水の揚水については、行政指導により天然ガス採取業者による自主規制が行われている。

ほとんどの場合、井戸には既得権が得られるので、災害などの緊急時に備え地下水利用を検討している場合は、できるだけ早急に取り組み必要がある。もちろん、地盤沈下やトラブルが発生しないように、地下水位と適正揚水量を確認して施工する必要がある。



図3 全国の地盤沈下地域の概況
(環境省「全国の地盤沈下地域の概況」による)

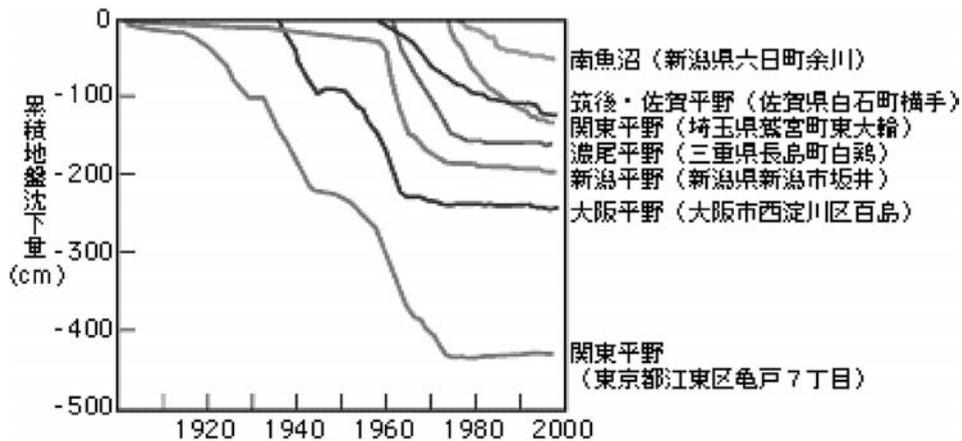


図4 主要地域の累積沈下量図
(環境省「全国の地盤沈下地域の概況」による)

地下水の揚水規制の結果、近年では一時期のような著しい地盤沈下は収まってきている。特に東京では1960年代に比べ地下水位が約20m回復し、地下水位が低い時に建築された地下構造物の浮上という新たな問題も生じてきた。例として、地下水位上昇により東京地下駅が浮上したためJR東日本が莫大な資金を投じて補強工事を行った。

② 地下水涵養（雨水浸透の促進）

最近、地下水位が再び横ばいから下降へと変化する傾向がみられる。これは、都市化の進行により、台地や丘陵地などの雨水浸透域が減少し、市街地の表面がアスファルトやコンクリートに覆われ、雨水が地下に浸透しにくくなっているためと考えられている。

地下水を人工的に涵養する方法として、溜池などの

表 3-1 東京都における揚水施設の構造基準等
(工業用水法, ビル用水法, 環境確保条例)

吐出口断面積 ^(注1)	地 域	ストレーナー の位置	揚水機出力	揚水量
6 cm ² 以下	23 区 26 市 2 町 ^(注2)	深さの制限無し	2.2 kw 以下	平均 10 m ³ /日 最大 20 m ³ /日
6 cm ² を超え 21 cm ² 以下	葛飾, 足立 (荒川左岸のみ), 江戸川 (荒川左岸のみ) の各区	650 m 以深		
	墨田, 江東, 北, 荒川, 板橋, 足立 (荒川右岸のみ), 練馬, 江戸川 (荒川右岸のみ) の各区	550 m 以深		
	千代田, 中央, 港, 新宿, 文京, 台東, 渋谷, 中野, 杉並, 豊島の各区 武蔵野, 三鷹, 小金井, 小平, 東村山, 東大和, 清瀬, 東久留米, 武蔵村山, 西東京の各市	500 m 以深		
21 cm ² を超える	品川, 目黒, 大田, 世田谷の各区 八王子, 立川, 青梅, 府中, 昭島, 調布, 町田, 日野, 国分寺, 国立, 福生, 狛江, 多摩, 稲城, 羽村, あきる野の各市 瑞穂, 日の出の各町	400 m 以深		
	23 区 26 市 2 町	設置禁止		

注 1 吐出口が 2 つ以上ある場合は, すべての吐出口断面積の合計値とする。

注 2 奥多摩町, 檜原村, 島しょを除く都内全域。

表 3-2 東京都における揚水量の報告
(工業用水法, ビル用水法, 環境確保条例)

揚水施設	地 域	揚水機出力	揚水量報告 回数
全て ^(注1)	都内全域(島 しょを除く)	300 w を超 える	年 1 回

注 1 既に設置されている揚水施設も報告の対象となります。
水量測定器は, 揚水施設の設置者が設置すること。

底面から地下に浸透させる方法 (拡水法), 井戸から地下帯水層に涵養する方法 (井戸法) がある。

3) 地下水汚染

近年では, 土壌汚染や地下水汚染により, 水質の保全が重要な課題となっている。地下水汚染は, 有害物質が地下に浸透し, 地下水に溶け込んで発生する。有害物質としては, ハイテク部品やドライクリーニングなどから漏出する揮発性有機化合物 (トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなど) や, 農場やゴルフ場などからの農薬, 汚染土壌等からの重金属や化学物質などがある。

ほとんどの場合, 浅い地下水の汚染であるが, 不透水層のバリアーによって表層の汚染から守られているはずの深層地下水においても, 無造作に掘削されたり, 表層地下水の止水処理が不十分な深井戸によってこの

不透水層のバリアーが破られ, 汚染が深部まで拡散してしまうことがある。有害物質が井戸を通じて深層部へと浸透しないように, 井戸の掘削孔の埋戻しの構造に留意する必要がある。

1970 年に「有害な排水の地下浸透規制」を目的として「水質汚濁防止法」が制定され, 1989 年の同法改正により, 「特定地下浸透水」(カドミウムやその化合物など, 人の健康に係わる被害を生じるおそれのある物質) の浸透の制限がなされ, 都道府県は地下水質の汚染の状況を常時監視するようになった。1995 年の水質汚濁防止法の最終改正により, 汚染された地下水の水質浄化措置についての制度整備が行われた。

また, 1993 年の環境基本法に基づき, 「人の健康保護と生活環境保全のために維持することが望ましい基準 (環境基準)」として, 「地下水の水質汚濁に係る環境上の条件」が 1997 年に設定 (1998 年改正) され, この「地下水環境基準」により, 重金属や揮発性有機化合物, 農薬など 26 項目についての基準が定められている (表 4)。

また, 土壌中の有害物質が地下水等に溶出し, その汚染された地下水等を摂取することにより, 土壌に含まれる有害物質を体内に取りこむのを防止するため, 土壌汚染対策の観点から, 「土壌汚染対策法」(2002)

表4 地下水の水質汚濁に係る環境基準

- 環境基本法（1993）に基づき、人の健康保護と生活環境保全のために維持することが望ましい基準（環境基準）として、地下水の水質汚濁に係る環境上の条件が1997年設定。人為的要因による水質悪化防止が目的。
- 環境基準設定後の年次地下水質測定調査で、1999年の項目見直し以降、5,000件余の調査井戸実数のうち6～8%程度が基準超過。
- 基準が設定されている項目は、水質環境基準の「人の健康の保護に関する環境基準」に準じており、カドミウム、全シアン、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、アルキル水銀、PCB、ジクロロメタン、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,3-ジクロロプロペン、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、ベンゼン、セレン、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素、ふっ素、ほう素の26項目。

に基づく特定有害物質として、鉛、砒素、トリクロロエチレン等の25物質が定められ、掘削除去、原位置浄化、原位置封じ込め、遮水工封じ込め、原位置不溶化、不溶化埋め戻し、遮断工封じ込めなどの措置が行われることとなった。ただし、このように汚染された地下水でも高度な水処理技術（UF膜やROなど）を用いれば、飲料にも適する安全で清浄な水に濾過することは可能である。

地下水導入には、水質、水量、水道料金との比較が重要で、導入前の近隣データ調査やシミュレーションが必要である。

7 まとめ

- ① 地下水利用は非常用水という意味で、自家発電

装置とともに災害時対策として有用である。

- ② 地下水利用は、水道代削減のメリットがある。
- ③ 地盤沈下が著しい地域では地下水の揚水規制があるため、吐出口断面積や揚水量、あるいはストレーナーの位置に注意する必要がある。そのため、井水のみで通常の透析を行うのか、井水と水道を併用するのか、地下水利用を非常用災害用のみとするのか、を検討する必要がある。
- ④ 地下水汚染に配慮し、井水浄化処理システムを決める必要がある。

謝辞

この論文を書くに当たり、資料を提供していただいた日本透析医会理事の杉崎弘章先生、沖縄第一病院の宮城信雄先生、鹿児島県透析医会の前田忠先生、宮崎県人工透析研究会の海老原和正先生、長崎県透析医会の新里健先生、福岡市水道局総務部総務課の山田鉄也氏、福岡市下水道局営業課の三上哲也氏、ゼオライト（株）の嶋本謙司氏にお礼を申し上げる。

文献

- 1) 牧角仙丞：平成5年夏の風水害（鹿児島）と透析。日透医誌，9；176-181，1994。
- 2) 内藤秀宗：激震地の基幹病院では一現地からの報告。臨牀透析，11；7-20，1995。
- 3) 赤塚東司雄：地震の町にきた地震。日透医誌，19；52-67，2004。