

連載：東日本大震災からの10年—国立保健医療科学院からの発信—

<総説>

東日本大震災以降の応急給水活動に関連した取り組みと  
重要給水施設での給水確保

小坂浩司<sup>1)</sup>, 下ヶ橋雅樹<sup>2)</sup>, 秋葉道宏<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 国立保健医療科学院生活環境研究部

<sup>2)</sup> 叡啓大学ソーシャルシステムデザイン学部

Activities related to emergency water supply and securing drinking water for  
important target facilities of water supply after the Great East Earthquake

KOSAKA Koji<sup>1)</sup>, SAGEHASHI Masaki<sup>2)</sup>, AKIBA Michihiro<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Environmental Health, National Institute of Public Health

<sup>2)</sup> Department of Social System Design, Eikei University of Hiroshima

抄録

東日本大震災やその後の災害において、水道は大きな断水被害を受けた。水道は重要なライフラインであり、断水によって日常生活や社会経済活動が大きく影響を受ける。東日本大震災等の災害を教訓とし、応急給水活動を含め、災害対応に関連した手引き等は改訂、あるいは新たに作成された。水道施設の耐震化が進められ、特に病院等の重要給水施設への対策は優先的に実施された。水質事故の経験を踏まえ、摂取制限を伴う給水継続の考え方が示され、その後、災害時の適用事例も報告された。

キーワード：水道、応急給水、重要給水施設、災害時の水質管理、断水

Abstract

In the Great East Japan Earthquake and subsequent disasters, the water supply system was severely damaged. Since water supply is an important lifeline, daily life and socioeconomic activities are greatly affected by cutoff water supply. Based on the experience from the Great East Japan Earthquake and other disasters, guidances related to disaster responses including emergency water supply activities were revised or newly developed. The earthquake-resistant of water supply facilities has been promoted, and measures for important target facilities of water supply such as hospitals have been conducted with priority. From the experience of the water quality accident, the concept of continued water supply with restricted intake was developed. The concept was applied in some disasters since them.

**keywords:** water supply, emergency water supply, important target facility of water supply, water quality management in disaster, cutoff of water supply

(accepted for publication, November 22, 2021)

連絡先：小坂浩司  
〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6  
2-3-6 Minami, Wako, Saitama 351-0197, Japan.  
Tel: 048-458-6306  
Fax: 048-458-6305  
E-mail: kosaka.k.aa@niph.go.jp  
[令和3年11月22日受理]

## I. はじめに

東日本大震災は、1887年近代水道創設以来、最大規模の被害をもたらした。震源地に近い岩手県、宮城県、福島県、茨城県を中心に19都道府県の広範囲にわたり264の水道事業者が被災し、断水戸数約256.7万戸、最大断水日数約5か月（津波地区等除く）におよんだ[1]。

水道水は、飲料水のみならず、風呂や洗濯、炊事、トイレ等の家庭用水、飲食店、デパート、学校、病院、銀行、消火用水等の都市活動用水等にも使用されている[2]。断水の発生は、国民の衛生的な日常生活や社会経済活動に甚大な影響をおよぼす。特に、医療施設では、被災地の負傷した住民や外来、入院患者の治療が支障をきたすことになる。東京電力福島第一原発事故による放射性物質の水道水汚染の対応には、水道水の摂取制限を行い、飲用水、乳幼用の水は確保しつつ、給水を継続する措置が講じられた[3,4]。給水車等による応急給水では、生活用水や都市活動用水をまかなうことは困難であることから、この放射性物質による水質事故と2012年5月の約36万世帯の断水被害が発生した利根川水系のホルムアルデヒド前駆物質による水質事故を踏まえて[5]、水道事業者等が摂取制限を行いつつ給水を継続することを選択肢として適切に判断できるよう、その考え方が整理された[6]。

東日本大震災後、大規模地震の発生その他、毎年のように豪雨や巨大台風が襲来し、断水被害が発生している。政府は、気象災害、南海トラフ地震や首都直下地震等、大規模自然災害に備え、水、電気等のライフライン、病院等の国民の生命を守る重要インフラの機能維持のため、2018年12月「防災・減災、国土強靱化のための3か年緊急対策」や2020年12月「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」を策定した[7,8]。厚生労働省では、水道分野については、重要給水施設に至るルート上にある水道施設や基幹管路に具体的な数値を掲げて取り組むことにしている[9]。また、病院、福祉施設の耐震性強化対策、災害拠点病院の診療機能を3日程度維持するた

めに給水設備の設置等を求めている[10]。

本稿では、東日本大震災の教訓を踏まえ、災害時における水道水の安全性と量的確保の点から、災害時の応急給水活動や重要施設への給水確保に対する取り組みについて、国や水道事業者等の実務的内容、および関連する研究内容の整理を行った。

## II. 非常時の水質検査と水質異常時の対応

### 1. 非常時の水質検査

災害時には、水道施設が被害を受け、水質検査機器も使用できない可能性がある。しかし、このような状況でも、飲用水の安全性について、迅速な確認が求められる。

2012年、東日本大震災での経験から、(社)日本水道協会(現、(公社)日本水道協会)は、震災等の非常時における水質試験方法を発行し、この中で、飲用水(飲料水、水道水)について(表1)、発災後の復旧過程での、安全確認のための水質試験の項目とその判断基準(判定フロー)を整理した[11]。検査機器等が不十分な状況下での水質試験であるため、各飲用水に前提となる条件を示し、測定項目は外観、臭気、濁度、残留塩素(飲用水の種類によっては大腸菌)等の限られた項目とした。水質検査は、検査方法告示によって定められた方法(告示法)で行うこととなっているが[12,13]、飲用水の飲用判定を行う上で利用可能な水質試験方法を汎用法とし、携帯型水質測定機器や簡易水質測定キットを用いた方法も採り上げている[11]。残留塩素の検査方法は、携帯型残留塩素計を用いた方法の告示法への追加が進められている(2022年4月1日適用予定)[14]。非常時の水質試験に必要な機器、試薬は、平常時から保管場所を定め、まとめて保管し、機器の動作確認や試薬の有効期限に留意する必要がある[11]。

近年は、井戸水等の生活用水への利用も進んでいる。表1では、飲料水の分類に井戸水等も含まれているが、飲用可能かどうかの判断は供給側の責任であるため、非常時における飲用水への利用を考える場合、平常時から

表1 復旧過程における飲用水と水質試験[11]

分類		満たすべき前提条件	水質試験
飲料水	ボトル水(市販のボトル水、水道事業者等の非常用備蓄水)	未開封のもの、消費期限内のもの	品質保証有り、試験の必要なし
	水道水由来(受水槽等タンクに残った水、ポリタンク等に保存した水、風呂などへの汲み置き水など)	浄水処理された水道水が一定期間貯留されたもの、明らかな水質汚染のないもの	水道水からの大きな水質変化がないことの確認 <sup>1)</sup>
	井戸水等由来(井戸水、沢水、湧水)	浄水処理されていないもの、汚染がなく飲用できる可能性のある水	汚染がないことを確認 <sup>1)</sup>
水道水	応急給水(応急給水施設、給水車から給水される水)	浄水処理された水、水道施設から補給されるもの	異常のない水道水であることの確認 <sup>1)</sup>
	復旧給水(復旧した水道施設から給水される水)	浄水処理された水	施設復旧を水質的に確認 <sup>1)</sup>

1) 飲用判定フローは引用文献[11]に掲載

飲用水として利用可能な水準での管理が望ましいと考えられる。

## 2. 水質異常時の対応

水道水は、飲用水だけでなく、風呂、洗濯、トイレ等の生活用水として利用されている。また、水道水は医療、施設の管理にも利用されており、断水が起ると社会経済活動に深刻な影響をおよぼす。

東日本大震災では、原子力発電所の事故にともなって放射性物質が放出され、水道水中からも放射性物質は検出された[3,4]。厚生労働省は、乳児を含めた水道水の摂取制限とその広報の目安を示し、その要請を行った[15,16]。放射性ヨウ素が指標値等(300 Bq/kg)を超過したことにより、福島県内の1簡易水道事業で水道水の摂取制限とその広報が行われ、同様に乳児に対する指標値等(100 Bq/kg)を超過したことにより、5都県(福島県、茨城県、栃木県、東京都、千葉県)の20水道事業者等で乳児に対する水道水の摂取制限とその広報が行われた[4]。放射性セシウムの指標値等の超過による、水道水の摂取制限の事例は無かった。その後、2012年4月より、放射性物質の指標は、放射性セシウムについて管理目標値として10 Bq/kgに見直された[17]。現在、福島県内および福島県近隣の10都県(宮城県、山形県、新潟県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、東京都、神奈川県、千葉県)において、水道水中の放射性セシウムは検出されていない(2021年10月18日公表)[18]。

水中の放射性物質濃度は非常に低いが、浄水処理によって除去する場合、放射性物質の形態に着目する必要がある[19]。放射性ヨウ素のうち、ヨウ化物イオンの形態のものは、粉末活性炭による除去は困難であるが、低注入率の塩素処理を組み合わせることで、ヨウ化物イオンは次亜ヨウ素酸の形態に変換され、粉末活性炭での除去率が向上する[19]。塩素注入率が高かったり、塩素との反応時間が長いと、ヨウ化物イオンはヨウ素酸イオン

にまで酸化され、粉末活性炭での除去は困難となる。また、放射性セシウムは、水中では懸濁態かイオンの形態で存在するが、イオンの形態は浄水処理において凝集沈殿処理では除去困難である。この場合、原水に濁質を加え、イオンの形態の放射性セシウムを濁質に吸着させて懸濁態に変えることで、凝集沈殿処理での除去が可能となる[19]。

2012年、利根川水系でのホルムアルデヒド前駆物質による水質事故が発生し[5]、浄水場で行う塩素処理により、浄水において水質基準項目であるホルムアルデヒドが基準値超過した。その後の調査で、水質事故の原因は、ヘキサメチレンテトラミンが塩素と反応することでホルムアルデヒドを原因物質として特定された。この水質事故で、1都4県の8浄水場で取水停止・減量、千葉県内の約36万世帯で断水被害が発生した。

塩素処理によってホルムアルデヒドを高生成率で生成する物質は、N-メチルアミノ基を有する第三級アミン類であり、分子あたりの数が多いと(重量)生成率はより高くなる(図1)[20]。ヘキサメチレンテトラミンも第三級アミンであるが、他の第三級アミン類と比較してもホルムアルデヒド(重量)生成率は最も高かった。その後の検討により、再発防止のため、水道水質基準体系の新たなカテゴリとして浄水処理対応困難物質(通常の浄水処理により水質基準項目等を高い比率で生成する物質)が設定され、ヘキサメチレンテトラミンを含む14物質が指定された[21]。浄水処理対応困難物質の取り扱いとして、浄水処理対応困難物質の排出側での管理促進、水質事故把握のための体制整備、浄水処理対応困難物質によるリスクの把握、影響緩和措置による対応能力の強化が示された。また、この水質事故での断水の経験を踏まえ、水道利用者の立場から断水に対する意識等のアンケート調査を実施したところ、水質基準を満たしていない水であっても、数日程度であれば、特に生活用水確保のために断水を望まない傾向があることが示された[22]。

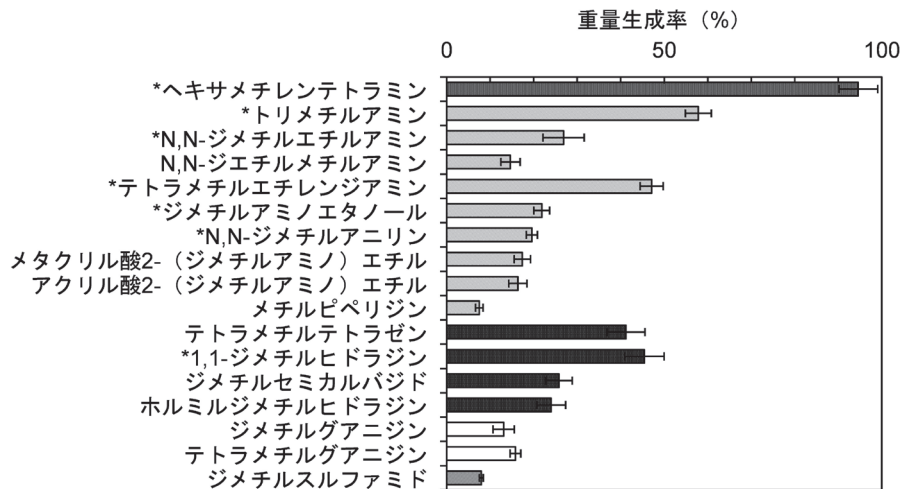


図1 第三級アミン類からのホルムアルデヒド重量生成率(\*浄水処理対応困難物質)[20]

一方、基準を満たさないことが健康影響に直結するという不安、基準を満たさないこと自体に対する不安があることもわかった。

2016年、厚生労働省は、上記の水質事故の経験も踏まえ、水道事業者等が断水による影響も考慮し、摂取制限を行いつつ給水を継続することを選択肢として適切に判断できるよう、「水質異常時における摂取制限等を伴う給水継続の考え方について」を公表した[6]。長期的な健康影響をもとに基準値が設定されている項目について、一時的に基準値超過が見込まれる場合、水道事業者等の判断で、水道利用者に対して水道水の摂取を控えるよう広報しつつ、給水を継続（摂取制限を伴う給水継続）することが可能というものである。実施にあたっては、総合的に判断し、より社会的影響の小さい対応として選択する必要がある。

この考え方は、熊本地震において準用され、原水である井戸水の濁度上昇により、17市町村で摂取制限を伴う給水継続が実施された（8市町村では給水停止）[23]。また、平成30年7月豪雨（西日本豪雨）では、浄水場が損壊したため仮設浄水施設を整備したが、消毒副生成物が水質基準をわずかに上回ったため、摂取制限を伴う給

水継続が実施された[24]。

### III. 災害時における応急給水活動と給水確保

#### 1. 災害時の応急給水活動

東日本大震災では、約256.7万戸の断水被害が発生した（表2）[1,25-31]。東日本大震災以降も地震による断水被害は何度も発生しており、近年は、豪雨や台風による断水被害も毎年のように発生し、さらに寒波による断水被害も発生している。

厚生労働省は、自然災害等による断減水の被害状況の把握を把握するため、これまで水道事業者等を対象に情報提供を依頼していたが[32]、熊本地震等で飲料水供給施設や公営以外の水道事業でも大きな被害が発生した。このため、断減水の発生状況を報告する範囲を拡大し、これら施設についても依頼することとなった[33]。

応急給水活動や応急復旧活動は、水道において災害時の最も重要な活動である。被災水道事業者への応急支援活動には幾つかの枠組みがあるが、中心的なものは、（公社）日本水道協会による会員水道事業者の相互支援の枠組みである。この内容は、「地震等緊急時対応の手引き」

表2 東日本大震災以降の主な災害による水道の被害状況 [1,25-31]

発生年月	名称	地域	断水戸数 (万戸)	最大断水日数
2011.3	東日本大震災	東日本各地等	約256.7	約5か月 <sup>1)</sup>
2011.7	平成23年7月新潟・福島豪雨	新潟、福島	約5.0	68日 <sup>2)</sup>
2011.9	台風12号	和歌山、三重、奈良等	約5.4	26日
2013.7~8	梅雨期豪雨	山形、山口、鳥根等	約6.4	17日
2014.7~9	梅雨・台風・土砂災害	高知、長野、広島、北海道等	約5.5	36日
2014.11	長野県神城断層地震	長野等	約0.13	25日
2015.7	台風11号	香川、鹿児島等	約0.2	10日
2015.9	平成27年9月関東東北豪雨	茨城、栃木、福島、宮城	約0.93	12日
2016.1	寒波による凍結被害	九州を中心とした西日本一帯	約50.4	6日
2016.4	平成28年熊本地震	九州地方	約44.6	約3か月半 <sup>3)</sup>
2016.8	台風10号	北海道、岩手等	約1.7	40日
2016.10	鳥取県中部地震	鳥取等	約1.6	4日
2017.7	平成29年九州北部豪雨	福岡、大分	約0.3	23日 <sup>3)</sup>
2018.1~2	平成30年1~2月寒波による凍結被害	北陸地方、中国四国地方	約3.6	12日
2018.6	大阪府北部を震源とする地震	大阪	約9.4	2日
2018.7	平成30年7月豪雨（西日本豪雨）	広島、岡山、愛媛等	約26.3	38日 <sup>3)</sup>
2018.9	台風21号	京都、大阪等	約1.6 <sup>4)</sup>	12日
2018.9	北海道胆振東部地震	北海道	約6.8	34日 <sup>3)</sup>
2018.9	台風24号	静岡、宮崎等	約2.0 <sup>4)</sup>	19日
2019.9	令和元年房総半島台風	千葉、東京、静岡	約14.0	17日
2019.10	令和元年東日本台風	宮城、福島、茨城、栃木等	約16.8	33日
2020.7	令和2年7月豪雨	熊本、大分、長野、岐阜等	約3.8	56日 <sup>3)</sup>
2021.1	令和3年1月7日からの大雪等	西日本等	約1.6	8日
2021.2	福島県沖を震源とする地震	宮城、福島、茨城、栃木	約2.7	6日

1) 津波地区等除く、2) 全戸避難地区除く、3) 家屋損壊地域除く、4) 断水戸数が多いのは停電による短時間断水が発生したため

において取りまとめられている[34]. 全国の会員水道事業体は、地方支部、都道府県支部等の枠組みで構成されており、災害時の情報連絡や応援要請は、この枠組みに基づいて行われ、地方支部長や都道府県支部長等が中心的な役割を担う(図2, 3) [34]. 同手引きの内容は、東

日本大震災での教訓を踏まえて、2013年に、応援の広域化・長期化への対応、初動期の混乱を減らす工夫、現場実務を効率的・効果的にする工夫を主なポイントとして改訂された[34]. さらに、その後の震災等での応援活動での課題を踏まえて、2020年に、使いやすい・わかりや

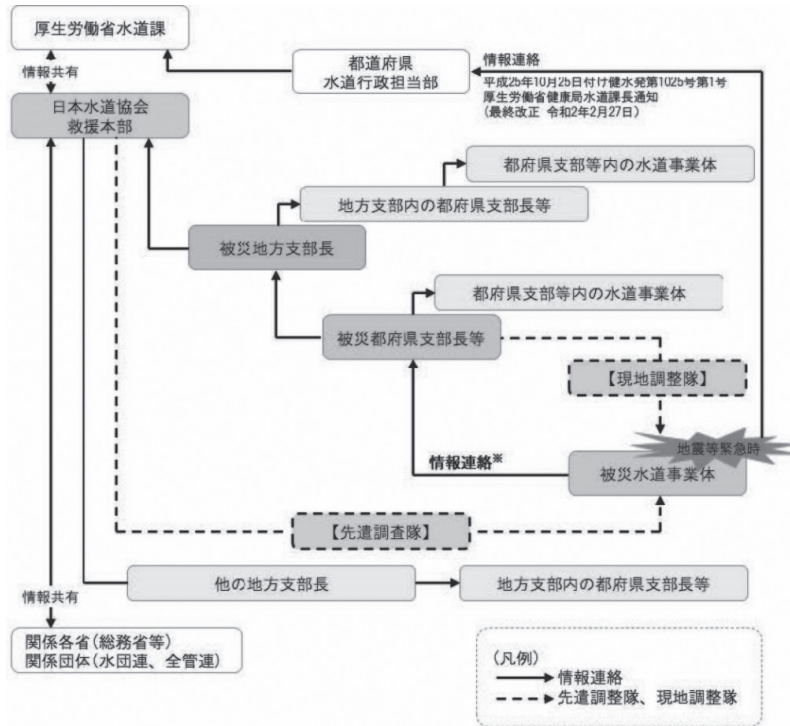


図2 地震等緊急時における情報連絡の流れ(地震等緊急時(「震度5(弱)以上の地震」また「その他の自然災害・事故等により大規模な断水が発生した場合」)において、被災水道事業体は、早期に水道施設の被害状況、応援要請の有無を被災都道府県支部長等に連絡する。水道施設に被害が無い場合または応援要請が無い場合もその旨を連絡する。) [34]

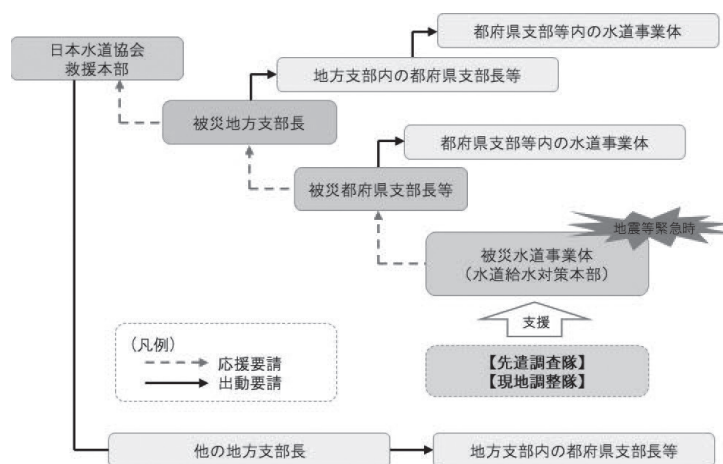


図3 地震等緊急時における応援要請の流れ(応援要請は、「被災水道事業体→被災都道府県支部長等→被災地方支部長→日本水道協会救援本部」の流れで行われる。先遣調査隊、現地調整隊は、連携・協力して応援要請の決定および連絡調整等に係る支援を行う。) [34]

すい視点、応援体制を迅速かつ効率的に構築するための取り組み、災害時の新たなニーズや問題に対応する事項等を主なポイントとして改訂が行われた[34].

東日本大震災での断水状況と応急給水について分析し、応急給水能力の評価を行ったところ、広域災害時には国内保有の給水車と派遣可能な事業体に限りがあり、目標応急給水量（3L/日）の達成するのは困難であるとの考察が行われた[35]. 災害時の応急給水活動について、しばしばアンケート調査が行われている。東日本大震災での調査では在宅被災者が点在しており、その把握の困難さ、戸別給水による負担増[36]、また、熊本地震での調査では、高齢者に関連して水が重いことによる給水バック・容器の持ち運び等が課題として挙げられた[37]. 応急給水について、飲用できるかどうかの問い合わせも多かった。災害断水時において、被災者が生活し、被災企業が営む中で断水の継続がこれ以上がまんでなくなる平均的な閾値を断水受忍限度とし、水の各用途の中で、断水受忍範囲が小さいのはトイレ用水、飲料水・調理用水で、被災企業のうち製造業では食品業や鉄鋼業、非製造業では卸売・小売業、医療・福祉、運輸・郵便業、金融・保険業であることが示された[38]. 災害時の断水による社会的影響の軽減策のうち、需要側の対策に着目し、災害時に低下する水供給容量に応じて需要調整を図ることによって水需要バランスの安定化を目指す災害水需要マネジメントについて、その方略として、心理的方略（節水意識の醸成等）、構造的方略（計画的給水制限等）に大別できることが示された[39].

## 2. 災害時における重要給水施設の給水確保

自然災害や水質事故等の非常事態でも、基幹となる水道施設の安全性の確保、被災した場合でも速やかに復旧できる体制の確保等が必要とされ、この対策として水道

施設の耐震化が進められている[25,40]. 災害時の給水が特に必要となる重要給水施設に供給する管路（重要給水施設管路）について、優先的な耐震化が必要であり、その耐震化計画が容易に策定できるよう、重要給水施設管路の耐震化計画策定の手引きが作成された[41]. ここで、重要給水施設は、5つの種別で定められており（表3）[41-44]. このうち、医療機関等では災害拠点病院、救急告示医療機関、透析病院、医療救護所等が、福祉施設では福祉避難所、高齢者福祉施設、障害者福祉施設、児童福祉施設等が、重要給水施設として選定した施設等として示されている。

2006年、災害発生時に災害医療を行う医療機関を支援する災害拠点病院の要件に、施設の耐震構造、水、電気等のライフラインの維持機能、診療設備等が盛り込まれた[45]. 指定要件は、東日本大震災を踏まえて見直され、給水確保に関しては、「施設は適切な容量の受水槽の保有、停電時にも使用可能な井戸設備の整備、優先的な給水協定の締結等により、災害時の診療に必要な水を確保すること」、「食料、飲料水、医薬品等について、流通を通じて適切に供給されるまでに必要な量として、3日分程度を備蓄しておくこと」、「食料、飲料水、医薬品等について、地域の関係団体・業者との協定の締結により、災害時に優先的に供給される体制を整えておくこと」となった[46].

2018年に、7月豪雨、台風21号、北海道胆振東部地震が相次いで発生して重要なインフラ機能が喪失したことを踏まえ、防災・減災、国土強靱化のための3か年緊急対策が閣議決定された[7]. この中で、厚生労働省は、災害拠点病院等の給水設備の強化に関する緊急対策、全国の重要度の高い水道施設（重要給水施設に至るルート上にある水道施設）に関する緊急対策、全国の耐震化すべき基幹管路（導水管、送水管、配水本管）に関する緊

表3 重要給水施設の種別と選定施設（事例）[41-44]

種別	重要給水施設として選定した施設等
医療機関等	・災害拠点病院 <sup>3)</sup> ・救急告示医療機関 <sup>4)</sup> ・透析病院・医療救護所等 <sup>5)</sup>
避難場所・避難地 <sup>1)</sup>	・指定緊急避難場所 <sup>6)</sup> ・広域避難場所・一時避難場所等
避難所 <sup>2)</sup>	・指定避難所 <sup>7)</sup> ・広域避難所・収容避難所・その他避難所等
福祉施設	・福祉避難所 <sup>8)</sup> ・高齢者福祉施設・障害者福祉施設・児童福祉施設等
防災拠点等	・市役所等の行政施設（県、国の施設を含む）・災害対策本部・警察、消防・応急給水拠点・水道庁舎、営業所・駅・空港、ヘリポート・食料、物資集積所・清掃工場・自衛隊施設等

1) 避難場所・避難地：切迫した災害の危機から逃れるための場所

2) 避難所：災害時に一時的に避難生活を送るための施設

3) 災害拠点病院：厚生労働省防災業務計画第1編第2章第2節第3[42]で災害時医療体制の整備のために都道府県が選定する医療施設

4) 救急告示医療機関：救急病院等を定める省令[43]に基づいて、都道府県知事が認定した救急医療に関する知識・経験を有する医師および施設・設備等を有する医療機関

5) 医療救護所：災害時に応急手段を中心とした医療救護活動を行う施設

6) 指定緊急避難場所：災害対策基本法第49条の4[44]に基づき、市町村長が洪水、津波その他の政令で定める異常な現象ごとに指定する避難場所

7) 指定避難所：災害対策基本法第49条の7[44]に基づき、市町村長が災害が発生した場合における適切な避難所を確保するため指定する避難所

8) 福祉避難所：指定避難所と同様であるが、主として高齢者、障害者、乳幼児その他の特に配慮を要する者（要配慮者）の円滑な利用を確保するための措置、体制等が講じられている避難所

急対策等の12項目の緊急対策を実施した。

災害拠点病院は、1996年より整備を開始して、2018年4月1日現在、736病院が指定されている[10,47]。緊急点検の結果、災害拠点病院のうち、98.6%は受水槽を保有し、そのうち59.4%が地下水を利用していた。受水槽の容量は65.7%が3日未満であった。災害拠点病院のうち、受水槽の容量が3日未満で、地下水を利用していない病院は177(24.0%)であった。これら緊急点検結果を踏まえ、その指定要件が改正され、水の確保については、「災害時に少なくとも3日間の病院の機能を維持できる水を確保すること。具体的には、少なくとも3日分の容量の受水槽を保有しておくこと又は停電時にも利用可能な地下水利用のための設備(井戸設備を含む。)を整備しておくことが望ましい。ただし、必要に応じて優先的な給水協定の締結等により必要な水を確保することによっても差し支えないこと」となった[48]。さらに、2020年の防災・減災、国土強靱化のための5か年緊急対策[8]で、災害拠点病院等の災害時において病院の診療機能を3日程度維持するために必要な設備の増設(受水槽の増設、地下水利用給水設備の整備)等の整備状況について、達成目標100%(2025年度)が示された。

重要給水施設に至るルート上にある水道施設(取水・導水施設、浄水場、配水場)は10745施設あり、停電対策、土砂災害対策、浸水災害対策として整備、あるいは特段講じられていなかった割合は、それぞれ34%、13%、13%であった[9]。地震対策では、浄水場、配水場の耐震化率はそれぞれ36.2%、59.4%であった。水道管路については、基幹管路の耐震適合率は38.7%(2016年度末時点)であった。重要給水施設に至る管路では、基幹管路、管路全体の耐震適合率は、それぞれ46.0%、34.7%であった[9]。厚生労働省は、耐震化目標として、2022年度末までに基幹管路の耐震適合率を50%としているが、重要給水施設に至る基幹管路においてもまだ達していない。点検結果を踏まえ、水道施設については、停電対策、土砂災害対策、浸水災害対策、地震対策として、それぞれ自家

発電設備の設置等、土砂流入防止壁の設置等、防水扉の設置等、耐震補強等が、管路については耐震化すべき基幹管路の耐震化のペースを現在の1.5倍に加速する対策が取られた[9]。防災・減災、国土強靱化のための5か年緊急対策[8]において数値目標(2025年度)が定められ、水道施設への各対策の実施率は、それぞれ77%、48%、59%および41%と71%(浄水場と配水場の耐震化率)が、基幹管路の耐震化率は54%が示された。また、基幹管路の耐震化目標は、2028年度末までに60%に変更された。

災害時において、重要給水施設への応急給水は、最優先となる。このため、あらかじめ地域防災計画において、水道事業者等の役割を明確化し、医療機関等との連絡体制を定め、平常時から重要給水施設を整理し、優先順位を定めておく必要がある[34]。水道局、衛生部局、病院等による合同応急給水訓練も実施されている。首都直下地震を想定し、東京都水道局等の22水道事業者は、東京都福祉保健局、病院等との協力により、合同防災訓練を実施した[49]。この訓練では、東京都と横浜市の医療機関からの応急給水要請に対し、テレビ会議にて他都市で活動する給水車による緊急支援を決定し、病院への救援隊連携応急給水訓練が行われた。また、広域災害救急医療情報システムを活用した、水道局と保健所、医療機関等による合同応急給水訓練も行われ、医療機関側の支援要請の体制、スマートフォンを活用した受援体制の課題について検証された[50]。

高齢者ケアにおいて水供給は大きな役割を果たしており、特に災害時要援護者支援という視点からその対策は極めて重要である。重要給水施設等を対象とした水使用量に関する調査によると(表4)[51-56]、特別養護老人ホームでの入所者1名あたりの水使用量(中央値)は、東京都と全国(公営水道のみ)でそれぞれ411および408L/日、入所高齢者、職員、訪問者を含めた1名あたりの水使用量(中央値)は全国で247L/日であった。また、断水対策として、災害時の給水に役立つ受水槽や個人用井戸の保有率、飲料水ストックや携帯トイレの保有

表4 重要給水施設での水使用量[51-56]

施設	水使用量	算出状況他	文献
特養 <sup>1)</sup>	408 L/(日・人)	公営水道のみ使用、入所者あたりの中央値(n=376)、2013年7月、全国	[51]
特養 <sup>1)</sup>	263 L/(日・人)	公営水道のみ使用、入所者+職員あたりの中央値(n=362)、2013年7月、全国	[51]
特養 <sup>1)</sup>	247 L/(日・人)	公営水道のみ使用、入所者+職員+訪問者あたりの中央値(n=287)、2013年7月、全国	[51]
特養 <sup>1)</sup>	411 L/(日・人)	上水道・簡易水道のみ、入所者あたりの中央値(n=13)、2012年10月、東京都	[52]
有料老人ホーム	431 L/(日・人)	上水道・簡易水道のみ、入所者あたりの中央値(n=19)、2012年10月、東京都	[52]
病院(通常時)	1660 L/(日・床)	地域医療センター(833床)、米国	[53]
病院(緊急時)	841 L/(日・床)	地域医療センター(833床)、米国	[53]
病院	890 L/(日・床)	国立病院(n=98)、日本	[54]
ホテル	339 L/(日・人)	シティホテル、2005年10月、京都	[55]
日常生活	100~411 L/(日・人)	単身世帯、1993年1・7月、東京	[56]

1) 特養：特別養護老人ホーム

率が高かったことが報告され、さらに、多くの特別養護老人ホームが緊急時のトイレケアに関心を持っていることも示されている。防災訓練については、断水を考慮した訓練、していない訓練を実施している施設は、それぞれ30%、66%であった[52]。また、災害時対応マニュアルについては、断水を考慮して作成している施設、していない施設は、それぞれ19%、20%であった。

#### IV. おわりに

東日本大震災では、水道施設は甚大な被害を受け、大規模な断水に至った。それ以降も災害により大規模な断水被害が発生している。水道は重要なライフラインであり、耐震化は一層進められ、また、応急給水活動を含め、災害対応に関連した手引き等は改訂、あるいは新たに作成された。病院等の重要給水施設は、災害時でも給水確保が必要であり、その対策が優先的に進められている。

水道事業者と他部署等が連携し、合同応急給水訓練等も実施されているが、このような取り組みは参考となる事例であるため、より多くの事業者での適用が求められる。応急給水活動やその関連活動では、様々な研究も行われているが、応急給水は実務的な内容であるため、水道事業者との協同や成果の実装化が望まれる。また、摂取制限を伴う給水継続の考え方が示され、災害時の適用事例も報告されているが、この考え方も含め、災害時の水質管理について、さらなる知見の集積が必要である。

#### 利益相反

利益相反なし

#### 謝辞

本研究の一部は、厚生労働科学研究（21LA1004）において実施した。

#### 引用文献

- [1] 厚生労働省水道課. 東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書（平成25年3月）. 2013. Division of Water Supply (DWS), Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW). [A final report of water supply utilities damages due to the Great East Japan Earthquake (March 2013).] 2013. (in Japanese)
- [2] 国土交通省水管理・国土保全局. 水資源の利用状況. [https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo\\_mizsei\\_tk2\\_000014.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_tk2_000014.html) (accessed 2021-11-08) Water and Disaster Management Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. [Usage of water resource.] [https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo\\_mizsei\\_tk2\\_000014.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_tk2_000014.html) (in Japanese)

- (accessed 2021-11-08)
- [3] 水道水における放射性物質対策検討会. 水道水における放射性物質対策中間取りまとめ. 2011. Committee of Countermeasures for Contamination of Radioactive Compounds in Drinking Water. [Interim report of countermeasures for contamination of radioactive compounds in drinking water.] 2011. (in Japanese)
- [4] 浅見真理, 秋葉道宏. 水道水中の放射性物質の概要と課題. 保健医療科学. 2011;60(4):306-313. Asami M, Akiba M. [Radionuclides in drinking water: Facts and response.] J Natl Inst Public Health. 2011;60(4):306-313. (in Japanese)
- [5] 水道水源における消毒副生成物前駆物質汚染対応方策検討会. 水道水源における消毒副生成物前駆物質汚染対応方策について とりまとめ. 2013. Committee of Countermeasures for Contamination of Disinfection Byproduct Precursors in Water Source. [Report of countermeasures for contamination of disinfection byproduct precursors in water source.] 2013. (in Japanese)
- [6] 厚生労働省水道課. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について（平成28年3月31日生食水発0331第2~4号課長通知）. 2016. DWS, MHLW. [Continuation of water supply under restricted water intake during water quality incidents (Notice 0331 No. 2-4 of the director of the WSD, MHLW, March 31, 2016).] 2016. (in Japanese)
- [7] 内閣官房. 防災・減災, 国土強靱化のための3か年緊急対策. 2018. Cabinet Secretariat. [Three-year emergency countermeasures for disaster prevention and mitigation, and national resilience.] 2018. (in Japanese)
- [8] 内閣官房. 防災・減災, 国土強靱化のための5か年加速化対策. 2020. Cabinet Secretariat. [Five-year accelerating countermeasures for disaster prevention and mitigation, and national resilience.] 2020. (in Japanese)
- [9] 厚生労働省水道課. 水道における緊急点検の結果等について（情報提供）. 2018. DWS, MHLW. [Emergency inspection of water supply facilities (information provision).] 2018. (in Japanese)
- [10] 厚生労働省医政局. 【資料4】災害拠点病院等の燃料及び水の確保について. 第12回救急・災害医療提供体制等の在り方に関する検討会. 2019. Medical Affairs Bureau, MHLW. [Document 4, securing of fuel and water at disaster base hospital.] 12nd Meeting of Committee for Emergency and Disaster Medical Services. 2019. (in Japanese)
- [11] 社団法人日本水道協会. 震災等の非常時における水質試験方法（上水試験方法－別冊）. 東京：社団法人日本水道協会；2012.



- Japan Water Works Association (JWWA). [Method of emergency water quality examination (Extra issue of standard method of water quality examination).] Tokyo: JWWA; 2012. (in Japanese)
- [12] 厚生労働省. 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7月22日厚生労働省告示第261号 (最終改正: 令和2年3月25日厚生労働省告示第95号)). 2003.  
MHLW. [Inspection methods provided by the Minister of MHLW under water quality standards by Ministers Order based on Waterworks Act (Notice No. 261 of MHLW, July 22, 2003, last revision: No. 95 of March 25, 2020)]. 2003. (in Japanese)
- [13] 厚生労働省. 水道法施行規則第17条第2項の規定に基づき厚生労働大臣が定める遊離残留塩素及び結合残留塩素の検査方法 (平成15年9月29日厚生労働省告示第318号 (最終改正: 令和2年3月25日厚生労働省告示第96号)). 2003.  
MHLW. [Inspection methods of free and combined chlorine provided by the Minister of MHLW under article 17 (2) of enforcement regulation of the Waterworks Act. (Notice No. 318 of MHLW, September 29, 2003, last revision: No. 96 of March 25, 2020)]. 2003. (in Japanese)
- [14] 厚生労働省水道課. 水道法施行規則第17条第2項の規定に基づき厚生労働大臣が定める遊離残留塩素及び結合残留塩素の検査方法の一部を改正する件 (案) に関する御意見の募集について. 2021.  
DWS, MHLW. [Public comments for a partial revision plan of inspection methods of free and combined chlorine provided by the Minister of MHLW under article 17 (2) of enforcement regulation of the Waterworks Act.] 2021. (in Japanese)
- [15] 厚生労働省水道課. 乳児による水道水の摂取に係る対応について (健水発0321第1号平成23年3月21日). 2011.  
DWS, MHLW. [Countermeasures of infant intake of drinking water (Notice No. 0321 of the director of DWS, MHLW, May 21, 2011).] 2011. (in Japanese)
- [16] 厚生労働省水道課. 水道水中の放射性物質に関する指標等の取扱い等について (健水発0404第3号平成23年4月4日). 2011.  
DWS, MHLW. [Application of guideline values of radioactive compounds in drinking water (Notice No. 0404-3 of the director of DWS, MHLW, April 4, 2011).] 2021. (in Japanese)
- [17] 厚生労働省水道課. 水道水中の放射性物質に係る指標の見直しについて. 2012.  
DWS, MHLW. [Revision of guideline values of radioactive compounds in drinking water.] 2012. (in Japanese)
- [18] 厚生労働省水道課. 水道水中の放射性物質に関する検査の結果. [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kentoukai/houshasei\\_monitoring.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kentoukai/houshasei_monitoring.html) (accessed 2021-11-08)
- DWS, MHLW. [Inspection results of radioactive compounds in drinking water.] [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kentoukai/houshasei\\_monitoring.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kentoukai/houshasei_monitoring.html) (in Japanese) (accessed 2021-11-08)
- [19] Kosaka K, Asami M, Kobashigawa N, Ohkubo K, Terada H, Kishida N, Akiba M. Removal of radioactive iodine and cesium in water purification processes after an explosion at a nuclear power plant due to the Great East Japan Earthquake. *Water Res.* 2012;46(14):4397-4404.
- [20] Kosaka K, Asami M, Nakai T, Ohkubo K, Echigo S, Akiba M. Formaldehyde formation from tertiary amine derivatives during chlorination. *Sci Total Environ.* 2014;488-489:325-332.
- [21] 厚生労働省水道課. 浄水処理対応困難物質の設定について (平成27年3月6日健水発0306第1-3号). 2015.  
DWS, MHLW. [Setting of removal difficult substances during water purification processes (Notice No. 0306 1-3 of the director of the DWS, MHLW, March 6, 2015).] 2008. (in Japanese)
- [22] 大野浩一. 利根川水系ホルムアルデヒド水質事故をめぐる考察と給水停止に対する住民のパーセプションについて. *日本リスク研究学会誌.* 2013;23(2):81-85.  
Ohno K. [Discussion on the accidental formaldehyde contamination in water supplies along the Tone River Basin and public perception on the suspension of water supply.] *Jpn J Risk Analysis.* 2013;23(2):81-85. (in Japanese)
- [23] 平山修久. 熊本地震からみた災害時の水道水質リスク管理の課題. *環境衛生工学研究.* 2017;31(3):186-189.  
Hirayama N. [A study on drinking water quality risk management after earthquake disaster -A case study in 2016 Kumamoto earthquake disaster.] *Environ Sanitary Eng Res.* 2017;31(3):186-189. (in Japanese)
- [24] 林誠. 水質管理の最近の動向. 令和2年度水道工学オンライン講座. 2020.  
Hayashi M. [Recent issues of water quality management.] *On-line Course of Water Supply Engineering in 2020.* 2020. (in Japanese)
- [25] 厚生労働省水道課. 水道施設の耐震化の推進. <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/taishin/index.html> (accessed 2021-11-08)
- DWS, MHLW. [Promotion of earthquake resistance of water supply facilities.] <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/taishin/index.html> (in Japanese)(accessed 2021-11-08)
- [26] 厚生労働省水道課. 令和2年度全国水道関係担当者

- 会議資料. 2021.  
DWS, MHLW. [Documents of staff meeting of national water suppliers in fiscal year (FY) 2020.] 2021. (in Japanese)
- [27] 厚生労働省水道課. 令和元年度全国水道関係担当者会議資料. 2020.  
DWS, MHLW. [Documents of staff meeting of national water suppliers in FY 2019.] 2020. (in Japanese)
- [28] 厚生労働省水道課. 平成30年度全国水道関係担当者会議資料. 2019.  
DWS, MHLW. [Documents of staff meeting of national water suppliers in FY 2018.] 2019. (in Japanese)
- [29] 厚生労働省水道課. 令和29年度全国水道関係担当者会議資料. 2018.  
DWS, MHLW. [Documents of staff meeting of national water suppliers in FY 2017.] 2018. (in Japanese)
- [30] 厚生労働省水道課. 令和28年度全国水道関係担当者会議資料. 2017.  
DWS, MHLW. [Documents of staff meeting of national water suppliers in FY 2016.] 2017. (in Japanese)
- [31] 厚生労働省水道課. 令和27年度全国水道関係担当者会議資料. 2016.  
DWS, MHLW. [Documents of staff meeting of national water suppliers in FY 2015.] 2016. (in Japanese)
- [32] 厚生労働省水道課. 健康危機管理の適正な実施並びに水道施設への被害情報及び水質事故等に関する情報の提供について (平成25年10月25日健水発1025第1号). 2013.  
DWS, MHLW. [Information provision for proper implementation of health crisis management, damage information of water facilities and water accidents (Notice No. 1025-1 of the director of the DWS, MHLW, October 25, 2013).] 2013. (in Japanese)
- [33] 厚生労働省水道課. 健康危機管理の適正な実施並びに水道施設への被害情報及び水質事故等に関する情報の提供について (改正). 2017.  
DWS, MHLW. [Information provision for proper implementation of health crisis management, damage information of water facilities and water accidents (revision).] 2017. (in Japanese)
- [34] 社団法人日本水道協会. 地震等緊急時対応の手引き (令和2年4月改訂). 2008.  
JWWA. [Guidance of emergency responses for earthquake (revision: April 2020).] 2008. (in Japanese)
- [35] 大西洋二, 鍛田泰子. 広域災害時の応急給水能力に関する一考察 - 東日本大震災の事例 -. 土木学会論文集A1 (構造・地震工学). 2012;68(4):I\_930-I\_939.  
Onishi Y, Kuwata Y. [A study on emergency water delivery in wide-area earthquake disaster: A case study of the Great East Japan Earthquake Disaster.] J Jpn Soc Civil Eng, Ser. A1 (Structural Eng & Earthquake Eng (SE/EE)). 2012;68(4):I\_930-I\_939. (in Japanese)
- [36] 瀬川進太, 篠永通英, 小坂浩司, 伊藤雅喜, 秋葉道宏. 東日本大震災での応急給水の実態と課題. 第63回全国水道研究発表会講演集. 2012. p.618-619.  
Segawa S, Shinonaga M, Kosaka K, Itoh M, Akiba M. [Current status of emergency water supply in the Great East Japan Earthquake Disaster and its issues.] Proc 63rd Annu Res Conf JWWA. 2012. p.618-619. (in Japanese)
- [37] 下ヶ橋雅樹, 島昌伸, 嶽仁志, 小坂浩司, 島崎大, 秋葉道宏. 平成28年熊本地震の応援給水活動に関するアンケート調査. 第51回日本水環境学会年会講演集. 2017. p.111.  
Sagenashi M, Shima M, Take H, Kosaka K, Simazaki D, Akiba M. [Questionnaire survey of emergency water supply after the 2016 Kumamoto Earthquake.] 51st Annu Conf Jpn Soc Water Env. 2017. p.111. (in Japanese)
- [38] 吉澤源太郎, 多々納裕一, 畑山満則. 被災者と被災企業の断水受忍限度を考慮した災害時の潜在水需要の推計. 自然災害研究. 2015;34(1):41-61.  
Yoshizawa G, Tatano H, Hatayama M. [Estimation of potential water demand in a disaster satisfied with the water suspension tolerable limits of households and firms] J Jpn Soc Natural Disaster Sci. 2015;34(1):41-61. (in Japanese)
- [39] 吉澤源太郎, 多々納裕一, 畑山満則. 災害時の断水被害軽減に向けた水需要マネジメントの概念化. 水道協会雑誌. 2017;86(12):2-14.  
Yoshizawa G, Tatano H, Hatayama M. [Conceptualization of water demand management to reduce the social damages due to water suspension disasters.] J JWWA. 2017;86(12):2-14. (in Japanese)
- [40] 厚生労働省水道課. 水道の耐震化計画等策定指針. 2015.  
DWS, MHLW. [Guideline for development of earthquake-resistant plan of water supply facilities.] 2015. (in Japanese)
- [41] 厚生労働省水道課. 重要給水施設管路の耐震化計画策定の手引き. 2017.  
DWS, MHLW. [Guideline for development of earthquake-resistant plan of pipes for important target facilities of water supply.] 2017. (in Japanese)
- [42] 厚生労働省. 厚生労働省防災業務計画 (平成13年2月14日厚生労働省発総第11号 (最終修正: 令和3年9月14日厚生労働省発科0914第1号)). 2001.  
MHLW. [Disaster Prevention Action Plan of MHLW (Notice No. 11 of MHLW, February 14, 2011 (last revision: No. 0914-1 of September 14, 2021).] 2001. (in Japanese)
- [43] 厚生省. 救急病院等を定める省令 (昭和39年2月20日厚生省令第8号 (最終改正: 平成19年3月30日厚生労働省令第39号)). 1964.  
Ministry of Health and Welfare (MHW). [Ministerial ordinance to establish emergency hospital. (Notice No.

- 8 of MHL, February 20, 1964 (last revision: No. 39 of March 30, 2007).] 1964. (in Japanese)
- [44] 内閣府. 災害対策基本法 (昭和36年11月15日法律第223号 (最終改正: 令和3年5月10日法律第36号)). 1961.  
Cabinet Office. [Basic Act on Disaster Management (Act No. 223 of Cabinet Office, November 15, 1961 (last revision: No. 36 of May 10, 2021)).] 1961.
- [45] 厚生省健康政策局. 災害時における初期救急医療体制の充実強化について (平成8年5月10日付健政発第451号厚生省健康政策局長通知). 1996.  
Health Policy Bureau, MHL. [Enhancement of the initial emergency medical system under disasters (Notice No. 451 of the director of the Health Policy Bureau, MHL, May 10, 1996).] 1996. (in Japanese)
- [46] 厚生労働省医政局. 災害時における医療体制の充実強化について (平成24年3月21日付医政発0321第2号厚生労働省医政局長通知). 2012.  
Medical Affairs Bureau, MHL. [Enhancement of the medical system under disasters (No. 2-0321 Notice of the director of the Medical Affairs Bureau, MHLW, issued on March 21, 2014).] 2014. (in Japanese)
- [47] 秋葉道宏. 自然災害発生時における災害拠点病院の機能維持のための給水確保について. 水団連. 2020;(145):8-11.  
Akiba M. [Secure water supply for function maintenance of disaster base hospital during natural disaster.] *Suidanren*. 2020;(145):8-11. (in Japanese)
- [48] 厚生労働省医政局. 災害拠点病院指定要件の一部改正について (医政発0717第8号 令和元年7月17日). 2019.  
Medical Affairs Bureau, MHLW. [Partial revision of disaster base hospital designation requirements (No. 0717-8 Notice of the director of the Medical Affairs Bureau, MHLW, issued on July 17, 2019).] 2019. (in Japanese)
- [49] 東京都水道局. 「首都直下地震対処大都市水道合同防災訓練」を初めて実施. [https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/20618/File/kunren\\_h30\\_11.pdf](https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/20618/File/kunren_h30_11.pdf) (accessed 2021-11-08)  
Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government. ["Joint disaster drill of water suppliers in the large city area for the Tokyo inland earthquake" was firstly held.] [https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/20618/File/kunren\\_h30\\_11.pdf](https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/20618/File/kunren_h30_11.pdf) (in Japanese)(ac-
- cessed 2021-11-08)
- [50] 三好達也, 問田和佳. 倉敷市水道局における広域災害救急医療情報システムを活用した応急給水体制の強化. 水道協会雑誌. 2021;90(6):16-21.  
Miyoshi T, Toita K. [Improvement of emergency water supply system using emergency medical information system at Kurashiki City Waterworks Bureau.] *J JWWA*. 2017;86(12):2-14. (in Japanese)
- [51] Sagehashi M, Akiba M. Analyses of the amount of water use and preparedness for the cutoff of water supply at elderly facilities in Tokyo. *J Water Environ Technol*. 2014;12(3):211-220.
- [52] Sagehashi M, Akiba M. Questionnaire survey on water consumption and preparedness for water outages at intensive care homes for the elderly in Japan. *J Water Supply: Res Technol - AQUA*. 2018;67(2):176-191.
- [53] Welter G, Bieber S, Bonnaffon H, Deguida N, Socher M. Cross-sector emergency planning for water providers and healthcare facilities. *J Am Water Works Assoc*. 2010;102(1):68-78.
- [54] 望月正雄. 病院の水使用量および湯使用量の実態 (アンケート調査を中心として). 病院設備. 1987;29(2):178-180.  
Mochizuki M. [Actual condition of consumption volume of water and warm water from hot water supply in hospital (focussing on questionnaire).] *J Hospital Eng Assoc Jpn*. 1987;29(2):178-180. (in Japanese)
- [55] 田中篤, 村川三郎, 高田宏. シティホテル客室における宿泊者の湯・水使用行為の解析. 日本建築学会環境系論文集. 2007;72(611):53-58.  
Tanaka A, Murakawa S, Takata H. [An analysis on the hot and cold water usage of the guest rooms in a city hotel.] *J Environ Eng AIJ*. 2007;72(611):53-58. (in Japanese)
- [56] 前真之, 布野裕子, 石渡博, 市川憲良, 鎌田元康. 湯・水消費の季節変動要因についての分析: 都市型集合住宅における給湯・給水の消費構造分析と評価方法に関する研究 (その1). 日本建築学会環境系論文集. 2003;68(566):73-80.  
Mae M, Funo Y, Ishiwatari H, Ichikawa N, Kamata M. [The analysis on the seasonal change in usage of hot and cold Water: The analysis and evaluation on usage of hot and cold water on urban apartment house (part 1).] *J Environ Eng AIJ*. 2003;68(566):73-80. (in Japanese)