

〈特集〉

水源水質の変動と健康リスク

秋葉道宏¹⁾, 山田俊郎^{2)*}, 中村怜奈¹⁾, 小坂浩司¹⁾, 浅見真理^{1)*}¹⁾ 国立保健医療科学院水道工学部 (〒351-0197 埼玉県和光市2-3-6 *E-mail: asami@niph.go.jp)²⁾ 岐阜大学工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1 *E-mail: ymd@gifu-u.ac.jp)

概要

気候変動により水道システムは様々な影響を受ける可能性が考えられる。水源では、洪水、洪水・異臭味原因物質の増加、病原微生物汚染など、処理では水質悪化による影響、薬品量の増加、配水給水系では、ポンプへの負荷の増大や塩素不足などが考えられる。今後想定される気候変動によって引き起こされる水道システムへの影響を明らかにし、被害を低減・回避する対策を推進するため、過去の日本及び海外の水源水質の変化とその影響について、事例をまとめた。先進国において近年30年間で、飲料水によって健康被害が生じたとされる事例は少なくとも69件あり、その多くはノロウイルス、カンピロバクターなどによる食中毒やクリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物による感染であり、およそ60万人の患者が発生している。これらの事例について、汚染の場所や原因及び浄水場での塩素消毒の有無などについての分類を行ったところ、原因としては、水源の汚染が51件(74%)と最も多く、水源の汚染の原因が大雨による濁水の流入であったものが少なくとも25件(36%)をしめており、うち、8件は雪解けの影響も受けていると見られた。特に消毒のみの処理施設や濁度の変動を受けやすい施設などでは、今後このような健康リスクの発生の予防策も重要と考えられた。

キーワード：水道、水源、水質、気候変動、濁度

原稿受付 2010.4.6

EICA: 15(1) 16-19

1. はじめに

世界的な気候変動の影響を受け、気温の上昇にともなう豪雨の頻発や、降雨量の変動、積雪量の減少などの様々な気象の変化が生じ、水の循環に多大な影響を及ぼすことが考えられている¹⁾。その結果、洪水といった突発的災害だけでなく、洪水やそれに伴う水質悪化など水利用での重大な問題を引き起こし、自然の水資源に依存している水道システムは、気候変動によって直接的、あるいは間接的に様々な影響を受けることが想定される。将来にわたって安全な水道水を安定して得るためには、今後想定される気候変動によって引き起こされる水道システムへの影響を明らかにし、被害を低減・回避するための対策を推進する必要がある。本稿では、気候変動が水道システムに与える影響について、これまでの事故事例等を検討し、今後懸念される事項をまとめた。

2. 気候変動が水道システムに及ぼす影響

気候変動によって引き起こされる様々な現象のうち、水道システムへ与える影響が大きいと考えられるものとして、洪水をはじめとして、気温の上昇、降雨量の

増加、降雨変動の増大・降雨パターンの変化、豪雨の発生回数の増加、無降雨日数の増加、降雪量の減少と雪解けの早期化、海面の上昇等がある。

水道システムを、河川やダム、地下水などの水源系、浄水処理を行う処理系、浄水を各家庭への送る配水管や配水池、さらに受水槽等の給配水系に分け、それぞれで生じる主要な影響をまとめたものを **Table 1** に示す。

水源系に対する影響として、気温の上昇、降雨や融雪パターンの変化に伴う洪水や洪水の増加の可能性が挙げられる。気温の上昇は、水温や地下水温の上昇、地表からの蒸発散量の増大等につながる。例えば、国内の一級河川における気温または日照量と水質の経年変化に対する統計解析の結果、気温の1℃上昇に対して水温は0.84℃から0.89℃上昇するとの報告がある²⁾。気温上昇に伴う水温上昇によって、ダム湖などでは藻類等の増殖が促進され、飲料水の異臭味原因物質による汚染の進行が懸念される。また、藍藻毒 microcystin を産生する *Microcystis* 属が水温上昇とともに各地で発生しやすくなるとの報告もある³⁾。水温上昇はダム湖内の水循環を悪化させ、湖底が嫌気化するに伴い重金属が溶出する等の問題も生じる。気温の上昇は直接的な水資源への影響だけでなく、作物の種

Table 1 水道システムに生じる主要な影響

水道システム	主 要 な 影 響
水源系	渇水被害, 洪水被害, 藻類, 臭い原因物質の増加, 重金属の溶出, 下水や汚染物質の流入, 農薬汚染状況の変化, 塩水化
処理系	水没による被害, 水質悪化による処理施設への影響, 浄水薬品使用量の増加, 浄水汚泥や廃棄物の増加
配水系・給水系	水没による被害, 雷による送水ポンプの停止, 斜面の崩壊, 塩素の不足, 病害虫の発生

類や量が増加することに伴い農薬の使用実態が変化し、水源の農薬汚染状況が変化することも考えられる。一方、降雨量の増大によって洪水が発生し、濁水発生期間の長期化や水源への汚染物質の流入による水質悪化が考えられる。降雨や融雪パターンの変化や無降雨日の増加は渇水リスクの増大につながり、希釈水量の減少等により水源水質の悪化をもたらすことも考えられる。また、高潮等による海面水位の上昇は、沿岸地域の地下水への海水浸入につながり、水源として利用している井戸水が塩水化する恐れがある⁴⁾。

処理系に対する影響としては、洪水や高潮によって浄水場が水没する直接的な被害や、洪水や渇水に伴う水質悪化による処理負荷の増大が考えられる。特に大雨で土砂の流出が発生し、濁水が長期化することによって既存の浄水処理設備での対応が困難となり、断水に至る事態もありうる。浄水処理で対応が可能な場合においても処理で使われる薬品量の増加や、それに伴って発生する浄水汚泥や廃棄物の増加等の問題が生じる可能性がある。水温上昇に伴う藻類の大量発生は過障害等を引き起こすことが考えられる⁵⁾。

配水系および給水系に対する影響としては、雷を伴う豪雨発生によって停電が生じ、送水するポンプが停止する等のリスクが考えられる。また、大雨による斜面崩壊で送配水管路の破断といった直接的な被害の可能性もある。気温上昇は、配水池や配水管路内での塩素消費量の増大につながり、給水栓まで必要な塩素が不足し、管理の不十分な受水槽等では病害虫が発生する可能性も考えられる。

これらのうち、気候変動が具体的に水道水源水質に与える影響として濁水や藻類の増殖による水質悪化があり、うち水温上昇と藻類増殖による pH, クロロフィル a (CHL-a) の上昇, 生物相の変化がいくつかの水源で確認されている。このうち気候変動によりその頻度が増すと考えられる大雨による出水に伴う濁水に関する事故については、最近では7件の報告がされている。この中には5万世帯に及ぶ断水を長期間強いられるという深刻な事例もあった。原水における異臭味被害については、ここ数年は70件程度で推移しているが、被害者人口は、300万人程度とピーク時の7分の1程度に減少している。これは高度浄水処理の導入等による対応が進んできたことも大きく寄与している

と考えられる。

3. 大雨等による日本の水道システム被害事例

これまで日本において渇水や大雨など極端な気象によって水道システムが被害を受けた事例を示す。

3.1 渇 水

近年、わが国において渇水が各地で発生し、給水制限や減圧給水など水道水供給に影響した事態が生じている。平成20年は降雨量が平年よりも少なく、全国の30ダムにおいて取水制限が行われ、合計144万人が影響を受けた⁶⁾。特に四国の早明浦ダムでは一時貯水率が0%となるほど深刻な渇水となり、124日間の取水制限が行われる等大きな影響を受けた。

3.2 洪 水

(1) 平成17年9月、宮崎県宮崎市において洪水による浄水場浸水被害が発生した。台風14号によって、多いところでおおよそ1,000mmという約380年に一度の規模の大雨が発生し、この大雨によって浄水場全体が冠水した。浄水場の機能が停止し、約18,500世帯が断水となる被害が発生した⁷⁾。

(2) 平成21年7月、山口県において集中豪雨により浄水場が浸水し、浄水処理が不可能となり約35,000戸が最長10日間断水となった⁸⁾。

(3) 平成21年7月、長崎県において集中豪雨による土砂崩れで、道路下に埋設されていた水道管が破損し、約17,500戸が最長5日間断水となった⁹⁾。

3.3 濁 水

(1) 平成19年9月、東京都奥多摩地域では観測史上最大の降雨が発生し、東京都の水源である小内河ダムにおいて高濁水状態が3カ月以上続いた。小内河ダムを水源とする下流浄水場では取水量を減らし、減量分を別の水源を利用している浄水場から補てんする対応がとられた¹⁰⁾。

(2) 平成19年6月、北海道北見市において、時間降水量50mmの集中豪雨が上流で発生し、最高濁度15,000度の濁水が原因となり、市内全域(約58,000世帯)が長時間断水となる大規模な被害が発生した¹¹⁾。

(3) 給水人口 3,117 人の A 市簡易水道の水源河川に、集中豪雨により肥料施設から泥が流入し、取水停止となった。直後に水源を変更し給水を開始したが、400 世帯が断水となり、下流の養殖魚が全滅した。

3.4 高 潮

平成 20 年 2 月、富山湾沿岸域で発生した高波により、飲用利用されている井戸水に海水が流入する塩水被害が発生した。被害の最も大きい富山県入善町の一部の井戸では、高い塩分濃度によって飲用ができない状態が 3 カ月以上続くなどの被害を受けた¹²⁾。

4. 水道における健康被害の事例

ここまでは、気候変動が水道システムに及ぼす影響についてまとめた。ここでは、このような水道への影響と維持管理に起因する健康被害リスクについて述べる。主に感染症に関する事故事例を集めた“Safe Drinking Water”¹³⁾で先進国における飲料水による健康被害の状況が取りまとめられている。その事例の中から、大雨に起因する健康被害事例に関する例を Table 2 に示す。先進国において最近 30 年間で、飲料水によって健康被害が生じたとされる事例は少なくとも 69 件あり、その多くはノロウイルス、カンピロバクターなどによる食中毒やクリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物による感染であり、およそ 60 万人の患者が発生している。

これらの事例について、汚染の場所や原因及び浄水場での塩素消毒の有無などについての分類を行ったところ、原因としては、水源の汚染が 51 件 (74%) と最も多く、水源の汚染の原因が大雨による濁水の流入であったものが少なくとも 25 件 (36%) をしめており、うち、8 件は雪解けの影響も受けていると考えられた。このように、水道水源は大雨等による濁水により汚染

されやすいことが確認された。Table 2 に代表的な事例を示す。

これらの健康被害が起きた事例では塩素消毒のみを

Table 2 “Safe Drinking Water”¹³⁾中の大雨による水源汚染に起因する先進国健康被害例 (抜粋)

1978.6 アメリカバーモント州ベニントン 原水：表流水 (予備水源：地下水) 処理：塩素のみ 原因：カンピロバクター 有症者：15 人、想定感染者数：3,000 人 入院：報告なし 大雨の後に塩素注入量を超えた下水処理場からの汚染水の流入により発生した。前年の秋に煮沸指示があった広範囲の細菌汚染は、ろ過がない設備に大雨による高濁度水が流入したことで残留塩素が無くなったために起こった。
1979.7~12 アメリカペンシルバニア州ブラッドフォード 原水：表流水 (貯水池から) 処理：塩素のみ 原因：ジアルジア 有症者：407 人 推定感染者数：2,900~3,500 人 大雨のためにジアルジアに対する処理が不十分。ジアルジアの処理に対する認識不足、老朽化した塩素注入設備。
1980.6 アメリカテキサス州ジョージタウン 原水：伏流水 処理：塩素のみ 原因：コクサッキーウイルス、A 型肝炎ウイルス 有症者：36 人 (A 型肝炎) 推定感染者数：~7,900 人 大雨により下水が漏れだし流入し原水が汚染された (バックアップが無く手動での塩素注入)。塩素の接触時間が短かった。
1987.1~2 アメリカジョージア州カールトン 原水：表流水 処理：凝集、砂ろ過、塩素 原因：クリプトスポリジウム 有症者：58 人 推定感染者数：13,000 人 大雨による下水の流出で原水がクリプトスポリジウムに汚染された。濁質除去が不十分であり、ろ過施設のある浄水からの最初のクリプトスポリジウムの大規模集団感染。塩素消毒も不十分であった。
1996.6 日本 埼玉県越生町 原水：表流水・伏流水 原因：クリプトスポリジウム 有症者：125 人 推定感染者数：9,100 人以上 濁水に続く豪雨により濁度上昇。凝集剤を注入していなかった。上流 400 m と 1,200 m に排水施設があった。
2000.5 カナダ オンタリオ州ウォータートン 原水：浅い伏流水 処理：塩素処理のみ 死亡者：7 人 有症者：163 人 (O-157), 105 人 (カンピロバクター), 12 人 (両方) 推定感染者数：2,300 人 豪雨の後に肥料 (農地に散布された堆肥) で汚染された水が流入したが、その時の塩素消毒が不十分だった。

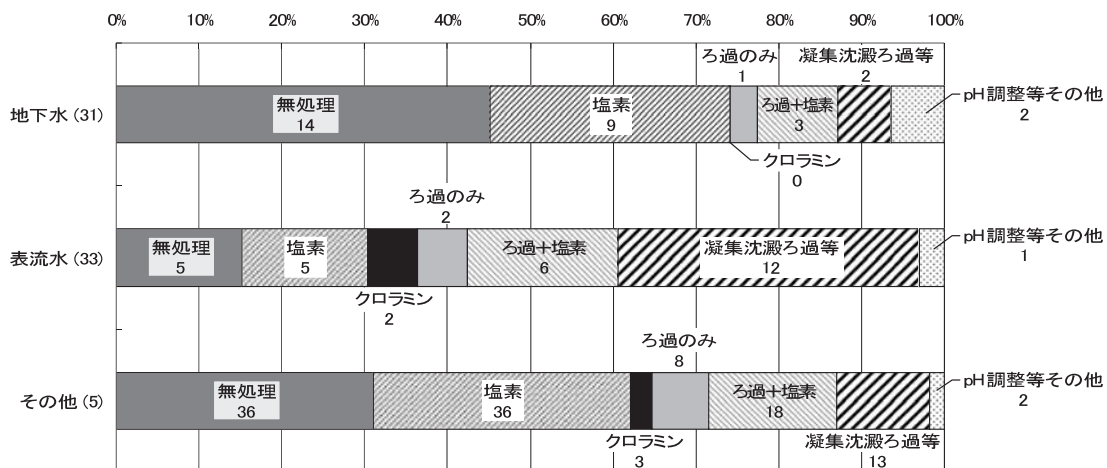


Figure 1 “Safe Drinking Water”¹³⁾で取り上げられている事故事例の原水とその処理方法 (単位：件)

行っているか全く処理を行っていない浄水場での割合が42件であり、簡易な浄水処理を行っているところでは汚染に対して弱く、健康被害につながりやすいと考えられた。また、塩素消毒が不足したことが原因となっているものが、19件あり、不十分な消毒が原因で健康被害を引き起こしたと考えられ、健康被害の発生と拡大防止には消毒などの微生物汚染対策が不可欠と言える。しかしながら、「ろ過」や「ろ過+塩素処理」、「凝集沈澱+ろ過等」の処理を行っている事例も27件あり、ろ過等の処理施設を備えているところでも、原水水質の急激な変動や処理の不備、処理能力を超えた場合には事故が起こることを示していると考えられた (Figure 1)。

多くの先進国で、水源が大雨による出水に伴う濁水で汚染され、健康被害が生じている事例が数多く報告されており、大雨による濁水リスクへの対策が重要であることが分かった。

5. ま と め

日本においても、飲料水危機管理実施要領に基づき大雨に伴う濁水による取水停止の事例が報告されており、健康を脅かす事例がある。集中豪雨や融雪により想定できない濁水の流入が起こることも懸念されており、先進国でも濁水による病原微生物の飲料水への混入による健康被害リスクや取水停止に伴う生活被害リスクがあることが確認できた。今後、このような水質の急激な変動への適応策を考えることが、飲料水による健康被害を低減化する上でも重要であると考えられた。

謝 辞

本検討の一部は、平成20年度国立保健医療科学院水道工学研修特別研究「気候変動と水道水質管理」に

おいて行われた。資料の解析にあたり、愛知県企業庁岩城健二郎氏、横浜市水道局松田浩明氏、佃水資源機構原田加奈子氏にご協力頂いた。本研究の一部は、厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業により行われた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 環境省：地球温暖化影響・適応委員会報告書，第3章水環境・水資源分野 (2008)
- 2) 尾崎則篤，福島武彦，原沢英夫，小尻利治，河嶋克典：異なる時間スケールの気温，降水量，及び日射量の変動が河川水温に及ぼす影響，土木学会論文集，第678巻，pp.93-103 (2001)
- 3) 杉浦則夫：気候変動にともなう水道の生物とその対策技術，全国水道研究発表会講演集，第59巻，pp.678-681 (2008)
- 4) 神野健二，広城吉成：地球温暖化と地下水塩水化，水環境学会誌，第29巻，第2号，pp.72-76 (2006)
- 5) 遠藤尚志，内田晴敏，与田博恭：影響面から見た水道と地球環境問題，水道公論，第28巻，第11号，pp.31-35 (1992)
- 6) 国土交通省水資源部：平成21年度版日本の水資源 (2009)
- 7) 広津鍊一：水道施設のリスク管理——宮崎市富吉浄水場の水没事故報告——，水道協会雑誌，第76巻，第8号，pp.31-37 (2007)
- 8) 日本水道新聞社：梅雨末期の豪雨で浸水 樫野川の洪水で浄水池，ポンプ，補機類などが冠水 山口市朝田浄水場，水道公論，第45巻，第8号，pp.70-77 (2009)
- 9) 平成21年8月3日 水道産業新聞記事 (2009)
- 10) 東京都水道局：気候変動が水道事業に与える影響 (2008)
- 11) 海老江邦雄，伊藤陽司，早川博，永禮英明：北見市水道水の断水に関する原因技術調査委員会報告書 (要約) (2007)
- 12) 北日本新聞社ホームページ
<http://www.kitanippon.co.jp/contents/appear/11/521.html>
(2009年8月アクセス)
- 13) Steve E. Hrudey and Elizabeth J. Hrudey: Safe Drinking Water lessons from Recent Outbreaks in Affluent Nations, IWA Publishing, London, U.K. (2004), Table 4.1 より内容の抜粋，件数の算出を行った。