

特集：人口減少社会における持続可能な水供給システムとまちづくり

<解説>

小規模な水供給システムでどう安全な水を確保するか

伊藤禎彦, 中西智宏, 曾潔

京都大学大学院工学研究科

How to supply safe drinking water in small water supply systems

ITOH Sadahiko, NAKANISHI Tomohiro, ZENG Jie

Department of Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

抄録

人口減少が進む中、小規模水供給システムに焦点を当てる重要性が高まっている。訪問調査を行った地元管理されている水供給施設について、いくつかの観点からその実態を示した。小規模水供給システムにおいては、微生物的安全性の確保を優先する必要がある。限定的な情報の下で、微生物的安全性を確保するためのアプローチ方法を提示した。また、京都市内の水利用施設を対象とし、原水の微生物リスクを推定したうえで、必要な浄水処理レベルについて考察を行った。

キーワード：水道, 飲料水, 飲料水供給施設, 病原微生物, 定量的微生物リスク評価

Abstract

In a society that is experiencing a declining population, focusing on small water supply systems is important. In this article, the actual situation and the perspectives of small water supply systems managed by residents or communities were illustrated, from different points of view. In small water supply systems, priority should be assigned to securing microbial safety. Accordingly, an approach for producing safe drinking water utilizing limited data was presented. After estimating the microbial risk of the source water for a water supply facility in Kyoto City, the required level of reduction by water treatment for supplying safe water was discussed.

keywords: water supply system, drinking water, water supply facility, pathogen, quantitative microbial risk assessment

(accepted for publication, June 27, 2022)

I. はじめに

人口減少が進む中であって、小規模な水道事業や、さらには水道法非適用の小規模水供給システムに焦点を当てる重要性がますます高まっている。著者らは、小規模水供給システムにおける衛生的な水の持続的供給を目的

とした調査研究を行ってきた。特に、地元住民によって管理されているような水供給施設の訪問調査を、厚生労働科学研究（研究代表者：国立保健医療科学院 浅見真理）[1]をベースとして行ってきた。

そのような飲料水供給施設等の小規模水供給施設においては、浄水処理や消毒が不十分である場合も少なく

連絡先：伊藤禎彦
〒615-8540 京都市西京区京都大学桂Cクラスター C1棟
C-1 Kyotodaigaku Katsura, Nishikyō, Kyoto, 615-8540, Japan
Fax: 075-383-3256
E-mail: itoh.sadahiko.4u@kyoto-u.ac.jp
[令和4年6月27日受理]

い。特に、地元管理されている施設では、塩素消毒の必要性が認識されていない場合や、意図的に忌避される場合がある。本稿では、そうした小規模水供給システムを取り上げ、その水質管理や衛生管理上の課題を取り上げる。

微生物的安全性の面では、たとえ塩素消毒が行われていなくても、利用者は、もちろん清浄な水を使用できていると考えているし、通常、感染症の流行などが起きるわけでもない。このような状況下において、都会に出た人が帰省した際、しばらく滞在していると、同行した子供（孫にあたる）がおなかをこわすことがあるという。これは、水利用者である住民に直接インタビューを行うことで得た生の声である。渓流水や沢水を手ですくって飲んだ場合、“おなかをこわす本体”とはいったい何か、興味あるところである。しかし、そのような水道原水について病原微生物に関する検査が行われることは皆無と言ってよい。本稿では、限定的な情報の下で、微生物的安全性をいかに確保すればよいか、そのアプローチ方法についても考察を行っている。

II. 小規模水供給システムの実態

1. 訪問調査の概要

著者はこれまでに、地元管理されている水供給システムの訪問調査を行ってきた。訪問地を以下に示す。北海道富良野市、青森県五戸町・新郷村、長野県松本市、静岡県静岡市、愛知県設楽町、滋賀県長浜市、京都府福知山市、奈良県十津川村、広島県広島市・安芸太田町、高知県いの町・本山町・大豊町。

調査内容は、施設設置の経緯、管理組織の構成、規約、管理記録含む管理実態、水道料金設定法、行政による教育の有無、利用者としての満足度やニーズ、将来見通し等である。市町村の所轄部署においてヒアリングを行うほか、地元管理者および水道利用者に対するインタビューを実施してきた。これらの訪問調査によって、これまでに以下の各点を指摘した。詳細については既報告書[2-5]を参照いただくとありがたい。

- ①支援体制構築の重要性
- ②住民による管理が可能となるための要件と展望
- ③衛生部局の取り組みと水道部局との連携・協力
- ④浄水処理装置に関する課題と技術ニーズ
- ⑤住民の意識構造とコミュニケーションポイント

本稿では、これらの訪問先から、いくつかの観点をとりあげてその事例を示す。

2. 住民による管理が困難または限界に達している事例

奈良県十津川村における田戸地区飲料水供給施設の例を示す。十津川村内において地元管理されている4箇所の飲料水供給施設のうちの一つである。配水戸数9戸、給水人口13人（2018年12月現在）。

導水管の様子を写真1に示す。集落は写真右手の山の

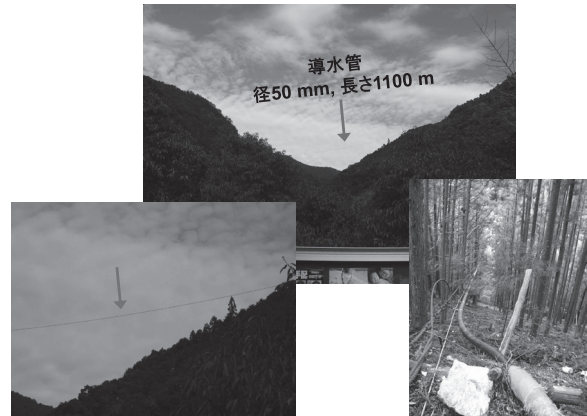


写真1 奈良県十津川村田戸地区 飲料水供給施設 導水管



写真2 緩速ろ過池内に敷かれているろ過マット

ふもとにあるが、水源は、写真左手の山の渓流水に求めている。取水した水は、自然流下で浄水場に導水されている。導水管は径50 mm、長さ1100 mであり、写真のように谷を渡っている。

浄水施設は、着水井—普通沈殿池—緩速ろ過池—配水池からなる。浄水処理は緩速ろ過方式であるが、ろ過砂は現在使用しておらず、代わりに、写真2に示すろ過マットを敷いている。ろ過砂による処理を放棄したのは、砂の入れ替え作業が負担になったためである。ろ過砂使用をやめてから20年程度になるという。ろ過マットは3ヶ月ごとに交換する。使用後のろ過マットは現場で洗浄し、写真のように干している。

水道組合長は、浄水場へ3ヶ月に1回訪問して必要な管理を行っている。同様に水源地にも訪問し清掃等を行っている。しかし、高齢者が一人で山道を登り、水源地を管理するのに依存することはもはや不可能な状況である。このため、村管理とすることを要望している。その場合、現在徴収している水道料金が大幅に上昇することになるが、そうであっても、現在の維持管理作業が困難であることから、村管理になることを望んでいる。このように、住民による管理が困難または限界に達している事例は各地にみられる[3-5]。

小規模な水供給システムでどう安全な水を確保するか

塩素注入設備は、浄水場から下ったところに設置されている。しかし、塩素を注入するのは、月1回、試料水を水質検査センターへ送付するときだけである。そもそも塩素を使用するという習慣がない。むしろ原水水質が良好であることから、清澄な水に塩素を入れるのは申し訳ない、という認識がある。

この問題点は、古い塩素が貯留槽内に長く滞留してしまう可能性があることである。また、手持ちの塩素剤がどの程度新しいのか古いのかも不明である。このため、塩素酸濃度が増大する可能性を否定できない。また、地元管理されている施設の場合、住民による塩素の継ぎ足し作業は広く行われている。さらに、飲料水供給施設でなくても、旧簡易水道地域のような小規模施設において高濃度の塩素酸が出現しやすい傾向がある[6]ほか、基準値(0.6 mg/L)を超過した事例も報告されている[7]。こうしたことから、厚生労働省も塩素剤の管理に関する注意喚起を行っている[8]。

3. 持続可能な水供給システムを目指し精力的に取り組まれている事例

静岡市内に数多く存在する民営簡易水道施設と飲料水供給施設は保健所が所掌している。現在、安定水源の確保、メンテナンスフリーの浄水処理装置の設置、確実な消毒の実施などによって、将来にわたって持続可能な水道施設とすることを目指す施策が精力的に進められている[9]。

本施策によって施設整備された例に権現沢水道組合がある。給水戸数は10戸、給水人口は24人(2019年7月現在)。施設の様子を写真3に示す。沢水の取水口には、有孔管+網が埋め込まれており、写真のように柵が設けられた。下流側に、沈砂池(写真手前)と配水池(写真奥)が設置されている。沈砂池には塩素注入設備が付帯しているが使用されていない。お茶はこの地方の名産であるが、茶葉の蒸し工程で塩素を含んだ水を使うと、カルキ臭を含む蒸気によって茶葉に臭いが付着してしまう。こうなると茶間屋などが受け取ってくれないという。塩素使用が意図的に忌避されている事例といえる。



取水施設

沈砂池(手前)と配水池(奥)

写真3 静岡市整備済み施設例(権現沢水道組合)

4. 水供給形態が持続可能な形で成立している好例

愛知県設楽町における水道未普及地域(2021年11月現在)は、主として沖駒地区(42戸72人)と裏谷地区(8戸23人)であり、その他は町内に散在している。

以前、沖駒地区において、上水道接続の要望があったことから、町は基礎調査を行った。しかし、1戸あたり3,000万円相当になることから現実的ではないことが判明した。これより、補助金を交付しつつ各戸に深井戸を新設する方針を選択し、2009年に「設楽町飲料水安定確保対策事業補助金交付要綱」を策定した。これによって、現在までに、井戸新設を希望する大部分の町民に設置できている。

この事例は、水供給形態が持続可能な形で成立している好例とみることができ、その条件を整理すると以下のようなになる。

- ①住民は上水道接続が現実的でないことを理解し、個別井戸の新設を受け入れている。
- ②水源地や浄水処理装置の維持管理といった住民自ら行うべき作業がなく、水利用の継続性に懸念要素がない。
- ③町は、個別井戸の新設を補助するとともに将来の修繕等にも対応するとしており、住民は安心できている。

これは、他地域において、住民による水源地や浄水処理装置の維持管理を伴う水供給システムの継続が困難あるいは限界に達しており、役場等による管理を要望している、または上水道接続を要望している事例があるのとは対照的である。

一方、消毒が行われていないことには課題が残っているともいえる。ただし、住民による継続的な塩素注入を期待するのは現実的ではない。代替法としては、紫外線照射装置の設置が考えられる。ただし、これも必須とまではいえない。飲用水としての微生物的安全確保法としては、實際上、細菌学的水質検査を行って微生物による汚染がないことを確認しつつ飲用を継続することも選択肢といえるだろう。

他に、住民によって、地域自律管理型水道として持続的に運営されている成功事例が北海道富良野市に存在することが報告されている[10]。そして、住民による持続的な管理が可能となっている要件は以下のように整理されている。

- ①住民管理によって低コストが実現している。また、管理すべき施設自体もシンプルである。
- ②水量・水質上の一定の不都合が許容されている。このため事後対応が可能である。
- ③農村の互助のスキームと調和しており、発生する作業が受容されている。また、水道維持管理に必要な作業スキルや道具立てが存在し、組合内で対応可能である。

ここで取り上げた2例は、小規模水供給システムの持続可能性を考えるうえで参考になる点が多いとみられる。

5. 社会ニーズにマッチした新技術を創出することに成功した事例

高知県内の中山間地域では、生活用水を住民自らが確

保し管理する給水施設が多く存在する。直面していた課題は以下の通り。①取水装置（スクリーン）やろ過施設の多くは、県外メーカーによるもので、かつ高額である。②少数世帯対象の製品がない。③操作方法が高齢者には難しかったり、清掃時の作業に危険が伴う恐れ。④県外にお金が流出してしまう。

これを背景として高知県は「高知県版生活用水モデル開発事業」を立ち上げ、2014年度に委託業務（プロポーサル方式）を実施した。委託内容は、取水施設とろ過施設

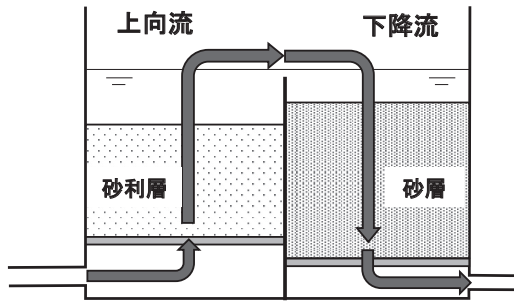


図1 開発された簡易緩速ろ過装置（概略図，著者作成）



写真4 簡易緩速ろ過装置（高知県大豊町津家地区）奥が砂利層。手前は砂層であり表層に泥が蓄積している。



写真5 表流水取水柵（高知県大豊町津家地区）左手に導水管が見える。

設の製作である。

本事業によって、図1と写真4に示す小規模集落対応型の簡易緩速ろ過装置が、県内メーカーによって新規に開発された。2槽からなり、砂利層と砂層を分離している点が大きな特徴である。砂利層は上向流であり粗ろ過（一次ろ過）が行われる。処理水は次の砂層に送られ、下降流によってろ過される。このように各ろ過層を単純化したことで、主なメンテナンス作業である洗浄操作を容易にすることに成功している。なお、電源は不要である。

極小規模であることも特徴であり、浄水能力は3～6 m³/日（ろ速速度4～8 m/日に対応）である。これは、数人～十数人の人口に給水するのに適している。さらに、装置本体は1基130万円（2021年度末時点）と安価である。

浄水処理装置に加えて、表流水取水柵（スクリーン）も新規に開発された（写真5）。一般に、取水設備が、多孔構造を有する集水管を、沢水や渓流水の流水中に横たえただけのものであることも数多い。この場合、葉などによって取水口が閉塞することがしばしば起き、その都度住民の方が清掃する必要がある。これが水供給システム上の主な困りごとの一つとなっている[9]。水はスクリーン表面から柵内部へ取り込まれる。スクリーン表面の目は、水流と同方向なので、落ち葉等が付着しても水流で流れ落ちるため閉塞することがない。これによって、水が内部に流入しやすくなるとともに、葉が流れ落ちる効果を生んでいる。水の取り出し口は、原則として左右いずれかの方向であり、写真5では、左手に流出管（導水管）が設置されている。

本事業を進めるにあたって、高知県は、中山間地域におけるニーズを把握したうえで、それに対応可能な施設・装置の姿を示し、開発されるべき技術を具体的に提示した。これによって、企業としては、求められた施設・装置を開発すれば、少なくとも県内各所に納品できビジネスを展開可能という見通しを得ることができ、新規開発に着手することができている。実際、受託した企業は、このような県による事業がなければ、施設・装置を新規開発することはなかったと語っている。

このように、高知県が推進した本事業は、社会ニーズにマッチした新技術を創出することに成功しているとみることができる。県が果たした役割はきわめて大きい。そして、生み出された浄水処理装置は、極小規模、メンテナンスが容易、低コストといった、各地の小規模集落のニーズ[11]に対応できる新技術である。国内で広く普及していくのが望ましいといつてよい。

III. 微生物的安全性の確保手法

1. 小規模水供給システムにおける微生物的安全性の重要性

岸田ら[12]は、わが国において、過去30年間(1983～2012年)に飲料水を介した健康危機の発生事例をまとめ



写真6 トロッコ保津峡駅(嵯峨野観光鉄道、京都市西京区) 北側施設 原水状況

ている。この結果によれば、化学物質等を含む健康被害数の合計は140件であるが、うち微生物によるものが131件であった。また、そのような健康被害が発生しているのは、多くが小規模水道であった。このように、小規模水道においては、まずは微生物的な安全確保が優先される。

冒頭で、子供がおなかをこわすことがあることを述べた。もちろん、子供がおなかをこわす原因は多くあり、水が原因ではない可能性もあるが、水の可能性もある。また、日本語には“水あたり”という言葉がある。この“水あたり”を起す原因としては、①病原微生物による汚染、②硬度の高い水、③年少者による冷水の多量摂取の3種類があるとされている。

ここでは小規模水供給施設において微生物的安全性を確保するための考え方を提案する。すなわち、定量的微生物リスク評価(Quantitative Microbial Risk Assessment; QMRA)手法によって、原水の微生物リスクを推定したうえで、必要な浄水処理レベルについて考察する。

ところで、新型コロナウイルス感染症が終息しない状況下にあっては、高齢者の多い地元管理水道を調査対象とすることは困難であった。このため、同様の原水を利用している施設を探索した。この結果、京都市西京区において、トロッコ保津峡駅(嵯峨野観光鉄道株式会社)のホームと売店に水供給している施設を見出し、これを調査対象とした。保津川を挟んで、北側の施設と南側の施設の2か所があり、前者は売店へ、後者はホーム上へ水供給しているものである。北側施設の原水の状況を写真6に示す。これまでに、2020年11月~2022年6月にかけて、北側施設22回、南側施設20回の採水調査を実施した。なお、同様の調査研究は、京都帝釈天(京都府南丹市)、および大吉寺(滋賀県長浜市)における水供給施設も対象として行っている。

2. 微生物的安全性確保へ向けたアプローチ方法[13]

ここでは、地元管理されている水供給施設を含めた小

規模水道施設を扱っている。そのような施設の場合、特定の病原微生物、すなわちカンピロバクター、ロタウイルス、クリプトスポリジウム、ジアルジアなどの原水中の濃度が把握されているのは皆無であろう。また、浄水処理や消毒が不十分である場合も少なくない。そのような施設において、微生物的安全性を確保しようとする場合、どのようなアプローチ方法をとればよいのだろうか。図2は、そのための枠組みを示したものである。

「飲用井戸等衛生対策要領」は、給水開始前に、消毒副生成物11種類を除く40項目の検査を求めている。これより、一般細菌と大腸菌については検査結果が存在するはずである。万一、存在しなければ、これら2項目の検査を行うものとする。すなわち、図2では、原水について、一般細菌と大腸菌の検査結果が存在することを前提としている。

原水において一般細菌のみが検出(大腸菌は不検出)され、利用できる情報がこれしかない場合、既存の文献情報を参照しつつ日和見菌等の病原性細菌濃度を推定する。また、適用すべき用量-反応モデルも不明なので、代表的な日和見菌の感染確率モデルを使用する。このとき、安全側のモデル(感染確率が大きく算出されるモデル)や最大感染確率モデルを使用することも考えられる。これより算出される、浄水処理において必要な除去・不活化能は大きな値となり、実際のリスクよりも極めて安全側の評価をすることになるだろう。

これに対して、原水に対する追加調査を実施できる場合を考える。網羅的検出(一斉検出)試験や病原種を特定する試験などを実施できる場合には、対象微生物を限定できる。また種によっては、特定の用量-反応モデルを使用できる場合がある。これによって、安全側に過ぎる評価が緩和され、必要な除去・不活化能も小さな値で済むことになるだろう。

次に、大腸菌が検出された場合を考える。追加調査を行わない場合、大腸菌「検出」という定性結果のみであるので、病原性微生物の濃度としては安全側の値に設定することになる。これは、対象となる病原微生物の原水中濃度に関するデータがない、または不足している場合にも、類似した原水に関する文献値から設定する方法としてしばしば採用される方法である。例えば、カンピロバクター:1細胞/10 L, クリプトスポリジウム:1 オースリスト/m³など。

これに対して、図2では、追加調査を行える場合の考え方を示している。まず、大腸菌や嫌気性芽胞菌といった指標細菌の濃度を測定できた場合には、これに既存文献に基づいた比率を乗じることによって、細菌、ウイルス、原虫の濃度を設定する。さらに、もっとも望ましい追加調査とは、各病原微生物の濃度を実測できることである。こうして推定または実測した病原微生物の濃度に基づいて、必要な除去・不活化能の導出を進める。

重要な点は、原水に対する既存データのみでは、安全側の評価とせざるを得ず、必要な除去・不活化能も大き

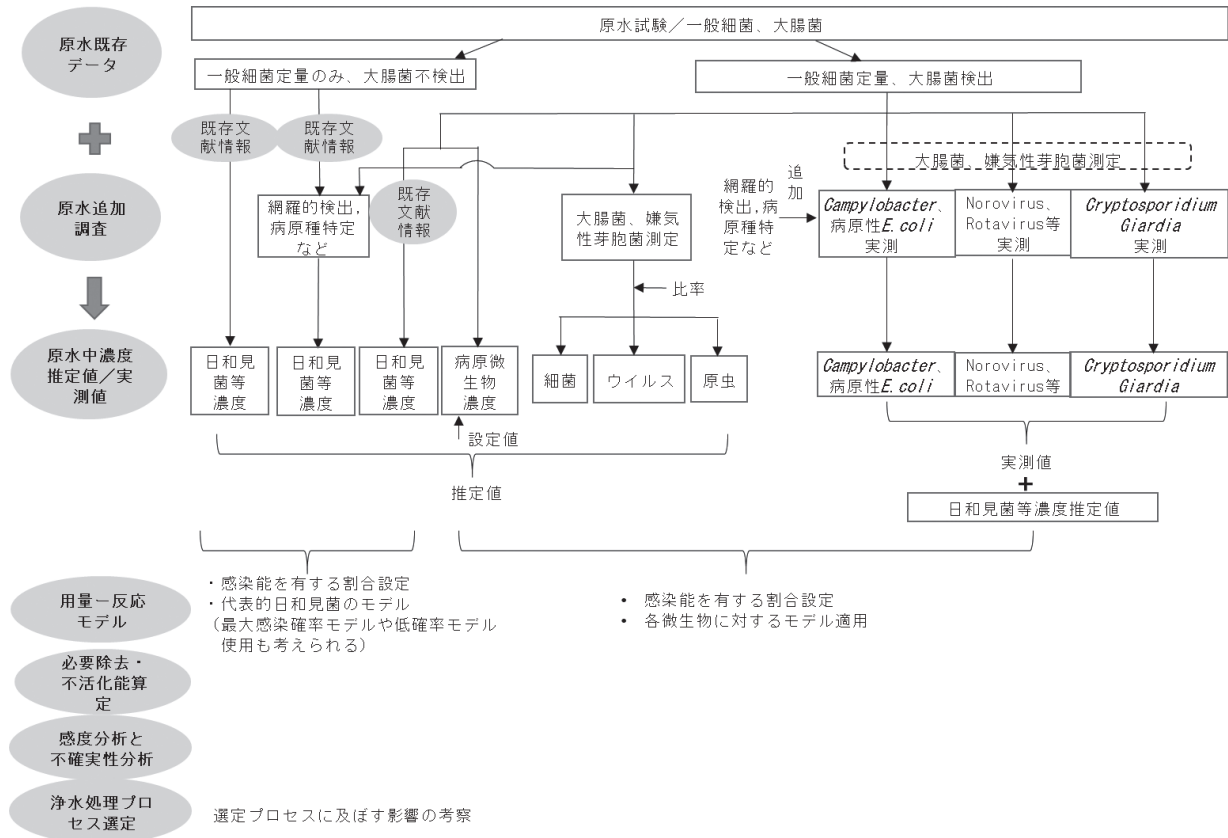


図2 微生物的安全確保に向けたアプローチ方法

くなるのに対して、追加調査を詳しく行えば行うほど、制御すべきリスクを限定することができるので、必要除去・不活化能の大きさも適切に設定できるということである。それは同時に、クリプトスポリジウム汚染指標菌の有無にかかわらず、必要かつ十分な浄水処理を導入するための重要情報を提供できるという意義も有する。

3. 必要除去・不活化能の試算例[13-15]

はじめに、原水において一般細菌のみが検出され大腸菌が検出されなかった場合を想定する。トロッコ保津峡駅の北側施設、南側施設における一般細菌数の幾何平均値は、それぞれ32.4 CFU/mL, 7.4 CFU/mLであった。

既存文献を参照して設定した比率等を以下に示す。一般細菌/全細菌=0.075%, 一般細菌/全生菌=0.18%, 病原性生菌/全病原性細菌=50.6%。また、全細菌の約3%は病原性細菌とした。以上より、病原性生菌数の算定式は以下の通りとなる。

$$\text{病原性生菌数} = \text{一般細菌数} \div 0.075\% \times 3\% \times 50.6\%$$

病原性生菌はすべて日和見菌等であるとみなす。用量-反応モデルとしては、日和見菌のうち指数モデルの γ が最小である*Staphylococcus aureus*のモデル ($\gamma = 7.64 \times 10^{-8}$) を適用した。

北側施設、南側施設において測定した一般細菌数から、上式にしたがって病原性生菌数 (=日和見菌等) を求

めると、それぞれ 6.56×10^2 cells/mL, 1.50×10^2 cells/mLとなった。これより、病原性細菌による感染確率 10^{-4} /人/年以下を満たすのに必要な除去・不活化log数を算定したところ、それぞれ4.8 log, 4.1 logを得た。他に何も情報がない場合、細菌に対してこの除去・不活化能を達成できる浄水処理を導入すれば、微生物的安全性を確保できるとみてよいだろう。

つぎに、一般細菌に加えて大腸菌が検出された場合を想定する。調査対象とした北側および南側の両施設では、実際には大腸菌と嫌気性芽胞菌が検出されている。著者のこれまでの経験では、たとえ湧き出た直後の水であっても、地表面を少しでも流下すれば、通常、大腸菌や嫌気性芽胞菌は検出されると言ってもよい。

大腸菌については、水質検査機関による検査結果の報告は、「不検出」または「検出」の定性的結果のみである。したがって、検査結果が「検出」であった場合、濃度は独自に測定する必要がある。

各試料水の大腸菌濃度測定値に基づいて、各種病原微生物に対する必要除去・不活化能を試算した結果を表1に示す。まず、大腸菌測定値に対して比率を乗じ各種病原微生物濃度を設定した。その後、感染確率 10^{-4} /人/年以下を満たすのに必要な除去・不活化log数を算定したものである。

この算定を行うためには、まず、大腸菌測定値に対

小規模な水供給システムでどう安全な水を確保するか

表1 大腸菌濃度測定値に基づく各種病原微生物に対する必要除去・不活化能の試算

病原微生物	条件/パラメータ	北側施設 log 数	南側施設 log 数
病原大腸菌 <i>E. coli</i> O157:H7	大腸菌 × 0.08 ; $\gamma = 0.0093$	4.9 (6.56×10^{-3})	4.8 (5.92×10^{-3})
カンピロバクター	大腸菌 × 0.66; $\gamma = 0.686$	7.6 (5.41×10^{-2})	7.6 (4.88×10^{-2})
ロタウイルス	大腸菌 × 5×10^{-6} ; $\gamma = 0.59$	2.5 (4.10×10^{-7})	2.4 (3.70×10^{-7})
クリプトスポリジウム	大腸菌 × 1×10^{-6} ; $\gamma = 0.2$	1.3 (8.20×10^{-8})	1.2 (7.40×10^{-8})

カッコ内は原水中推定濃度(cells/mL)。 γ は、指数モデルで表される用量-反応モデルのパラメータ。

して比率を乗じ各種病原微生物濃度を設定する。「WHO 定量的微生物リスク評価ガイドブック」[13]に記載されている大腸菌：*E. coli* O157:H7, 大腸菌：カンピロバクター, 大腸菌：ロタウイルス, 大腸菌：クリプトスポリジウムの比率はそれぞれ1:0.08, 1:0.66, $1:5 \times 10^{-6}$, $1:1 \times 10^{-6}$ である。また、用量-反応モデルについては、*E. coli* O157:H7は $\gamma = 0.0093$, ロタウイルスは $\gamma = 0.59$ を適用した。

このような、細菌、ウイルス、原虫を対象としてリスク評価を行った場合、カンピロバクターに対する必要除去・不活化能がもっとも大きい結果となる場合が多い。表1の結果も同様であることがわかる。また、本例のように大腸菌や嫌気性芽胞菌が検出された場合、クリプトスポリジウムに対する除去・不活化能として、例えば3 log程度以上の処理能が必要とされてしまう場合が多いが、表1では1.2~1.3 logでよいと見積られている。このように、簡単なQMRAを行うだけで、過剰処理を回避し、必要十分な浄水処理プロセスを提示することができる。

上記の試算値に対しては、もちろん不確実な要素を多く含むので、不確実性分析も同時に進めている。これによって、今後重点的に調査を行ったり知見の集積を行うべき項目を抽出することができる。今後も調査データを集積しつつ、図2に示した枠組みを構築していくこととしている。

一方、表1に示すように、これまでのQMRAでは、特定の病原微生物を取り上げて、言い換えれば当たりをつけた病原微生物を対象として評価が行われてきた。これに対して、原水中の病原微生物を網羅的に検出・同定することができれば、より精緻なリスク評価が可能になる。この観点から著者らは、最新型次世代シーケンサーを用いて、水中の細菌群を種レベルまでの高い解像度で分類し、そのリスク評価を目指す研究を展開している[16,17]。

IV. おわりに

本稿では、これまで訪問調査を行ってきた地元管理されている小規模水供給施設について、いくつかの観点をとりあげてその実態を示した。そして、このような小規

模水供給システムにおいては、微生物的安全性の確保を優先する必要があることを述べた。微生物検査に関する情報は限定的であることから、そのような限定的な情報の中で、微生物的安全性を確保するためのアプローチ方法を提示した。また、京都市内の水利用施設を対象とし、原水の微生物リスクを推定したうえで、必要な浄水処理レベルについて考察を行った。

人口減少が進む中であって、本稿が取り上げた施設をはじめとする小規模な水供給施設に着目する重要性がますます高まっている。組織的な調査研究も、やっとな実施されるようになってきたといえる。今後も、多くの観点からの検討が進められ、わが国における水供給の健全性を確保していく必要がある。

利益相反

本稿に関し開示すべき利益相反はない。

謝辞

トロッコ保津峡駅施設における調査にご協力いただいている嵯峨野観光鉄道株式会社に謝意を表す。

引用文献

- [1] 浅見真理. 小規模水供給シリーズ~実状と課題 今後の展望について~第1回小規模水供給システムの課題と今後の展開. 水道. 2020;65(5):1-5.
Asami M. [Shokibo mizukyokyu series: jitsujo to kadai kongo no tenbo ni tsuite. Dai 1 kai Shokibo mizukyokyu system no kadai to kongo no tenkai.] Suido. 2020;65(5):1-5. (in Japanese)
- [2] 伊藤禎彦, 堀さやか. 住民との連携による水供給システムの維持管理手法とそれらの知見共有方策に関する検討. 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)小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究(H29-健危-一般-004)平成30年度総括研究報告書. 2019. p.82-89.

- Itoh S, Hori S. [Jumin to no renkei ni yoru mizu kyokyu system no iji kanri shuho to sorera no chiken kyoyu hosaku ni kansuru kento.] Health, Labour and Welfare Sciences Research Grants (Research on Health Security Control) [Shokibo mizukyokyu system no anteisei oyobi anzensei kakuho ni kansuru togoteki kenkyu.] (H29-Kenki-Ippan-004) Report on Fiscal Year Heisei 30. 2019. p.82-89. (in Japanese)
- [3] 伊藤禎彦, 堀さやか. 地元管理されている小規模水道の実態と課題. 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)小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究(H29-健危-一般-004)平成31年度(令和元年度)分担研究報告書. 2020. p.108-141.
- Itoh S, Hori S. [Jimoto kanri sarete iru shokibo suido no jittai to kadai.] Health, Labour and Welfare Sciences Research Grants (Research on Health Security Control) [Shokibo mizukyokyu system no anteisei oyobi anzensei kakuho ni kansuru togoteki kenkyu.] (H29-Kenki-Ippan-004) Report on Fiscal Year Heisei 31 (Reiwa 1). 2020. p.108-141. (in Japanese)
- [4] 伊藤禎彦, 曾潔, 武藤陽平. 小規模水供給施設における衛生問題と微生物的安全確保法. 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)小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究(20LA1005)令和2年度分担研究報告書. 2021.
- Itoh S, Zeng J, Muto Y. [Shokibo mizukyokyu shisetsu ni okeru eisei mondai to biseibutsu teki anzen kakuho.] Health, Labour and Welfare Sciences Research Grants (Research on Health Security Control) [Shokibo mizukyokyu system no jizoku kano na iji kanri ni kansuru togoteki kenkyu.] (20LA1005) Report on Fiscal Year Reiwa 2. 2021. (in Japanese)
- [5] 伊藤禎彦, 曾潔. 小規模水供給施設の管理実態と課題. 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)「小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究」(20LA1005)令和3年度分担研究報告書. 2022.
- Itoh S, Zeng J. [Shokibo mizukyokyu shisetsu no kanri jittai to kadai.] Health, Labour and Welfare Sciences Research Grants (Research on Health Security Control) [Shokibo mizukyokyu system no jizoku kano na iji kanri ni kansuru togoteki kenkyu.] (20LA1005) Report on Fiscal Year Reiwa 3. 2022. (in Japanese)
- [6] 伊藤禎彦. 小規模水供給施設における衛生問題と微生物的安全確保. 水道. 2021;66(4):10-19.
- Itoh S. [Shokibo mizukyokyu system ni okeru eisei mondai to biseibutsu teki anzen kakuho.] Suido. 2021;66(4):10-19. (in Japanese)
- [7] 松井佳彦. 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「化学物質等の検出状況を踏まえた水道水質管理のための総合研究」令和元年度研究報告書. 2020. p.254-263.
- Matsui Y. Health, Labour and Welfare Sciences Research Grants. Research on Health Security Control. [Kagaku busshitsu to no kenshutsu o fumaeta suido suishitsu kanri no tameno sogo kenkyu.] Report on Fiscal Year Reiwa 1. 2020. p.254-263. (in Japanese)
- [8] 厚生労働省. 令和2年度第1回水質基準逐次改正検討会(2021年1月26日). 資料1参考2. Ministry of Health, Labour and Welfare. Reiwa 2 nendo. Dai 1 kai. [Suishitsu kijun chikujai kaisei kentokai (2021.1.26).] Shiryo 1. Sanko 2. (in Japanese)
- [9] 佐野貴勇. 静岡市の中山間地域における水の確保に関する取り組みについて, 小規模水供給シリーズ~実状と課題, 今後の展望について~. 水道. 2022;67(2):1-14.
- Sano T. [Shizuoka shi no chusankan chiiki ni okeru mizu no kakuho ni kansuru torikumi ni tsuite, Shokibo mizukyokyu series: jitsujo to kadai, kongo no tenbo ni tsuite.] Suido. 2022;67(2):1-14. (in Japanese)
- [10] 牛島健, 石井旭, 福井淳一, 松村博文. 実態調査に基づいた人口減少地域における地域自律型水インフラシステムの可能性. 土木学会論文集G(環境)(環境工学研究論文集第55巻). 2018;74(7):III_143-III_152.
- Ushijima K, Ishii A, Fukui J, Matsumura H. [Feasibility of community based water management system on the basis of field study.] J Japan Society of Civil Engineers, Ser G. (Environmental Research. Vol.55) 2018;74(7):III_143-III_152. (in Japanese)
- [11] 伊藤禎彦. 人口減少下における浄水処理装置・施設に関する課題とニーズ. 環境衛生工学研究. 2019;33(2):3-10.
- Itoh S. [Perspectives and needs of water treatment facilities in a depopulation society.] Environmental & Sanitary Engineering Research. 2019;33(2):3-10. (in Japanese)
- [12] 岸田直裕, 松本悠, 山田俊郎, 浅見真理, 秋葉道宏. 我が国における過去30年間の飲料水を介した健康危機事例の解析(1983~2012年). 保健医療科学. 2015;64(2):70-80.
- Kishida N, Matsumoto Y, Yamada T, Asami M, Akiba M. [Analysis of health-related incidents associated with drinking water in Japan in the last three decades (1983-2012).] J Natl Inst Public Health. 2015;64(2):70-80. (in Japanese)
- [13] World Health Organization. 国立保健医療科学院 翻訳. 定量的微生物リスク評価—水安全管理への適用—. 2020. p.235.
- World Health Organization. Quantitative microbial risk assessment: application for water safety management. Geneva. 2016. p.187

- [14] Federigi I, Verani M, Donzelli G, Cioni L, Annalaura C. The application of quantitative microbial risk assessment to natural recreational waters: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2019;144:334-350.
- [15] Vetrovsky T, Baldrian P. The variability of the 16S rRNA gene in bacterial genomes and its consequences for bacterial community analyses. *PLoS ONE*. 2013;8(2):e57923.
- [16] 曾潔, 原彩斗, 中西智宏, 伊藤禎彦. 病原細菌種の網羅的検出に基づいた小規模水供給施設における定量的微生物リスク評価. 第56回日本水環境学会年会講演集. 2022. p.119.
- Zeng J, Hara A, Kubo T, Nakanishi T, Itoh S. [Quantitative microbial risk assessment of pathogenic bacteria based on species-level identification in small-scale water supply systems.] *The 56th Annual Conference of Japan Society on Water Environment 2022*. p.119. (in Japanese)
- [17] 中西智宏, 曾潔, 久保拓也, 伊藤禎彦. 水道原水中の病原細菌種の一斉検出を目的としたDNAメタバーコーディング手法の確立. 第56回日本水環境学会年会講演集. 2022. p.122.
- Nakanishi T, Zeng J, Kubo T, Hara A, Itoh S. [Development of DNA metabarcoding analysis for detecting pathogenic bacterial species in drinking water sources.] *The 56th Annual Conference of Japan Society on Water Environment. 2022*. p.122. (in Japanese)