

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

研究代表者 浅見 真理 国立保健医療科学院生活環境研究部 上席主任研究官
研究分担者 伊藤 禎彦 京都大学大学院工学研究科 教授
増田 貴則 国立保健医療科学院 統括研究官
牛島 健 北海道立総合研究機構北方建築総合研究所 研究主幹
小熊 久美子 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 准教授
中西 智宏 京都大学大学院工学研究科 助教

研究要旨：

水供給維持困難地域を含む小規模水供給システムにおける衛生的な水の供給を目的として、施設・浄水処理等の技術、住民・民間等との連携、行政への支援体制等の検討を実施し、施設・技術（ハード）を維持管理・支援（ソフト）の仕組みで支える水供給システムを強化する維持管理体制強化方策等の統合的方法を提案するため、実験や調査、検討を行い、以下のことをとりまとめた。

小規模水供給システムの実態把握を行ったところ、維持管理の手間や財政的にも困難な状態の箇所が多くあった。複数の簡易水道が点在する地域で、処理施設、管路更新等を行う際の条件についてシミュレーションを行ったところ、給水人口当たりの総配管延長（単位配管延長）が大きく給水原価に影響し、ブロック内の簡易水道の経営状況には建設にかかる資本単価の影響が大きいことが分かった。通常の給水を行う場合は、見直しにおける管路延長減の効果が大きく、運搬給水を行う場合では使用水量減の効果が大きいこと、給水人口の抑制策も一定の効果を有することが明らかとなった。水質検査費用の影響が大きい場合があることも分かった。

小規模水供給システム等の衛生確保対策を行う全国の地方自治体（都道府県、市、特別区）を対象として実施したアンケート調査結果から、小規模水供給システムに係る集約的な相談体制や厚生労働省や地方自治体、研究機関との間で共通する情報の共有化や情報提供体制の確立が重要であると考えられた。

小規模水供給システムに適した小型浄水処理について、濁度除去に関する実験及び実地に設置した試行を実施したところ、実験室内のプラントにおいて比較的安定した除去率が得られたが、実地の実証実験では原水濁度の上昇により、処理水の濁度上昇が確認された。紫外線照射によりろ過水の大腸菌を不活化できていることが確認された。静岡市等では関係者らの尽力により、水源取水装置、処理装置の改善が行われ、濁度が低く、安全性が高い水が安定的に供給されるようになった。研究が生かされ、UV-LED装置が実際に導入された事例などで維持管理体制の検討を行うことができた。

地元管理されている施設の場合、塩素貯留槽への塩素の継ぎ足し作業が広く行われていることから、水質検査は、基本項目に加えて塩素酸を検査項目に加えることが望ましい。原水の種類、浄水処理の有無、消毒の有無によって分類したうえで、現実的な水質検査のあり方を考えるための枠組みを示した。高知県が推進した「高知県版生活用水モデル開発事業」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た。特に、2槽式緩速ろ過装置は、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に対応できる新技術であることから、国内で広く普及していくのが望ましいと指摘した。高額な水質検査費用の削減を主たる理由として、民営の簡易水道を飲料水供給施設に格下げした事例も存在する。水質検査とはいうまでもなく飲用水としての

安全保証が目的であることから、公的補助のしくみを検討する必要がある。

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に関する検討で、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。また、限定的な情報の中で、微生物的な安全性を確保するためのアプローチ方法を提示した。幾つかの小規模水供給施設の原水を対象に、種レベルまでの分類解像度を持たせた細菌の一斉検出を行った。その結果、対象地域では土壌・水環境中の常在菌が主な病原細菌であることを示した。検出された全ての病原種を対象としたリスク評価を行い、浄水処理に要求される除去・不活化能を示した。

小規模水供給システム向け取水施設および給配水管路の維持管理手法の検討において、マンガンが蓄積物の重要な構成成分として挙げられた。さらに、蓄積物制御のための3つの方策（浄水処理によるMnの形態・濃度の制御、縮径による管内水理条件の制御、洗管）による制御性をシナリオ分析によって推定し、通常は実施不可能な洗管と同等の効果を浄水処理の改善によって見込まれることなどを示した。地域特有の管路維持管理作業が配水管内環境の制御に寄与できる。それぞれの配水管網の特徴や課題を踏まえつつ複数のシナリオを設定することによって、小規模水道における配水管内環境を制御する手法とその効果を提示した。

小型紫外線消毒装置の基礎的知見の収集と適用のため、山間の集落規模の飲料水供給施設を対象に実証試験を実施し、2年にわたる採水・分析を実施した。原水では、散発的ながら大腸菌陽性の場合や従属栄養細菌が水道水質管理目標値を超過した。処理流量30L/minのUV-LED装置による処理水では、調査したすべての微生物項目（大腸菌、一般細菌、従属栄養細菌）で濃度が低下し、水道水質基準の定める大腸菌数、一般細菌数および水質管理目標として示された従属栄養細菌数の暫定目標値の全てを、2年間の試験期間を通じてほぼ継続的に満たした。当該UV-LED装置による微生物の対数不活化率は、最大値として大腸菌は2.4log以上、一般細菌は最大値2.8log（中央値1.5log）、従属栄養細菌は最大値2.2log（中央値1.1log）であった。本研究により、小規模施設で利用可能な消毒技術としてUV-LED装置の有効性と長期的な安定性が示された。

西日本の12府県において、小規模集落が管理する水供給システムの維持管理について集落外の団体との維持管理作業における連携・協力状況、および、集落役員が点検や清掃などの管理作業に感じている負担感や作業負担の重い項目、外部団体からの支援についての集落側の意向、支援を利用する場合の価格帯について整理した。飲料水供給施設等の小規模水供給システムを管理し使用している集落を対象に行った質問紙調査の結果から、集落にとって負担が重いと感じられている維持管理作業は設備の点検・清掃、薬液補充、検針・集金などの作業であることが確認できた。また、頻度は多くないものの停電や漏水といったトラブル対応に多くの時間がかかっていることが明らかとなった。また、外部団体との連携状況については、連携協力していない集落が約8割となったが、連携してみたいと思ったが情報を知らず行動できなかったあるいは会計に余裕がないからと回答した集落を確認できた。また、すでに連携協力している集落の約6割が平常の時から継続的に、行政や民間団体・NPO法人と連携協力しており作業内容は多岐にわたっていることが把握できた。さらには本調査により、水供給システム敷設時の集落住民の金銭的負担については、集落や個人負担と回答した集落が最も多かった。また、水道料金については、半数を超える集落が定額制と回答し、そのうちの約7割の集落が無料を含め1世帯当たり月1000円以下の料金であった。一方、メーター制を含む集落の1世帯当たり一か月の水道料金中央値は1800円であり、定額制より高い料金負担であった。少数ではあるが地方自治体の中には積極的な支援を行っているケースやNPO団体を活用しているケースがあることがわかった。国が最近創設した特定地域づくり事業協同組合制度は、人口急減地域の小規模水道の維持管理作業を支援する枠組みとなる可能性がある。

地域のプレイヤーが自律的に管理する小規模水供給システムのケーススタディおよび実践的取り組みを通じた支援体制の検討を行った。地域自律管理型水道が多く確認されている10市町を対象にケーススタディとして調査を行い、多様な運営形態、行政との役割分担の仕方を整理した。市町村経営との中間的な地域自律管理の形や、NPOへの委託を含めた多様な「地域自律管理型モデル」が存在することがわかった。今回確認された「中間的」な地域自律管理型を含む広義の地域自律管

理型モデルは、今後水道運営の再編が必要となる地域に対し、それぞれの状況に合わせた多様な選択肢を提供することにつながると考えられる。「自律的な水供給システム」のモデルについては、北海道富良野市をフィールドとした6年間の試行錯誤の結果、水道利用組合等による地域自律管理を前提とした、地元高校生による運営支援体制として「富良野モデル」を構築し、必要なコスト、人工（必要人員・作業量）、普及の方策について整理することができた。さらに、令和4年度には、実際に北海道日高町にある富川高校の「総合的な探求の時間」の授業として富良野モデルを適用し、富良野市同様の成果を地域に提供できることを確認した。

これらの知見から、小規模水供給の地域では、地域の状況に合わせ、広域化、施設統合、維持管理の容易な装置の導入、分散型装置設置、運搬給水等を検討するとともに、住民や各種団体等と連携した維持管理、貸借や維持管理と組み合わせた民間との協力等を検討し、取り組むことが必要と考えられた。県や近隣の自治体等との情報共有、連携の必要性も多く指摘されており、今後とも多様な事例の共有、連携が重要と考えられた。

A. 研究目的

高齢化及び人口減少等により、給水人口が数万人以下の比較的小規模な上水道、計画給水人口5,000人以下の簡易水道及び同100人以下の飲料水供給施設等（以下、小規模水供給システム）を維持することが困難となりつつある。そのような水供給維持困難地域を含む地域において衛生的な水を持続的に供給可能とするための具体的検討を実施すべく、その技術上及び支援体制等を含めた維持管理体制強化方策等について統合的方法を提案する。

具体的には、小規模水供給システムを対象に、

- 1) 水源や人口、地理状況等を踏まえた小規模水供給システムの維持管理手法に関する検討
- 2) 取水・送水・給水における取水方法、管路の維持管理方法に関する検討
- 3) 簡便なる過設備及びその維持管理方法に関する検討
- 4) 小型紫外線消毒装置の国内小規模水供給システムへの適用
- 5) 効率的な水質管理・水質検査のあり方に関する研究
- 6) 住民・民間等との連携による水供給システムの維持管理手法に関する検討
- 7) 小規模水供給システムの持続的な管理・支援体制に関する検討
- 8) 効果的な情報収集・共有のあり方に関する検討を実施し、施設・技術（ハード）を維持管理・支援（ソフト）の仕組みで支える水供給システムを強化する維持管理体制強化方策等の統合的方法を提案する。

B. 研究方法

1. 地方自治体における水道法の適用を受けない「小規模な水道」の実態把握状況に関する検討及び小規模水供給システムにおける維持管理手法並びに持続的な管理体制に関する研究

1.1 小規模水供給システムにおける維持管理手法並びに 持続的な管理体制に関する研究

小規模水供給システムをめぐる課題と展望について、下記の項目についての調査を実施し、事例の整理や問題点の抽出を行うことにより、様々な課題に対する方策並びに情報提供のあり方についての検討を行った。

- 1) 小規模水供給システムにおける事例の整理
 - 2) 水質検査に関する課題・海外事例の収集
 - 3) 小規模水道をめぐる技術開発の可能性
 - 4) 小規模水道システムの課題への対応に資する方策の検討
 - 5) 地方自治体の取り組み事例
- 1.2 地方自治体における水道法の適用を受けない「小規模な水道」の実態把握状況に関する検討

水供給維持困難地域を含む地域においても衛生的な水を持続的に供給できる体制づくりに寄与することを目的として、小規模水供給システム等の水道法の適用を受けない「小規模な水道」の衛生確保対策を行う全国の地方自治体（都道府県、市、特別区）を対象に「小規模な水道」の実態把握状況や指導體制等についてのアンケート調査を実施した。

調査結果を基に、全国の「小規模な水道」に係る衛生確保対策の実態を把握し、これからの水供給の安全性確保や持続的な維持管理のための課題を整理し、今後の方策を検討する研究を行った。

1.3 小規模水道・水供給システムの維持管理に関する経営シミュレーション

これまで特に経営環境が厳しい人口5千人未満の過疎町村にある簡易水道事業を選定し、施設統合や運搬給水など様々なシステムや多様な給水形態を導入した場合について、簡易な経営シミュレーション等を行い、給水システムについて施設統合や自立分散型、運搬給水や非飲用水給水の導入などの優位性を評価し、今後これらの地区で導入すべき最適なシステムについて検討した。

最終年度にはこうした評価手法を一部の簡易水道や小規模水供給システムの今後の最適なシステムや給水形態についての検討に利用できるように、金利や人件費などの維持管理費を含む現実に即した詳細なシミュレーション手法を構築し、実績値との比較によりその妥当性を検討した。また、この手法を用いて地方公営企業法非適用の簡易水道事業や水道法の適用を受けない飲料水供給施設等の小規模な水供給における今後の費用削減策とその効果について検討した。更に、これをモデル地区にも適用して、施設更新や維持管理の今後の課題を抽出することで、小規模な水供給の今後のあり方を検討した。

1.4 小規模水供給システム向け浄水処理装置の試行と維持管理モデル

小規模水供給システム向けに維持管理の簡便な装置による除去性の実験と、南日本のある離島の2地区において、実際の設置に関する検討を行うこととした。

(1) 実験プラントにおける実験及び現場実証試験
① 国立保健医療科学院浄水処理実験プラントにおける上向式ろ過による実験

維持管理の簡便な浄水処理のため、上向式のろ過装置（三菱ケミカルアクア・ソリューションズ社製）を依頼作成し、処理実験を行った。浄水処理実験プラント内に設置した同機について、2021～23年に断続的に通水試験を実施した。原水は浄水処理実験プラント内の水道水に、白とう土（カオリン）及び粉末活性炭を50:50で添加し、濁度約1度に調整、流速0.5L/minで通水した。

②実地試験 B

①と同型の装置を用い、南日本のある島の個別に井戸を利用している B 地区で、実地の試行を行った。実地試験において、支持体はステンレス網とペルイーター (PVA 樹脂系スポンジ) を用いた。また、消毒性能の確認のため、後段に UVLED 装置を設置した。

当該の水源は、井戸下部に砂等が堆積しており、雨後に濁度が上昇する。水源は、ゴムシートのみで養生されており、雨水、表流水、小動物混入の恐れがある。揚水管が複数設置されているが、実際に利用しているのは 2 世帯であった。

③実地試験 E

同様の装置を用い、同じ島の個別に井戸を利用している E 地区で、実地の試行を行った。水源は一般道から 150m 程度離れた草地にあり、特段の管理の形跡がなかった。貯水槽内は晴天時でも目視で確認できる程度濁っており、蓋の劣化により落ち葉等が貯水槽内部に混入していた。

(2) 実地調査

小規模水供給の持続的な維持管理に関する取り組みを続ける地域について、実地の調査を行った。

2. 小規模水供給施設の実態と現実的な水質管理

2.1 広島市安佐北区および広島県山県郡安芸太田町への訪問調査

地元管理されている広島市安佐北区安佐町(あさちょう)宇津(うづ)簡易水道組合、および広島県山県郡安芸太田町澄合(すみあい)簡易水道組合への訪問調査を行った。いずれも、直接、管理されている方からヒアリングすることができた。

2.2 長野県松本市保健所および上下水道局とのヒアリング
松本市における飲料水供給施設および簡易給水施設について、保健所および上下水道局においてヒアリングを行った。

2.3 入山辺地区飲料水供給施設への訪問調査

松本市入山辺(いりやまべ)地区において、地元管理されている 3 か所の飲料水供給施設(大和合東村(おおわごうひがしむら)飲料水供給施設、大和合中央飲料水供給施設、大仏(おおぼとけ)飲料水供給施設)への訪問調査を行った。いずれも、直接、管理されている方からヒアリングすることができた。訪問日：2021 年 11 月 2 日。

2.4 愛知県豊根(とよね)村・東栄(とうえい)町・設楽(したら)町各役場におけるヒアリング

愛知県の三河山間地域とよばれる豊根村・東栄町・設楽町を訪問し、豊根村生活課、東栄町事業課、設楽町生活課においてヒアリングを行った。

2.5 豊根村・東栄町・設楽町簡易水道施設および水供給施設への訪問調査

豊根村における簡易水道施設等の訪問調査を

行った。対象は、猪古里(いのしごり)浄水場とその原水取水点、富山(とみやま)浄水場とその原水取水点、小谷下(こやげ)簡易給水施設、牧野浄水場とその配水区域における減圧水槽および減圧弁。東栄町における簡易水道施設等の訪問調査を行った。対象は、振草(ふりくさ)浄水場とその原水取水点、桑原(くわばら)浄水場とその原水取水点。設楽町の未普及地区である沖駒地区において各戸設置型深井戸の訪問調査を行った。利用者から直接ヒアリングすることができた。訪問日：2021 年 11 月 29 日～12 月 1 日。

2.6 高知県におけるヒアリングと訪問調査

高知県中山間振興・交通部鳥獣対策課において、主として「高知県版生活用水モデル開発事業」に関するヒアリングを行った。

高知県吾川郡いの町、長岡郡大豊町、長岡郡本山町を訪問し、いの町吾北(ごほく)総合支所建設課、大豊町住民生活課、本山町政策企画課においてヒアリングを行った。訪問日：2022 年 5 月 16 日～5 月 18 日。

いの町川窪奈呂(かわくぼなろ)地区、手取(てどり)地区における水供給施設の訪問調査を行った。浄水施設とその原水取水点の視察を行った。大豊町津家(つげ)地区における水供給施設の訪問調査を行った。対象は、浄水施設とその原水取水点。本山町瓜生野(うりうの)地区における水供給施設の訪問調査を行った。対象は、浄水施設とその原水取水点。

いの町手取地区、大豊町津家地区においては、「高知県版生活用水モデル開発事業」のもとで簡易緩速ろ過装置および表流水取水柵を新規に開発した四国水道工業株式会社立ち合いのもと調査を行った。また、四国水道工業株式会社を訪問し、ろ過材を入れる前の簡易緩速ろ過装置の構造について説明を受けた。さらに、各水供給施設においては、利用者からも直接ヒアリングすることができた。

2.7 福島県県南保健所と西郷村におけるヒアリングと訪問調査

県南保健所(県南保健福祉事務所)生活衛生部において、福島県水道の概要、小規模水供給システムの実状、保健所の役割等についてヒアリングを行った。

西白河郡西郷(にしごう)村上下水道課においてヒアリングを行った。ヒアリング内容は以下のとおり。

(1) 西郷村における上水道事業について

経営状況とその見通し、職員の状況(水道技術管理者の確保状況や育成等)、広域化や周辺水道事業者との連携等、民間事業者の活用状況。

(2) 未普及地域等に対する施策について

普及率と未普及地域の実態、方針と施策内容、

利用者からの要望、維持管理作業の実際、利用料金、将来見通し等。さらに、地元管理されている由井ヶ原水路会、報徳水路会への訪問調査を行った。訪問日：2022年8月10日。特に管理者や利用者から直接ヒアリングすることができた。

2.8 島根県雲南(うんなん)市および飯南(いいなん)町におけるヒアリングと訪問調査

島根県雲南市においてヒアリングと訪問調査を行った。ただし、上記の各県の事例とは異なり、市によって管理されている上水道事業である。また、飯南町においてもヒアリングと訪問調査を行った。

3. 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

3.1 滋賀県長浜市寺院への訪問調査

滋賀県長浜市内の大吉寺(だいきちじ)(長浜市野瀬町)の水供給施設への訪問調査を行った。以前膜ろ過施設を設置していた企業(株式会社清水合金製作所)立会いのもと、住職に対してヒアリングを実施した。また、企業からも、これまでの経緯等についてヒアリングを行った。加えて、原水(溪流)、および寺院への供給水を採水し水質測定を行った。

3.2 京都帝釋天水供給施設の調査

京都帝釋天(たいしゃくてん)(京都府南丹市)の寺務所である福寿寺の住職から、水利用状況および南丹市との関わりの有無についてのヒアリングを行った。

3.3 京都市内における原水調査

京都市西京区にあるトロッコ保津峡駅(嵯峨野観光鉄道株式会社)の駅舎と売店に水供給している施設を調査対象とした原水調査を行った。採水場所は、保津川を挟んで、北側の施設(売店へ水供給)と南側の施設(駅舎へ水供給)の2か所で、定期的に採水を行い、水質測定を行った。

3.4 病原細菌群の網羅的検出

上記のトロッコ保津峡駅の北側施設と南側施設で採取した水試料に対して、病原細菌の網羅的検出を行った。試料を孔径0.2 μmのメンブレンフィルターを用いてろ過濃縮後、PowerSoil kit(Qiagen社)でろ紙から核酸を抽出した。その後、LongAmp Hot Start Taq DNA Polymerase(New England BioLab)と16S Barcoding Kit 1-24(SQK-16S024; Oxford Nanopore Technologies社、以下ONT社)を用いて、真正細菌由来の16S rDNA全長をPCR増幅した。反応液組成やその他の反応条件は原則Barcoding kit付属のプロトコルに従ったが、アニーリング温度と伸長時間については別途適切な条件を検討し、アニーリング温度50度、伸長時間2分を採用した。増幅産物をビーズ精製し、全サンプルを混合したものをFlow Cell R9.4.1(ONT社)にロードし、MinION

Mk1B(ONT社)で配列データを取得した。ONT社の配布する解析ソフトGuppy ver. 5.0.16でベースコールした後、バーコード配列に応じて検体ごとに配列データを仕分け、プライマー配列を除去した。その後、NanoCLUSTという解析ソフトを用いて主たる細菌種由来の代表配列を推定した。得られた代表配列をNCBIのRefseqデータベースに対してBLAST検索し、配列類似性が最上位にヒットした細菌種の分類群情報を取得し、種レベルまでの微生物名を割り当てた。最後に、NanoCLUSTによって同定された全細菌種の中から病原種のみを抽出した。具体的には、既報や日本細菌学会による病原細菌リスト、BacDiveデータベースを参考に全1409種からなる病原種リストを作成し、同定結果を照合することで病原種を抽出した。

なお、上記の手法では検出結果の信頼性が低かったため、最終年度には手法の改良を行った。具体的には、Unique Molecular Identifier(UMI)法によって次世代シーケンサーの解読エラーを補正し、より信頼度の高い16S rDNA全長配列から病原種の検出を行った(詳細は令和4年度分担研究報告書を参照)。

3.5 QMRA手法による細菌の要求除去・不活化能の推定

対象地域の供給水の微生物リスクを必要十分に低減するために求められる浄水処理レベルを推定した。その手順の概要を「浄水処理に求められる細菌の除去・不活化能の推定手順」として示した。まず、対象地域の供給水をそのまま生活用水として用いた場合の感染リスクを推定し、上記のシーケンス分析で得られた各病原種の相対存在割合と別途測定データを用いて、水源での病原細菌の生菌数を推定した。次に、この水を非加熱飲用あるいはシャワー利用する場合を想定して各病原細菌への曝露評価を行い、用量-反応関係を用いて感染確率を推定した。なお、曝露評価や感染確率の推定に必要な情報は多くの病原種で存在しないため、感染経路と発生源に応じて病原種をグループ分けして、曝露モデルや用量-反応関係が既知の細菌種で代用してリスク評価を行った。最後に、WHOの提案する許容可能な年間感染確率である $10^{-4}/(\text{人}\cdot\text{年})$ を超えないための生菌の閾値濃度を病原種ごとに算出し、原水中の生菌数の推定値と比較することで必要除去・不活化能を推定した。

4. 小規模水供給システム向け取水施設および給配水管路の維持管理手法

4.1 滋賀県T市における配水管内環境に関する実態とシナリオ分析

(1) 配水管内環境に関する実態調査

滋賀県T市における2つの配水区域、合計3地点でピグ洗管の現場に赴き、洗浄排水を採取した。

ピグは上流の消火栓から圧入し、それぞれ 1170 m、490 m、1570 m の管路にピグを流下させ、下流側の消火栓からピグを取り出した。この時に消火栓から出される洗浄排水を定期的に一定容量ずつ採水し、1つのポリタンクに混合させた。なおピグは硬さの異なるものを複数回圧入したため、その都度この採水を行った。試料は大学に持ち帰ったあと無機元素 (Al, Ca, Fe, Mn, Si) と SS/VSS を測定し、蓄積物の存在量と組成を調査した。

(2) マンガン蓄積量の予測と制御性に関するシナリオ分析

管内流速の影響を組み込んだ Mn 蓄積モデルを実態調査の対象管網 (配水区域 A) に適用することで、制御方策を議論することを目的とした。

まず、実態調査の結果を利用してモデルパラメータの校正を行った結果、以下の校正済みモデル式 (1)～(3) を得た。なお、 Mn_{sur} : 管内面の Mn 蓄積量 (mg/m^2)、 K_{att} : 1 次付着速度定数 (管内流速に依存) ($s^{-1} \cdot L \cdot m^{-2}$)、 k_{sur} : 反応速度定数 ($(\mu g/L)^{-2} \cdot s^{-1}$)、 K_{det} : 脱離速度定数 (管内流速に依存) (s^{-1})、 v : カラム体積 (L)、 A : 管内面積 (m^2)、 c : 定数 (管内流速に依存) ($(\mu g/L)^{-1.3} s^{-1}$)、 D : 管内径 (m) である。

$$\frac{\partial Mn_{sur}}{\partial t} = \frac{0.15}{D} \cdot (K_{att} \cdot [MnO_2] \cdot \frac{A}{v}) \cdot \frac{v}{A} + 3 \cdot k_{sur} \cdot [HOC1]_T \cdot [Mn^{2+}] \cdot Mn_{sur} - \frac{0.025}{D} K_{det} \cdot Mn_{sur} \quad (1)$$

$$k_{sur} = c \cdot [Mn]_T^{-1.7} \quad (2)$$

$$Mn_{sur} = \begin{cases} Mn_{sur} & Mn_{sur} \leq 400 \\ 400 & Mn_{sur} > 400 \end{cases} \quad (3)$$

計算にあたっては、対象地域の管網データに基づいて管網形状を可視化した上で、管網計算ソフト EPANET2 (USEPA) を用いて全管路の平均流速を計算した後、EPANET の拡張モジュール EPANET-MSX に上記モデル式 (1)～(3) を実装して蓄積量を計算した。配水池での全 Mn 濃度とその形態組成は実態調査で得たデータをもとに全 Mn 濃度 $8.6 \mu g/L$ 、 $[Mn^{2+}]:[MnO_2]=9:1$ と設定し、蓄積期間 18 年として現状の Mn 蓄積量を推算した。

続いて、冒頭で紹介した蓄積物制御のための段階的方策に基づいて複数の対策シナリオを設定した。まずベースケースは上記と同一の計算条件であり、何も対策をしない場合のシナリオとして設定した。シナリオ WQ1-4 では配水池における浄水中全 Mn 濃度とその組成を変化させた場合を表現した。シナリオ PD1～3 は管路の縮径に伴う管内流速の向上によって蓄積量を低減することを意図しており、縮径対象となる管路を管内流速に応じて変化させた。さらにシナリオ RF1-4 は洗管であり、6 つに分割された小区画ごとに洗管する場合を想定した。その際、洗管対象とする小区画

の選び方と洗管頻度を変化させ、ベースシナリオの条件で 18 年間の蓄積を計算した後の 6 年間の洗管期間とし、計 6 回または 12 回の洗管を行うこととした。1 回の洗管によって Mn 蓄積物は 100% 除去されると仮定した。各シナリオの条件で Mn 蓄積量を計算し、各方策による制御性を定量的に比較した。

4.2 複数のろ材を用いた砂ろ過・膜ろ過による濁質除去能の定量比較

本実験では、砂ろ材としてケイ砂、均等化ケイ砂、アンスラサイト、ガーネットを、膜ろ材として MF 膜、大孔径膜 (孔径 $1 \mu m$ 、 $2 \mu m$)、セラミック基材 (孔径約 $13 \mu m$) を選定し、これらによる濁質除去実験を行った。原水は桂川由来の河川水 (京都市内の浄水場から採水) とし、凝集剤 (PAC) を注入率 $0.16 mg-Al/L$ でインライン注入しながら直接ろ過を行った。ろ過水濁度を時間的に測定し、濁度-微粒子濃度の回帰直線からろ過水中の濁質濃度を推定し、log 除去能で評価した。

4.3 表流水の取水装置に関する実地調査

(1) 静岡市由比地区における調査

静岡市内の民営簡易水道施設と飲料水供給施設を所掌する静岡市保健所に対してヒアリングを行った。また、小規模水供給施設用の表流水取水装置を開発した日本エンジニア株式会社から資料を収集した。なお、同じ静岡市内の権現沢水道組合における整備後の取水施設例については既報に記載しており、ここでは、その他の施設を示す。

(2) 愛知県東栄町における調査

愛知県東栄町事業課に対してヒアリングを行うとともに、振草浄水場とその水源地を訪問した。ここは住民管理ではなく役場によって管理されている。

(3) 滋賀県長浜市寺院への訪問調査

滋賀県長浜市内の大吉寺 (長浜市野瀬町) の水供給施設への訪問調査を行った。以前膜ろ過施設を設置していた企業 (株式会社清水合金製作所) 立会いのもと、住職に対してヒアリングを行った。また、株式会社清水合金製作所に対しても、これまでの経緯等についてヒアリングを行った。さらに、取水施設に関する設計図面等の資料を収集した。

4.4 小規模水供給施設における配水管内環境の維持管理方策

(1) 中部地方 Y 市 k 浄水場配水区域

本配水区域は、以前は簡易水道であったが、現在は上水道として統合されており、この配水区域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。ここでは、「排泥作業」と称する放水作業が行われている。この「排泥作業」は毎年実施されているものの、その洗管効果は明らかで

はない。そこで、ここではこの「排泥作業」を強化し、管内流速を 0.4 m/sec 程度以上に確保して、管内に蓄積した懸濁物質等を積極的に排出するというシナリオを設定することとした。

(2) 東北地方 A 市 n 浄水場・t 浄水場配水区域

両浄水場は、ともにクリプトスポリジウム等対策を理由の一つとして膜ろ過 (UF) 設備が導入されている。この配水地域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。n 浄水場配水区域の末端には「排流装置」が設置され、稼働している。この「排流装置」によって水道水を常時放水している目的は、配水区域内の残留塩素と pH の管理を容易にすることにある。

本配水区域における以上の特徴をふまえて、制御性の検討における設定予定条件を示し、検討を行った。すなわち、この区域では、膜ろ過の導入と排流装置が特徴的であることから、それぞれの導入効果を定量的に評価するためのケース設定とした。

5. 小型紫外線消毒装置の基礎的知見の収集と実際への適用に関する研究

5.1 実証試験の概要

実証試験の場として、国内の飲料水供給施設を選定した。当該施設は、昭和 25 年から民営簡易水道事業 (水道組合) として住民主体で運営してきたが、人口減少を踏まえ簡易水道から飲料水供給施設に 2020 年に認可変更を受けた施設である (給水人口 18 戸 44 名; 2022 年現地ヒアリング時点)。原水は山間の沢水 (湧水が地表を流下したものをせき止めたものであり、例年冬の渇水期には原水流量が著しく低下する傾向がある。

実証試験では、実際に住民に供給される浄水プロセスの原水を分岐し、実験装置に導水するフローとした。UV-LED 装置の単独での性能評価に特化するため、また、一般に小規模施設ではできるだけシンプルなプロセスが望ましいため、実証試験ではろ過等の前処理をせずに原水を直接 UV-LED 装置に導水するフローとした。

試験は 2020 年 8 月から開始し、2022 年 7 月までの 2 年間、概ね毎月 2 回 (隔週) の頻度で採水した。試料は UV-LED 装置前 (原水)、UV-LED 点灯で装置を通過した水 (処理水)、UV-LED 消灯で装置を通過した水 (対照試料) の 3 つの試料を採水し、微生物測定項目並びに物理化学的水質項目の分析を行った。ただし、2021 年 1 月から 5 月および 2022 年 2 月から 6 月まで、渇水に伴う原水流量の低下を受けて試験を中断した。試験中断の間に装置内に生物膜が発生することを懸念し、中断の間も UV-LED 装置は点灯状態を維持した。

5.2 装置の概要

集落規模で利用可能な UV-LED 装置の候補として、発光ピーク波長 280nm の表面実装型 UV-LED

を搭載した流水殺菌装置 (DWM1、日機装技研) を選定した。試験地の原水流量の制約から、30L/min を設定流量として実証試験を実施した。

5.3 試験実施方法

(1) 2020 年 8 月末より実験を開始した。水消毒装置を定格電流 350mA (LED パッケージあたり) で点灯し、以降、消灯条件での採水時を除いて点灯状態を維持した。

(2) 装置の処理流量は 30L/min で一定とした。ただし、原水量の低下や落ち葉等による閉塞が原因と推定される流量低下の傾向がみられたため、採水の都度 30L/min に調整し、流量の安定を確認してから採水した。

(3) UV-LED 装置前 (原水)、UV-LED 点灯で装置を通過した水 (処理水)、UV-LED 消灯で装置を通過した水 (対照試料) の 3 つの試料を採水し、東京大学へ冷蔵輸送の後、採水後 24 時間以内に細菌数を培養法で測定した。検水量は、大腸菌と大腸菌群は 100mL、一般細菌は 50mL、従属栄養細菌は 1mL とした。

5.4 物理化学的水質項目

以下の項目を採水時または実験室で測定した。

濁度、色度、硬度、鉄、マンガン、水温、pH、電気伝導率、流量、紫外域吸光スペクトル (220-400nm)

6. 小規模集落が管理する水供給システムの維持管理負担の実態および外部団体からの支援の可能性に関する調査

6.1 維持管理実態および作業負担・金銭的負担に関する調査

西日本 (岐阜県、京都府、奈良県、和歌山県、鳥取県、島根県、岡山県、山口県、徳島県、高知県、佐賀県、大分県) について、行政が WEB 開示している情報をもとに飲料水供給施設等の水供給システムを管理し使用している集落を特定し、水供給システムの維持管理や断水等トラブル発生の現状を把握するとともに、実際に管理している集落役員が水供給システムに対して感じている不満や、点検・清掃などに対して感じている負担感、行政や他集落との連携状況について実態を把握するための質問紙調査を行った。質問紙は 2019 年 2 月~3 月および 2019 年 11 月~2020 年 3 月に郵便にて送付し、集落の飲料水供給施設等を管理している組合や役員の代表者に回答をお願いした。

合計 564 の集落に発送し、253 の集落より回答を得た。白紙回答や戸別給水の集落からの回答を無効回答とし、有効回答数は 241、有効回収率は 42.7%であった。このうち上水道や簡易水道を併用している集落が 8 集落、数年前あるいはちょうど上水道や簡易水道に切り替えを行ったばかりという集落が 4 集落、上水道や簡易水道に切り替

え予定という集落が4集落、集落やゴルフ場管理の簡易水道を使用している集落が2集落であった。以下、これらの集落を含めた状態で集計を行い、分析を行った。

質問誌調査の結果を整理し、実作業負荷、ならびに、水供給施設を敷設する際の金銭的負担・水道料金体系、住民の金銭的負担、および、集落規模別（給水戸数別）の維持管理実態について焦点をあて集計と分析を行った。実作業負荷については、維持管理の負担が重いと感じられている作業項目に対して、集落構成員らの労力負担（作業時間・作業人数）を質問紙調査の回答結果より集計を行った。

6.2 外部団体との連携状況と連携意向に関する調査

前述した6.1の調査において継続調査への協力意向を示した集落のあった岐阜県、京都府、和歌山県、鳥取県、島根県、岡山県、山口県、高知県、佐賀県、大分県において水供給システムを管理し使用している集落を対象に、集落外部の団体との連携状況を把握するための質問紙調査を行った。質問紙は2020年1月～2月に郵便にて送付し、集落の飲料水供給施設等を管理している組合や役員の代表者に回答をお願いした。計146の集落に発送し、113の集落より回答を得た。上水道に移行した、あるいは簡易水道として市が管理しているとした回答を無効とし、有効回答数は111、有効回収率は約76%であった。集落自らが管理する水供給システムに加えて簡易水道を併用していると回答した集落があったが集落の現状を把握するためにこれらも含めた状態で集計、分析を行った。

質問紙の内容については、以下の通りである。外部団体との連携・協力をしているかの近年の状況を明らかにするために、平成27年以降の状況について聞いた上で、八つの架空の支援策A～Hのそれぞれについて利用するかどうか、有償の場合いくら支払うかを質問した。支援を利用したいと思う価格を調査するため、簡便な価格調査手法として知られるPSM分析（価格感度分析、Price Sensitivity Measurement）の手法を用いることとし、有償でも利用したいと答えた人には「あまりに安すぎて支援内容に不安を感じ始める（非受容最低価格）」、「支援内容には不安はないが、安いと感じる（受容最低価格）」、「支援を受ける価値はあるが、高いと感じ始める（受容最高価格）」、「あまりにも高いので支援を受ける価値がないと感じる（非受容最高価格）」それぞれの価格を聞いた。また、利用したくないと答えた人が制度の内容をその理由としているのか、有償な部分に利用したくないと感じているのかを明らかにするために、有償ではなく無償ならば利用するかを

聞いたうえで、無償でも利用したくないと答えた人にはその支援をなぜ利用したくないのかを聞いた。

支援策の詳細は次のとおりである。

- ・支援A（消毒剤の点検・補充）
- ・支援B（ろ過槽の点検・清掃）
- ・支援C（水源の点検・清掃）
- ・支援D（維持管理に関する講習会）
- ・支援E（管路の漏水点検・診断）
- ・支援F（断水、水圧低下トラブル対応）
- ・支援G（応急給水）
- ・支援H（施設の改修・更新に向けての水道料金コンサルタント）

これまでの研究において、集落にとり有益である支援と負担に感じている作業が調査によってされており、水質検査や断水時の応急運搬給水、研修会の受講などは市町が関与して実施され集落にとって有益であることが確認された。一方で、設備の点検・清掃、薬液補充や検針・集金などは集落にとって負担が重い作業であることが確認されている。本調査ではそれらの結果を踏まえて集落からの需要があるだろうと考えられる八つの支援策を取り上げることとし、各支援策に対し、各支援策の特徴や支援機会、集落にとっての位置づけなどを考慮したうえで各支援内容に対する設問文を設計した。例えば、支援内容としては、大きくは「技術支援（実地・座学）」と「労力支援」に分類できる。さらには、集落が現行行っていることが多い作業を代行する支援であるのか、通常は行われていないことを追加的に支援するのか、協働作業とすることが適している（あるいはせざるを得ない）のかによっても分類できる。また、支援を受ける機会によっても「平時」、「一時的」、「非常時」に分類できるため、それぞれ、「1年あたりの価格」、「数年に一度や1回あたりの価格」、「非常時1回あたりの価格」として提示するよう設問を作成した。

6.3 外部団体からの支援事例の整理

外部団体からの支援の事例と可能性については、上記のアンケート調査および昨年度までのアンケート調査やヒアリング調査等の過程で得た情報をもとに、文献調査や現地調査を実施することで、事例の概要や詳細をとりまとめた。

7. 地域のプレイヤーが自律的に管理する小規模水供給システムのケーススタディおよび実践的取り組みを通じた支援体制の検討

7.1 小規模水供給施設の運営に関与している民間組織等へのヒアリング調査

(1) 市町村の担当者へのヒアリング調査

北海道と研究分担者らが過去に実施した北海道の全179市町村を対象とした調査では、地域住民らが管理する「地域自律管理型水道」は少なく

とも 64 市町村に計 237 か所存在することが確認されている。

この中から、「地域自律管理型水道」が数多く確認されている 10 市町を対象に、役所または役場の水道部局担当者に聞き取り調査を行った。各町が確認している地域自律管理型水道の概要、市役所及び町役場の役割、運営状況および運営にかかる情報の入手方法、当該水道の抱える課題などを話題とし、半構造化インタビューによって適宜話題を掘り下げながら聞き取りを行った。

7.2 富良野市における自律型モデルの実践的とりくみ

(1) 富良野市における取り組みの経緯と特徴

日本の農山村地域の水道の中には、行政ではなく地域住民が自律的に管理を行う地域自律管理型水道が数多く存在するが、各種統計調査の対象にもならないことから、その実態はよくわかっていない部分が多い。そのため、北海道においてこうした地域自律管理型水道の実態調査を行い、地域自律管理型の強みと課題を整理した結果、多くの事例では、良質な水源や農家の存在を背景に、低コストで無理のない運営が実現している反面、水質リスク管理体制やアセット情報管理に課題があることがわかった。

そうした地域自律管理型水道の特性を踏まえ、北海道富良野市と合同で、地元高校生との連携による地域自律管理型水道の支援体制づくりを行ってきた。富良野高校科学部のクラブ活動と連携し、地域自律管理型水道を対象に、水質リスク管理体制支援として簡易の水質調査、アセット情報管理支援として管路地図の GIS 化、そして一連の成果の報告会を実施してきた。

北海道富良野市では、市内に少なくとも 18 か所確認されている地域自律管理型水道について、その持続性を高めるための支援体制づくりが進められてきた。これまで富良野市では、水質検査費用や大規模改修費用の半額補助を行う制度を活用しながら、地域自律管理型水道の運営実態把握に努め、維持管理支援を行ってきた。平成 29 年からは、研究分担者らも参画し、地域ぐるみの水道維持管理支援体制づくりの実践を通じたアクションリサーチ的研究に取り組んでいる。この取り組みの一つの特徴は、地元高校（北海道富良野高等学校）と連携し、そこをハブとした支援体制づくりを進めている点である。

最初の入口は、富良野高校科学部のクラブ活動との連携（平成 29 年夏～）であり、水道利用組合等が管理する地域自律管理型水道（富良野市内に 18 か所）を対象に、毎年、科学部の生徒たちが、管路地図の GIS 化と水質分析（それぞれ、毎年 1～4 か所程度）、および水道利用組合向けの報告会をこれまで実施してきた。水道利用組合は、

組合長が同校の卒業生というケースが多いこともあり、高校生の活動に対して非常に協力的であり、また、高校生を応援するような場面もしばしば見られている。また、市民向け報告会（平成 30 年度に実施）では、高校生の家族（親兄弟だけでなく祖父母も）の参加もみられ、一般市民への情報発信、意識啓発を行う上でも高校を通じたアプローチがプラスになっていると考えられる。富良野高校は、周辺 4 町村を含めた富良野圏域（人口約 4 万人）から生徒が通学しており、必然的に、その卒業生のネットワークは富良野圏域全域にわたる。そして、市役所職員や、水道利用組合幹部など、地域のキーマンとなる人材がこのネットワークでつながっていることから、地域ぐるみの連携体制を作る際に、地元高校をハブとして取り組むアプローチは効果的であると考えられる。

(2) 本研究における富良野市での取り組み

令和 2～4 年度においては、これまでの取り組みを踏襲しつつ、計 8 つの地域自律管理型水道を対象に水質調査を、計 7 つの地域自律管理型水道を対象に管路地図の GIS 化をそれぞれ行い、毎年冬季に報告会を実施した。さらに、地元高校生らのモチベーションを高めるとともに、外部支援者を巻き込む試みとして、札幌国際大学と連携し、地元高校生と札幌の大学生が地域の水について議論するワークショップを令和 3 年度に 2 回、令和 4 年度に 1 回開催した。そして、令和 3 年度の水道利用組合向けの報告会については、同ワークショップの 2 回目と合同開催とした。また、令和 3 年 2 月には、海外の高校生らと交流するイベントにも参加し、これまでの活動の報告を行った。

7.3 他地域展開の可能性検討と適用検証

富良野市において試行錯誤の上に構築された現在の取組を、一つのモデル（以降、富良野モデルと呼ぶ）と捉え、他地域への展開可能性を検討するため、取り組みに必要な機材、コスト、人員について整理を行った。また、研究分担者がコンタクトすることができた 1 つの小学校、3 つの高等学校の校長または教頭に対し、聞き取りによるニーズ調査を行うとともに、賛同が得られた学校において話題提供としての授業および富良野モデルの実際の適用を行い、適用可能性を検証した。

（倫理面への配慮）

本研究には、医学研究関連の倫理指針に関する研究は含まれていない。実地調査等においては、各機関の規定を順守し、個人情報保護及び調査に係る対象者を含む安全性に配慮し実施した。実験作業における安全性については、各機関の規定に従い実施した。

C. 研究結果及び D. 考察

1. 地方自治体における水道法の適用を受けない「小規模な水道」の実態把握状況に関する検討及び小規模水供給システムにおける維持管理手法並びに持続的な管理体制に関する研究

1.1 小規模水供給システムにおける維持管理手法並びに 持続的な管理体制に関する研究

これまでの研究（「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29年度～令和元年度））等により得た小規模水供給システムにおける実態調査の結果を整理すると共に、小規模水供給システムをめぐる課題と展望についての調査を実施し、事例の整理や問題点の抽出を行った。

また、より極端な制約を有する海外の小規模水道における状況を踏まえた上で、小規模水供給システムの実態を端的に表現する注目点と典型的なパターンについて考察し、小規模水供給システムの類型化を行い、以下の6群に分類した。

- 1群：安全性が高く濁りもない水源を使用。消毒はなし。
- 2群：表流水の交換があるため濁度対策を考慮。疫学的には安全で消毒はなし。
- 3群：おおむね安全な水源だが、疫学的安全のために消毒を行う。
- 4群：簡易ながら水道としての浄水処理としてろ過を行うもの。消毒は必須。
- 5群：濁度の制御が必要な表流水水源を利用するもの。急速ろ過が多い。消毒は必須。
- 6群：やや特殊な処理を行うもの。

一部データ補完を行い、189例について解析を行ったところ、事業収入との関係性を類型別分類による事業の分布特性として導くことができた。解決策は大きく3種類に分けることができる。

- 1) 個別事情を勘案して技術的な解決策を検討し、施設の再整備を行う。（管理の容易な水源への切り替え、水道事業への統合などの対策）
- 2) ノウハウをマニュアル化して公開・浸透することにより管理レベルを引き上げる。（水源アセス手法の体系化、小規模水供給システムアセット管理手法の体系化、行政情報の共有手段の提供、組織化等）
- 3) 技術開発によって従来よりも効果的に運営するシステムを導入する。（水質センサー・モニタリング手法の開発、維持管理負担の軽い処理・運転法の開発、補充不要な消毒法の開発、漏水検知や仮設復旧の容易な管路技術、自動点検や薬品補充など）

今回の事例の水質検査費用について、検討を行ったところ、事業収入に占める割合は小規模水道の類型によって異なり、特に事業収入の少ない類型では、状況悪化時の水質検査費用は事業収入を大きく超えるものとなること、表流水を水源とす

る類型では、検査費用の占める割合が通常状態でも高くなる傾向があることが示された。

1.2 地方自治体における水道法の適用を受けない「小規模な水道」の実態把握状況に関する検討

1.2.1 アンケート調査の実施及び回答

水道法の適用を受けない小規模水供給システム等の衛生確保対策を行う全国の地方自治体（都道府県、市、特別区）計772件（A調査、B調査併せて送信）に対してメールにて調査を依頼した（うちメールエラー件数106件）。2種類の調査（A調査、B調査）を実施し、A調査（概要調査）は都道府県から47都道府県中42件（Web回答26件、Excelファイル回答16件の回答）、B調査（詳細調査）は都道府県・市及び特別区から623件（Web回答405件、Excelファイル回答195件、該当施設なしの回答（メール等）23件）の回答を得た。また、調査回答の件数には、管内に該当する施設等がない「該当なし」といった回答も含むこととした。

なお、回収率はA調査で89.4%、B調査については、都道府県（本庁）から都道府県（出先機関）に対して周知し、都道府県（出先機関）から直接回答があったものも含むため、回収率は考慮しないものとした。

A調査並びにB調査の全ての調査回答の集約を行い、回答のあった項目について、集計及び分析を行った。

1.2.2A 調査（概要調査）結果について

(1) 都道府県（本庁）における小規模な水道に対する衛生確保対策業務の状況

「都道府県（本庁）として直接所管する区域はない」（35件）との結果となり、多くの都道府県において都道府県（本庁）では直接所管する区域・業務はなく、都道府県（出先機関）や市が所管する区域毎に業務を行っていることが明らかとなった。都道府県（本庁）に直接相談等のあった場合は、都道府県（本庁）が対応する場合もあるようだが、基本的には所管する都道府県（出先機関）や市等が主な対応を行っている。また、中には町村の区域も含めて都道府県から町村へ事務委任を行い、都道府県（本庁・出先機関共に）として該当する事務は行っていないといった回答が3件あった。

(2) 水道行政を行う都道府県の出先機関の状況

水道行政を行う都道府県（出先機関）の設置数は、2～23箇所であった。（都道府県が設置する施設のみ計上。市が設置する保健所等は含まない。）都道府県の面積、人口等によるが、保健所等の都道府県出先機関数が減少した中で、小規模な水道に係る業務を積極的に行うには負担が生じている。さらに、現在コロナ禍であることから保健所等における感染対策等の業務が膨大になってお

り、感染症対策の専門外の職員であっても、保健所等における従来業務を行うための時間、員数が限られてきているものと想定される。

都道府県（出先機関）において小規模な水道に係る業務を所管する部署としては、ほとんどが保健所、保健福祉センターや保健福祉事務所、健康福祉事務所等といった衛生分野が所管しており（約9割）、生命維持や生活に必要な飲料水に係る業務は公衆衛生の観点から取り組むべき業務の一つと考えられたことが要因であると考えられる。衛生部局以外の分野では、水質については環境部局、それ以外については政策部局が担当しているといった、専門性の高い役割分担を行っている都道府県もあり、今後小規模な水道を持続させていくためには、分担だけではなく他分野との連携・協力も今後は考えていく必要があると考えている。

また、都道府県内における水道法の適用を受けない小規模な水道に対する衛生確保対策業務の状況としては、管内に該当施設がある場合は出先機関が業務を行う場合がほとんどであり、地域の状況が分かりやすい体制が取られていることが分かった

1.2.3 小規模な水道に関する意見等

A調査（概要調査）に伴い、本調査や小規模な水道等に関する事について、都道府県（本庁）所管部署に意見を求めたところ様々な意見が寄せられた。特に、小規模な水道に対する業務について、市への移譲と共に一部町村への事務移譲が行われていること、小規模な水道であっても都道府県条例部分は手上げ方式での移譲を行っているため、同一の都道府県内でも一部の市に対してのみ移譲しており、他の市においては条例対象施設のみ都道府県が事務を行っていること等、小規模な水道に係る権限が細分化され都道府県ごとに非常に複雑な状況となっていることについての意見が複数寄せられた。飲用井戸等が多数あることは認識されているが、届出等の義務がないため、都道府県だけでなく市町村であっても全数を把握することは困難な状況であるとのことであった。また、都道府県における水質検査については、都道府県の管轄範囲の広さの問題もあり、水道法第20条の検査機関による検査の方が利便性及び経済性において優位であることから、都道府県の機関に検査依頼はないとの意見もあった。

1.2.4A 調査（概要調査）の結果について

平成25年4月1日以降、実務執行体制の整備や移譲先の市との情報共有や連携等が課題であると考えられたが、権限移譲から約9年経過し、都道府県（本庁、出先機関）と市の間での業務分担や連絡体制といった一定の関係性は整っているものと感じられた。権限移譲を機に、小規模な

水道に係る業務を現場の状況が把握しやすい町村へも事務委任している都道府県も複数あり、各地域の実態に基づく体制整備がより進められているケースがあることが分かった。また、これらの改正に伴い都道府県から新たに事務を移譲された市における個々の課題については、B調査（詳細調査）において確認することができた。

1.2.5B 調査（詳細調査）結果について

B調査では、地方自治体における小規模な水道に係る状況、小規模な水道における水質検査の状況、自治体としての対応等についての質問を行った。

(1) 区域内（管内）の小規模な水道の把握状況

回答のあったもののうち441件（約75%）の自治体で「小規模な水道がある」と把握していた。「小規模な水道がない」と把握している自治体は49件（約8%）あり、「小規模な水道がある」と把握していたものを合わせると、回答のあったもののうち約85%の自治体で小規模な水道の状況が把握されており、法規制が定められていない施設であるにも関わらず、かなりの割合で自治体での把握状況が明らかとなった。調査回答数から考えると、全国で約半数の自治体において小規模な水道について把握がなされていた。

施設数の把握は各自治体により異なっており、施設の探知にあってはこれまでの届出や相談、過去からの記録により把握しているものや国が行う調査等の際に把握しているものが多くみられた。ただ、特に一般用飲用井戸に関しては、管内に施設があると把握しているものの件数までは把握していないものが多く、個人所有の施設であるため把握自体が困難であるとの回答があった。

(2) 小規模な水道の台帳等の有無

小規模な水道のリスト、台帳の有無といった情報の把握状況について質問をしたところ、378件（約70%）が台帳やリスト・一覧表など施設についての何らかの情報を把握していると回答があった。回答の中には、「把握する施設の台帳がある（代表者、施設の位置図、図面等を含む）」と回答のあった自治体が79件（15%）あり、これは一定規模の施設であって飲料水供給施設または条例等で定める施設についての情報であると推測するが、水道法適用外の小規模な水道であっても明確な施設台帳が存在する施設があることが分かった。

(3) 水質検査の指導

管内に該当施設があるもののうち、「問題があれば水質検査を実施するよう求めている」といった回答が198件と一番多く、続いて「定期的な水質検査の実施を求めている」との回答が161件と続いた。その他水質検査実施を求めるものとしては、「試料の持ち込みを求める」としたものが27

件、「定期的な水質検査の実施及び結果の提出を求めるもの」が78件と、何らかの形で水質検査の実施を求めている結果をまとめると計464件となった。反対に、管内に施設があっても水質検査の実施については「指導していない」といった回答が104件あり、水質検査の実施は安全性確保の観点から重要であると認識されていても法的に規制されている部分ではないため、水道法適用外の小規模な水道に対する水質検査実施の指導は難しい問題であることが伺える。

また、実施する水質検査項目としては、把握しているもののうち「飲用井戸等衛生対策要領で示されている11項目」が137件と最も多く、次いで「水道法に定められている51項目」が96件であった。実施している水質検査項目は小規模な水道の規模（飲用井戸から飲料水供給施設）によって異なると想定された。

(4) 自治体としての対応（協力・支援等）

小規模な水道に対して、概ね3年以内に自治体として協力・支援等の対応をしたことがあるかどうか質問したところ、回答結果から、管内に施設のある自治体の半数程度では、小規模な水道に対して何らかの対応をとっている状況が明らかとなった。主な対応としては「相談等対応（電話相談等も含む）」が195件、「現地調査等」が150件、「事故や相談対応」が101件といった結果であった。反対に、「管内に施設があるが対応したことがない」が171件あった。小規模な水道の規模にもよるが、多数ある飲用井戸等では能動的な対応は難しく、比較的規模の大きい飲料水供給施設等に対しては定期的な監視・調査や自治体への相談体制等が一定整備されているものからこの結果となったのではないかと推測される。

小規模な水道への対応は自治体の規模や方針によって様々であるが、事故時や災害時には管内の施設に対して対応できる体制づくりや連絡体制の整備について平時から準備を進めておくべきと思われた。

1.2.6 小規模な水道に関する要望や本調査に関する意見

B 調査に関する意見や今後に関する要望等を質問したところ多くの自治体から様々な意見が寄せられた。小規模な水道に関する要望については、自治体が抱える問題は様々あるが、国や都道府県に対して小規模な水道への統一した規制の制定や指導方法を明確にして欲しいといったものや小規模な水道に関する実態等の情報開示を求めるもの、指導する側の知識を情報共有したいとの意見があった。また、市への権限移譲に際して抱える問題として、専門知識や専門職員の確保が難しいこと、小規模な水道に関する相談先が無いことが挙げられていた。

本調査に関する意見として、研究の目的の「小規模な水道」の持続可能性について、国が水道事業との統合を進めている施策との関係性に関するものや、なぜ小規模な水道を持続させる必要があるのかといった意見もあった。

本調査においては、生活の場が水道給水区域外にあり、また水道との接続が物理的・経済的に難しい地域にある水供給維持困難地域において、飲み水を含む生活用水として衛生的な水を供給できる体制づくりに寄与することを目的としている。調査においては分かりやすく「小規模な水道」という用語を用いたが、種々の選択肢の中から衛生的な水の供給を必要な場所に持続的に供給できる方策を検討するための調査である。本調査のフィードバック時も含めて、本研究並びに調査の結果を活用していきたい。

1.3 小規模水道・水供給システムの維持管理に関する経営シミュレーション

1.3.1 簡便なシミュレーション手法によるモデル地区での検討

(1) モデル地区の選定

人口5千未満の過疎地町村の地方公営企業法非適用の簡易水道事業の給水原価は地域ブロック別では、近畿ブロックが最も高くなっており、この中でも最も経営環境が厳しいN県K1村の簡易水道を抽出し、隣接し統合可能な3地区をモデル地区として選定した。

(2) モデル地区の供給システムと検討ケース

モデル地区は、現在3地区が独自に水源を持ち独立した水道施設で構成されている。今回の検討では、この現状分散型（Ⅰ）に加え、これら3地区を施設統合した場合（施設統合型（Ⅱ））、近辺で独自水源を確保する場合（自立分散型（Ⅲ））の3種類の供給システムを検討対象とした。

検討ケースは、給水形態で4種類、管路の耐用年数で2種類とし、それぞれに補助金等がある場合とない場合について検討した。

(3) 算定単価と耐用年数

各施設の整備単価や維持費等は、厚生労働省の調査報告を基に実績値などを踏まえて設定した。管路の整備費は施工実績等から浅層配管とし、管口径は50mm～100mmとした。また、浄水施設は、a（緩速ろ過・実績値）、b（膜ろ過）、c（簡易処理装置）の3種類から、最も費用負担が少ないcを用いて検討した。また建設費、維持管理費、水質検査費等についても算定式を用いて算出した。

(4) ケース別費用負担額算定

今回の経営シミュレーションでは、モデル地区の給水人口の推移や管路状況を踏まえて、一人一月当たりの費用負担額を算定した。なお、一人一日当たりの給水量は、K1村の給水実績から、最大給水量を630L/人/日、有収水量を305L/人/日と

した。評価値は世代間の公平性や新たな住民の受け入れ等を踏まえて各期までの一人一月当たりの平均費用負担額とした。

モデル地区での各供給システム、給水形態ケース別のシミュレーション結果から現況分散型（Ⅰ）から施設統合型（Ⅱ）や自立分散型（Ⅲ）への移行により、個人の費用負担額は減少することが分かる。また、補助金のない場合は、10年後、30年後までは、自立分散型（Ⅲ）で通常給水ケース①cの費用負担が最も少なく、60年後においては、耐用年数30年の管路パターンAでは、施設統合型（Ⅱ）で運搬給水ケース④cが、耐用年数60年の管路パターンBでは統合型（Ⅱ）で通常給水ケース①cが最も負担が少ない結果となった。一方、補助金のある場合は、すべての期間で統合型（Ⅱ）の通常給水ケース①cが最も費用負担が少ない結果となった。

(5) 最適な供給システムの検討

ケース別の費用負担額の推移を基に、モデル3地区において、新たな整備による費用増などを考慮して、費用負担が最も低くなるシステムへの移行を検討した。今後の給水人口の減少に伴い、最適な供給システムや給水形態が変化することになる。

モデル3地区において、新たな整備による費用増などを考慮して、費用が最も低くなるシステムへの移行を検討した結果、補助金等が入らない場合の費用負担面から見た最適なシステムは、管路パターンAでは、すべての地区で今後30年間は自立分散型（Ⅲ）で簡易な浄水装置を用いる通常給水ケース①c、それ以降は3地区統合型Ⅱで運搬給水ケース④cとなった。

一方、管路パターンBでは、e地区およびf地区においては、すべての期間で、自立分散型（Ⅲ）の通常給水ケース①cとなり、g地区では30年後までは同じく通常給水ケース①cであるが、それ以降は非飲用水供給ケース②に移行することが優位となった。なお、施設統合型（Ⅱ）④cの50年後以降費用負担が最も低くなっているが、統合型に移行に伴う新たな管路整備等を考慮すると、負担額は自立分散型（Ⅲ）を継続するより費用が増大することとなる。

(6) 簡便なシミュレーション手法によるモデル地区での検討のまとめ

近畿ブロックからモデル地区を選定し、4種類の給水形態について今後の一人当たりの費用負担の推移と最適なシステムの検討を行った結果は以下のとおりである。

- ・管路の耐用年数は、長期的な費用負担に大きく影響する
- ・国庫補助金等が個人の費用負担や給水形態に与える影響は非常に大きい

- ・小規模水道の課題解決に向けては、施設の統合や補助金の確保だけでなく、近くに水源を確保する自立分散型システムや運搬給水や非飲用水の給水など多様な給水形態の導入が有効となる

1.3.2 簡便化シミュレーション手法の汎用一般化に向けた検討

これまでの経営シミュレーションでは、簡便化のため支払利息や人件費や委託費などの維持管理費を考慮していない。ここではより現状に即した負担額を算定できるよう、これらを含んだ詳細一般化式を検討した。更に運搬給水については、地理的地形的条件を踏まえてより汎用性を高めるため4トンタンク車による各戸への給水に加えて、2トンタンク車による給水と配水池までの運搬給水を追加した。

(1) 支払い利息人件費等を加味した詳細一般化式について

1) 支払利息と維持費等の検討

水道事業の建設にかかる費用は、一般的に補助金等（国庫補助金、県補助金）と地方債で賄われている。ここでは、地方債の償還期間を各施設の耐用年数とし、地方公共団体金融機構の過去10年間の平均支払利息率を用いた。

維持管理費については、比較的相関が高い1/給水人口（千人）と浄水場数/給水人口（千人）及び単位管延長（管路延長(m)/給水人口（人））の3つの要因と維持費負担額との関係から重回帰により算定式を設定した。

2) 詳細一般化式によるケース別年度毎の費用負担額（評価1）の算定

給水形態に関する各検討ケースの経過年度毎の維持費及び支払利息を考慮した詳細一般化式を示した。これらによればケース①cに対してケース②では、塩素消毒費や水質検査費が減少し、新たに宅配水費が加わる。ケース③では、浄水施設や水質検査が不要になる一方、各戸ろ過膜装置や宅配水費が追加される。また、運搬給水ケース④c1では、送水配水管路が不要となる一方で、運搬給水のための車両費や運転人件費が必要となる。ケース④c2は、2トンタンク車による運搬給水であり、車両費が安くなる一方、運搬頻度が増え人件費が増加する。ケース⑤は、配水池までの運搬給水であり、不要となる管路は送水管に限られるが、運搬時間は減少し人件費が減少することになる。

3) 詳細一般化式による計算値と実績値の比較

詳細一般化式における通常給水ケース①cの算定式から、施設数等についてはR2年度の実績値、建設改良費に対する地方割制 γ は過去10年間の平均値を用いて、R2年度における費用負担額を算定し、実績値と比較した。これによれば、

負担額全体平均で見れば、実績値と計算値の差異は10%以内であり、個々に見ても最大で20%程度であり一定の実用性はありと考えられる。

4) 詳細一般化式によるケース別30年平均費用負担額(評価2)の算定

年度ごとの費用負担額(評価1)の算定式から、世代間の公平性を考慮した費用負担の評価指標とする今後30年間の一人一月平均費用負担額(評価2)の算定式を求めた。

5) 詳細一般化式3を用いたケース別優位性の比較

ケース別の費用負担額(評価2)の給水人口や管路延長による優位性は、各評価値の比較により求められ以下の通りとなった。

i) 通常給水ケース①cと非飲用水給水ケース②、③の場合

これらのケースでは、管路の建設費は同じであるため、それらを除く費用を給水人口との関係で比較すると、給水人口が50人を下回ると通常供給ケース①cより無処理の水を供給し各戸浄水器と宅配水で対応するケース③が優位となる。また、給水人口が30人を下回ると簡易処理した非飲用水を供給し飲用は宅配水で対応するケース②が優位となる結果となった。

ii) 通常給水ケース①と運搬給水ケース④c1、④c2、⑤cの場合

α_3 、 α_4 を1とした場合の管路延長と給水人口と関係を給水形態ケース別の優位性の境界線と同じグラフで示した。地理的地形的な条件等から各戸に運搬給水が可能な場合には、運搬給水と通常給水ケース①との境界線は4トンタンク車で、一人当たりの送・配水管路延長が約30m、2トンタンク車では40mとなる。浄水施設から配水池まで運搬給水するケース⑤cの場合は送水管の延長が一人当たり20~30mがケース①cとの境界となった。

(2) 今後の簡易水道事業の推移

1) 検討ケース

今後の簡易水道事業の費用削減へ向け5種類の検討を行った。現状ベースは一人一日当たりの最大給水量(q_1)、管路延長(L)、各施設数(n_i, n_t, n_d)をR2年度の実績で固定し、人口の推移は国立社会保障・人口問題研究所(以下「社人研」)の「日本の地域別将来推計人口(平成30年推計)」(移動型)とし、P00は補助金等がない場合、P01は補助金がある場合である。P10は、 q_1 を300L/人/日に減じた場合、P20はLを給水人口に合わせて減じた場合、P30は、人口減少抑制策により域内の人口流入流出が均衡する場合(社人研推計人口参考(封鎖型))である。

2) 今後の費用削減に向けた方策とその効果

現状ベースで、R2年度とR27年度の費用負担

額を比較した。現状ベースでは、今後25年間で給水人口の減少により4.6千円/人/月の費用増となる。補助金等を考慮した場合には、この増加額は2.6千円/人/月に止まるが、それでも現状の補助金を考慮しない場合と同程度となる。

25年後のR27年度に補助金等を考慮しない場合の対策別の効果を比較した。一人一日最大給水量を現状の683Lから簡易水道の補助基準である300Lまで減少させれば、運搬給水での負担額を4千円/人/月減じることができる。また、管路延長を給水人口に合わせて削減できれば、通常給水ケース①cでは、3.9千円/人/月の減と大きな効果が得られる。更に、地域活性化策等により人口減少を抑制することによっても、2.6千円/人/月の減の効果が得られることが明らかとなった。

これら3つの対策をすべて実施すれば、現状の11.4千円/人/月から7.1千円/人/月に4.3千円/人/月、減じることができる結果を得た。

1.3.3 詳細一般化式によるモデル地区での検討

(1) K1モデル地区での検討

R3年度に簡便式で検討したK1村のモデル地区を対象に、3地区の施設統合効果等を検討した。3種類の給水システムを設定し、5種類の給水形態について、詳細一般化式を用いて一人一か月当たりの費用負担額で比較評価を行った。

1) 検討のフロー

詳細一般化式から示すフローによって、モデル3地区の給水人口と計画施設数、水源種別などから、将来の費用負担額が計算され、事業の統合効果等が評価できる。ここでは、このフローから補助金等を考慮しない場合について、給水人口の推移、水道施設数を用いて分散型と統合型の優位性について検討した。

2) 現在の使用水量を用いた検討結果

i) 管路による給水ケース①②③の優位性の比較

R27年度の評価2による検討結果をまとめた。これによれば管路による3つの給水ケースを比較すると3地区統合型Ⅱと自立分散型Ⅲのe地区ではケース①cの費用負担が最も低いが、分散型Ⅲの3地区計、f地区、g地区ではケース③が最も低い結果となった。この結果、総合的には3地区統合型Ⅱが有利であるが、地区別の優位性を考慮し自立分散型Ⅲとする場合は、e地区ではケース①cが、f地区、g地区ではケース③が優位という結果となる。

ii) 運搬ケース④⑤を含む優位性の比較

水道法上の課題を除けば運搬給水は、地理的地形的状況から運搬車の進入路が確保できる場合に実施可能である。また、運搬給水を含む給水形態の検討フローを示した。

今回のモデル地区は、山地部に民家が張り付いているところも多く、4トンタンク車による各戸

への運搬給水は困難であるので、2 トンタンク車による各戸への給水ケース④ c 2 と配水池まで運搬給水するケース⑤ c について検討した。

運搬給水を含む検討結果のまとめ (R32 評価 2) によれば、最も費用負担的に有利なケースは、3 地区統合型Ⅱの運搬給水④ c 2 となる。

1.4 小規模水供給システム向け浄水処理装置の試行と維持管理モデル

1.4.1 実験プラント及び実地実証実験について

(1) 実験プラントにおける実験結果

維持管理の簡便な浄水処理のため、上向式のろ過装置を依頼作成し、処理実験を行った。処理装置は、本体：塩ビ製、直径：30cm、支持体：ステンレス網、2mm メッシュネット、砂利 (5mm~1cm)、ろ過層：平均粒径 0.30~0.45mm、厚さ：30cm (均等係数：2.0 以下、最大径：2.0mm 以下、最小径：0.18mm 以上) を用いて実験を行った。また、実験時の原水の代表的な平均濁度、微粒子カウンタによる粒子数を測定した。0.5~1 μ m のカウントは水中の気泡等の影響を受けやすく、誤差が大きいため、解析から除外することとした。

実験プラントにおける実験において、上向式ろ過装置では処理前の砂ろ過の砂が安定するまで濁度及び微粒子の除去率が安定しなかった。一方、ろ層が安定した後は、濁度、微粒子残存率は安定し、濁度でほぼ 90%、3 μ m 以上の粒子で 95%以上の安定した除去率が得られた。また、1~3 μ m の粒子については 30%程度の除去率しか得られなかった。

クリプトスポリジウムなど 5 μ m 程度の粒子についてはある程度十分な除去ができると考えられるが、大腸菌、一般細菌の除去については十分な除去が難しい可能性があるため、消毒装置との組み合わせについても検討の必要性があることが分かった。

(2) 実地実証実験の原水水質

実地の実証実験における原水水質は、いずれの地区においても、一般細菌が 300 個以上、大腸菌が検出され、原水としては厳しい状況であった。

(3) 実地実証実験 (B 地区) の実験結果

現地では降雨などにより時折濁度が上昇し、10 度を超えることもあった。ポンプで送水しているため、流量は一定であったが、原水濁度の上昇と共に処理水濁度も上昇し、高濁度時の除去率は 50%程度であった。

当初アンスラサイトで実験を実施したため漏出が多く、気泡の影響も受けやすかったため、ろ材を緩速ろ過用の砂に変更したが、その後も原水濁度上昇により処理水濁度が上昇した。

(4) 実地実証実験 (E 地区) の実験結果

E 地区においても、現地では降雨などにより時折濁度が上昇し、10 度を超えることもあった。全

般的に除去率が低く、濁度除去率で 20%となることがあった。また、濁水により流量が不足し、捕捉した成分が流出し、原水より処理水の濁度が高くなる現象もみられた。E 地区においても、ろ材を緩速ろ過用の砂に変更後も、原水濁度上昇により処理水濁度が上昇する現象が見られた。

(5) 実地実証実験の処理水水質結果

B、E 地区ともに、ろ過後の一般細菌が残留のみならず増加する場合もあり、捕捉物の流出が懸念された。また、大腸菌についてもろ過水において陽性とされる場合があり、十分な微生物除去が難しいことが示された。

一方で、紫外線 (UV) 処理水では、一般細菌は概ね水質基準以内であった。一時的に UV 処理水でも水質基準の 100 個/ml 以上の 150 個/ml が検出された場合があったが、この際は原水より処理水の一般細菌濃度が上昇しており、捕捉物が流出するような状況下であり、通常の処理の状況でなかったことが推測された。

そのような状況下にあった場合も含め、UV 処理水では、大腸菌は全て陰性であり、実験期間を通じて原水の水質若しくは装置内の気泡等により捕捉物が流出した際も十分な不活化が行われていることが示された。使用日数に換算して一般細菌と大腸菌の濃度を算出したところ、平均的には 400 日相当の使用においてもろ過水でも基準値以内の値を確保することができ、UV 処理水では十分な不活化が行われることが分かった。

(6) 支持体の閉塞について

実験終了時にろ材支持部材の下側 (流入側) を確認したところ、アルミ、シリカ、有機物から構成される堆積物が蓄積して、閉塞が起りやすい状況になっていることが確認された。

(7) 実験まとめ

実験室内のプラントにおいて濁度 1 度程度の原水を用いて、濁度及び微粒子除去率の実験を実施したところ、ろ層が安定した後は、濁度、微粒子残存率は安定し、濁度でほぼ 90%、3 μ m 以上の粒子で 95%以上の安定した除去率が得られた。一方で 1~3 μ m の粒子については 30%程度の除去率しか得られなかった。

実地の実証実験では原水濁度の上昇 (~50 度) により、処理水の濁度上昇が確認された。また、ろ過機に気泡が入ることで捕捉した濁質が流出する可能性が示唆された。紫外線照射によりろ過水の大腸菌を不活化できていることが確認されたが、ろ材支持部材に堆積物が確認された。

1.4.2 実地聞き取り調査

小規模水供給の持続的な維持管理に関する取り組みを続ける地域における取り組み事例について、実地で聞き取り調査を行った。

以下の事例について調査を行った結果、住民ら

の取り組みを詳細に知ることが出来た。今後も引き続き、このような事例の推進や好事例の共有が有効であると考えられた。

1) 簡易水道から飲用水供給施設への変更事例

- ・自動凝集ろ過装置と UVLED を設置
- ・配水池水位を自宅モニターできるよう、簡単なセンサーと通信機器の取り付け

2) 簡易型フィルターと小規模向け凝集ろ過装置

- ・ディスクフィルター（イスラエル製）→塩素注入→小規模向け凝集ろ過装置→紫外線照射装置→配水池出口に塩素注入を行う装置
- ・住民がフロート式の水位計を作り、通りから竿の印で水位が把握できるよう改良

3) 水源を統合し水質検査を効率化し、処理装置を導入した事例

- ・水源3ヶ所の水を一つの水槽に入れ、水質検査を1つに統合
- ・小規模水供給システム向けの凝集ろ過装置3台、UV2台、塩素消毒1台で処理を実施し、ユニットが入った物置を3つ並べて設置
- ・住民が毎年当番を交代しながら管理しているが、住民の連携、意識が高く、先達が維持してくれていたため、住民としては維持することが当然といった認識

4) 簡易な施設改良を行った事例

- ・住民がホームセンターで材料を調達し、整流壁2枚を手作りし、沈砂池の改良を実施
- ・UF膜ろ過機を実証試験として導入し、試験完了を経て、現在は住民管理のもと運用

5) 取水口のスクリーン設置事例

- ・上流の取水堰、取水口に、小型ウォータースクリーンを導入
- ・特注の比較的安価な25cm幅の小型ウォータースクリーンコンクリートで堰を作りその下に防水下地を入れて少量の水でも取水できるように改良

6) その他の事例

- ・宿泊施設を伴う小規模水供給施設でMF膜を備えた装置+PAC注入機が設置された事例
- ・中国地区において、市による補助金も活用して各戸または数軒に給水する小型浄水器（手動または自動による逆洗機能付き膜処理装置）を設置し、別事業で巡回する担当者がメンテナンスを行う事業
- ・現在複数の民間会社で、膜を用いた装置のリース契約による設置、メンテナンス実施の検討

2. 小規模水供給施設の実態と現実的な水質管理

2.1 広島市安佐北区および広島県山県郡安芸太田町への訪問調査

地元管理されている簡易水道組合への訪問し、管理者に対してヒアリング調査を行った。

(1) 広島市安佐北区安佐町宇津簡易水道組合

従来あった水供給施設に対して、設置された施設と考えられ、当初は昭和35年に申請、昭和37年配水開始。現在は、給水戸数32~33戸、給水人口74~75人。水源は、砂防堰堤を県が平成元年に築造し、ここから取水している。この水源とは別に、湧水（ヨコ水と呼ばれている）も取水している。

処理プロセスは、普通沈殿池—緩速ろ過池—分配槽・塩素注入—貯水槽（配水池）で、通常時は、主として緩速ろ過池と塩素注入の維持管理を行っている。砂の全層入れ替えを15~20年前に行った。また砂のかきとり作業を管理人交代する時（半年ごと）に行い、層厚が次第に薄くなるため、5年に1度程度補砂を行っている。

塩素貯留槽へ1回/月程度の頻度で塩素を継ぎ足しているが、塩素酸濃度増大の可能性は否定できないとみられる。

組合長が一人で電気設備、機械設備等を設置・改良している。県は、毎年、現況を確認するための調査を実施し、配水量など変化がないか等を確認。水質検査は広島県環境保健協会に送って行っている。以前は、全項目試験を行っていたこともあるが、費用がかかること、水質に異常はないことから住民同士の話し合いの結果、基本項目だけを検査している。

管理の体制として、水道組合の役員は7人、管理人は4人で半年交代とし、32~33戸で持ち回りとしている。ランニングコストは50~70万円/年必要。管理人1人に1.5万円。水質検査に6,730円。収入は約80万円あり、残額は補修等のために積み立てている。水道代は4カ月ごとに集金。基本料金980円+一人あたり100円+水洗トイレ使用+営業用水使用。

高齢化が進み、管理作業を継続することが難しくなりつつあることから、組合を解散し、市へ移管することを考え始めている。窓口は水道局。下水道が延伸され使用を開始するときに、移管（上水道接続）のタイミングではないかと考えている。配水管を延伸して接続すればよい条件の地域なので、所要費用に関して住民合意されれば接続するのは困難ではない（元市職員による）。

老朽化が進んでいるので、管が破損するなどのトラブルが発生しないか心配である。

(2) 広島県山県郡安芸太田町澄合簡易水道組合

中国自動車道のトンネル工事時に補償工事として平成7年完成した施設。トンネル内の湧水を導水し、プロセスは、滅菌槽—配水池のみ。昔は緩速ろ過の施設があり、維持管理が大変であった。現在の給水戸数58戸、給水人口93人。

管理の体制は、水道組合が、維持管理を業者に委託している。ただし、保守契約しているわけではなく、トラブル等が発生する都度に業務依頼し

ている。町が修繕費の半分を補助しており、他は住民負担。維持管理費等をまとめた書面があり、塩素 2 万円、水質検査 17 万円（年 2 回分）、清掃代 14 万円となっている。水道料金は、基本料金 1000 円＋従量料金で、メーターがあり、年に 1 回検針を行い、その使用量によって翌年の従量料金を決定する。また、役場への要望等は特にない。

2.2 松本市保健所および上下水道局とのヒアリング
小規模水道地域における水供給については、中核市移行に伴い令和 3 年度から市保健所が引き継いだ。市の水道普及率は約 99.6%。5 か所の飲料水供給施設、1 か所の簡易給水施設及び 1 か所の簡易水道を有するが、いずれも民間で管理されている。そのほか、上記水道組合に組み入れられていない数人規模の個人水道施設、および個人の飲用井戸が存在する。

訪問対象となった大和合東村飲料水供給施設、大和合中央飲料水供給施設は、良く管理されている方の施設であった。

入山辺地区では、平成 9 年に市長に対して水道整備の陳情を行い、市が簡易水道事業として統合する案に関するアンケート調査を行ったが、地区全体での合意には至らなかった。当時としては、自分たちの施設を保有できており、住民による管理を継続するという意思であったが、平成 21 年に水道整備が再度陳情された。平成 29 年、市は住民に対する説明会を開催し、整備案を提示しつつ、市としては、地元負担を含む、地区全体での合意が得られれば整備が可能との立場を表明した。地元が上水道整備を希望する理由としては、高齢化に伴い維持管理が困難になってきていること、飲用水としての水質安全性が担保されていないこと、布設管の位置も詳細は不明であり漏水等事故時対応が容易ではないこと、などがある。

上下水道局としては、担当部局であった市環境保全課からの依頼を受け、これまで水道整備に関する調査を行い、それを住民に提示してきた。整備には数億円（あるいはそれ以上）が必要であり、コストがかかりすぎる。入山辺地区は給水区域外であるが、給水区域内であっても個人水道や個人飲用井戸のままとなっている箇所もあり、そのバランスも考慮する必要があり、上下水道局としての整備は難しい。整備へ向けた現実的な案は①松本市として整備したのち、上下水道局に寄附採納してもらう。②地元自ら開発・整備を行う、の 2 つだろうと考える。

技術的に見て、市としては、市上水道から水をポンプ圧送する方式（1～2 km 程度の距離）が適切と考えている。これに対して、水源が沢水という表流水では、水量・水質の問題が解消されない。

一方、①補助金を支出し、必要最小限の整備を進める。②水供給は生活用水のみとし、飲用水はボトル水を購入してもらうようにする。③共同水栓を給水区域内に設置し受水してもらうようにする。といった方法によって、地元が管理する水供給施設として存続させる道もある。

現在のところ、一般に、全国の各水道事業者がそれぞれ補助制度を設けている。これに対して、国や県としての補助制度が必要であると考え。小規模水供給施設を含む水道事業の存続という観点から、必須と考えるが、これがなかなか提示されない。

水質安全性確保の観点からは、県が水質検査のための公社などを設立し、人的支援等を行うことが望ましい。

2.3 入山辺地区飲料水供給施設への訪問調査

大和合東村飲料水供給施設、大和合中央飲料水供給施設、大仏飲料水供給施設への訪問調査を実施し、現地で管理を行う方々から、水道施設の現況や施設管理状況、管理体制やそれぞれの課題、要望等について聞き取りを行った。現在、維持管理の困難さ等から、すべての地区において市に対して上水道整備の要望がされている状況である。

2.4 豊根村・東栄町・設楽町でのヒアリング

各町村の担当部署に対して、各町村内の水道施設の概況、普及率や管理状況、将来展望と課題等についてのヒアリングを行った。

(1) 豊根村

平成 21 年に豊根村簡易水道となり、組合営など住民によって管理されている施設はなく、水道普及率は 99.71 %である。7 浄水場を有し、計画給水人口 1,329 人。現在給水人口 996 人。平成 28 年には小谷下簡易給水施設を加えて経営されている。7 浄水場は、緩速ろ過 6 か所、膜ろ過 1 か所（猪古里浄水場）。

役場の限られた人員でいかに水道を維持していくかが大きな課題であり、職員自ら施工を行っている場合も少なくない。また、維持管理に関する共同化を目指している。三河山間の 2 町 1 村による合同研究会、およびさらに県内で広域のブロック研究会のしくみを持っており、水質検査、水道メーターの共同発注等の検討を進めている。

(2) 東栄町

平成 28 年度までに町内すべての簡易水道施設、簡易給水施設、飲料水供給施設の経営統合を行い、東栄簡易水道事業となった。組合営など住民によって管理されている施設はなく、水道普及率 99.5 %、給水普及率 99.83%である。浄水場 12 箇所を有し、計画給水人口 3,342 人。現在給水人口 2,945 人。

管路更新については、導水管の耐震化を優先させており、水を生産できる状況をつくっておくと

いうコンセプトである。導水管は、埋設できない地形も少なくないことから、露出管となっている。このため、落石などによる破損リスクもあるものと想定している。配水管の耐震化は、導水管の耐震化に次ぐものと位置付けている。

現在、上下水道の職員は3人体制となっており、専門の職員を配置するのが難しい。東三河広域連合は、豊橋市を含む8自治体で構成されており、構成自治体間における協力体制がある。

(3) 設楽町

平成29年に設楽町簡易水道として統合完了し、地元管理されている施設はない。水道普及率は97%である。浄水場8箇所を有し、計画給水人口4,871人、現在給水人口4,317人。

設楽町未普及地域における施策として、様々な検討の結果、上水道接続や運搬給水ではなく、補助金を交付しつつ各戸井戸を新設する方針を選択したものがあ

る。平成21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（補助額上限は300万円。）し、深井戸掘削のための費用として交付されている。この費用には、給水開始前に行う水質検査費（初回に限る）も含まれている。原水試験は40項目検査を行うのが一般的であるが、ここでは、食品衛生法が定める29項目検査が行われており、この結果、水質検査費は5万円で済んでいる。これは、不適切では決してないものの、水質判定を行う際には、食品衛生法「食品製造用水」基準を参照するのではなく、水道水質基準値を参照するのが望ましいといえる（水道水質基準値の方が厳しい値である項目がいくつか含まれるため）。

この記要綱は要望を受けたことから、設置から10年以上経過し、ポンプ設備など機械の不具合が生じた場合には、その更新を補助対象とする条項を追加し、平成31年に改訂された。

この事業によって、平成21年以降、令和2年までに町内36か所で井戸が整備された。36か所のうち31か所は平成22年までに集中している。これにより、井戸新設を希望する大部分の町民に設置できている。各戸は離れているので、共同井戸はなく、いずれも個別井戸である。なお、ランニングコストの補助は行っておらず、注入塩素や水質検査にかかる経費は住民が負担する。県も、飲用井戸の検査は行っていない。

2.5 豊根村・東栄町・設楽町簡易水道施設および水供給施設への訪問調査

各町村の浄水場等の訪問調査を行い、施設の状況や管理状況についての状況を把握した。また、設楽町では、平成21年以降に町補助によって個別井戸の新設が行われた個人宅を訪問し、施設の状況を調査した。ここでは塩素注入器があり当初

は塩素を注入していたが、塩素がなくなった後は注入しておらず、井戸水をそのまま飲用している。従来から塩素を注入する習慣がなく、区域内で塩素を注入している家庭はないとみられる。また、水質検査も行っていない。したがって、ランニングコストは電気代だけであった。将来ポンプ設備等が故障した場合も役場の補助によって修繕・交換が可能であり、現在困りごとや要望は特にないとのことであった。

2.6 高知県におけるヒアリング

高知県中山間振興・交通部鳥獣対策課に対するヒアリングを行った。高知県中山間地域対策課は、中山間地域への対策を重視する知事のイニシアティブを受け、「高知県版生活用水モデル開発事業」を推進した。令和4年度からは、担当課が鳥獣対策課に変更されている。なお、高知県における簡易水道事業の担当課は薬務衛生課である。

事業の背景として、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しており、この整備には高額な費用がかかるため、住民及び市町村にとって経費負担が大きな課題となる。今後さらに人口減少や高齢化が進み、住民一人一人への費用や労務の負担が高まる中、共同利用の施設整備や老朽施設の更新が求められており、早急な課題解決の対策が必要である。

一連の給水施設のうち、特に水源地からの取水方法や、浄化に必要なろ過施設について、県内企業からの技術提案（プロポーサル方式）により、安価で管理の簡易な施設の試作品の製作、検証を行う。こうして高知県オリジナルの小規模給水施設を提案することにより、中山間地域の住民が安心して暮らし続けるための仕組みづくりにつながることを「高知県版生活用水モデル開発事業」の目的としている。

これまでの直面する課題として、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高額、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く、また、清掃時の作業に危険が伴う恐れがある、④県外にお金が出るとある。

平成26年度に委託業務を実施（プロポーサル方式）し、四国水道工業株式会社の提案を採択した。委託内容は、取水施設とろ過施設の製作であり、試作品が製作され、その後、モデル地区に設置、検証が行われた。

事業効果として、県・市町村、住民等に対する①コスト削減：建設費を抑え、住民や市町村の財政負担を減らすことが可能、②労務の削減：定期的な洗浄や、見回りを要する住民の労務負担を減らすことが可能、が挙げられる。また、企業に対しては、県内企業による製品開発を促進する効果を

もたらず。これらを高知県版モデルとして確立することを目指した。

2.7 いの町・大豊町・本山町におけるヒアリングと水供給施設への訪問調査

高知県吾川郡いの町、長岡郡大豊町、長岡郡本山町を訪問し、各町の水道事業や小規模水供給施設の概況と現況についてヒアリングを実施した。併せて、簡易水道事業や小規模水供給施設への視察も行った。また、県のモデル事業として整備された地区へも訪問し、新規に開発された小規模集落対応型の簡易緩速ろ過装置や表流水取水柵(スクリーン)の状況を確認することが出来た。加えて、県のプロポーザル方式に採択された企業からも聞き取りを行うことが出来た。この企業は従来から水道施設の施工を行ってきた実績を有するが、水処理装置の製作は行っておらず、浄水処理装置と表流水取水柵を新規に開発できたのは、既存の浄水処理装置がもつ技術的な課題を認識できていたこと、および県が本事業を推進したことによるところが大きいことが分かった。

また、別の地区では、整備計画を進めているものがあつた。取水施設、導水管、浄水処理施設、配水管などをすべて全面更新するもので、令和4年度に設計業務を行い、令和5年度に施工、総事業費は9,500万円の事業である。1戸当たりの負担額は15万円までとされており、これは簡易水道加入負担金と同額としたものであつた。県による補助割合は1/2だが、上限額は3,000万円。町の補助割合は1/2。このように、県と町による補助事業であるが、塩素消毒を要件とはされていなかった。整備される施設・装置は、その後地元住民によって維持管理されることになる。そのため、当該水供給システムは長期間にわたって持続可能なものである必要があるだろう。

2.8 福島県県南保健所におけるヒアリング

(1) 福島県水道の概要

福島県における水道事業の広域化推進は、食品生活衛生課と市町村財政課が担当している。県では地域の実情を加味した福島県広域化推進プラン策定に向けて検討を進めており、市はある程度独自に対応しているが、町・村は人材が少ないため技術的内容を事業体の中で解決するのが困難な状況である。郡山市ですら、他の市町村に対して技術支援を行うのは難しいのが実状で、一部の市は独自に対応しているが、町・村は、技術的内容を保健所に相談または支援を求めてくる。

水道普及率が低水準である市町村も存在し、70%以下である市町村が4つある(令和2年度末時点。東日本大震災の影響を受けた相双地方を除く)。これまでに整備が進まなかった地域が残されているため、今後も整備を進めるのは難しく、保健所としては、公営水道の普及を進めてきたが、

今以上の水道普及率の向上を進めることは困難になっている。

(2) 小規模水供給システムの実状

水の量・質ともに良好である地域に人が住み着いてきた歴史があり、このため、水源条件が悪い地域はない。未普及地域は、以前は公営水道に接続し、これを解消することを目指していたが、10年程前からは、国として、公営企業としての経営原則が要請されるように変容してきたため、事業経営にとっての条件不利地域には必ずしも対応する必要はないと考えられるようになった。

県条例により、(計画給水人口ではなく)利用人口が50人を超えるものを「給水施設」と定義し、管理や水質検査等を義務付けている。また、利用人口50人以下で、市町村営のものは「飲料水供給施設」と呼んでいる。

保健所は、認可および整備に当たっての(コンサルタント業務を含む)助言・指導を行ってきたが、保健所として設置・整備のための予算があるわけではない。なお、県南保健所が対応している専用水道は約20か所ある(専用水道は福島県全体で約160か所あり)。

一方、市町村営ではない地元施設は飲用井戸の扱いであり、保健所は福島県飲用井戸等衛生対策要領に基づき、相談があつたものについて管理方法や水質検査の助言等を行っている。市町村は実態を積極的には把握していない。

2.9 西郷村役場におけるヒアリング

西白河郡西郷村上下水道課にて、西郷村における上水道事業の現況、広域化や周辺水道事業者との連携、未普及地域等に対する施策等についてのヒアリングを行った。

西郷村は、近隣市町村である白河市と広域化・共同化に対して、何が可能かの協議、検証を行い、県に対して要望を提出した(「広域推進プラン個別案の検証要望について」(2022.6.16))。将来、単独での経営が困難になることも予想しており、経営統合も含めた検討が必要とあると認めていることが背景にある。項目は、経営統合、施設の共同化、共同委託からなる。経営統合には、白河広域圏と受水水道事業との垂直統合と、白河市と西郷村との水平統合の可能性が含まれる。これは、白河市からの呼びかけによるもので、現在のところ、白河市の事業内容や経営実態が不明という状況のため、今後情報交換の場が必要と考えている。

西郷村では、給水区域内にあって上水道が整備されていない戸数は現在約345戸あるが、上水道整備を進める方針はない。これに対して、「西郷村家庭用飲用井戸等給水施設整備事業補助金交付要綱」を定め、補助対象経費の1/2以内の額で100万円を限度として補助を行っている。井戸の新設ももちろん含まれるが、各戸はすでに井戸を

所有しているの、更新時や故障の修繕時に要望が寄せられる。また、井戸の新設時には水質検査費用も補助の対象としており、この場合必要とされる検査項目は15項目である。実態としては、年間1～2件程度に補助している程度であり、複数戸で1井戸という例もある。なお、塩素消毒は行われていない。また、給水区域外の地域を担当するのは環境保全課であり、井戸設置に関する補助内容は給水区域内井戸と同一である。

将来見通しとして、人口は現在も緩やかに微増しているが、今後は横ばいもしくは微減が予測されている。配水管は、経年化管理路（法定耐用年数の1.0～1.5倍）が0.6%、老朽化管理路（法定耐用年数の1.5倍超）が0.0%とほぼ健全管理路である。また、給水原価の上昇傾向があるわけでもないことから、当面は料金値上げの予定はない。ただ、いずれ管路更新が本格化する時期を考慮して、料金値上げを事前に検討しておく必要はあると考えている。なお、維持管理に対する補助、および補助率のアップについての要望がある。

2.10 由井ヶ原水路会、報徳水路会への訪問調査

(1) 由井ヶ原水路会

由井ヶ原水路会は、戦前、人がほとんど住んでいなかった地域であり、昭和21年から食料増産を目的とした開拓が始まった。以前は沢水（湧水割合高い）を砂ろ過した水を使用し、竹樋で水輸送していた。やがて湧水を利用することに変更し、専用水道となった。既設水源である湧水点及び導水管理設箇所は、新設水源（深井戸）地点から車で1時間かけて途中まで行き、そこからさらに徒歩で1時間を要する。途中、崖もあることから高齢者はアクセスできない場所にある。

また、平成24年の台風による破断事故が発生し、断水被害が生じたことから、保健所が、新設水源として深井戸設置の指導を行った。給水区域外であるため、環境保全課による補助を得て整備された。（全額が役場補助、地元負担なし。）しかしながら、以前は計画給水人口が100人超だったので「専用水道」であったが、居住人口が100人未満となり、専用水道に該当しないことから給水施設として確認を受けた。

専用水道の場合、法が求める検査項目と頻度が必要になるが、給水施設なったことで、年間9項目検査と21項目検査を各1回行えばよいこととなり、塩素購入費用、検便などにかかる費用と併せて5万9千円/年と低コストとなり好都合となった。

住民意識として、深井戸は災害用に整備してもらったという認識がある。バックアップ水源を保有することができ安心感が得られた意義が大きい。

(2) 報徳水路会

報徳水路会は、現在利用者が82戸、約120人の専用水道であるが、配水は自然流下によることから技術管理者は不要の施設である。

旧水源がダム建設により水没することが明らかとなったため、村の上水道加入への問い合わせを行ったが、役場からは給水予定区域ではないとの回答があった。県のダム建設事務所は井戸の設置を提案したが、地元住民が現在の湧水地を見出し、提案、この湧水の取水施設がダム建設補償工事として平成6年に整備された。また、配水管の敷設などは業者への発注が高額となることから、住民自らが施工した。

管理運営状況は、水路会としての組織体があり、総会、役員会を開催するなどしっかりした運営がなされている。会長、管理部長、会計、書記、監事、班長といった役職があり、役員手当として42万円が支出されている。支出には、例えば水源地の清掃の実施で1万円/日など、後継者育成のための支出も含んでいる。

2.11 島根県雲南市におけるヒアリングと訪問調査

雲南市は、平成29年度に「雲南市水道事業」として、2上水道事業+16簡易水道事業+8飲料水供給施設を統合した。現在の水道普及率は95.3%。水道料金は、平成19年度から、上水道事業・簡易水道事業間で統一済みであり、令和5年度に料金改定を予定している。

同市内の旧飲料水供給施設としてはもっとも小さい3か所（給水戸数1～7戸）への訪問調査を行った。これらの旧飲料水供給施設は、事業統合の結果、上水道事業における1配水区域であることから、当然、通常の水質検査が要求される。すなわち、毎月+年4回+年1回検査が行われており、年間合計40万円を要する（島根県環境保健公社による検査費用）。このほか、委託業者によって毎日検査が行われている。この結果、竹之尾旧飲料水供給施設のランニングコストは1,800円/m³に達している。

2.12 考察

(1) 塩素酸濃度増大の可能性について

宇津簡易水道組合では、1カ月に1回程度の頻度で塩素貯留槽への塩素の継ぎ足しが行われていた。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とから、塩素酸イオン（ClO₃⁻）濃度が増大する可能性を否定できない。

これまでに、奈良県十津川村田戸地区の飲料水供給施設の塩素注入設備を視察した。普段は塩素注入を行っておらず、1カ月に1度、試料水を水質試験センターへ送付するときだけ塩素を注入するといった運用をしており、この場合、塩素が

注入装置内に長く滞留してしまっている可能性がある。ただし、塩素酸濃度が高い水道水が配水されている可能性があるものの、それは1カ月に1日だけであるともいえる。

実際、委託業者が貯留槽へ塩素を継ぎ足す作業を行っている旧簡易水道地域において、塩素酸濃度が基準値(0.6 mg/L)を超過した事例が報告されている。その他、塩素剤の管理状況と塩素酸濃度の実態調査結果も報告されている。

わが国における塩素酸イオンの検出実態として、2016年度から2017年度にかけて調査地点数が急激に増大しているが、これは簡易水道事業の上水道事業への統合が進んだことに伴い、調査地点数も増えたためである。「対50%値」超過地点数をみると、調査地点数が6,627から8,354に1,727地点増えているのに対して、対50%値を超過した地点数は194から307へと113地点も増えていることがわかる。その割合は、113/1,727=6.5%に達しており、すなわち、旧簡易水道のような小規模施設において高濃度が出現しやすい傾向があるとみることができる。

わが国における塩素酸イオン(ClO_3^-)の基準値は0.6 mg/Lである。これに対して、WHOは、2016年、毒性評価を変更し、TDI(耐容1日摂取量)を従来の $30\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{day})$ から $11\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{day})$ へ修正した。これをわが国の評価値算定式にあてはめると、評価値の試算値として0.2mg/Lが得られる。0.6mg/Lは、0.2mg/Lの方が望ましい可能性があるということを示している。

地元管理されている施設の場合、上記のような塩素の継ぎ足し作業は広く行われており、そのような施設での水質検査は、飲用井戸等衛生対策要領に示される基本項目11項目だけという場合も数多いが、これに加えて塩素酸を検査項目に加えることが望ましいといえる。基本項目11項目の検査費用は7,000円程度~11,000円程度(残留塩素検査を含む場合あり)であるが、塩素酸の検査費用は6,000円程度である。

(2)小規模水道における現実的な水質管理へ向けた枠組み

地元管理されているような小規模水道における現実的な水質検査のあり方を考えるための枠組みを検討した。まず、原水を地下水と表流水に大別し、これに対して、浄化処理が行われている場合と行われていない場合を考えた。また、浄水処理装置といたって、ほぼ処理機能がないケースもみられる。次いで消毒であるが、本来消毒は浄水処理の一部であるが、検討を行う中では分けており、この点が重要である。塩素消毒が行われている場合もちろんあるが、行われていない場合も数多い。著者は、これまでに、この検討で示す組み合わせのすべてを見ることがあった。このう

ち、もっとも懸念されるのは、「表流水—浄水処理なし—消毒なし」のケースである。紫外線消毒はクリプトスポリジウム対策として導入が認められている。これに加えて、たとえば、塩素消毒が忌避される場合に、微生物的安全性を現実的に確保する方法として有用であると考えられる。

このような組み合わせの中にあつて、原水および浄水の水質試験における検査項目と検査頻度を整理することが望まれる。それぞれの施設の実態に応じて、検査項目を選択するとともに、検査頻度を設定していけばよいものとする。ただし、検査項目数を減らす方向ばかりではなく、微生物に関する項目はむしろ拡充し、定量的微生物リスク管理(Quantitative Microbial Risk Assessment; QMRA)手法をコンセプトとするのが望ましい。その具体的方法は別に論じることとする。

(3)松本市入山辺地区飲料水供給施設の現況と課題について

以下の3点について考えられた。

1)3地区とも、原水が良好であるため浄水処理施設が導入されていない。これは、維持管理上の困難さを緩和することに寄与しているとみられる。

2)ハード整備が困難であるまま、今後とも維持管理の困難さは増大していく。地元に対する人的支援のほか、維持修繕に対する補助金交付が現実的な施策であると考えられる。

3)松本市の担当部局が単独で上水道整備を行うのは現実的ではない。現在のところ、市側および住民側の双方に強い方針や牽引力があるわけではなく、進展は容易ではないとみられる。

(4)愛知県三河山間地域の現況と課題について

①未普及地域において水供給形態が持続可能な形で成立するための要件

設楽町における未普及地域の実態は注目される。住民は、上水道に接続する場合、事業費が高額になること、および配水過程での滞留時間が長いことによる水質劣化の可能性を理解し、個別井戸の新設を受け入れている。また、将来、設備が故障した場合には役場が対応してくれるので安心感がある。将来に対する不安感や、役場に対する要望も特にない。

これは、まず、従来から各戸に井戸が存在していたことから、井戸の新設に抵抗がなかったことがあげられる。ついで、きわめて重要な点として、水源地や浄水処理装置を維持管理するために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ことがあげられる。これらは、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、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ことは対照的である。

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に存在することが報告されている。そして、住民による持続的な管理が可能となるための要件が研究分担者である牛島らによって整理されている。これに対して、今回取り上げた設楽町未普及地域の事例も、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る。その条件を再掲すると以下ようになる。

- 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こと。
- 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こと。
- 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と。

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みえる。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く、代替法として、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ず、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。この際、飲用井戸等衛生対策要領が指定する 11 項目をすべて検査する必要は必ずしもなく、定期検査としては一般細菌と大腸菌だけでも不十分ではないとみられる。

②膜ろ過施設の導入と将来の供給形態について

小規模水供給施設に設置された膜ろ過装置について、その維持管理費の高さが負担になっている事業体は少なくない。豊根村猪古里浄水場の場合、配水先が 5 戸 10 人であることから負担感が特に大きいとみられる。この先、いかなる条件、いかなる時期に別の供給形態への移行が意思決定されるのか、興味あるところである。

また、供給形態としては井戸の設置が検討されている。この場合、安定水源が見い出されるなら、配水管は敷設されているので、個別井戸ではなく共同井戸を設置するのが好都合といえる。もちろん、安定水源が、既設配水管に接続できる場所に存在することなどが条件となる。

③高普及率であることについて

水道普及率は、豊根村が 99.71 % であるのをはじめとして、おしなべて高率となっている。これは、豊根村についていえば、村内に集落は点在しているものの、各集落は比較的まとまっており、水道施設を普及させやすかったことが考えられる。このほか、もちろん、これまでに記した政策

的要因もある。この高普及率は、例えば、依然として 60% 台である自治体が国内に存在することを考えると驚異的であるともいえる。

奈良県十津川村では、居住地域のコンパクト化を施策として進めている。水道インフラとしては、10 戸程度（10～15 人程度）が集まればろ過装置の設置が可能になるという。（ただし、コンパクト化のインセンティブは社会インフラ維持管理の効率性ではなく、災害リスクの回避。）この見方が正しいなら、豊根村をはじめとする本地域では、コンパクトな集落が、緩やかにかつ自然に形成されてきたといえるかもしれない。

(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

①新技術の創出と高知県の役割について

「高知県版生活用水モデル開発事業」のもと、プロポーザル方式によって県内企業に対して施設・装置の製作が委託された。県は、中山間地域におけるニーズを把握し、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。

これにより、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が展開できる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。もちろん、県内の事情には精通しているので、社会的ニーズがあることは認識されていたものの、ビジネス化の見通しがないため新技術を開発しようとはされなかったのである。

このように、高知県が推進した事業は、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。高知県が果たした役割はきわめて大きいといえる。

なお、本装置は、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に対応できる新技術である。現在までのところ高知県内のみならず納入されているようであるが、国内で広く普及していくのが望ましいといっている。

②水供給システムの整備と塩素消毒について

上記水供給システムの整備にかかる費用は、もちろん、高知県と町役場が補助している。そして、水供給システム整備の中心になるのは、いうまでもなく浄水処理装置の新設であるが、このとき、塩素消毒の実施が要件とされていないことに注目する。従来から塩素消毒を行っていない地域も多いが、補助事業であるにもかかわらず、塩素消毒装置の設置を強制していないのである。

③“最終消毒装置”としての極小規模浄水処理装

置の性能について

上記のように、引き続き塩素消毒を行う予定がないことから、たとえば前出の 2 槽式緩速ろ過装置は、“最終消毒装置”とみなすこともできる。

欧州では、浄水処理の最終プロセスが緩速ろ過であることがしばしばある。そして、オランダでは、塩素消毒が行われていないことから、この緩速ろ過処理は最終消毒処理プロセスであるとみなされている。このため緩速ろ過処理による微生物の除去・不活化能が丹念に調査研究されてきている。たとえば、Schi jven らは、緩速ろ過池におけるウイルスの除去性を 5 年間にわたって定量し、除去能の中央値が $0.92 \log_{10}$ であり、その変動はベータ分布で表されることを示している。わが国でこのような研究を行った事例は皆無であろう。

新規に開発された 2 槽式緩速ろ過装置も、懸濁物質の除去だけではなく最終消毒装置としての役割も有することから、その微生物に対する除去性能を定量的に表示できることが望ましいといえる。

この観点からすると、ろ過マット使用についても評価の対象になりうる。つまり、微生物除去のためには、いうまでもなくろ過層が成熟している方が有利である。ろ過マットを使用した場合、ろ過層の成熟を遅らせてしまうが、一方、ろ過マットだけを洗浄しつつ、成熟したろ過層を長期間使用することもできるだろう。ろ過マットを使用することによるメンテナンスの容易さと、ろ過層の性能発現とのバランスという課題を見出すことができる。

(6) 保健所の役割と水質検査上の課題

① 福島県南保健所が果たした役割

福島県南保健所は、歴史的に専用水道や給水施設における衛生的な施設整備を推奨してきており、実際に整備が進んできた。この結果、たとえば、「表流水—浄水処理施設なし—消毒なし」といった水供給施設は福島県内には存在しないという。保健所としても、このような小規模水供給システムの整備に貢献してきたという自負がある。設置・整備のための予算枠をもっているわけではないが、同保健所が果たしてきた役割はきわめて大きいとみることができる。

② 専用水道の管理運営について

福島県西郷村において、特に、報徳水路会の管理運営がしっかりしている点は特筆される。これは同会会長の力量によるところも大きいとみられるが、集落規模がある程度の大きさ（給水区域内人口 516 人、現在利用人口約 120 人）であることが組織体の形成を可能にしているといえよう。後継者育成のために必要な支出も行われている。また、配水管敷設等の工事の一部が住民によって

実施可能である点も有利である。これらは、北海道においてみられる地域自律型水供給システムが持続可能な形で成立している事例と共通点が多い。

③ 地元管理されている水供給システムにおける飲用水の安全保証について

専用水道における水質検査は、法が求める検査項目、頻度で行う必要がある。報徳水路会ではこれに年間 74 万円を要している。現在のところは、基本料金 1500 円／月の収入の範囲内でまかなわれているものの、高額な地元負担になっているといえる。一方、給水施設に格下げした由井ヶ原水路会ではこの水質検査費用を大幅に削減できている。実際、他県では、高額な水質検査費用の削減を主たる理由として、民営の簡易水道を飲料水供給施設に格下げした事例も存在する。専用水道に対する法的要件とされている事項であるにもかかわらず、地元住民の全額負担になっている点には課題が残されているともいえる。水質検査とはいうまでもなく飲用水としての安全保証が目的であることから、公的補助のしくみがあってもよいのではないかと考える。

(7) 小規模水供給システムにおける現実的な水質管理へ向けて

島根県雲南市の旧飲料水供給施設を対象に行われている水質検査の頻度および検査項目は明らかに過剰で不必要である。その真の必要性を精査すれば、検査費用を何分の 1 にすることは簡単とみられる。このような施設は雲南市内にいくつも存在し、市で統一されている水道料金の給水原価を押し上げている。

現状を改善するための最初のアプローチは、現行の「水質検査の頻度減・省略の判断フロー」に従って、どこまで可能かを精査することである。これを実行するだけで検査頻度を大幅に減らすとともに、検査項目の削減も可能である。全国の事業・施設の多くで、本来可能であるはずの水質検査の頻度減・省略が実施されていない。まずは現行で可能な内容を精査することが望まれる。

さらに、今後の方向性としては、水質検査・管理に係る要件について、運用面での柔軟性を現行よりもさらに付与することが考えられる。そして「水質検査計画」策定時に、その内容をオーソライズする仕組みを導入するのである。これによって提案できる例を以下にリストアップする。

- ・ 毎日検査→1 週間に 1 回で十分
 - ・ 地質に由来する物質：3 年に 1 度→5 年に 1 度で十分
 - ・ 消毒副生成物：ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸のみで十分
 - ・ 混合検体を可能とする（米国での事例あり）
- なお、国は上記のような具体的内容を示す必要

はなく、「飲料水としての安全性を保証でき、かつ、その内容をオーソライズできるなら、柔軟に運用してよい」と言うだけで良いだろう。この措置によって、各地で続く水道料金の上昇傾向を緩和することができる。

3. 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

3.1 滋賀県長浜市寺院への訪問調査

小規模水供給施設における設置経緯、施設の現況、施設管理の状況、管理体制や利用状況、水質測定結果についての聞き取り、訪問調査を行った。

現有施設として、原水は渓流水、取水施設は、水面に目開き数 mm のスクリーンが設置され、この下部に集水管＝導水管があるものとみられる。沈砂池の役割を持つ原水槽（桝）に導入するが、設置後 3～4 年が経過し、砂が堆積しており、流入管および流出管がほぼ埋まっている状態。数年一度程度の頻度で除去・清掃を行う必要があるとみられる。槽内に目開き数 mm のストレーナを備えた集水管（流出管）あり。流出管は、溪流岸の石の下に埋設され、溪流水面に沿って下流へと延伸されている。

下流には防火水槽兼原水槽があり、原水はここに流入する。直前にドレンがあり、ここで捨水および採水が可能である。防火水槽からの流出管は、槽下部に設置されているので、防火水槽は沈砂池にはなっていない。ポンプアップして寺内に供給。塩素は注入されていない。ポンプ室内には、以前砂ろ過装置があったが、その後、膜ろ過装置に置き換えられた。

下流位置に以前から防火水槽とポンプ施設があったため、これらを活用したものとみられる。ただし、寺内に供給するためには、下流側からポンプアップする必要がある状況となっている。

大吉寺のみの水供給施設であり、他に供給を受けている住宅等はない。

メンテナンスは特に行っておらず、費用も不要。ただし、原水槽には砂が堆積しているので、数年一度程度の頻度で除去・清掃を行う必要があるとみられる。現在、市の関与があるわけではなく、補助等も特にあるわけではない。

定期的な水質検査を行っているわけではないが、以前市広報で水質検査案内があったため、自費で 8000 円を負担し、保健所に検査を依頼したことがある。水質検査項目は 11 項目検査とみられ、大腸菌も不検出で特に問題はなかった。また、降雨時には濁ることがあり、浴槽に水を張ったとき濁りがあることがわかる。水を抜いた後に、底に懸濁物質が残っていることもある。飲用しているが、おなかをこわすなどの問題は全くない。上流域に住居など、汚染源はなく、周辺で、シカが死んでいたこともあるが、問題とは思っていない。

2021 年 5 月 19 日採水試料について、原水 40 項目の検査を厚生労働大臣登録検査機関に依頼した。その他の独自水質測定結果は次節に示す。原水濁度は高くないが、浄水メカニズムがないため、濁度は低減していない。細菌の測定結果をみても、低減しているとはいえない。一方、防火水槽内の滞留時間が長いとみられるので、コンクリートのアルカリ分が溶出し、高 pH、高硬度になる可能性がある。しかし、今回測定した範囲では特にそのような傾向は認められなかった。

長浜市内には 10 の寺院があるが、他寺院には水道が普及しており、独自施設をもつのは大吉寺だけである。水道普及地域から大吉寺までは距離があり、配水管を敷設することはできないため、寺独自の施設となっている。

長浜市市民生活部環境保全課生活衛生係に対してヒアリングを実施した。この結果、専用水道の使用開始時に手続きを行うほかは、未普及地域に対する施策や改善方策等をもっているわけではなく、長浜市としての課題や県・国に対する要望事項も特になかった。なお、当該地域の上水道事業、簡易水道事業は長浜水道企業団が行っており、ヒアリングを行ったが、未普及地域については関与していなかった。

3.2 京都帝釋天水供給施設の調査

小規模水供給施設の概要、水利用の状況、施設管理の状況、水質管理の状況等についての聞き取り調査を行った。

水源は、奥の院礼拝所近くにあり。湧き水であるが、原水としては表流水とみなされる。原水受水槽（桝）で受けた後、境内に供給されており、古くから利用されている。

この水は飲み水としても利用されており、茶所において、参拝者にふるまわれ、また、水を汲みに来る人もいる。ほかには、トイレの手洗い、手水舎 2 か所があり、防火用水としての役割もある。

管理は地元の方が行っている。湧き水なので水量変化が少なく（なく）、これまでに枯れたことはない。また、南丹市との関わりはなく、水質検査も行われていない。

奥の院礼拝所への石段手前の蛇口から採水し（2021 年 4 月 16 日採水試料）、原水 40 項目の検査を厚生労働大臣登録検査機関に依頼した。

社団法人船井青年会議所社会開発委員会は、1992 年に京都府北部地域の 6 か所の水を調査し、資料「船井六水」としてとりまとめている。6 か所の水は、神社や鍾乳洞における湧き水、および、寺院、地蔵、滝においてみられる水である。水質試験機関に依頼し、13 項目にわたる水質検査が実施されている（平成 4 年 7 月採水）。さらに、”味くらべ“が行われ、その指標は「甘さ」、「辛さ」、

「マイルドさ」、「ドライさ」、「総合比較」の5項目である。

3.3 原水調査の結果

大吉寺、京都帝釋天、トロッコ保津峡駅施設(北側、南側)で採水した試料について、これまでの原水試験結果のとりまとめを行った。

3.4 病原細菌群の網羅的検出

トロッコ保津峡駅における次世代シーケンサーを用いて病原細菌を一斉検出した結果と、改良した手法によって得られた一斉検出結果を示した。前者には偽陽性のものが含まれる可能性が高いものの、これらから *Aeromonas* 属や *Mycobacterium* 属、*Legionella* 属、*Bacillus* 属、*Pseudomonas* 属といった水環境や土壌中の常在菌が頻繁に検出されていることがわかる。これらの多くは免疫の低い人々に感染性を示す日和見感染菌として一般的なものである。他にも *Klebsiella* 属や *Clostridium* 属など動物の糞便由来の細菌として有名なものも散発的に検出されたものの、上記のような環境常在菌よりは検出されにくい傾向にあった。

3.5 QMRA 手法による細菌の要求除去・不活化能の推定

トロッコ保津峡駅の北側、南側施設の原水の微生物的安全性を確保するために必要な除去不活化 log 数の推算結果を示した。なお、これはトロッコ保津峡駅における病原細菌種の一斉検出結果に基づいて推算したものである。感染経路がエアロゾル吸入の病原種に対しては概ね 1~2 log 程度の除去・不活化 log 数となったのに対して、経口感染を仮定した病原種の要求処理能は 5~7 log 程度と高く推算された。経口感染の細菌を十分に除去・不活化できればエアロゾル感染の細菌リスクも制御できるため、対象地域における必要除去・不活化能としては 5~7 log 程度であることが推察された。なお、感染経路による要求処理能の違いが出た理由として、エアロゾル吸入を介した曝露量が飲水による曝露よりも大幅に小さいことが考えられる。

3.6 考察

(1) 微生物的安全性確保へ向けたアプローチ方法

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。そのための枠組みとして、微生物的安全性確保へ向けたアプローチ方法を示した。

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、微生物的安全性確保へ向けたアプローチ方法では、原水の一般細菌と大腸菌の検査結果が存在することを前提とする。

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、適当と考えられる日和見菌の感染確率モデルを使用する。なお、最大感染確率モデルや逆に低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す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：1/10 L、クリプトスポリジウム：1/m³ など。

これに対して、追加調査を行える場合を考える。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。

(2) 一般細菌数を用いた必要除去・不活化能の試算

測定数が多い京都帝釋天施設およびトロッコ保津峡駅施設の測定結果に基づいて試算する。今回の原水試験の結果から、ここではまず、一般細菌のみ検出され大腸菌が検出さなかった場合を考える。

文献に見られる比率等を取りまとめた。25 文献をレビューしたが、それらは、浄水処理の有無、消毒の有無等を含む各種の報告である。このうち、原水が表流水（河川、貯水池、湖沼）である場合のデータを抽出した。表の N は、報告数を意味する。なお、ここでは、HPC について一般細菌と従属栄養細菌を区別していない。

文献に見られる比率等のまとめを参照して設定した比率等は以下の通りである。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。

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 ($\gamma = 7.64E-08$) を適用した。

一般細菌数に基づく必要除去・不活化能の試算を行った。測定した一般細菌数をもとに、病原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 数を算定したものである。

(3) 大腸菌数を用いた必要除去・不活化能の試算

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。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。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。

「WHO 定量的微生物リスク評価ガイドブック」¹²⁾に記載されている大腸菌：E. coli O157:H7、大腸菌：ロタウイルス、大腸菌：クリプトスポリジウム、大腸菌：カンピロバクターの比率はそれぞれ 1:0.08、1:5.00E-06、1:1.00E-06、1:0.66 である。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。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、大腸菌濃度測定値に基づく試算結果では 1.3~1.4 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。

(4) 不確実性分析

Staphylococcus aureus の用量-反応モデル ($\gamma = 7.64E-08$) を適用した場合をベースケースとして不確実性分析を行い、トロッコ保津峡駅北側施設を対象とした場合の結果を示した。

文献情報を精査し、極端な報告値を除外すると、一般細菌/全細菌：0.00681%~1.75%、一般細菌/全生菌：0.0595%~5.93%、全生菌/全細菌：32%~65.5%の範囲とみなせる。これらを参考として、一般細菌/全細菌の割合、病原性細菌/全細菌の割合、病原性生菌/病原性細菌の割合の上限値および下限値を設定した。また、日和見菌等生菌/全生菌、病原性細菌/全細菌、日和見菌等/病原性生菌の割合の最小値は、とりあえず、それぞれ 0.01%、0.01%、0.1%と仮定する。これより、日和見菌等/病原性生菌の割合の下限値として 0.1%を設定した。感染能を有する割合は 10%~100%に設定することが多いことから、下限値を 10%とした。用量-反応モデルは *Staphylococcus aureus* のモデル ($r = 7.64E-08$) に対して、*Legionella* のモデル ($r = 5.99E-02$) を適用した。非加熱飲料水消費量 327 mL は大阪市で得られた値であるが、WHO 飲料水水質ガイドラインに記載されている 1 L を設定した。

ベースケースにおける 4.8 log に対して必要除去○不活化能の差が 1 log を超える項目を朱書している。これらはリスク評価において不確実性が高い項目であるということが出来る。このように、不確実性分析を行うことによって、今後重点的な調査の実施や、知見の集積を行うべき項目を抽出することができる。

今後は、調査データを集積しつつ、ここで述べた枠組みを構築していくこととする。

4. 小規模水供給システム向け取水施設および給配水管路の維持管理手法

4.1 滋賀県 T 市における配水管内環境に関する実態とシナリオ分析

(1) 配水管内環境に関する実態調査

各サンプルの懸濁物質 (SS/VSS) 濃度、懸濁態元

素(Al, Ca, Fe, Mn, Si)濃度の分析結果をまとめた。洗管時の排水中SSは約30~6000 mg/Lであった。各回の採水試料(No. 1~)の懸濁物質濃度を足し合わせ、洗浄対象の管路の情報から配水管単位内面積あたりの懸濁物質の蓄積量を推定したところ、配水区域Aの地点1で56 g/m²、地点2で1 g/m²、配水区域Bで12.6 g/m²と推算された。また、蓄積量に占める各懸濁態元素の割合を示した。2つの地点ではMnが蓄積物の主要な構成元素であり、Mnに起因すると思われる黒い排水が確認された。対象区域は地下水を水道原水としており、配水管の使用期間のうち除Mn処理がなされていない期間が数年間あったとのことである。国内の小規模な水供給システムにも地下水を原水とする地域があるが、塩素消毒を行う場合には配水過程でMnの酸化が進み管内での蓄積が進行するため、適切な除Mn処理を行うことが必要と考えられる。

(2)実管網におけるマンガンの蓄積量の予測と制御性に関するシナリオ分析

対象管網におけるMn蓄積量を推算した結果を示した。全管路のMn蓄積量の平均値は518 mg/m²となった。また、管内流速の大きい上流の管路(配水池に近い管路)ほど蓄積量が大きい傾向にあった。上流の管路ほどMnの蓄積量が高い傾向にあることは既往研究³⁾でも確認されており、その傾向を数理モデルで再現し、蓄積量分布を可視化することができた。

続いて、Mn蓄積物の制御に関する各シナリオの効果の比較から、対策なしのベースケースに対する平均蓄積量の割合は、WQ1~4とRF1~4のシナリオで100%を下回り、蓄積量を削減する効果があることがわかった。まず、WQ1, 2の結果から、現状の全Mn濃度を維持したままMn²⁺の割合を現状の90%から10%、50%に低減することによってそれぞれ22%、18%の削減効果が推算された。これはMn²⁺の割合が高いほど化学酸化による加速度的なMn蓄積が進むためであると考えられ、なるべくMnを酸化させてから配水することが重要と考えられる。一方、シナリオWQ3, 4より、Mnの形態組成を保ったまま全Mn濃度を50%、30%に低減した場合の削減効果はそれぞれ48%、29%となり、WQ1, 2よりも大きな効果が見込まれた。以上より、浄水処理の段階でなるべく全Mn濃度を低減し、Mn²⁺を酸化させることがMn蓄積量の低減には重要であることが示された。

次に、管路の縮径を行うシナリオPD1~3ではいずれもベースケースよりも高い平均蓄積量が得られた。これは縮径に伴って管内流速が向上したことにより、MnO₂粒子の物理付着とMn²⁺の化学酸化を介した蓄積の両方が促進されたことに起因する。一般的に懸濁物質の蓄積を制御するため

には管内流速を向上させることが有効な手段と考えられているが、Mnは特有の蓄積機構を持つために縮径は有効な制御方策とならない可能性が示された。

さらに、定期的な洗管を想定したシナリオRF1~4は6~40%の蓄積量の削減効果が見込まれた。洗管頻度を年2回とするRF1, 3は、それぞれ年1回の洗管を行うRF2, 4よりも蓄積量を低減できしており、高頻度の洗管が有効であることが示された。また、毎回の洗管で蓄積量の大きい小区画を優先的に洗管するシナリオRF1, 2の方が、単純に小区画を順番に洗管していくシナリオRF3, 4よりも高い削減効果を示しており、洗管対象とする区画の適切な選定が重要であることがわかる。

浄水処理(WQ1~4)と洗管(RF1~4)のシナリオを比較すると、例えばWQ2とRF3のシナリオや、WQ3とRF1のシナリオが同等の制御性を示すことがわかる。特に小規模水供給システムにおいて洗管は実施可能ではないことも多いが、それに相当する効果が浄水処理の改善によって達成できる可能性が本分析によって示された。

4.2 複数のろ材を用いた砂ろ過・膜ろ過による濁質除去能の定量比較

各ろ材からのろ過水濁度の時間変化を示した。PAC注入率0.16 mg-Al/Lの条件では、砂ろ過水の濁度範囲が0.1~0.6度程度であったのに対して、膜ろ過水の濁度は0~0.005度と極めて低かった。砂ろ過材の中では、有効径の最も大きいアンストラサイトでのろ過水濁度が最も高く、次いでケイ砂、均等化ケイ砂、ガーネットの順番で濁度が大きかった。一方、膜ろ過材の中では、最も孔径が大きいセラミック基材で0.008~0.039度と他の膜ろ材(0.005度未満)よりもやや濁度が高いものの、他の孔径のろ材間では顕著な違いは見られなかった。各ろ材による濁質除去log数を3回分の実験結果から推定した結果、砂ろ材と膜ろ過材の間には約1logほどの除去能の違いが見られた。また、砂ろ過材の中ではアンストラサイトとガーネットの間にはのみ統計的な有意差が見られたものの、他の砂ろ材や膜ろ過材の間では有意差は見られなかった。

4.3 表流水の取水装置に関する実地調査

(1) 静岡市由比地区における調査

静岡市保健所は、2017年に市内に存在する民営簡易水道施設と飲料水供給施設に関する実態調査を行った。調査時点における施設整備補助の対象となる施設数は、前者が6施設(給水戸数280戸、給水人口747人)、後者が168施設(給水戸数1576戸、給水人口3805人)であった(現在は前者4施設、後者146施設)。平成8年度以降、これらの民営簡易水道施設と飲料水供給施設は衛生部局(保健所)が所掌している。

上記のうち、特に困りごとがあると回答した施設は25あり、困っていることに関する回答をみると、「水質」、「日頃の管理」、「高齢化」、「台風・大雨」、「負担額」、「老朽化」が上位にリストアップされた。これらの諸課題は、静岡市だけではなく、各地の小規模水供給施設に共通すると言ってよい。

静岡市保健所は、この結果を受けて、安定水源の確保、メンテナンスフリーの取水・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標とする施策を精力的に進めている。すなわち、住民の代表的な困りごとになっている、①取水口閉塞、②濁り、および③日常の水質管理（消毒）を解消するための施設整備を目指している。このとき、取水・浄水処理装置として求められるのは、メンテナンスフリーに近いこと、および安価であることである。

以上を背景として、上記困りごとの解決のために、施設統合を重要施策として推進しようとしている。安定水源の確保、メンテナンスフリーの取水・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旨とする。統合へ向けて地元住民らへの提案・調整が精力的に行われている。

これらの背景とニーズから生み出された装置が、小規模水供給施設向けの表流水を取水するためのスクリーンを備えた装置（ウォータースクリーン；日本エンジニア株式会社）である。

装置は、表流水を越流させ、常にスクリーン表面を洗い流しながら、原水を取出口から取り出す構造になっている。このため、落ち葉や土砂による目詰まりがしにくく、安定した取水が可能となる。装置の仕様としては、この場合、取水能力は最大25 m³/日である。後述するように、堰に埋め込むこともできるが、U字溝があればその流路内に設置することも可能である。

静岡市由比地区において、取水口閉塞対策として、目開き約1 mmの表流水取水装置（ウォータースクリーン）を設置した飲料水供給施設がある。詰まりが解消され、非常に優れていると高く評価されている

(2) 愛知県東栄町における調査

振草浄水場とその水源地（原水は渓流水）を訪問した。取水施設には、ステンレス製スクリーンが堰に埋め込まれて設置されている（日本エンジニア製、ウォータースクリーン）。設置は10年程度前。費用数百万円。取水装置内部の側面から取水する構造になっており、導水管は埋設されている。施設は役場によって管理されているが、取水地点の維持管理がきわめて容易になったと評価されている。

(3) 滋賀県長浜市寺院への訪問調査

大吉寺には、以前、砂ろ過施設が設置されていたが、旧浅井町から対策の必要性を指摘され、クリプトスポリジウム対策もあって2005年に膜ろ過装置を設置した。導入されたのは、株式会社清水合金製作所のアクアレスキュー類似装置（初期モデル、MF、50 m³/日）。長浜市は2013年に地元自治会に管理を移管した。

導入したシステムは、原水流量の減少により、ポンプが作動しなくなるなどのトラブルがしばしば発生した。給水栓からしばらく水を流していると、水量が減少することがしばしばあった。断水もよく起きるので困っていた。ただし、これらは膜ろ過装置に原因があるのではなく、取水設備が不良だったことに原因があるとみられる。このため3～4年前に膜ろ過装置は撤去し、現有設備に変更した。

原水である溪流と、現在の原水槽を確認すると、溪流水面にスクリーンが設置されているのがわかる。スクリーンの目開きは数mmである。この下部に集水管が設置されている

原水は、原水槽（桝）に導入され、水槽中の水位は渓流水の水位と一致している。これは沈砂池の役割を有している。実際、設置後3～4年が経過し、砂が堆積している。流入管および流出管がほぼ埋まっている状態。槽内に目開き数mmのストレーナを備えた集水管（流出管）あり。流出管は、溪流岸の石の下に埋設され、溪流水面に沿って下流へと延伸されている。

居住者（住職）によるメンテナンスは特に行われておらず、費用も不要。ただし、原水槽には砂が堆積しているので、数年に一度程度の頻度で除去・清掃を行う必要があるとみられる。

4.4 小規模水供給施設における配水管内環境の維持管理方策

4.4.1 中部地方Y市k浄水場配水区域

(1) 管路の維持管理作業

k浄水場では上向流緩速ろ過施設が導入されている（現在給水戸数は250戸）。この配水区域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。この配水区域の末端では、「排泥作業」と称する放水作業が行われている。1年に1回、主としてお盆の時期に人口が急激に増加し、配水区域の下流域で水量が不足する。この時期の必要水量は平時の1.5倍程度に達するようである。この不足水量を補うため、この時期に限り、隣接するe浄水場配水区域（東北方面に広がる地域）から配水を受ける。e浄水場配水区域からの水は末端から流入し、上流方向4分の1程度まで到達すると推定されている。このとき、水は平時とは逆方向に流れることになり、この流向の変化に伴って濁水が発生するのを未然に防止する

ために行われているのが、「排泥作業」と称する放水作業である。これまでに濁水発生によって苦情が発生するなどの例はないようである。

この「排泥作業」の目的は、配水管内で滞留傾向にある水を排出することである。作業は経験的に行われており、数時間内に終了する。放水時の流量や管内で確保される流速などは把握されておらず、その洗管効果は明らかではない。

この事例を参考にして、次節では洗管シナリオを設定し定量的な評価を試みた。

(2) 懸濁物質等の蓄積とその制御

管網解析を行い、配水区域内における懸濁物質等の蓄積量とその分布を推定した。測定した濁度から、配水される浄水のSSは $12\mu\text{g/L}$ と推定し、浄水場から20年間配水を継続した場合の平均蓄積量は 0.68g/m^2 と推定された。

ついで制御性に関する評価を行った。本検討の目的は、「排泥作業」のような特徴ある管路維持作業の効果を定量的に評価することにあること、および、浄水処理については、導入されている上向流緩速ろ過施設によって除去能は十分確保されていることから、新たなシナリオは設定しないこととした。また、縮径についても、とりあえず取り上げないこととした。

「排泥作業」は毎年実施されているものの、その洗管効果は明らかではない。そこで、ここではこの「排泥作業」を強化し、管内流速を 0.4m/sec 程度以上に確保して、管内に蓄積した懸濁物質等を積極的に排出するというシナリオを設定することとする。

放水による洗管作業はそれぞれの水道事業者で少しずつ異なる方法で行われるが、ここでは実際に行われている洗管時管路延長を考慮して $30\text{m}^3/\text{h}$ で排泥作業を行う場合を設定した。配水を10年間継続した後、排泥作業強化シナリオを適用した。すなわち、10年後から、毎年 $30\text{m}^3/\text{h}$ で排泥作業を実施することとし、管内流速 0.4m/s 以上が出現する管路に対し、除去率100%を与えた。蓄積期間（評価期間）は20年とし、排泥作業を行わない場合（ベースケース）とを比較した。

比較結果から、排泥作業強化シナリオでは、ベースケース（洗管未実施）と比較して総蓄積量に大きな低減効果が得られ、後者は62%減少し 0.26g/m^2 となった。この結果から、現在経験的に行われている排泥作業について、手法とその効果を定量的に示しつつこれを強化することによって、配水管内環境の大きな改善が期待できると指摘できる。また、実際の運用にあたっては、有収率低下への影響等にも配慮する必要がある。

4.4.2 東北地方 A市 n浄水場・t浄水場配水区域 (1) 施設概要

計器表示値及び水質測定結果の確認、並びに2つの配水区域の管路図の作成を行った。n浄水場配水区域の末端節点とt浄水場配水区域の上流側節点とは管路で連結されている。

(2) 管路の維持管理作業

当該配水地域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。n浄水場配水区域の末端には「排流装置」が設置され、稼働している。この「排流装置」によって水道水を常時放水している目的は、配水区域内の残留塩素・pH管理を容易にすることにある。n浄水場・t浄水場の運転管理は、M浄水場での遠隔監視、及び業者への外部委託により浄水場への定期巡回（月、水、金の週3回）が行われている。さらに、給水末端の毎日検査は私人への委託により実施されており、水質が最も劣化する可能性がある給水末端で残留塩素濃度等の測定が行われている。

水道事業者としては、浄水場での塩素注入率は低くしたいが、配水区域内での残留塩素は確保する必要がある。これを常にモニタリングしなくても確実に（自動的に）達成できているようにするために行われるのが「排流装置」を用いた放水である。

放水流量は、約 $20\text{L/min}=28.8\text{m}^3/\text{日}$ であり、これはn浄水場における配水量 $50\text{m}^3/\text{日}$ の実に58%に達している。調査時（2018/8/27）の残留塩素濃度は 0.32mg/L であった。

洗管の考え方について、A市に対してヒアリングを行った。計画的に順次行っていくという洗管作業は実施されておらず、配水区域の切り替え作業時などに濁水発生が予想される管を特定し、当該管路に対して普段とは異なる流向や、流速が発生する場合に、あらかじめ想定しうる流速で洗管しておくという目的で放水が実施されている。また、流速確保の考え方としては、出現しうる流量・流速を予測した上で放水を実施している。例えば、 $2\text{m}^3/\text{min}$ が予想されるなら、事前に $2.5\text{m}^3/\text{min}$ の流量を与えておく、などである。

なお、n浄水場・t浄水場配水区域のような旧簡易水道エリアでは、配水区域の変更や流速が大きく変化することがあまりないためこのような放水洗管を実施していない。

排流装置による放水が行われているのはn浄水場配水区域であるが、t浄水場配水区域においても排流装置は末端2か所に設置されており、そこで、t浄水場配水区域においても、この2箇所から配水量のそれぞれ29%が放水される場合を想定した。その合計量58%は、n浄水場配水区域における放水量と一致させたものである。

(3) 管内環境に対する効果の定量化

シナリオ比較結果から、膜ろ過の導入によって（CASE2）配水管内蓄積量が低く抑制されている

ことがわかった。一方、CASE2（膜ろ過有り、排流装置無し）とCASE3（膜ろ過有り、排流装置有り）を比較すると、排流装置を設置することによる効果は小さく、その削減率は0（n旧簡水）～7%（t旧簡水）であった。一方、総蓄積量は減少しており、たとえばn旧簡水では110gが93gとなった。総蓄積量の変化と単位面積あたり蓄積量の変化が必ずしも一致しないのは、蓄積量が定常に達するまでに要する期間が管内流速に依存し、それが管網内で分布しているためである。総蓄積量でみると排流装置がその低減にも効果があるといえるが、その効果は大きいとはいえない。すなわち、排流装置による放水は、配水管内を清浄に保つのに寄与するというよりは、配水管網内の滞留時間が短縮されることによって管路末端での残留塩素・pH濃度を安定して保つ役割を果たしていると推察できる。

4.5 考察

(1) 複数のろ材を用いた砂ろ過・膜ろ過による濁質除去能の定量比較

濁質の除去log数で見た場合には統計的な有意差は見られなかったが、各試行回でのろ過水濁度はガーネットが最も低く、通常のケイ砂よりも高い濁質除去能を持つ可能性が示された。大孔径膜は通常のMF膜に比べてエネルギー消費量が小さく時間当たりの処理水量が大きいという利点があり、小規模水供給システムに適している可能性がある反面、膜孔径が大きいために処理水質が悪く管内環境管理の観点からは望ましくない可能性が考えられた。しかしながら、本実験では膜孔径を0.1～約13 μm と大きく変化させたにも関わらず除去能に顕著な差は見られなかった。すなわち、少量でも凝集剤を注入すれば、大孔径膜でも良好な処理水質が得られる可能性が示された。

(2) 表流水の取水装置に関する実地調査

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、落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。ここで取り上げた小規模水供給施設向け表流水取水装置は、そのような背景とニーズから生み出された取水装置である。

長浜市寺院の事例は、過去の経験を踏まえて技術的に適切な設計がなされたものである。スクリーン機能と沈砂池機能を備えつつ、安定した取水を可能にした施設の好例とみることができる。

(3) 小規模水供給施設における配水管内環境の維持管理方策

ここでは、2地域における旧簡水施設を対象として、配水管内環境を評価するとともに、これを

制御するための方法について論じた。配水管内における懸濁物質等の管理・制御のための考え方としては、①浄水処理における懸濁物質等の除去、②配水管網における水理条件の管理・制御、③洗管の3つの段階がある。それぞれの効果と手法間の比較についてはこれまでに論じてきたところであるが、本研究では、地域特有で行われている管路維持管理作業を取り上げ、それが配水管内環境の大きな改善に寄与できることを定量的に示すことができた。

5. 小型紫外線消毒装置の基礎的知見の収集と実際への適用に関する研究

小型紫外線消毒装置の実証試験結果は、以下のとおりとなった。

5.1 原水の物理化学的水質

実証試験原水の物理化学的水質項目（濁度、色度、硬度、鉄、マンガン、水温、pH、電気伝導率）の測定を行った（2020年8月～2022年7月、うち2021年1月～5月および2022年2月～3月に中断、n=33）。その間、原水の紫外線（280nm）透過率の幾何平均値は96.1%、中央値は95.7%であった。

紫外線処理に適した処理対象水として、紫外線の水中への透過を過度に阻害しないことの見安は、濁度2度以下、色度5度以下、紫外線透過率75%以上、紫外線装置内に着色やスケールを生じないことの見安は全鉄0.1mg/L以下、全マンガン0.05mg/L以下、硬度140mg/L以下、が推奨されている。これらの見安値に対して今回の測定結果は、濁度の最大値を除いていずれも適合しており、すなわち紫外線処理の対象水として概ね適した水質と判定された。

濁度の最大値（3.1度）は2020年10月20日の試料、色度の最大値（4.1度）は2022年7月5日の試料でそれぞれ計測されたが、これら試料の紫外線透過率（280nm）は順に98.6%、92.7%であり、他の採水日の試料に比べて突出して低い透過率とは言えなかった。一方、紫外線透過率の最小値（91.3%）を記録したのは2021年9月28日であるが、当該試料の濁度と色度は順に1.1度、1.5度であった。紫外線消毒の性能は、紫外線がどれだけ水中の微生物に到達するか、すなわち紫外線透過率に大きく依存するが、濁度など電氣的に常時監視が容易な水質指標だけでは紫外線透過率を推定しがたいことが示された。なお、紫外線透過率最小値91.3%を記録した2021年9月28日のUV-LED装置による微生物不活化率（大腸菌で1.4log以上、大腸菌群で2.6log、一般細菌で1.8log、従属栄養細菌で0.9log）は、他の採水日の試料に比べて遜色なく、紫外線処理の効果を損なうほどの透過率低下ではなかった。

5.2 UV-LED処理による微生物濃度の変化

原水、UV-LED 処理水 (UV-LED 点灯)、対照試料 (UV-LED 消灯) における微生物測定項目 (大腸菌、一般細菌、従属栄養細菌) の微生物濃度測定を行った。原水について、採水 33 回のうち 24 回で大腸菌を検出した (陽性率 73%)。また、一般細菌と従属栄養細菌は全ての原水中に検出され、原水の一般細菌は常に水道水質基準値 (100cfu/mL) を下回ったものの、従属栄養細菌は暫定水質管理目標値 (2000CFU/mL 以下) を 8 回超過した (超過率 24%)。

当該施設は地表水を原水とし、大腸菌が高頻度で陽性であることから、公共水道を対象に厚生労働省の定める「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」に照らすと、クリプトスポリジウム汚染リスクが高いとされる「レベル 4」に該当する。厚生労働省指針では、「レベル 4」に該当する施設での有効なクリプトスポリジウム対策として、ろ過設備による厳密な濁度管理、または、ろ過と紫外線照射による消毒を挙げており、当該施設において実際に住民に供給される浄水の処理プロセス (塩素+砂ろ過+紫外線) はこれを満たしている。測定結果から、総じて、原水の微生物濃度は変動が大きく、特に 2022 年 7 月 5 日に大腸菌で観察された突発的な濃度上昇は顕著であった。すなわち、未処理の原水は微生物学的安全性の観点から常時飲用には不適であり、消毒処理が必要と判断された。

大腸菌の挙動と一般細菌の挙動は必ずしも類似せず、この差異は、大腸菌が野生動物の糞便汚染由来である一方で一般細菌は土壌細菌等も含む多様な細菌類を含むものであり、すなわち汚染起源が異なることが原因と考えられた。試験期間を通じて、12 月から 1 月に原水中の大腸菌不検出が連続したことから、季節的な影響 (冬期の水温・気温の低下による微生物活性の低下、野生動物の活動低下など) が示唆された。一方、原水中の一般細菌や従属栄養細菌の濃度変化に明確な季節性は見られなかった。なお、大腸菌濃度と水温・気温の関係を調べた結果、概して、水温が 17℃を超えると、あるいは気温が 23℃を超えると、高濃度の大腸菌を検出する頻度が高いことが示された。また、いずれの微生物項目でも、UV-LED 消灯で装置内を通水した対照試料は原水とほぼ同等の微生物濃度を示した。よって、UV-LED 点灯試料 (処理水) で見られた濃度低下は、装置内への吸着等によるものではなく、紫外線による不活化の効果であることが裏付けられた。

UV-LED 処理水では、いずれの微生物項目も濃度が低下し、大腸菌は UV-LED 処理水の 1 回を除く試料で 100mL 中に不検出となった。処理水中に大腸菌を検出した 1 試料も 0.5CFU/100mL と定量下限値であり、総じて紫外線処理が大腸菌の不活

化に継続して効果を発揮したことが確認された。また、処理水では一般細菌の水道水質基準値 (100cfu/mL) および従属栄養細菌の暫定水質管理目標値 (2000cfu/mL) を全ての試料で継続的に下回った。

対数不活化率は、大腸菌は最大値 2.41log 以上 (処理後不検出試料多数のため定量不能)、一般細菌は最大値 2.81log (中央値 1.51log)、従属栄養細菌は最大値 2.21log (中央値 1.11log) であった。本研究の範囲では、不活性化性能に経時的な低下は見られず、また、濁水による運転停止 (2021 年 1 月～5 月、2022 年 2 月～3 月) からの復帰直後から、停止前と遜色ない性能を発揮した。

本実証試験では、ろ過等の前処理を経ずに原水を直接 UV-LED 装置に通水した。これは、UV-LED 装置単独での性能を評価するため、また、人的資源や資金に制約がある小規模施設ではできるだけシンプルなプロセスが望ましいと判断したため、設定した処理フローである。本研究の結果から、仮にろ過設備なく UV-LED 装置を単独で導入した場合でも、水の微生物学的な安全性を有意に向上できることが示された。一方、実装に向けては、紫外線消毒には残留効果がないことを十分に考慮した給水システムの構築と、利用者への周知が必須である。一案として、できるだけ給水末端に近い位置に紫外線装置を設置すること、給水栓から得た水は長期保管せずできるだけ速やかに消費するよう周知すること、などが挙げられる。あるいは、塩素消毒を併用することで、給水システム内の再増殖・再汚染リスクを抑制することも有効である。

集落規模で運営する水供給施設で新しい技術を導入する場合、各地域の実情、特に、運営と維持管理に要する費用と労力に応じて、住民自らが技術を選択する必要がある。行政や学識者は、技術の選択に際し必要十分な情報を提供することで住民を支援し、さらに、技術導入後も長期的に技術的アドバイスを提供することが求められる。

5.3 集落規模の水処理施設における UV-LED 装置導入の事例

集落規模で既に UV-LED 消毒装置を導入した事例を見学する機会を得た。これらの施設はいずれも紫外線消毒と塩素消毒を併用しており、浄水の微生物学的安全性の観点から優れたプロセスを採用している。これまでに得られた知見、すなわち、UV-LED を用いた紫外線消毒技術の有効性と長期的な安定性が、当該処理をすでに導入した小規模水供給施設の参考となること、また、新たに導入を検討中の施設にとって判断材料の一助となることを期待する。

6. 小規模集落が管理する水供給システムの維持管理負担の実態および外部団体からの支援の可

能性に関する調査

6.1 維持管理実態および作業負担・金銭的負担に関する調査

6.1.1 水源別の塩素消毒施設の有無・水質検査項目について

水源の種類について尋ねた結果、地下水・井戸水を使用していると回答した集落が最も多く 83 集落（総集落の約 34%）、次いで多いのが表流水（渓流水）が 58 集落（約 24%）、湧水が 50 集落（約 21%）であった。地下水・井戸水をその他の水源と併用しているとした集落を合わせると 94 集落（約 39%）が地下水・井戸水を使用しているとの回答であった。

塩素消毒施設の有無について、表流水（渓流水）・湧水・地下水井戸水・伏流水の水源別に回答を整理した結果、表流水（渓流水）を水源とする集落では、塩素消毒施設ありは 18 集落（対象集落の 31%）、塩素消毒施設なしは 38 集落（約 66%）となり、半数以上の集落で塩素消毒施設がないことがわかった。地下水・井戸水を水源とする集落では、塩素消毒施設ありは 51 集落（対象集落の約 61%）、塩素消毒施設なしは 29 集落（約 35%）であった。

水質検査項目について複数回答ありで回答を求めた結果、一般細菌・大腸菌とした回答が最も多く 84 件、次いで塩素消毒と濁りとの回答がそれぞれ 50 件、色との回答が 42 件であった。水質検査項目について、表流水（渓流水）・湧水・地下水井戸水・伏流水の水源別に回答を整理した結果、表流水（渓流水）を使用している集落では、検査なし・無回答の回答が多く 41 件となり検査をしていない集落が多いことがわかった。地下水・井戸水を使用している集落では、なんらかの検査を行っているとの回答が多く、中でも一般細菌・大腸菌の回答が最も多く 48 件、検査なし・無回答の回答は 20 件であった。

6.1.2 維持管理の負担感・実作業時間について

水供給施設の管理を組合や役員等で行うことに対する負担感についての回答をとりまとめた結果、とても負担に感じていると少し負担に感じているについては、合わせて 102 集落（総集落の約 42%）の回答があった。また、少しでも負担に感じていると回答した集落に対し、作業負担が重いと感じている作業項目、作業頻度、および作業人数について尋ねたところ、先の設問で少しでも負担を感じていると回答した 102 集落に加え 6 集落からも回答を得られたため計 108 集落の回答を分類し整理した。

そのうち、作業負担が重いと感じている作業項目を重いと感じる順に 3 つまで自由記述で回答を求めた結果、作業負担が重い項目として、取水設備の管理（点検、清掃、増水後の堆積物除去）

と回答した集落が最も多く 42 集落であった。その他には、タンク清掃（配水池等の堆積泥・砂の除去）、ろ過池作業（砂の入れ替え、堆積物の除去）、集金、漏水・管路破損・更新対応、検針、薬液補充（塩素補充）、草刈り、（施設などへの）移動が負担の重い作業としてあげられた。

負担に感じる作業項目ごとに具体的に作業人数と作業時間、作業頻度についての回答があった集落の回答結果より、1 回あたりの作業負担（人数×時間）と 1 年あたりの作業負担（人数×時間）の平均値と中央値を計算した。平均値でみると、例えば、移動の 1 回あたりの作業負担や集金の 1 年あたりの作業負担が大きい、これはデータ件数が少ないうえに極端な回答が含まれていたことの影響である。中央値で解釈する方が妥当であり、1 回あたりの作業負担については、停電・断水・水圧低下対応や作業場所への移動、漏水・管路破損・更新対応、ろ過池清掃やタンク清掃が大きくなっており、1 年あたりの作業負担については、検針やろ過池作業、タンク清掃、取水設備管理などが大きいことがわかった。

また、負担が重いと感じている作業の頻度、負担が重いと感じている作業の作業人数ごとの分類を行った。さらには参考として、作業項目ごとの 1 回あたりの作業人数と作業時間、および、1 年あたりの作業頻度を集計した結果をまとめた。

6.1.3 水供給システムに関する住民の金銭的負担

(1) 水供給システムを敷設する際の財源について
水供給システム敷設当初の財源について尋ねた結果、個人・集落のみで負担と回答した集落が 52 集落（総集落の約 22%）、個人・集落と行政等で負担と回答した集落が 49 集落（約 20%）、個人・集落の負担はないと回答した集落が 55 集落（約 23%）、無回答の集落が 63 集落（約 26%）確認できた。個人・集落の負担があった集落は 101 集落となり全体の約 4 割に及んだ。

(2) 水道料金体系について

水道利用に関する料金体系について尋ねたところ、定額制と回答した集落は無料と回答した集落 40 集落を含め 138 集落（総集落の約 57%）、メーター制を含むと回答した集落は 74 集落（約 31%）、その他と回答した集落は 12 集落（約 5%）、不明・無回答であった集落は 17 集落（約 7%）確認できた。このうち定額制のみを採用している集落について、1 か月分の水道料金を尋ねた結果、1 世帯当たり 500 円以下との回答が最も多く 73 集落（対象集落の約 57%）、500～1000 円以下との回答が 27 集落（約 31%）であった。他方、メーターを活用している集落では 20 円/m³ 以下との回答が 14 集落（メーター制および定額制とメーター制を併用している集落の約 19%）、20～50

円/m³以下との回答が 25 件あり、50 円/m³以下が約 53%を占めた。同規模（現在給水人口 100 人以下）の簡易水道事業の料金体系と比較したところ、飲料水供給施設は安価な料金設定がなされていることがわかった。

(3) 水供給システム敷設当初の財源と水道料金体系の関係

水供給システム敷設当初の財源と水道料金体系の関係について分析を行った。水供給システム敷設当初の財源については、「個人・集落のみで負担」「個人・集落と行政等で負担」「個人・集落の負担なし」の 3 区分、水道料金体系については、「定額制のみと回答」「メーター制を含む」の 2 区分について両者の関係を整理した。

水道料金体系について定額制のみと回答した 138 集落の水供給システム敷設当初の財源について整理した結果、個人・集落のみで負担が 28 集落（対象集落の約 20%）、個人・集落と行政等で負担が 25 集落（約 18%）、個人・集落の負担なしが 36 集落（約 26%）、無回答が 38 集落（約 28%）であった。少しでも個人・集落の負担があった集落は合わせて 53 件（約 38%）確認できた。

水道料金体系についてメーター制を含むと回答した 74 集落の水供給システム敷設当初の財源について整理した結果、個人・集落のみで負担が 15 集落（対象集落の約 20%）、個人・集落と行政等で負担が 21 集落（約 28%）、個人・集落の負担なしが 18 集落（約 24%）、無回答が 12 集落（約 16%）であった。少しでも個人・集落の負担があった集落は合わせて 36 件（約 49%）となり、メーター制を含む集落の約半数が個人・集落負担があることがわかった。

(4) 世帯ごとの水道料金負担の特徴

集落ごとに 1 ヶ月に 20m³ を使用した場合を基準とし水道料金を計算し水源種別に整理した結果、表流水（渓流水）を使用している集落の中央値は 296 円、湧水を使用している集落の中央値は 550 円、地下水・井戸水を使用している集落の中央値は 1271 円、伏流水を使用している集落の中央値は 1000 円であった。総集落のうち水道料金を計算することのできた 198 集落の水道料金の分布をみると、167 円～1819 円の集落が約半数となり、中央値は 905 円、平均値と中央値の差は 512 円であった。

また、水道料金体系別に区分した分布や水道敷設当初財源別に区分し、水源別（表流水（渓流水）・湧水・地下水井戸水・伏流水）に水道料金を計算した分布についても確認を行った。

6.1.4 集落規模別（給水戸数区分別）の維持管理等の実態の分析

(1) 現在給水戸数について

現在給水戸数についての回答結果は、6 戸～10

戸の集落が最も多く 67 集落（総集落の約 28%）、次いで多いのが 11 戸～15 戸の集落 59 集落（約 24%）であった。10 戸以下の集落が 101 集落となり総集落の約 4 割となることがわかった。

給水戸数による違いを分析するため、給水戸数別に集落が 3 分割となるよう分割し（1～8 戸、9～15 戸、16 戸以上）、戸数で分けた結果どのような違いがあるかを調べた。分割した結果、違いの顕著であった項目について報告する。

(2) 現在給水戸数別の塩素消毒施設の有無

塩素消毒施設の有無について整理した結果、塩素消毒施設ありの回答は、16 戸以上の集落が最も多く 43 集落、次いで 9 戸～15 戸の集落が 31 集落、1 戸～8 戸の集落が 23 集落であった。集落が増すごとに塩素消毒施設があると回答した集落が増える結果となった。塩素消毒施設がないと回答した集落について水源別（表流水（渓流水）・湧水・地下水井戸水・伏流水）に集計した結果、表流水（渓流水）を使用している集落は、1 戸～8 戸の集落で 17 集落、9 戸～15 戸の集落で 12 集落、16 戸以上の集落で 9 集落となり、1 戸～8 戸の集落で他の戸数に比べ多いことがわかった。

(3) 現在給水戸数別の水質検査実施状況

水質検査を行っているかどうかの回答を整理した結果、行っているとの回答は、1 戸～8 戸の集落で 18 集落（対象集落の約 32%）、9 戸～15 戸の集落で 35 集落（約 47%）、16 戸以上の集落で 37 集落（約 60%）であった。

水質検査を行っていると回答した集落について水源別（表流水（渓流水）・湧水・地下水井戸水・伏流水）に整理した結果、井戸水・地下水を使用している集落は、1 戸～8 戸の集落で 7 集落、9 戸～15 戸の集落で 17 集落、16 戸以上の集落で 21 集落であった。水質検査を行っていない集落について水源別（表流水（渓流水）・湧水・地下水井戸水・伏流水）に整理した結果、表流水（渓流水）を使用している集落は、1 戸～8 戸の集落で 12 集落、9 戸～15 戸の集落で 14 集落、16 戸以上の集落で 8 集落、湧水を使用している集落は、1 戸～8 戸の集落で 3 集落、9 戸～15 戸の集落で 13 集落、16 戸以上の集落で 6 集落であった。9 戸～15 戸の集落では、他の戸数に比べて湧水を使用している集落が多いことがわかった。

(4) 現在給水戸数別の停断水トラブルの発生と記録状況

過去に起きたトラブルの記録をとっているかを整理した結果、毎回必ずとっている集落とある程度記録をとっている集落を合わせると、1 戸～8 戸の集落で 12 集落（約 16%）、9 戸～15 戸の集落で 33 集落（約 38%）、16 戸以上の集落で 35 集落（対象集落の約 45%）が記録をとっていることがわかった。全く記録をとっていないとの回答は、

1戸～8戸の集落では38集落(約51%)となり他の戸数に比べて多いことがわかった。トラブルの発生頻度を整理した結果、数年に1回との回答では、1戸～8戸の集落で16件、9戸～15戸の集落で32件、16戸以上の集落で43件であった。数年に1回と回答した件数は全体で92件あり、そのうち約半数が16戸以上の集落で起こっていることがわかった。

(5) 現在給水戸数別の維持管理の連携状況

管理を行政や他の集落と連携・協力して行っているかを整理した結果、行っているとの回答では、1戸～8戸の集落で17集落(対象集落の約23%)、9戸～15戸の集落で28集落(約33%)、16戸以上の集落で45集落(約58%)であった。戸数が増すごとに行っていると回答する集落も増えることがわかった。

管理に関する講習会や研修会の実施について整理した結果、全くないとの回答は、1戸～8戸の集落で63集落(対象集落の約85%)、9戸～15戸の集落で65集落(約76%)、16戸以上の集落で49集落(約64%)であった。1戸～8戸の集落では、講習会や研修会がない集落の割合が高いことがわかった。

(6) 現在給水戸数別の管路に関する記録、維持管理マニュアルの有無状況

管路敷設図(配管図)の記録の有無について整理した結果、記録があると回答した集落は、1戸～8戸の集落で20集落、9戸～15戸の集落では31集落、16戸以上の集落では38集落であった。

管路の更新状況の有無について整理した結果、記録がないと回答した集落は、1戸～8戸の集落で51集落、9戸～15戸の集落では48集落、16戸以上の集落では39集落であった。1戸～8戸の集落では、他の戸数に比べて記録がある集落の割合が低いことがわかった。また、維持管理マニュアルの有無について整理した結果、マニュアルがあると回答した集落は、1戸～8戸の集落で6集落、9戸～15戸の集落では23集落、16戸以上の集落では16集落であった。1戸～8戸の集落では、他の戸数に比べてマニュアルがある集落が少ないことがわかった。

(7) 現在給水戸数別の水供給システム敷設財源と水道料金体系

水供給システム敷設当初の財源について、3区分した結果を比較したところ、1戸～8戸の集落では、補助金と回答した集落が多く10集落、行政設置・行政補償と回答した集落は少なく6集落であった。9戸～15戸の集落では、個人負担と回答した集落が他の集落よりも多く23集落であった。

水道料金体系について3区分した結果を比較したところ、1戸～8戸の集落で無料と回答した

集落が24集落、9戸～15戸の集落で12集落、16戸以上の集落で4集落であった。メーター制と回答した集落は、1戸～8戸の集落で7集落、9戸～15戸の集落で15集落、16戸以上の集落で19集落であった。1戸～8戸の集落では他の戸数に比べて無料の集落が多く、メーター製の集落が少ないことがわかった。

(8) 現在給水戸数別・水源種別の水道料金の分布
給水戸数別に区分したうえで、水道料金体系について水源別(表流水(渓流水)・湧水・地下水・井戸水・伏流水)に水道料金を計算し箱ひげ図を作成した。

給水戸数1～8戸の集落の水道料金は、0円～1000円の集落が約半数となり、中央値は250円、平均値と中央値の差は517円であった。表流水(渓流水)を使用している集落の中央値は0円、湧水を使用している集落の中央値は200円、地下水・井戸水を使用している集落の中央値は1000円、伏流水を使用している集落の中央値は380円であった。

給水戸数9戸～15戸の集落の水道料金は、277円～2000円の集落が約半数、中央値は1000円、平均値と中央値の差は831円となり、1戸～8戸の集落の水道料金より高い結果となった。表流水(渓流水)を使用している集落の中央値は900円、湧水を使用している集落の中央値は800円、地下水・井戸水を使用している集落の中央値は1271円、伏流水を使用している集落の中央値は1800円であった。特に、地下水・井戸水を使用している集落については、他の水源と比較して料金のばらつきは小さいものの中央値と平均値の差が大きいためとれた。

給水戸数16戸以上の集落の水道料金は、413円～2000円の集落が約半数、中央値は1000円、平均値と中央値の差は579円となり、1戸～8戸の集落の水道料金より高い結果となった。表流水(渓流水)を使用している集落の中央値は400円、湧水を使用している集落の中央値は667円、地下水・井戸水を使用している集落の中央値は1850円、伏流水を使用している集落は2集落のみの回答であった。地下水・井戸水を使用している集落の中央値は1850円で平均値は2338円となり、他の給水戸数規模の集落と比較して高い結果となった。

6.2 集落外部の団体との連携状況と連携意向に関する質問紙調査

6.2.1 外部団体との連携・協力の状況

平成27年以降に水供給システムの維持管理の作業を外部団体と連携・協力して行ったことがあるか質問したところ、維持管理の作業を連携・協力したことがある集落は23集落(総集落の約21%)、したことがない集落は87集落(約78%)で

あった。連携・協力したことがある 23 集落はどのような経緯で連携・協力することになったのか複数回答ありで質問をした結果、最も回答が多かったのは“自分たちの手ではできない専門性の高い技術の必要性があったため”であった。次いで多く回答があったのは“行政が主体となり声をかけてくれたから”と“水供給システムの老朽化のため”であった。

次に、外部団体と連携・協力して行った維持管理の作業内容について、調査票にて提示した作業内容の中から当てはまるもの全てを回答してもらった結果、23 集落から 89 件の回答があり、作業内容は多岐にわたっていた。最も回答数が多かった作業内容は水質検査の 11 件（総回答数の約 12%）で、次いで多いのが消毒剤の交換・補填の 8 件（約 9%）、機器の修理・部品交換の 7 件（約 8%）であった。

6.2.2 外部団体からの支援の利用意向について

以下の各支援に対して有償、無償の場合、支援を受けるかどうかの意向を調べた。また、無償でも利用しないとした回答の理由についても尋ねた。

- ・支援 A “消毒剤の点検・補充代行支援”
- ・支援 B “ろ過槽の点検・清掃”
- ・支援 C “水源の点検・清掃”
- ・支援 D “維持管理に関する講習会や研修会”
- ・支援 E “管路の漏水点検・診断”
- ・支援 F “断水・水圧低下トラブル対応”
- ・支援 G “応急給水”
- ・支援 H “施設の改修・更新に向けての水道料金コンサルタント”

各支援の利用意向は、対象集落のうち仮に有償での支援がある場合に利用したい意向があったのは、支援 A～支援 H についてそれぞれ、約 34%、37%、33%、32%、36%、38%、24%、9%であり、無償の場合も含めれば（無償の場合を質問していない支援 E を除き）、約 47%、60%、54%、51%、60%、59%、28%であった。八つの架空の支援策のうち、有償の場合には支援 B と支援 E に加え支援 F、無償も含めれば支援 B と支援 F に加え支援 G の利用意向が相対的に高く、ろ過槽の点検・清掃や管路の漏水点検・診断といった平時の対応に加え、断水や水質異常といったトラブル・緊急時の対応に関する支援を求めている集落が多いと言える。断水等の給水停止トラブルを経験してきた集落やろ過槽の点検・清掃に重い負担を感じている集落が多く、小規模な集落ではそれらの対応に苦慮していることが理由と考えられる。

2-3. PSM 分析

A から H の支援に対して“利用すると思う”、“おそらく利用すると思う”と回答した集落に対して“あまりに安すぎて支援内容に不安を感じ始める”、“支援内容に不安はないが安いと感じ始める”、“支援を受ける価値はあるが高いと感じ始める”、“あまりにも高いので支援を受ける価値がないと感じる”という 4 段階の価格を尋ねた。また、価格分析手法として PSM 分析を用いて分析を行った。

分析の結果、支援 A～H の支援策についての受容価格帯と適正価格帯を示した。仮に D～H の支援が年に 1 回の頻度だとすると、設定基準となる価格帯が最も高額であったのは、支援 C 水源の点検・清掃（水源が地下水以外の集落対象）で 22,000 から 28,000（円/1 年・1 集落あたり）、最も低額の価格帯は支援 D 維持管理に関する講習会や研修会の 3,600 から 3,700（円/1 回・1 集落あたり）であった。また、設定基準となる価格帯が最も広いのは支援 H 施設の改修・更新に向けての水道料金コンサルタントであり、他方、支援 G 応急給水は、適正価格帯の上下限となる最適価格と妥協価格がどちらも同じ価格 9,900 円となり、適正価格が 1 点に決まってしまう幅がない結果となった。

6.3 外部組織による支援の可能性

6.3.1 外部組織からの支援や人的支援が求められる事例

E 県 K 町において簡易水道と飲料水供給施設の維持管理について、町職員に対してヒアリングを行った。平成 16 年に 1 町 3 村が合併して構成、現在人口 8000 人余りで高齢化率は 48%、2030 年の人口は 5000 人余りと予測されている。K 町の水源は表流水であり、地下水を利用した事例はない。簡易水道は 15 の事業があり、そのうち 6 事業は直営、9 事業は委託である。飲料水供給施設も町営であり、私営・組合営はない。旧 K 町部分の簡易水道・飲料水供給施設はすべて直営、旧 3 村部分は 2 施設を除き 57 の水道管理組合に管理運営を委託している。直営に関する業務は町職員 2 名で担当しており、簡易水道の水質検査は月に 1～2 回行い、飲料水供給施設は各月で水質検査を行う。また、地元からの相談等の連絡があった場合は、点検等に行く。水量等を監視する遠隔システムの設置にも努めており、15 の施設に採用し設置している。

6.3 外部組織による支援の可能性

6.3.1 外部組織からの支援や人的支援が求められる事例

林業や農業の補助金を活用し、管理組合での運営が費用面で成り立つように整備された施設ではあるが、昭和 40 年～50 年代に整備された施設が多く、ほとんどが緩速ろ過方式である。町は各集落に要望を聞き、取りまとめて緩速濾過の砂などを一括で購入している。この頃に作られた施設は特に老朽化が進んでいるが、更新については、国や県の補助金が得られず、過疎債・企業債に頼らざるを得ないため、町としては更新に注力しているが、年に 2～3 施設しか更新できていない。

国や県の補助金が得られず、過疎債・企業債に頼らざるを得ないため、町としては更新に注力しているが、年に 2～3 施設しか更新できていない。

なお、平成 27 年度以降の更新では膜濾過を導入しており、膜ろ過施設は維持管理が比較的簡単であり、慣れると高齢者でも可能である。

戸数の少ない組合では、修繕費や外部委託費が不足し、住民に水道利用料以外の経済的負担や労務負担が発生している。水道管理組合の構成員の減少や高齢化により、これまでのように構成員で作業を行うことが困難となってきた。比較的新しく施設を更新したところでは、膜ろ過方式や取水スクリーンを採用しており、メンテナンスが楽になっているものの、施設更新がされていないところでは施設のほとんどが緩速ろ過方式であるため、砂のかき取りや洗浄、入れ替え作業などが重労働で大変との声が多い。これ以上、組合で管理を継続するのは、経済面、作業面で困難であるとの相談が徐々に増加しており、高齢者の多い管理組合では継続困難と想定している。そのため、令和 4 年度より、管理委託料等を見直し、修繕費と電気代は町が全額負担している。施設規模に応じた必要な労務費を積算し、管理委託料としている。これにより水道使用料以外の経済的負担をなくし、外部に再委託する経費を確保できる見込みとなっている。しかし、現状では K 町内でこのような作業を請け負う会社は 1 社（従業員 2 名の個人事業主）のみである。他に水道業者や工事組合加盟業者は 6 社あるものの、いずれも小規模で、通常業務で多忙であることから、新たに作業を請け負うのは困難な状況である。再委託に係る経費は確保できると見込まれているが、実際に作業を担う人員の確保が課題であり、人的な支援や外部組織からの支援が必要な状況にあると考えられる。

6.3.2 市町村からの支援について

過年度の一連のアンケート調査の結果、行政を含む外部団体から維持管理作業における支援や連携協力を受けている事例は、こういった集落全体の 20%程度に過ぎず、また、その内容も研修や水質検査といったものであり、取水設備やろ過設備の点検・清掃、あるいは、漏水や断水トラブル発生時などの非常時対応といった集落では負担が重いと考えられている作業についての支援を行政や水道事業体から受けているケースはほとんど見られなかった。集落自らが運営している水道であり、水道法の規制対象外でもあるため、自己責任が原則であるかもしれないが、都市部等における一般の水道利用者が市町村等の水道事業者維持管理等の作業など一切を任せておける状況と比べると、大きな作業負担を抱えている状況である。

一方で、こういった小規模な水道を運営している集落や個別井戸を有している個人等に対して、積極的な支援を行っている地方自治体も存在し

ている。簡易水道事業など一部の公営の水道事業には税金を原資とした一般会計等別会計からの繰入金が入っていることを考慮に入れると、同程度の財政支援・人的支援を行うことが妥当であるといった考え方によると思われる。ここでは、行政からの積極的な支援の事例いくつかについて提示する。

(1) 静岡県 A 市、B 市の事例

A 市では、年に 1 回、水道未普及地域の水道管理者を集めて研修会を実施している。また、水道未普及地域支援事業、あるいは、生活用水応援事業制度等により、施設整備や修繕工事に対して 80%の助成や、水質検査や施設維持管理に対し 50%の助成を行うとともに、小規模水道に特化した簡易ろ過池を考案し紹介することなどを通して管理面・技術面の支援を行っている。加えて、集落の水道が断水した際には要請により給水車によって水道水を宅配するサービスを行っており、水量従量料金＋定額の運搬費にて応急給水を行うといった支援を行っている。

同じ静岡県の B 市では市内に 100 カ所以上の飲料水供給施設が存在していることから、飲料水供給施設等整備事業補助金を設け、3 戸以上または 10 人以上の団体について整備費の 7/10 を補助するといった財政支援を行っている。この補助金制度を利用し、取水口閉塞対策のスクリーンを設置すること等で維持管理負担の軽減に対して大きな効果を上げている。

(2) 鳥取県 C 町の事例

C 町では、町内の複数の公営簡易水道事業の消毒剤の点検・補充を町外の民間業者に委託している。町からの声掛けにより、集落営の飲料水供給施設についても同時に消毒剤の点検・補充ができるよう協力している。

(3) 宮崎県椎葉村の事例

宮崎県椎葉村では、飲料水供給施設管理サービス支援事業を実施している。これは、未普及地域の高齢世帯・障がい者世帯の飲料目的施設が断水したときを対象に、支援対象者からの依頼を受け付けた村が、村に登録された支援隊に支援を依頼するといった仕組みである。依頼を受け付けた日から 3 日以内に支援サービスを開始し飲料水を確保することとしている。支援完了後に支援者は、村からの作業料金（日当や経費）および依頼者の負担金（1000 円/日）を受領するといった有償での支援の仕組みである。

6.3.3 民間企業・民間団体からの支援

アンケート調査において、外部団体と連携協力を行ったことがあると回答した 23 集落のなかには、少数ではあるが民間企業の協力を得て維持管理作業を行ったことがある集落があった。そのほとんどは地元の工務店など水道に関連する技術

をもったところとの協力であり、協力内容は機器の修理や部品交換に関するものであった。他方、ボランティアやNPO 団体からの支援・協力を受けた事例はわずかに3件に過ぎず、農山村地域の農作業を支援している NPO 団体やボランティア団体は多数存在している状況であるが、生活基盤でもある飲料水供給施設の維持に関連する作業には民間支援団体が入り込んでいない状況にあることが想定される。

これは、一般の水道事業は市町村による経営を原則としているため、集落営の小規模水道があることが広く認知されていないことが要因の一つだろうと考えられる。アンケート調査の結果から、集落側には外部から民間団体が支援に入ることに心理的な抵抗感はないと考えられるため、民間団体側の認識や理解が深まりさえすれば、農作業の場合と同様に支援の輪が広がっていくことが期待できる。ここでは、NPO 団体が支援や関わっている事例として、北海道 D 町および大分県の事例をとりまとめる。

(1) 北海道 D 町の事例

北海道の D 町の場合は、水道未普及地域の水道ではなく、簡易水道事業に対する事例で、町内 NPO 団体を活用することで、住民の高齢化により維持管理作業の継続が困難となった水道に対応した。以前は地元集落の住民を臨時雇用し維持管理作業の一部を行っていたが、高齢となり作業の継続が難しくなっていた。地域活性化や地域運営を目指す NPO 団体の地元での設立にあわせて、簡易水道の一部管理を当該 NPO 団体への委託に切り替えることで、地元住民、行政ともに作業負担が軽減される事例となった。NPO にとって委託額は一人分の工賃に足りないが、拘束時間は短く隙間の時間にて対応が可能で、NPO の経営を支える安定的な収入源だとみなしている。また町役場にとっては、高齢者の個人に任せていたときよりも、複数人で対応できる NPO の方が安心感を得られるといったメリットがある。

(2) 大分県の事例

大分市新町にある NPO 法人おおいの水と生活を考える会を対象にヒアリングを行った。NPO 法人「おおいの水と生活を考える会」は、現在までに大分県内で 80 地区以上の活動実績があり、このうち、52 地区は浄水施設の整備、30 地区は水源調査（ボーリングの協力）を行っている。NPO 法人は、小規模集落における生活環境の整備に取り組むため、水源確保施設の整備や維持管理に力を入れている。

H19 (2007) 年から H20 (2008) 年にかけて、大分県で小規模集落対策の調査が行われ、その結果、「水」に関する課題が第 4 位に位置づけられた。その後、小規模集落の生活環境の整備を目的とし

て、「生活用水確保のための代替水源開発や維持管理が容易な施設の整備」に取り組むことが決定された (H24.3 小規模集落対策推進指針)。

また、H21~H22 に大分県 (環境保全課) が「水と生活の調査隊」「水と生活の調査団」を組織し、技術士などの技術者に現地を見てもらい、対策案等についてアドバイスをもらうなどの調査検討を行った。その後、この取り組みに賛同した技術者の有志グループが誕生し、後に NPO 法人「おおいの水と生活を考える会」として設立された。

NPO では、調査、測量、計画、設計を受託する以外に、地元のみで維持管理できるような緩速濾過式の浄水施設や配水施設の開発と設計も実施している。また、年間 3~10 件程度の案件を手掛け、これまでは、入札ではなく随意契約で受けている。非営利団体であり収益をあげることは目的としてはないが、案件が多い時は年間受注総額が 1000 万円を超えることもある。NPO の収入は、設計調査費用のほか、会費 1 人あたり年 5000 円、協賛企業による協賛費などである。

NPO が抱える課題は以下のとおりである。NPO は設計を行なっているが、施工管理には携わっていない。事業主体は市町村であり、施工管理も市町村が担当している。そのため、うまく機能せずに集落から苦情がくるといったこともある。施工並びにメンテナンスも任せてくれた方がうまく進むと考えている。

6.3.4 国による支援制度の活用の可能性

令和 2 年 6 月に施行された「地域人口の急減に対処するための特定地域づくり事業の推進に関する法律」を根拠とし、令和 2 年度より特定地域づくり事業協同組合制度が運用されている。総務省によると、令和 4 年 6 月 1 日の時点で 36 道府県の 126 市町村が制度の活用意向を示し、うち 25 道府県の 55 市町村の組合がすでに認定済みとなっている。

この制度は、過疎地域に限らず人口急減に直面している地域において、複数の中小の事業者が共同して組合を設立し、季節ごとの労働需要等に応じて複数の事業者の事業に従事するワーカー (マルチワーカー) を雇用し派遣する事業 (特定地域づくり事業) を行う場合に対し、財政的、制度的な支援を行うといったものである。

単独の事業者単位でみると年間を通しての仕事が十分になく、一定の給与水準での雇用を確保できないような農山漁村地域において、地域全体の複数の事業者の仕事に従事してもらうことで、一定の給与水準と安定的な雇用を確保でき、地域の活性化や地域社会の持続のための地域づくり人材の確保ができるといったことを主目的としている。つまり、単に人手不足の解消を目的とした人材派遣の制度ではなく、「本制度を活用する

ことで、安定的な雇用環境と一定の給与水準を確保した職場を作り出し、地域内外の若者等を呼び込むことができるようになるとともに、地域事業者の事業の維持・拡大を推進することができる。」ことを目的とした制度であることに注意が必要である。実際この制度を活用した町村では地域外からの若者の移住定住につながっており、令和4年12月時点における総務省の調査（特定地域づくり事業活用意向調査）によると、派遣職員の約7割が地域外からの移住者であり、全体の約6割が20代・30代の職員である。

これまでの調査からは、本制度を活用して集落の水供給システムの維持管理に従事したという事例は把握できていない。また、本制度の事業協同組合として認定されるには、人口急減地域であるかどうかや市町村から補助金などの支援が得られるかなど地方自治体の協力が重要となることから、制度活用のためのハードルは高いものの、前年度までに整理したアンケート調査の結果からは有償であっても外部団体の支援を利用したいという集落が一定数あったことから、こういった制度を活用して水供給システムを維持していく方策を展開していくは可能と考えられる。

6.4 考察

(1) 維持管理および作業負担について

水源については、総集落の約34%が地下水・井戸水を使用しており、そのうち塩素消毒施設を有している集落は6割、何らかの検査を行っている集落は8割を超える一方で、ろ過施設を有している集落は約14%と少ないことが分かった。表流水（渓流水）を使用している集落（総集落の約24%）では、塩素消毒施設を有している集落は3割、何らかの検査を行っている集落は4割であるのに対し、ろ過施設を有している集落は約69%と多く、地下水・井戸水を使用している集落との違いが明らかとなった。

維持管理において負担が重い作業項目については、取水設備の管理、ろ過池作業、タンク清掃、薬液補充、断水時や水圧低下時の対応、管路破損事故の対応、検針、集金、（施設までの）移動があげられた。負担に感じる作業項目ごとに1回あたりの作業負荷と1年あたりの作業負荷について分析した結果、取水設備管理は1回あたりの作業時間は短いものの多くの集落が負担の重い作業として回答し、停電や漏水といったトラブル対応や施設などへの移動に多くの時間がかかっていることが把握できた。また負担の重い作業が、作業頻度としては高くないものの1年に1回あるいは2-3回起り、半数以上のケースで1人以上3人未満という少人数で対応していることもわかった。

また、水供給システムの管理に少しでも負担を

感じている集落は約半数あり、支援団体に協力して欲しい作業として264件の回答を得たが、その中でろ過槽の清掃作業と断水時のトラブル対応を挙げた集落が多かった。外部団体からの連携・支援策に関する調査でも、支援策Bろ過槽の清掃作業とF断水時のトラブル対応の支援策を利用すると回答した集落が各支援策の中で最も多く確認できており、それらを裏付ける結果となった。

水供給システム敷設時の集落住民の金銭的負担については、集落や個人負担と回答した集落が最も多い結果となった。また、水道料金については、2割弱の集落が無料としており、それを含めると約56%の集落が定額制と回答し、そのうち約6割の集落で1世帯当たり500円/月以下の料金であることが確認できた。メーター制を活用している集落では、メーター制および定額制とメーター制を併用している集落の半数以上が50円/m³以下の料金であることもわかった。同規模の簡易水道事業と比較し安価な料金設定・住民負担を実現していることがわかった。

水道料金体系別に水供給システム敷設当初の財源を分析した結果、個人・集落の負担なしと回答した集落が、定額制のみの集落では約26%、メーター制を含むとした集落については約28%確認できた。敷設当初の財源別に水道料金体系を分析した結果、個人・集落のみで負担したと回答した集落では、定額制の集落は約54%、個人・集落と行政等で負担したと回答した集落で約51%、個人・集落の負担なしと回答した集落で約65%確認できた。水供給システム敷設当初の財源と水道料金体系について明らかな相関関係は認められなかった。

現在給水戸数別に集落を3区分し戸数による違いを調べた結果、塩素消毒施設の有無については、戸数が増すごとに塩素消毒施設があると回答した集落が増すことがわかった。塩素消毒施設の有無以外にも、水道が使用できなくなったトラブルの記録の有無・行政や他の集落と連携協力の有無・水質検査の有無・収支の記録の有無・管路敷設図（配管図）の記録の有無についても同様の結果となった。

1戸～8戸の集落は他の戸数に比べて、水道料金が無料と回答した集落が多く、メーター制を使用している集落は少ないことがわかった。また、管路の更新状況の記録・維持管理マニュアルの有無については、記録がないとの回答が他の戸数に比べて多く確認できた。特に、管理に関する講習会や研修会について、約85%の集落が全くないと回答しており高い割合となった。

水源別に1ヵ月の水道料金の分布を整理した結果、表流水（渓流水）を使用している集落では、定額制のみの集落の中央値が167円、メーター制

を含む集落の中央値が 1900 円となり大きな差が生じていた。また、敷設財源が個人集落のみ負担した集落と 1 戸～8 戸の集落の中央値は 0 円となり、メーター制を含む集落の中央値 1900 円が最大となった。湧水を使用している集落では、1 戸～8 戸の集落の中央値 200 円が最小となり、メーター制を含む集落の中央値 1500 円が最大となった。地下水・井戸水を使用している集落では、定額制のみの集落と 1 戸～8 戸の集落の中央値 1000 円が最小となり、メーター制を含む集落の中央値 1950 円が最大となった。1 戸～8 戸の集落の水道料金はどの水源においても低く、メーター制を含む集落の水道料金は高い傾向にあることがわかった。

収支記録については、点検や事故・修繕結果の記録に比べるとより多くの集落で記録を保管しており、比較的長年の収支記録を有していることが確認できている。今後は、これらの収支記録の情報をもとに、同規模の簡易水道事業と比較し安価な料金設定となっている理由や今後の経営の安定性について分析をしていく必要があるものと思われる。

(2) 外部団体との連携、支援策の可能性について

回答のあった約 8 割の集落が、平成 27 年以降に外部団体と連携・協力したことがないと回答し、大半の集落が自分たちで使っている水道は自分たちで管理すべきと考えていることがわかった。各支援策についても、無償であっても支援を利用しないと回答した集落は、自分たちの手で管理できており支援の必要性を感じないからと回答した集落が多かった。一方で、外部団体と連携・協力したことがないとしながらも、連携してみたいと思ったが外部団体の情報を知らなかったり、何らかの理由でできなかったとした回答も確認できた。

また、連携・協力したことがあると回答した集落においては、約 65%の集落が外部団体と平常の時から継続的に連携・協力している作業があると回答しており、非常時においても 2 割を超える集落が外部団体と連携・協力していることが把握できた。

外部団体からの支援の利用可能性については、全ての支援策に対して有償、無償の場合においても支援を利用すると回答した集落があり、外部団体からの支援のニーズがあることが明らかとなった。最も多く利用すると回答があったのは、B ろ過槽の点検・清掃と、F 断水・水圧低下トラブル対応（ともに対象集落の約 60%）であった。有償の場合、集落側の利用する際の支払金額の価格帯は 3,600 円から 28,000 円であり、この価格帯であるならば外部団体からの支援を利用すると考えられる。

以上のように、質問紙調査にて回答を得た集落の約半数は水供給システムの管理作業に負担を感じていること、架空の支援策ではあるが集落側における支援の利用意向は低くないことが確認できている。本年度までの調査により、現状では行政も含め外部の団体から支援や協力を受けている集落や事例は少数ではあるが、外部との協力連携や支援により効果をあげている事例が確認できたことと、さらには人口急減地域の後押しともいえる国による新たな制度ができ、拡まりつつあることなどを考えると、集落の水供給システムを外部団体との協力によって維持管理していくことを実現していくことは実現不可能なものではないと思われる。今後は、支援に関する需給がうまくマッチングするかどうかを把握することが課題だと思われる。これまでの研究で把握してきた集落水道の実態や支援ニーズなどを支援の可能性をもつ団体に対して提示することなどにより支援意向や支援の供給可能性を調査すること、ならびに活用できそうな国や地方自治体の支援制度等を併せて検討していくことなどにより、小規模な水供給施設を外部団体との協力により維持する仕組みの実現可能性を調査検討していく必要があると考えられる。

7. 地域のプレイヤーが自律的に管理する小規模水供給システムのケーススタディおよび実践的取り組みを通じた支援体制の検討

7.1 小規模水供給施設の運営に関与している民間組織等へのヒアリング

市町村の担当者へのヒアリング調査の結果を整理した。

(1) アセットの帰属

B 町、D 町、E 町の一部、F 町、G 市の一部、H 町、I 町、J 町では、地域自律管理型水道のアセットは市町に帰属しており、維持管理を地元の水道利用組合に委託する形式をとっていた。いずれのケースも無償での委託であり、一部のケースでは市町と水道利用組合の間で覚書等を交わして実施していた。施設更新は原則として市町が行うが、修繕費は市町がすべて負担するものもあれば、委託契約等に基づき、一部またはすべてを水道利用組合が負担もしくは自前で修理するものも確認された。

一方、A 市、C 市、E 町の一部、G 市の一部では、アセットも水道利用組合に属しており、修繕、施設更新もすべて水道利用組合によって行われていた。ただし、A 市、C 市、E 町ともに、大規模改修および水質分析に対する助成制度（50～75%補助）を設けていた。

(2) 行政の担当部署と情報収集体制

A 市、B 町、D 町、E 町、I 町、J 町では、水道担当部署が地域自律管理型水道の担当となつて

いたのに対し、F町、G市では営農飲雑用水であるという理由で産業担当部署が地域自律管理型水道の担当となっていた。H町では、住民生活課が担当となっていたが、技術的な支援は水道部署が担っていた。自治体がアセットを所有し、水道利用組合への管理委託の形をとっているA市、C市、E町の一部、G市の一部では、年に1回の報告を水道利用組合に求めており、運営実績や役員の連絡先などの運営情報が蓄積されていた。中でも、B町およびD町では水道利用組合の総会に役場職員が可能な限り参加し、会計情報等を含めた運営状況が記載された総会資料が蓄積されていた。

A市とC市では、アセットはすべて各水道利用組合に帰属するため、地域自律管理型水道の情報を管理する担当部署は存在しないが、両市とも大規模修繕および水質検査の補助金申請窓口は水道担当部署が担っており、インタビューを申し込んだ際も、対応は水道担当者であった。そして、A市では過去に補助金申請を行った水道利用組合の情報を蓄積・整理するとともに、毎年、水道利用組合向けの補助金申請意向に関するアンケート調査を実施し、地域自律管理型水道の基礎情報を常に把握していた。また、A市、B町、F町では、水道利用組合から技術的な相談があった際に、職員が助言をしたり、場合によっては実際の維持管理作業の手伝いを行っていた。

(3) その他

D町では、1つの簡易水道の管理が地域運営NPOに委託されていた。当該簡易水道の地区は、本市街地から約13km（車で15分程度）の場所にあり、役場にとって維持管理の負担は大きい。そのため、以前は当該地区の一般住民を臨時採用職員として雇用し、この簡易水道の管理に当たっていた。この形式は、広い意味でとらえれば地域自律管理型に近いものと言える。ただ、その住民が高齢となり、作業の継続が難しくなったため、ちょうど当該地区において地域維持にかかる「よろず屋」的な活動を行うNPOが設立されたのに合わせて、同NPOへの委託に切り替えられた。

簡易水道管理の委託額は、同NPOにとって1人（にんく、必要人員・作業量）分の収入には届かないが、主な作業内容は毎朝の水質および配水量チェックであり、拘束される時間はかなり短い。もともと地域の細かい仕事を組み合わせて実施している同NPOにとっては、他事業の隙間時間での対応が可能であり、むしろ、細かい事業を集めているために不安定になりがちなNPOの経営を、下支えする安定収入源と見なされていた。

7.2 富良野市における自律型モデルの実践的とりくみ

(1) 活動概要

北海道富良野高校科学部と連携した地域自律管理型水道の支援策として、採水分析、管路地図のGIS化、および報告会を行った。

(2) 富良野高校科学部による水質分析

分析項目については、分析のための資機材および技術と、高校生の興味関心を踏まえ、取り組み当初から試行錯誤してきたが、本研究の実施期間においては、大きく「おいしい水」（全硬度、遊離炭酸、過マンガン酸カリウム消費量、臭気強度、残留塩素、水温）と「水の安全性」（大腸菌/大腸菌群数、pH、鉄、マンガン、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素）の2つの観点から項目を選択し、計測した。分析結果は、報告会において水道利用組合に提供された。また、「水の安全性」に関する項目において懸念が確認された際には、速やかに水道利用組合に連絡を取り、直接の飲用は避け、今後の利用にも注意するよう声掛けを行った。

(3) 富良野高校科学部による管路GIS化

水道利用組合が何らかの図面または地図（手書きの場合も含む）を持っていた場合は、それを提供してもらい、補足の聞き取り調査等も行いながら、科学部の生徒がGISへの入力を行った。図面が無い場合には、水道利用組合関係者に聞き取りを行いながらその場でGISへの入力を行った。作成したGISデータはCD-ROMの形で各水道利用組合に提供した。令和2年度からは、それまでの有償のGISソフトウェアから、フリーソフトであるQ-GISに移行し、汎用性の高いシェープファイルでのデータ作成を行うとともに、閲覧の際に扱いやすいkmz形式（Google earthに対応）に変換したデータも提供する形をとっている。いわゆるGISを利用したことのない水道利用組合関係者でも、Google earthは少なくとも聞いたことはある場合が多いため、GIS活用への心理的ハードルを下げる上でもkmz形式での提供は一定の意義があると考えられる。また、富良野市上下水道課では、このkmzファイルをGoogle上で共有（担当職員限定）することで、職員が富良野市内の地域自律管理型水道の管路情報をスマートフォンで簡単に閲覧できる体制を作り、道路工事の際の埋設物問い合わせへの対応や、地域自律管理型水道のトラブル発生時の支援において活用している。

(4) 報告会

令和元年度以前と同様、令和2～4年度についても、毎年冬季に水道利用組合向けの報告会を実施した。なお、例年報告会を開催していた11月は、一部の農家にとってはまだ繁忙期が続いているため参加が難しいということがわかったため、令和2年度からは1月以降の開催に変更した。また、令和3年度については、後述する高大連携イベント（うち1回は例年の活動報告会を兼ねて実施）

と、国際交流イベント「Sani-Camp」においても、活動成果の報告を行った。

(5) 富良野モデルの他地域への展開可能性検討

平成 29 年度から富良野市において試行錯誤を重ねた上で構築された取り組みを富良野モデルと呼ぶこととする。この富良野モデルの他所での展開を考え、これまでの試行錯誤に要した時間やコストをいったん取り除き、新規で同様の取り組みを始める際に何が必要となるかという視点で、必要機材、コスト、人員について整理した。

1) 水質分析に係る機材

2) アセット情報管理支援 (GIS 化) に係る機材

3) 活動に係るその他のコストおよび人員

(6) 富良野モデルの他地域展開の実践

研究分担者がコンタクトすることができた 1 つの小学校、3 つの高等学校の校長または教頭に対し、聞き取りによるニーズ調査を行った。結果、小学校では第 4 学年社会科の小単元「水はどこから」において、市町村独自教材によって上水道や簡易水道の紹介はされているものの、地域自律管理型水道の情報は無く、それらを含めた出前授業に関して一定のニーズが見込めることがわかった。一方、高校では、令和 4 年度から必修化された「総合的な探求の時間」において、富良野モデル適用の可能性があることが確認された。また、「総合的な探求の時間」では、生徒たちが探究課題を見つけ、自主的に取り組むこととなっているが、実際には、課題の自主的な設定は難しい場合が多いため、あらかじめ生徒たちにいくつか話題を提供し、そこから選んだテーマを掘り下げるといった形がとられていた。よって、「総合的な探求の時間」において生徒たちに話題を提供する場で、富良野モデルの話題を提供することができれば、適用拡大の可能性があることがわかった。

こうしたニーズ調査の結果を受け、実際に富良野モデルに関心を示し、かつ授業の枠を提供いただけただけの 1 つの小学校、2 つの高等学校において、富良野モデルをベースとした地域自律管理型水道の授業を実施した。さらに、このうちの 1 つの高校 (北海道富川高等学校) については、実際に令和 4 年度の「総合的な探求の時間」の授業の 1 つのテーマとして実施することが決まり、富良野市モデルを適用して、日高町役場の協力の下、日高町内 3 カ所の地域自律管理型水道について水質分析と管路地図の GIS 化を実施した。結果は、報告会を通じて日高町役場に提供されるとともに、日高町役場を通じて水道利用組合にも提供された。

7.3 考察

(1) 小規模水供給施設の運営に関与している民間組織等へのヒアリング調査

令和 2~4 年度にわたって行った調査の対象は、

10 市町と数的には限られたものではあったが、それだけでも、市町村と地域自律管理型水道の関係に多様なパターンが存在することが分かった。今回確認できた事例の中には、ほぼ 100% 地域住民らが自力で管理している地域自律管理型水道もあれば、行政がアセットを保有したり、修繕まですべて行政が行うなど行政の関与が濃いものもあった。これは、それぞれの地域の事情や条件に合わせて、行政と住民の間の作業と責任のバランスをとった結果であり、裏を返せば、ほかの市町村にとっては、この中間的な運営体制のバリエーションの中から、自らの市町村や地域の状況に近いものを参考にすることができるということになる。また、それぞれの市町では水道利用組合との覚書や、役割分担の根拠となる条例の整備などが行われていた。状況の似た市町村においてこうしたノウハウが活用できるようにすることが、今後の小規模給水施設の持続性を高める上で重要であるが、一方で、個々の資料は、完全オープン形で提供することが難しいものもある。そのため、現実的には、担当者が自分の市町村に適したノウハウを持つ市町村に、個別にアクセスできるようなネットワークづくりが重要と思われる。

また、B 町で確認された地域運営 NPO への管理委託は、新たな地域インフラ維持のモデルになると考えられる。人口減少の進む地域では、店舗や生活サービス等が単独では成り立たなくなっており、それを補完する「よろず屋」的な事業に取り組む「地域運営組織」が各地ででき始めている。こうした組織は B 町の NPO 同様、地域の極小規模の事業を組み合わせるため、1 人工に満たない仕事も引き受けられる一方で、経営はどうしても不安定になりがちである。そうした中で、水道管理を市町村から受託することは、1 つの安定財源を得られることになる。

(2) 富良野市における自律型モデルの実践的とりくみ

本研究実施期間を含めた 6 年間の取り組みにより、富良野市に 18 ある地域自律管理型水道のうち、16 カ所の管路情報が高校生らの手によって GIS 化された。そしてこれらのデータは、各水道利用組合および富良野市上下水道課に提供された。個々の水道利用組合では、まだ紙の情報 (高校生が作成した管路網図をプリントアウトしたもの) が好まれる傾向はあるものの、それらの情報は実際の管理に役立てられている。さらに、富良野市上下水道課では、Google の共有機能を活用し、これらの GIS データが日常業務に活用される体制が構築された。こうした活用の状況は、富良野モデルにおいて、高校生らが作成した水道に関するデータ (特に管路 GIS データ) は、直接的に地域社会に役立つものとなったことを示して

いる。

また、令和4年度の他地域展開に向けたニーズ調査を通じて、①小学校では第4学年の社会科の単元において地域水道に関する授業のニーズがあること、②高校では生徒が自らテーマを決めて取り組む「総合的な探究の時間」において連携ニーズがあり、③生徒が各自の探究テーマを検討する際の話題提供においてに富良野モデルを紹介することで、それを契機に住民・民間等との連携・協働による体制づくりが促進されることが明らかとなった。また、富川高校における適用実践においては、結果として、富良野高校での実践方法をほぼそのまま適用することができた。今後、状況の異なる別の地域への適用も試みていく必要はあるが、少なくとも富良野モデルは他地域においても適用の可能性があること、さらに、富良野高校では部活動での実施であったが、「総合的な探求の時間」の授業としても適用可能であることが確認された。

一連の活動が高校生に与えたインパクトを定量的に評価することは難しいが、少なくともフィールドでの活動や報告会、高大連携イベントにおいて、高校生らは積極的に参加している様子が確認された。また、各イベント後に、参加した高校生に話を聞いた限りは、「良い機会になった」「またやりたい」などのコメントが寄せられており、高校生たちにとって有意義な経験になったものと考えられる。

E. 結論

水供給維持困難地域を含む小規模水供給システムにおける衛生的な水の供給を目的として、施設・浄水処理等の技術、住民・民間等との連携、行政への支援体制等の検討を実施し、施設・技術（ハード）を維持管理・支援（ソフト）の仕組みで支える水供給システムを強化する維持管理体制強化方策等の統合的方法を提案するため、実験や調査、検討を行い、以下のことをとりまとめた。

1. 小規模水供給システムの実態把握を行ったところ、維持管理の手間や財政的にも困難な状態の箇所が多くあった。複数の簡易水道が点在する地域で、処理施設、管路更新等を行う際の条件についてシミュレーションを行ったところ、給水人口当たりの総配管延長（単位配管延長）が大きく給水原価に影響し、ブロック内の簡易水道の経営状況には建設にかかる資本単価の影響が大きいことが分かった。通常の給水を行う場合は、見直しにおける管路延長減の効果が大きく、運搬給水を行う場合では使用水量減の効果が大きいこと、給水人口の抑制策も一定の効果を有することが明らかとなった。水質検査費用の影響が大きい場合があることも分かった。

小規模水供給システム等の衛生確保対策を行う全国の地方自治体（都道府県、市、特別区）を対象として実施したアンケート調査結果から、小規模水供給システムに係る集約的な相談体制や厚生労働省や地方自治体、研究機関との間で共通する情報の共有化や情報提供体制の確立が重要であると考えられた。

2. 小規模水供給システムに適した小型浄水処理について、濁度除去に関する実験及び実地に設置した試行を実施したところ、実験室内のプラントにおいて比較的安定した除去率が得られたが、実地の実証実験では原水濁度の上昇により、処理水の濁度上昇が確認された。紫外線照射によりろ過水の大腸菌を不活化できていることが確認された。静岡市等では関係者らの尽力により、水源取水装置、処理装置の改善が行われ、濁度が低く、安全性が高い水が安定的に供給されるようになった。研究が生かされ、UV-LED装置が実際に導入された事例などで維持管理体制の検討を行うことができた。

3. 地元管理されている施設の場合、塩素貯留槽への塩素の継ぎ足し作業が広く行われていることから、水質検査は、基本項目に加えて塩素酸を検査項目に加えることが望ましい。原水の種類、浄水処理の有無、消毒の有無によって分類したうえで、現実的な水質検査のあり方を考えるための枠組みを示した。高知県が推進した「高知県版生活用水モデル開発事業」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た。特に、2槽式緩速ろ過装置は、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に対応できる新技術であることから、国内で広く普及していくのが望ましいと指摘した。高額な水質検査費用の削減を主たる理由として、民営の簡易水道を飲料水供給施設に格下げした事例も存在する。水質検査とはいうまでもなく飲用水としての安全保証が目的であることから、公的補助のしくみを検討する必要がある。

4. 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に関する検討で、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。また、限定的な情報の下で、微生物的な安全性を確保するためのアプローチ方法を提示した。幾つかの小規模水供給施設の原水を対象に、種レベルまでの分類解像度を持たせた細菌の一斉検出を行った。その結果、対象地域では土壌・水環境中の常在菌が主な病原細菌であることを示した。検出された全ての病原種を対象としたリスク評価を行い、浄水処理に要求される除去・不活化能を示した。

5. 小規模水供給システム向け取水施設および給配水管路の維持管理手法の検討において、マンガ

ンが蓄積物の重要な構成成分として挙げられた。さらに、蓄積物制御のための3つの方策（浄水処理によるMnの形態・濃度の制御、縮径による管内水理条件の制御、洗管）による制御性をシナリオ分析によって推定し、通常は実施不可能な洗管と同等の効果を浄水処理の改善によって見込まれることなどを示した。地域特有の管路維持管理作業が配水管内環境の制御に寄与できる。それぞれの配水管網の特徴や課題を踏まえつつ複数のシナリオを設定することによって、小規模水道における配水管内環境を制御する手法とその効果を提示した。

6. 小型紫外線消毒装置の基礎的知見の収集と適用のため、山間の集落規模の飲料水供給施設を対象に実証試験を実施し、2年にわたる採水・分析を実施した。原水では、散発的ながら大腸菌陽性の場合や従属栄養細菌が水道水質管理目標値を超過した。処理流量30L/minのUV-LED装置による処理水では、調査したすべての微生物項目（大腸菌、一般細菌、従属栄養細菌）で濃度が低下し、水道水質基準の定める大腸菌数、一般細菌数および水質管理目標として示された従属栄養細菌数の暫定目標値の全てを、2年間の試験期間を通じてほぼ継続的に満たした。当該UV-LED装置による微生物の対数不活化率は、最大値として大腸菌は2.41log以上、一般細菌は最大値2.81log（中央値1.51log）、従属栄養細菌は最大値2.21log（中央値1.11log）であった。本研究により、小規模施設で利用可能な消毒技術としてUV-LED装置の有効性と長期的な安定性が示された。

7. 西日本の12府県において、小規模集落が管理する水供給システムの維持管理について集落外の団体との維持管理作業における連携・協力状況、および、集落役員が点検や清掃などの管理作業に感じている負担感や作業負担の重い項目、外部団体からの支援についての集落側の意向、支援を利用する場合の価格帯について整理した。飲料水供給施設等の小規模水供給システムを管理し使用している集落を対象に行った質問紙調査の結果から、集落にとって負担が重いと感じられている維持管理作業は設備の点検・清掃、薬液補充、検針・集金などの作業であることが確認できた。また、頻度は多くないものの停電や漏水といったトラブル対応に多くの時間がかかっていることが明らかとなった。また、外部団体との連携状況については、連携協力していない集落が約8割となったが、連携してみたいと思ったが情報を知らず行動できなかったあるいは会計に余裕がないからと回答した集落を確認できた。また、すでに連携協力している集落の約6割が平常の時から継続的に、行政や民間団体・NPO法人と連携協力しており作業内容は多岐にわたっていることが把

握できた。さらには本調査により、水供給システム敷設時の集落住民の金銭的負担については、集落や個人負担と回答した集落が最も多かった。また、水道料金については、半数を超える集落が定額制と回答し、そのうちの約7割の集落が無料を含め1世帯当たり月1000円以下の料金であった。一方、メーター制を含む集落の1世帯当たり一か月の水道料金中央値は1800円であり、定額制より高い料金負担であった。少数ではあるが地方自治体の中には積極的な支援を行っているケースやNPO団体を活用しているケースがあることがわかった。国が最近創設した特定地域づくり事業協同組合制度は、人口急減地域の小規模水道の維持管理作業を支援する枠組みとなる可能性がある。

8. 地域のプレイヤーが自律的に管理する小規模水供給システムのケーススタディおよび実践的取り組みを通じた支援体制の検討を行った。地域自律管理型水道が多く確認されている10市町を対象にケーススタディとして調査を行い、多様な運営形態、行政との役割分担の仕方を整理した。市町村経営との中間的な地域自律管理の形や、NPOへの委託を含めた多様な「地域自律管理型モデル」が存在することがわかった。今回確認された「中間的」な地域自律管理型を含む広義の地域自律管理型モデルは、今後水道運営の再編が必要となる地域に対し、それぞれの状況に合わせた多様な選択肢を提供することにつながると考えられる。「自律的な水供給システム」のモデルについては、北海道富良野市をフィールドとした6年間の試行錯誤の結果、水道利用組合等による地域自律管理を前提とした、地元高校生による運営支援体制として「富良野モデル」を構築し、必要なコスト、人工（必要人員・作業量）、普及の方策について整理することができた。さらに、令和4年度には、実際に北海道日高町にある富川高校の「総合的な探求の時間」の授業として富良野モデルを適用し、富良野市同様の成果を地域に提供できることを確認した。

これらの知見から、小規模水供給の地域では、地域の状況に合わせ、広域化、施設統合、維持管理の容易な装置の導入、分散型装置設置、運搬給水等を検討するとともに、住民や各種団体等と連携した維持管理、貸借や維持管理と組み合わせた民間との協力等を検討し、取り組むことが必要と考えられた。県や近隣の自治体等との情報共有、連携の必要性も多く指摘されており、今後とも多様な事例の共有、連携が重要と考えられた。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表
別添4の通り

H. 知的財産権の出願・登録状況
(予定も含む。)

1. 特許取得
なし

2. 実用新案登録
なし

3. その他
なし