

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
令和元年度研究開発実施報告書

SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム
シナリオ創出フェーズ

「誰一人として水に困らない社会へ：小規模分散型の水
供給・処理サービスの開発・可能性検証」

研究代表者 西田 継
(山梨大学大学院総合研究部附属国際流域環境
研究センター、センター長)

協働実施者 風間 ふたば
(山梨大学大学院総合研究部附属国際流域環境
研究センター、教授)

目次

1. 研究開発プロジェクト名	2
2. 研究開発実施の具体的内容	2
2 - 1. 目標.....	2
2 - 2. 実施内容・結果.....	3
2 - 3. 会議等の活動.....	23
3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況.....	24
4. 研究開発実施体制	24
5. 研究開発実施者	25
6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など	27
6 - 1. シンポジウム等.....	27
6 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など.....	27
6 - 3. 論文発表.....	27
6 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）.....	27
6 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等.....	28
6 - 6. 知財出願.....	28

1. 研究開発プロジェクト名

誰一人として水に困らない社会へ：小規模分散型の水供給・処理サービスの開発・可能性検証

2. 研究開発実施の具体的内容

2 - 1. 目標

(1) 目指すべき姿

「少子高齢化」の社会においては、過疎地域のインフラ維持（全国の簡易水道事業は6000件弱、厚生労働省2017）ばかりでなく、都市部の老朽インフラの改修費用の確保も一層困難となる。一方で、農山漁村への「移住」願望が増えており（山梨県の移住希望者は毎年3000人規模）、観光客数が年々増加している地方も多い。政府も大都市集中を低減する社会の構築を推進（内閣府2019）しており、交通や住居の見直しが始まっているが、生命活動の基本である水の確保とその処理については検討が遅れている。さらに、増え続ける「自然災害」に対しては、応急処置的な給水活動だけでなく、復旧期間に利用できる簡易で移設可能な水インフラ技術が求められる。このような社会状況の変化に対応するためには、従来の法規制や概念にとらわれない発想が必要である（厚生労働省2013）。

日本の地方と都市、および災害時には、共通して「移住・分散型」の暮らしに対応した水の供給・処理の体制が求められる。地方や人口減少地域の住民、多地域居住者、観光客、長期避難生活者に対して、産学官の連携を組織し、現在の日本で一般的な集中型の水インフラの配置に代わる、新たな分散型の総合水サービスを提供する。これにより、誰一人として水に困らない社会の構築を目指す。

本プロジェクトで提案するビジョンの実現において優先して活用するゴールは、目標6「水と衛生へのアクセスと持続可能な管理」、目標11「都市と人間の居住地」、および、目標13「気候変動とその影響」である。本プロジェクトで提案するビジョンに相反する可能性のあるゴールは無い。過疎地居住や観光など物理的に自然環境に近い土地での人間活動の維持・拡大にも繋がる提案であるが、これらの活動と目標15「生態系の保護」の両立を実現するための技術開発としても位置付けられる。また、目標9「インフラと技術革新への投資」で例示されている情報インフラの整備とは異なる方向性・アプローチであるが、本提案は水サービスに関する「レジリエントなインフラ整備」にも貢献し得るものである。

(2) 研究開発プロジェクト全体の目標

本研究開発プロジェクトでは、移住・分散型社会やレジリエンスの向上に対応するため、従来の集中型の水インフラの不足を補う小規模で分散型の水サービスを提供する技術

とビジネスモデルを総合的に開発する。地域の需要に合わせて資源量や水質をきめ細かく可視化し、小型自立式水処理の性能と社会コストを評価しながら、新たな水管理に向けて住民と産学官が協働する枠組みを提案する。シナリオ創出フェーズにおいては、前述の取り組みを行いつつソリューション創出フェーズに向け、システム導入シナリオの作成等を実施していく。

本提案の小規模分散水サービスは、郊外や中山間地の低密度の定住人口、あるいは多地域居住や観光を目的とした非定住の人口を対象として、産学官連携により提供される簡易かつ低コストな水供給・処理・管理を行うシステムである。可能性試験の予定地は山梨県内の中山間地であり、研究期間中に達成する目標は、以下の3つである。

- 1) 水素を利用した水処理システム、人工湿地を活用して農作物生産を両立させた下排水処理の導入による、生活用廃水の処理性能向上と小型かつ自立的な水処理の選択肢の拡大
- 2) 持続的な利水に向けたオンデマンド水資源診断（リモセン・同位体・遺伝子を融合させた情報集約技術）の設計
- 3) 総合水サービスを構築するための行政・民間・住民の連携体制づくりと新たな水サービスの社会コスト評価およびサービスモデルの提案

2 - 2. 実施内容・結果

(1) スケジュール

研究開発期間中（24ヶ月）のスケジュール
次ページの通り。

大項目	中項目	2019年度	2020年度		2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	終了後	
		2020.3	2020.9	2021.3	2021.10			2024.9		
A 水処理 パッケージ	1.水素利用水処理	試作機作成・設置 ラボスケール 試作機作成	運転・性能評価 ベンチスケール 試作機作成	学会 性能評価	学会 コスト計算	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> ・水処理技術の 評価 ・課題抽出 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> ソリューション創出フェーズ 2022年 シナリオ検証（山梨県1市） 2023-2024年 適用条件等の検証（山梨県3市）、 全国展開とビジネス化の検討 終了後 企業・行政による普及活動、システム維持 </div>			
	2.人工湿地	ラボスケール 試作機作成	ベンチスケール 試作機実験	学会	性能評価・コスト 計算					
B オンデマンド 水資源 診断	1.小規模水源探索 (1)高解像度情報処理 (2)水源探索・情報提供	データ収集・整備	データ抽出・表示	学会 技術	学会	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> ・診断技術の 評価 ・課題抽出 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> 2030年 誰一人として、水 に困らない社会の実現 </div>			
	2.水質特性の把握 (1)マルチアイトープ解析 (2)微生物遺伝子解析	調査	情報統合・提供技術	学会 水源・汚染源解析	学会					
C 連携体制	1.連携会議	会議設置	専門家 招聘	専門家 招聘	情報・意見交換	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> ・実装の準備 ・課題抽出 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> 2030年 誰一人として、水 に困らない社会の実現 </div>			
	2.社会コスト評価	データ収集	学会	学会	学会					
	3.事業計画	基本計画の作成	専門委員会の設置	実施計画の検討	サービスモデル の提案					
マイルストーン/KPI (期末)		A.現場の水質の状況に応じた試作装置の完成	A.連続運転の継続による処理性能、なら	A.改良版の製作と運転による処理性能とコストの	A.現地に適した水処理シ					

社会技術研究開発
SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム シナリオ創出フェーズ
令和元年度 「誰一人として水に困らない社会へ：小規模分散型の水供給・処理サービスの開発・可能性検証」
研究開発プロジェクト年次報告書

	<p style="color: red;">と運転開始</p> <p>B.試験地の高解像度水文地理情報の収集・整備</p> <p>C.連絡会議の設置、関連データの収集、基本計画作成</p>	<p>びにコストの計算</p> <p>B.整備したデータの高速抽出・可視化技術の確立</p> <p>C.関連データリストの作成、委員会設置</p>	<p>計算【可能性試験】</p> <p>B.同位体・微生物マーカーによる水源・汚染源推定法の開発</p> <p>【可能性試験】</p> <p>C.社会コストの比較</p> <p>【可能性試験】</p>	<p>B.オンデマンド水診断システム(プロトタイプ)完成</p> <p>C.サービスモデルの提案、実施計画の作成</p>					
サイトビジット	2019.12後半	2020.5後半	2020.09後半	2021.05後半		2022.08	2023.08	2024.03	
		↑ 年次報告 (次年度計画)	↑ 中間評価	↑ 年次報告 (次年度計画)	↑ 終了報告書 (シナリオ)				↑ 終了報告書 (ソリューション)

(2) 各実施内容

今年度の到達点A： 現場の水質の状況に応じた処理装置の試作と運転を実施する。

実施項目A-1：水素利用上下水処理装置の試作・試運転の実施

実施内容：下水については、空気と水素ガスを交互に供給し、有機物分解とアンモニア酸化（好気条件）および硝酸除去・脱窒（嫌気条件）を達成する革新的な一槽式下水処理を開発することを最終目標とするが、R1年度はラボスケール試作機での検討を開始する（図-1）。また、上水処理については、水素供給プロセスを加えることによって、これまで難しかった窒素除去を備えた新しい高度上水処理システム開発を最終目標とするが、R1年度はラボスケール試作機を用いて処理性能を検証する（図-2）。



図-1 空気と窒素ガスを交互供給する下水処理リアクターのラボスケール試作機

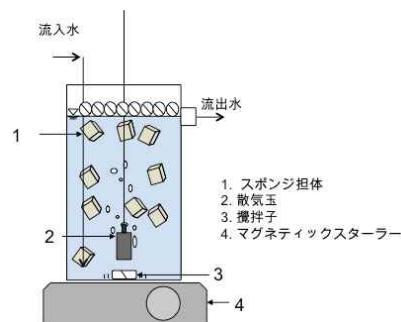


図-2 水素利用上水処理リアクターのラボスケール試作機の模式図

実施体制：風間・亀井（山梨大学）

実施項目A-2：人工湿地の試作

実施内容：下水処理能力の高いろ材と浄化植物を組み合わせた下水処理槽と、処理水中の栄養塩を利用して野菜などを栽培する農作物生産槽から構成される人工湿地によって、下水処理と農業生産の両立を目指す。R1年度は、下水処理に最適なる材と浄化植物（ヨシ）を用いて試作機を作成し、その処理性能を検証する（図-3）。

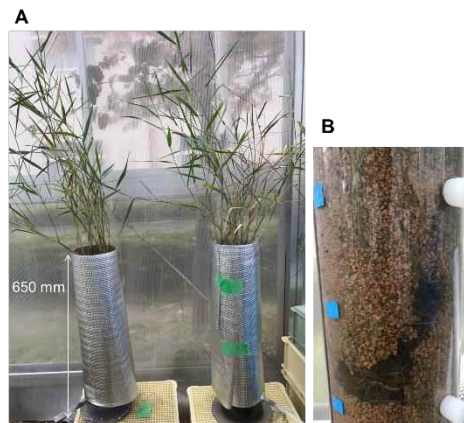


図-3 ヨシを植栽した人工湿地のラボスケール試作機（A）とその内部（B）

実施体制：遠山・森（山梨大学）

今年度の到達点B：試験地の高解像度水文地理情報の収集・整備を実施する。

実施項目B-1: 超高解像度水文地理情報の収集・整備

実施内容：人工衛星・航空機搭載型センサーに取得される高解像度の地形・地被情報を活用して、地域の水資源診断の基盤データを整備する。

実施体制：馬籠・相馬・石平（山梨大学）

実施項目B-2：マルチアイソトープ・微生物遺伝子診断に基づく水質特性の把握

実施内容：複数の同位体と微生物遺伝子マーカーを用いて、地域の河川水や地下水の水質の評価や起源の解析を行い、適切な水源を決定するために必要となる原水の質的情報を提供することを最終目標としているが、本年度は対象地域周辺で採取した表流水を用いて分析方法の検討を開始する。

実施体制：中村・西田・原本・田中(山梨大学)

実施項目B-3：利用可能水量の推定・提示

実施内容：小規模水源候補地を対象として、より詳細な水文解析を行うことで、水量の季節・年々変動の影響も加味した水源の安定性や、取水が周辺地域・下流に及ぼす影響についても評価することを最終目的とするが、本年度は水文解析の方法に関する検討を開始する。

実施体制：馬籠・相馬・石平・西田（山梨大学）

今年度の到達点C：連携体制構築に向けた会議の設置と情報収集を実施する。

実施項目C-1：産学官連携会議の運営

実施内容：山梨大学を仲介とした、行政・民間・住民の連絡会議を設置し、半年に1回の頻度で情報・意見交換会を開催する。これを通して、Aで設置した水処理システム、およびBで試作した水資源診断システムの使い勝手等について、ステークホルダーの意見・感想を抽出する。以上の結果をA・Bの研究開発チームにフィードバックし、試作機の改良につなげる。

実施体制：風間・武藤・西田・鈴木・伊藤（山梨大学）、山梨県上下水道関係事業者、石倉・森川・三迫・富永・村田（日水コン）

実施項目C-2：社会コスト評価

実施内容：既存の簡易水道や小規模水道等の対象人口、施設、設置・維持管理費用、関係事業者等に関するデータを収集を開始する。

実施体制：武藤・西田・伊藤（山梨大学）

実施項目C-3：事業計画の作成

実施内容：ソリューションフェーズに向け、新しい水サービスが移住・分散型社会で運用される将来を想定した事業基本計画（マスタープラン）を上下水道関係事業者（甲州市水道審議会など）により作成する。

実施体制：山梨県内の上下水道関係事業者

（3）成果

今年度の到達点A：現場の水質の状況に応じた処理装置の試作と運転を実施する。

実施項目A-1：水素利用上下水処理装置の試作・試運転の実施

【下水処理】 スポンジ担体と活性汚泥を入れたリアクターを試作し、そのリアクターへの水素ガスと空気の供給方法を①連続水素供給（40 mL/min）、②連続空気供給（300 mL/min）と③水素と空気の繰り返し間欠供給（水素ガス 40 mL/min, 20 min; 空気 300 mL/min, 30min）の3種類設定した。全てのリアクターに模擬下水を2L入れ、HRTが24時間となるようにフィードバッチ運転を繰り返した。実証試験期間中に流入下水と処理水の水質を分析し、窒素除去に関する性能を評価した。

A-1-1) 窒素除去

連続空気供給リアクターでは下水中の窒素が硝化され硝酸態窒素（NO₃-N）が高濃度で蓄積し、全窒素除去率は低くなった（図-4）。連続水素供給リアクターでは処理水にNO₃-Nが蓄積することなく全窒素が除去された。また、水素と空気の繰り返し間欠供給リアクターにおいても処理水にNO₃-Nが蓄積することなく全窒素が効率的に除去された。このリアクターでは、酸素供給時に硝化反応によってアンモニア態窒素（NH₄-N）がNO₃-Nに変換し、水素ガス供給時に水素を電子供与体とした水素酸化脱窒反応によってNO₃-Nが脱窒されたものと考えられた。下水から窒素を除去するための従来の高度処理では硝化槽と脱窒槽の二

槽が必要であったが、水素と空気の繰り返し間欠供給により一槽での窒素除去が可能であることが示された。

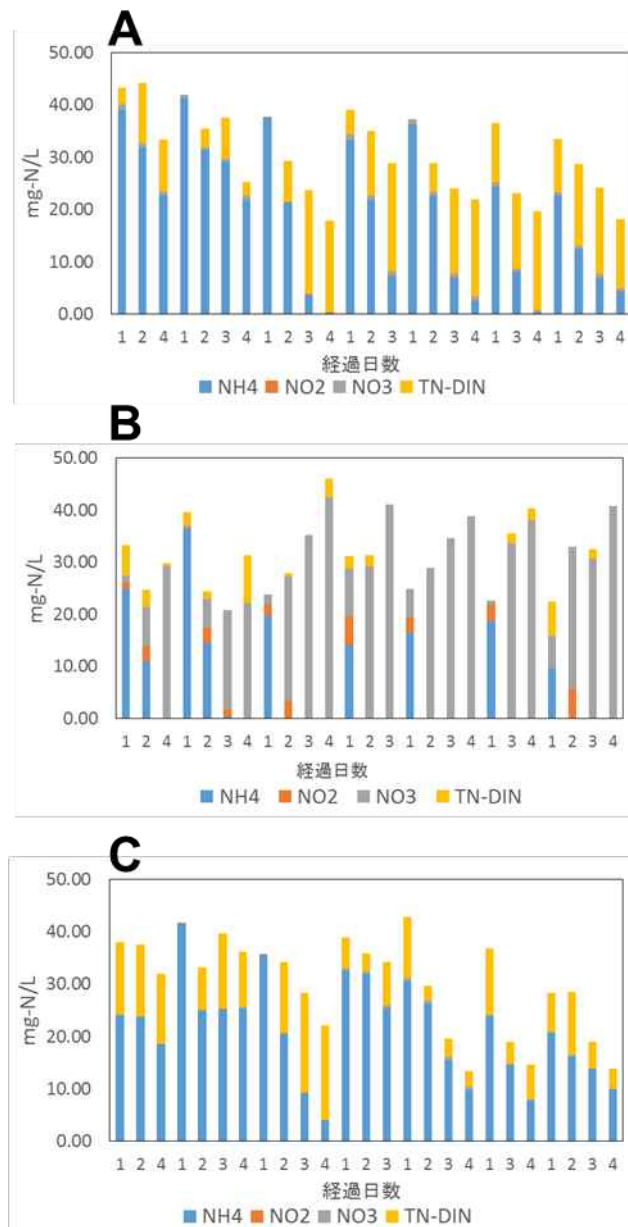
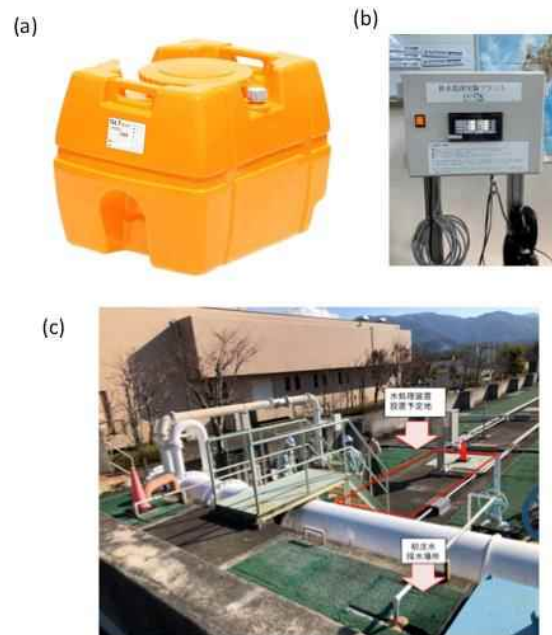


図-4 実証試験期間中の水素連続供給リアクター (A)、空気連続供給リアクター (B) と水素と空気の繰り返し間欠供給リアクター (C) の処理水の窒素濃度

A-1-2) ベンチスケールリアクターの設計

以上の結果を基にして、スールアップしたベンチスケール試作機 (200L程度) を設計・作成した (図-5)。反応槽は既製品を流用したが、装置の制御機構は自作した。令和2年度において下水処理場に設置し、実下水の処理能力について実証実験を行う予定である。



図－5 ベンチスケールリアクターの反応槽(a)、リアクター制御装置(b)、およびベンチスケール装置の設置予定地(c)

【上水処理】スポンジ担体と、実験室で馴養した微生物源をリアクターに投入し模擬飲料水源の処理実験を行った。高負荷条件での性能評価を行うこととし、模擬飲料水源の硝酸濃度は40 mg-N/Lに設定した。通気する水素供給量を10, 15, 20, 30, 35, 40 mL/minと段階的に変更し、窒素除去率と毒性の高い亜硝酸蓄積量の変化を評価した。リアクターは容積2LでHRTを7時間に設定し、また微生物活性を高めるため35°Cに加温しながら連続処理実験を行った。

A-1-3) 窒素除去

硝酸除去率は水素供給量を増加させることで上昇し、20 mL/min以上で除去率85%以上に達し、処理水中の硝酸濃度は基準値(10 mg/L)と同等か、下回った(図-6)。一方で、水素供給量30 mL/min以下では、脱窒反応の中間生成物である亜硝酸が高濃度に残留しており、電子供与体供給が不十分なため処理不良が発生していると考えられた。これらの結果から従来の上水処理で対応が困難であった硝酸汚染飲料水源も、所定量以上の水素供給を行うことで浄化が可能であることが明らかとなった。上記結果をもとに、令和2年度ではベンチスケールリアクターの設計と、実際の利用を想定した実証実験を行う予定である。

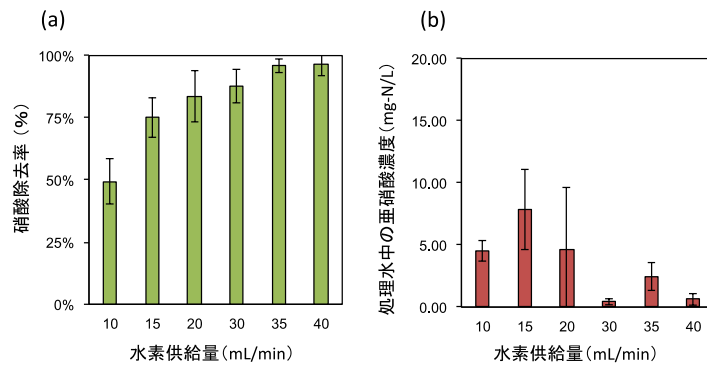


図-6 各水素供給量における硝酸除去率 (a) および処理水中に残留する亜硝酸濃度 (b) の変化

実施項目A-2：人工湿地の試作

ろ材として軽石を用いてヨシを植栽した人工湿地（軽石人工湿地）とろ材としてゼオライトを用いてヨシを植栽した人工湿地（ゼオライト人工湿地）のラボスケール試作機を作成して屋外に設置し、秋季から冬季にかけて4か月間の下水処理実証試験を実施した。実証試験では甲府市浄化センターの最初沈殿池の越流水を下水として利用し、4 Lの下水を各人工湿地に流入し滞留時間を24時間として処理した。実証試験期間中に流入下水と処理水の水質を分析し、有機物（TOC）除去、窒素除去と健康関連微生物（一般細菌、大腸菌群、大腸菌）除去を指標として人工湿地の処理性能を評価した。

A-2-1) 有機物除去

実証試験期間中の流入下水のTOC平均濃度は33.7 mg/Lであった（図-7）。軽石人工湿地の処理水のTOC平均濃度は11.1 mg/L、除去率は67%、一方、ゼオライト人工湿地の処理水のTOC平均濃度は12.2 mg/L、除去率は64%であった。その除去率は甲府市浄化センターの標準活性汚泥法と同程度であったことから、人工湿地は下水からの有機物除去として有用であることが示唆された。

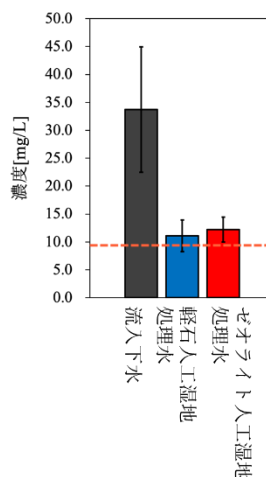


図-7 実証試験期間中の流入下水と人工湿地処理水の有機物（TOC）濃度
数値は、平均値±標準変化
点線は甲府市城下センターの標準活性汚泥法による処理水の値

A-2-2) 窒素除去

実証試験期間中の流入下水中の全窒素平均濃度は27.6 mg/Lであった（図-8）。軽石人工湿地の処理水の全窒素平均値は11.3 mg/L、平均除去率は59%、一方、ゼオライト人工湿地の処理水の全窒素平均値は3.7 mg/L、除去率は87%であった。軽石人工湿地による窒素除去率は甲府市浄化センターの標準活性汚泥法と同程度、ゼオライト人工湿地の窒素除去率は標準活性汚泥法以上であった。この結果から、人工湿地、特にゼオライト人工湿地は下水からの窒素除去として有用であることが示唆された。

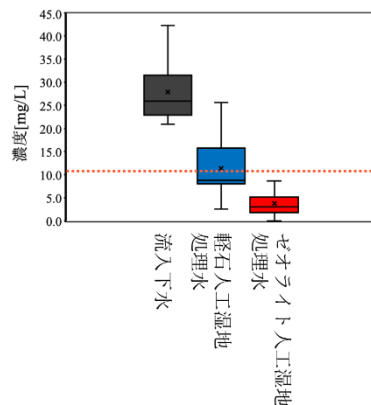


図-8 実証試験期間中の流入下水と人工湿地処理水の全窒素濃度
数値は、平均値±標準変化
点線は甲府市城下センターの標準活性汚泥法による処理水の値

A-2-3) 健康関連微生物除去

実証試験期間中の流入下水中の一般細菌数、大腸菌群数及び大腸菌数の平均は8.6、7.5、6.8 log-CFU/100mlであった（図-9）。軽石人工湿地の処理水中の一般細菌数、大腸菌群数及び大腸菌数の平均は6.9、6.0、5.3 log-CFU/100mlであり、それぞれの除去は1.7、1.5、1.5 log-除去であった。一方、ゼオライト人工湿地の処理水中の一般細菌数、大腸菌群数および大腸菌数の平均は7.3、6.4、5.6 log-CFU/100mlであり、それぞれの除去は1.3、1.1、1.2 log-除去であった。標準活性汚泥法に比べると低いものの、人工湿地により下水から健康関連微生物をある程度除去できることが確認された。

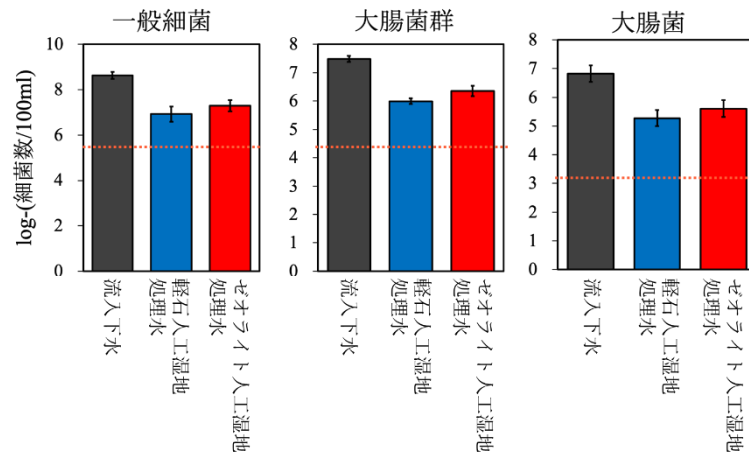


図-9 実証試験期間中の流入下水と人工湿地処理水の微生物数
数値は、平均値±標準変化
点線は甲府市城下センターの標準活性汚泥法による処理水の値

項目Aのまとめ

以上の結果を第54回日本水環境学会年会（2020年3月16日、岩手大学・盛岡市）において発表した（講演集、p647）。また、以上の結果を基にして、スールアップしたベンチスケール試作機（100L程度）を設計し、令和2年度において実証試験を行う予定である。

今年度の到達点B：試験地の高解像度水文地理情報の収集・整備を実施する。

実施項目B-1：超高解像度水文地理情報の収集・整備

人工衛星・航空機搭載型センサーに取得される高解像度の地形・地被情報を活用し、地域の水資源診断の基盤データを整備した。主な収集データは以下の通りである。

B-1-1) 地形・地質情報

日本域表面流向マップ(山崎ほか, 2018)から空間解像度30mの水文地形データを取得し、対象地域周辺の標高、グリッド型擬河道網・集水面積情報を整備した。また、土地分類基本調査の表層地質データからCosby *et al.* (1984)の手法により、表層土壌の飽和透水係数の分布情報を整備した(図-10)。これらの情報は、小規模水源の探索において、地形的な集水特性や土壌保水性・透水性を把握するために用いられる。

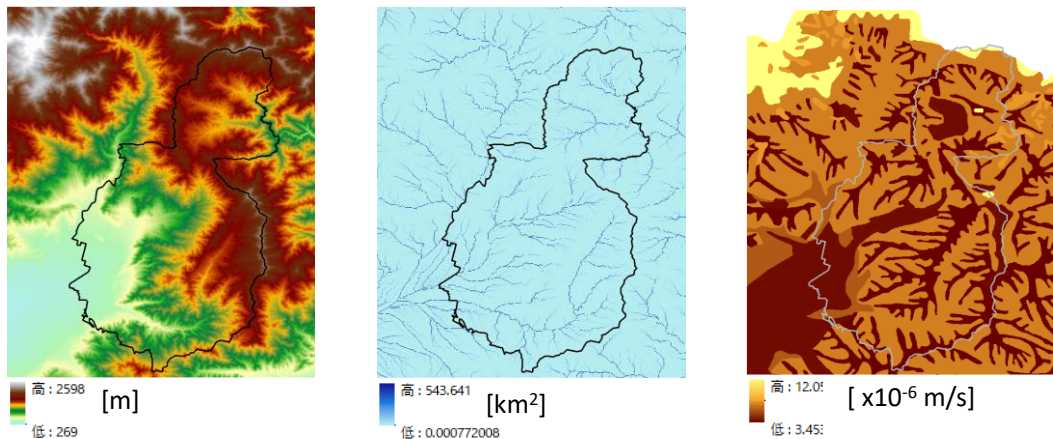


図-10 対象地域周辺の地形・地理情報
左から標高、集水面積、表層土壌の飽和透水係数

B-1-2) 気象・水文情報

気象庁レーダーアメダス解析雨量(空間解像度約1km)及び陸面過程モデルによる蒸発散量推定値(JAXA・東京大学生産技術研究所が提供するToday's Earthより、空間解像度約2km)を取得し、月別水収支を把握するための降水量、蒸発散量データを整備した(図-11)。

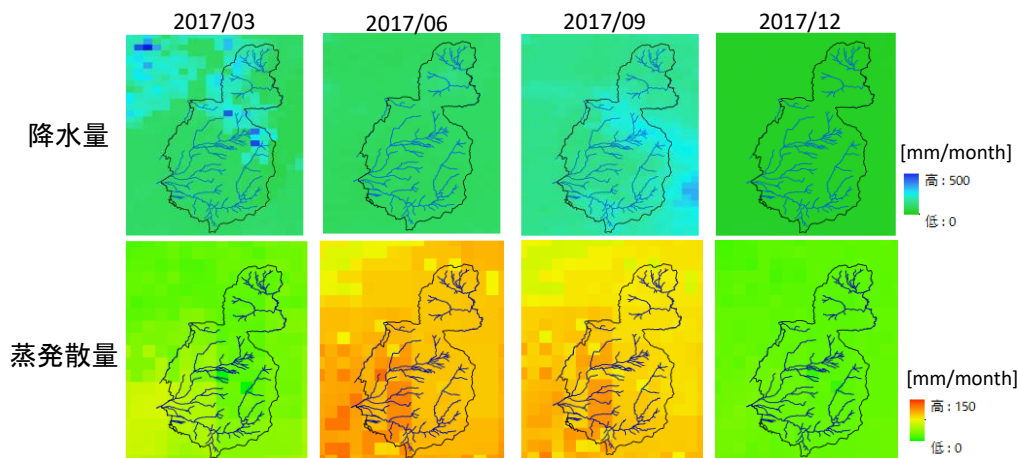


図-11 降水量・蒸発散量の区間分布・季節変化

B-1-3) 土地被覆・土地利用情報

高解像度土地利用データ(JAXA, 空間解像度10m及び30m)から、対象地域周辺の土地利用の分布を把握した。また、欧州宇宙機関により運用されている人工衛星Sentinel-2の可視・近赤外画像(空間解像度10m)から、植物活性を含む地曳状態の季節変化を抽出した。これらの情報は、小規模水源探索における潜在的な水質汚染源(農地など)の把握などに利用する。

B-1-4) その他

実施項目C-2)と連携し、簡易水道や小規模水道等の給水区や取水井戸の位置などの空間情報(GISデータ)及び対象地域内のメッシュ人口データを整備した。これらのデータは社会連携班が実施する社会コスト評価で利用されるだけでなく、人口動態等を考慮した水需要の

変化に対応した小規模水源探索の基礎情報としても用いられる。

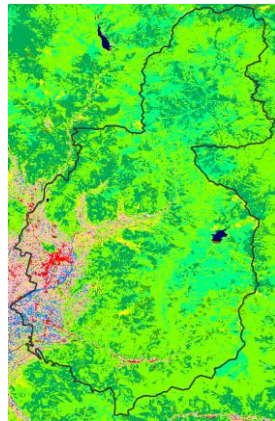


図-12 土地利用情報

- 水域
- 都市
- 水田
- 畑地
- 草地
- 落葉広葉樹
- 落葉針葉樹
- 常緑広葉樹
- 常緑針葉樹
- 裸地

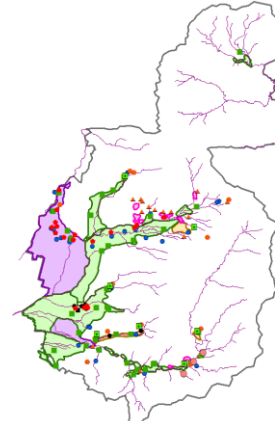


図-13 給水区・取水井戸等の分布

- 深井戸
- 伏流水
- 深井戸(干)
- 浄水場
- 自噴井戸
- ▲ 湧水
- 配水池
- 配水池(停止)
- 水源(停止)
- 水源
- 小規模水道
- 簡易水道
- 上水道
- 飲料水給水施設

実施項目B-2：マルチアイソトープ・微生物遺伝子診断に基づく水質特性の把握

対象地域周辺で採取した表流水試料を用い、同位体や微生物遺伝子マーカーの検出に向けて分析方法等を検討した。主な成果は以下の通りである。

試験地における本格的な水質診断の実施に先立ち、上流に人為汚染源が存在しない地点（地点1：塔岩川）、浄化槽が設置され、簡易水道を利用している集落内を流下する地点（地点2：亀沢川）および上流に浄化槽が多く存在している地点（地点3：貢川）の3地点において表流水を採取し、基本水質項目、溶存化学成分（陰イオン、陽イオン）、安定同位体比および指標微生物を測定することにより、山間部の比較的小さい流域内においてこれらの水質指標の測定が有用であるかどうかを検討した（表-1）。

表-1 表流水試料の水質の測定結果

項目	試料	1：塔岩川	2：亀沢川	3：貢川
基本水質項目	水温 (°C)	4.3	7.8	11.1
	電気伝導度 (μS/cm)	76	139	215
	溶存酸素 (mg/L)	11.12	9.76	9.81
	濁度 (度)	0.18	1.24	26.8
溶存化学成分	Na ⁺ (mg/L)	4.7	10.9	11.1
	K ⁺ (mg/L)	0.6	1.9	2.9
	Ca ²⁺ (mg/L)	8.1	10.1	19.9
	Mg ²⁺ (mg/L)	1.5	2.4	5.9
	Cl ⁻ (mg/L)	0.9	7.6	7.7
	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	59.7	46.3	88.9
	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	2.6	11.6	18.9
	窒素成分	NH ₄ -N (mg/L)	N.D.	N.D.
NO ₂ -N (mg/L)		N.D.	N.D.	N.D.
NO ₃ -N (mg/L)		0.4	1.5	0.2
安定同位体比	水の水素安定同位体比 (‰)	-70.7	-65.8	-58.0
	水の酸素安定同位体比 (‰)	-9.5	-9.8	-8.3
微生物指標	大腸菌群 (MPN/100mL)	30.9	1,020	10,500
	大腸菌 (MPN/100mL)	1.0	291	866

図-14に示すように、調査地点の水質組成をヘキサダイアグラムで解析した結果、上流から下流に向かうにつれてイオン総量が増加する傾向が確認され、特に、上流の地点1における水質組成は、山梨県内で採水されている大手飲料メーカーのミネラルウォーターの水質組成と類似するものであった。また、各種形態別窒素濃度の測定の結果、硝酸イオン濃度は上流から下流にかけて増加する傾向が見られ、下流の地点3ではアンモニウムイオンが検出される等、生活排水からの寄与と考えられる窒素の負荷を確認することができた。

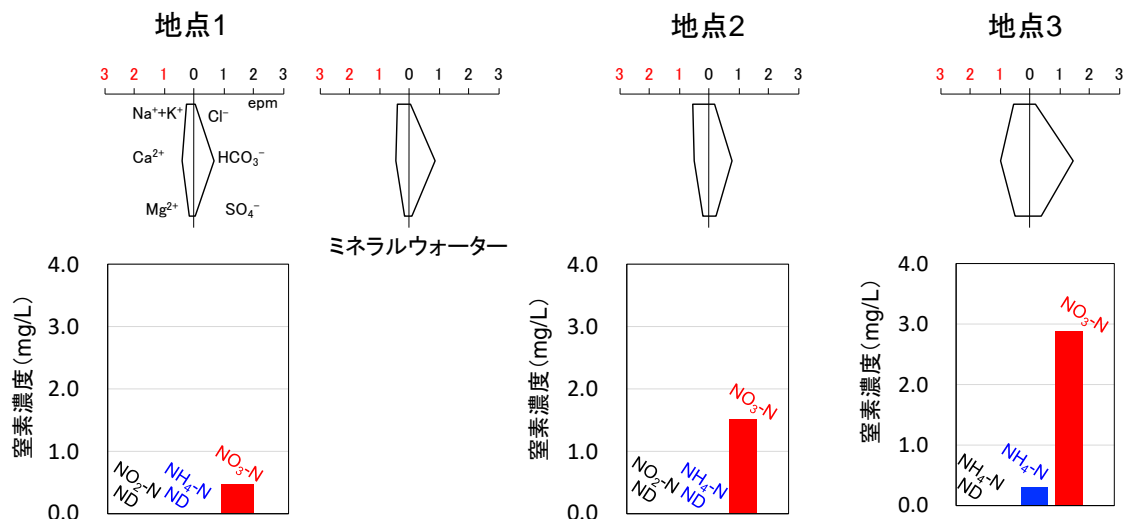


図-14 表流水試料の水質組成と窒素濃度

水の涵養標高の指標となる水の水素安定同位体比と硝酸イオン濃度、大腸菌群、大腸菌の濃度を図-15に示す。水の安定同位体比値は採水標高に応じて低くなる傾向（水の安定同位体に見られる高度効果）を示し、小規模流域であっても水資源の涵養標高の違いの把握が可能であることが確認できた。さらに、硝酸イオンならびに大腸菌群、大腸菌濃度は、水同位体比値の増加にともなって高くなる傾向を示したことから、涵養標高の低い水の流入が窒素や微生物の負荷に寄与していることが把握できた。今後、この手法を地下水へ応用することで地域の水資源の評価を実施する方針である。

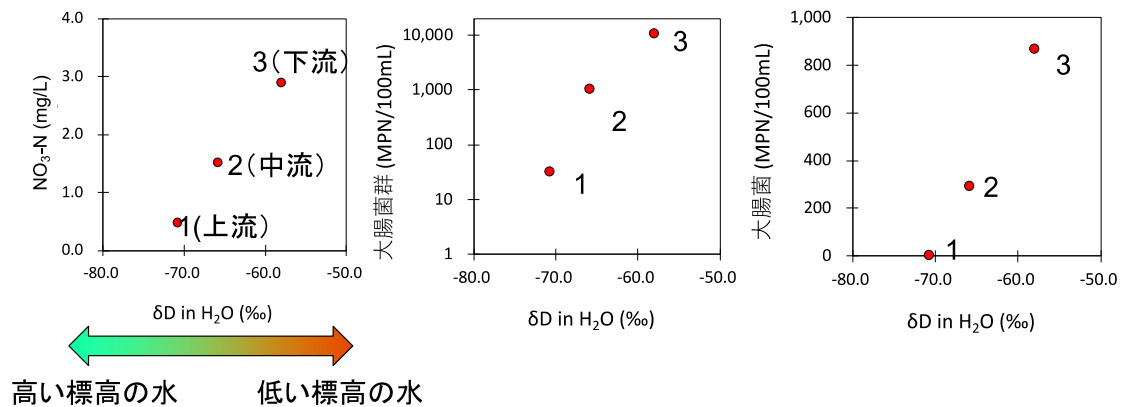


図-15 水安定同位体比と硝酸性窒素および指標微生物の濃度

また、水の安全性を保障する上で、病原微生物汚染を制御することは極めて重要であることから、表流水からの病原細菌の検出法を検討すると共に、水質検査の対象とする微生物の候補を探索した。相川において採取した表流水からDNAを抽出し、細菌由来の16S rRNAアンプリコン解析に供した。その結果、病原性を示す、あるいはバイオセーフティレベル2以上の種を含む属として、計13属が検出された（表-2）。これらの中で、特に分布率が高く（0.5%以上）、構成既知種の中で病原性を示すものが多数含まれる属としては、*Arcobacter*属と*Acinetobacter*属が該当した。次年度以降はこれらの2属に特に注目し、各種水源中の微生物解析・モニタリングを進める予定である。

表-2 病原細菌種を含む属の分布

属名	分布率 (%)
<i>Bacteroides</i>	0.31
<i>Cytophaga</i>	0.14
<i>Flavobacterium</i>	3.44
<i>Chryseobacterium</i>	0.08
<i>Clostridium</i>	0.27
<i>Sphingomonas</i>	0.11
<i>Arcobacter</i>	0.84
<i>Shewanella</i>	0.12
<i>Citrobacter</i>	0.21
<i>Erwinia</i>	1.08
<i>Acinetobacter</i>	0.52
<i>Pseudomonas</i>	1.07
<i>Treponema</i>	0.05

0.1%以上の分布率を示したものを記載

実施項目B-3：利用可能水量の推定・提示

小規模水源候補地における水量の季節・年々変動の影響も加味した水源の安定性を評価する方法の検討を開始した。表流水については、上述の地形・地質情報から任意の河道上の地点における集水域を自動抽出し、集水域内の降水量・蒸発散量から水資源賦存量を推定する方法が考えられる。また、地下水量(特に浅層地下水)については、地形的な集水特性(収束・発散地形の分布)と土壌透水性から算出される地形土壌指標の空間分布から、取水井戸掘削に適した場所の空間分布を把握し、これと現在利用されている水源井戸での地下水くみ上げ実績の組み合わせることで、新規地下水源を開発した際のくみ上げ可能量を推定する方法について検討を行っている。

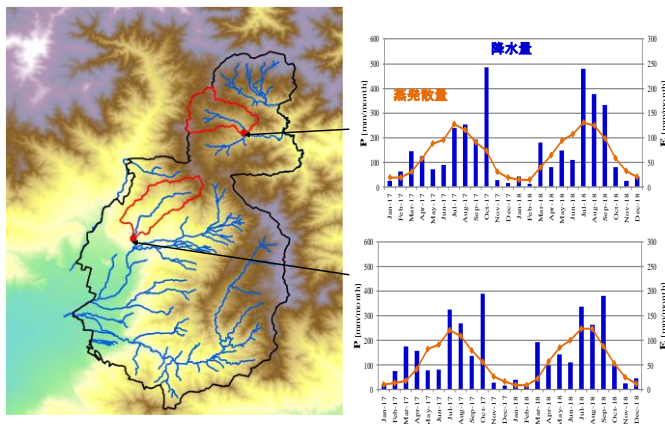


図-16 集水域の自動抽出・水収支解析のイメージ

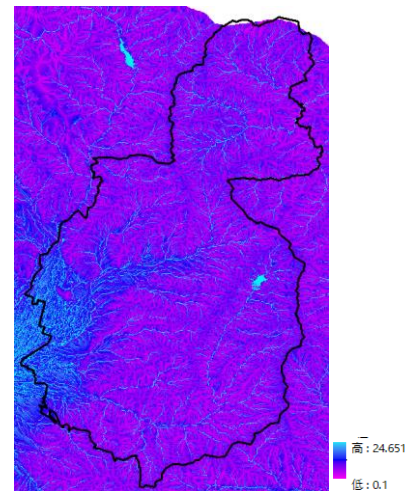


図-17 地形土壌指標

今年度の到達点C: 連携体制構築に向けた会議の設置と情報収集を実施する。

実施項目C-1：産学官連携会議の運営

第1回連絡会議を以下の通り開催した。

日時：2019年12月18日（水） 18:30－20:30

場所：Saiya（サイヤ）

出席者：望月〔欠席〕（甲府市）、古屋、柚野（甲州市）、石倉、森川、三迫、富永、村田（日水コン）、薬袋、田中（メイキョー）、亀井（北里大）、西田、風間、石平、遠山、原本、相馬、馬籠、武藤、伊藤、鈴木（山梨大学）、平山（放送大学）（以上敬称略）

内容：事業概要と目標の説明。

甲州市の水道事業に係る現状説明と課題の整理。

課題解決のための事業の進め方の議論。

次に、「甲州市水道ビジョン及び経営戦略（2020.3）」と甲州市水道審議会の第1回～5回議事録より、甲州市における水道事業に係る現状と課題を整理した。その概要は以下のとおりである。

C-1-1) 水需要の低迷と更新需要の増大

甲州市でも、他の地方都市と同様、人口減少や節水機器の普及による水需要の低迷と（図-18）、水道施設の老朽化による更新需要の増大（図-19）などにより、水道事業は厳しい経営状況に直面している。

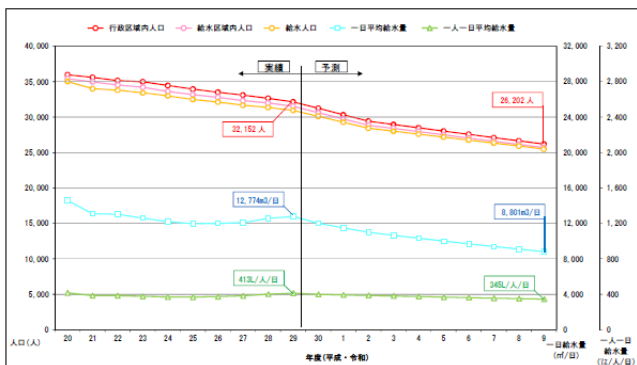


図-18 給水人口と給水量の実測値と予測値

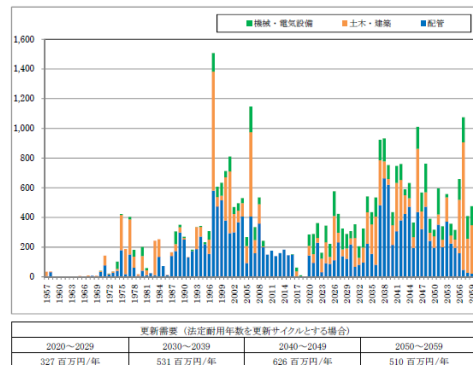


図-19 水道施設の更新需要

（出典：山梨県甲州市上下水道課（2020）：甲州市水道ビジョン及び経営戦略、甲州市。）

C-1-2) 上水道と簡易水道、小規模水道の統合

甲州市では、(1)に示した水道事業の抱える課題解決のため、上水道と簡易水道、小規模水道の統合を進めるとされている。具体的には2020年4月に、簡易水道10事業と、小規模水道4事業が上水道事業に統合された。残りの小規模水道12事業も将来的には統合を考えていくとされている。統合する理由は、施設等の共有化により費用節約が期待されることがある。しかしそれ以上に、国から経営基盤強化のため、簡易水道等にも上水道と同じ公営企業会計の適用を求める通達の出されたことが挙げられる。

C-1-3) 小規模水道の維持

簡易水道と小規模水道の一部は、2020年4月に上水道と統合された。しかし、残りの小

規模水道は、統合の具体的方法やその間の小規模水道施設の維持方法等については明確な方針が示されていないのが現状である。例えば、上、下小田原地区の小規模水道では、まず近くの簡易水道と配管をつなぎ、その後、経営統合する予定とされている。しかし、それには3年ほどかかり、さらに多額の費用も必要になると指摘されている。

すなわち、このような小規模水道地区あるいは水道未整備地区において、より望ましい統合あるいは新しい小規模水サービスの導入などの維持管理方法を検討することが課題となっていることが明らかになった。

実施項目C-2：社会コスト評価

社会コスト評価のための人口分布データ整理と人口予測方法の検討、水道事業の経営データ分析および水道施設の維持管理費用の推計方法の検討を行った。その概要は以下のとおりである。

C-2-1) 人口分布データ整理と人口予測方法の検討

国勢調査のデータに基づき、甲州市の2015年の人口分布を示したものが図-20である。2015年においては、JR塩山駅周辺に人口が集積しているものの、中山間部にも集落の形成されていることがわかる。図-21は、図-20の人口分布図に上水道と簡易水道の給水区域図を重ねて示したものである。さらに図-22には、2000年から2015年にかけての人口変化率を示しており、これらより給水区域外にも居住人口が存在すること、そしてそれらの地域では人口の増加している地区のあることがわかる。

給水地区以外の地域とは、小規模水道か水道未整備地区で自身により井戸などから水を調達している地域と考えられる。これらの地域でも、人口が増加している地区もあることから、誰一人として水に困らない社会の形成には、これらの地域にも確実に水を供給するシステムを構築することが重要になる。

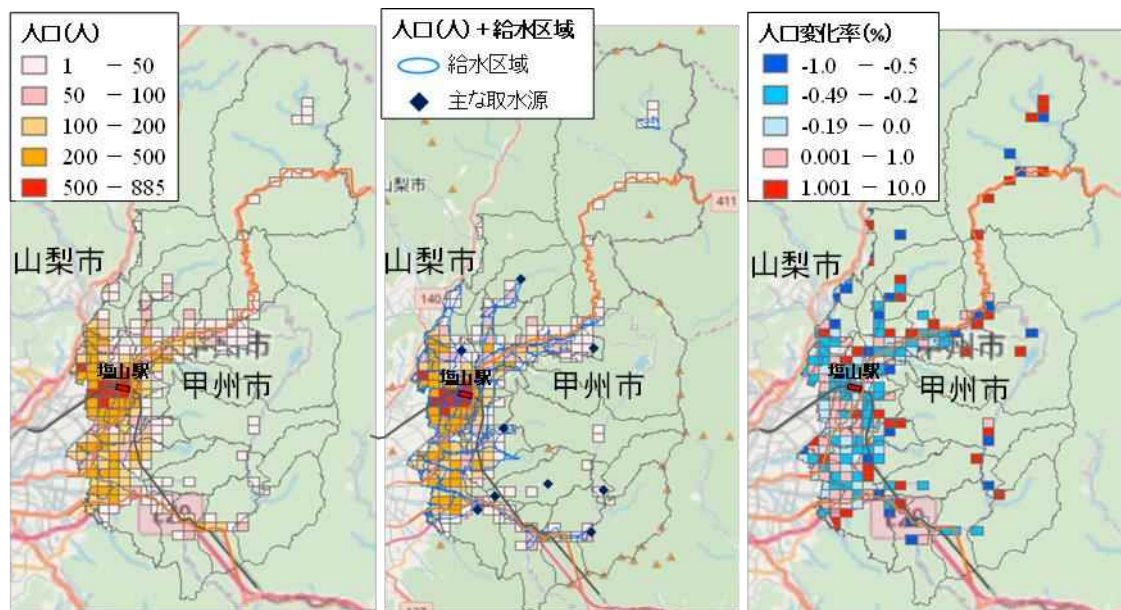


図-20 人口分布 (2015年)

図-21 給水区域

図-22 人口変化率
(2000年-2015年)

ただし、以上の分析は、2000年から2015年にかけての過去の人口変化結果に基づくものであった。これに対し、人口が減少し高齢社会となる将来は、人口分布がこれまでとは異なる可能性もある。そこで、応用一般均衡型都市経済（CGEUE：Computable General Equilibrium & Urban Economic）モデルと呼ばれる産業の生産活動と家計の消費活動を扱った上で、産業立地と居住立地を総合的に分析できる経済均衡モデルを用いて、将来の甲州市の人口分布予測を行うことにした。

C-2-2) 水道事業の経営データ分析

続いて、甲州市の水道事業の経済状況を明らかにした。図-23には収益的収支の推移を示し、図-24には資本的収支の推移を示した。

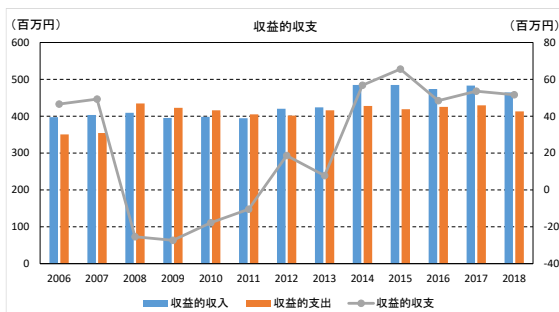


図-23 収益的収支の推移

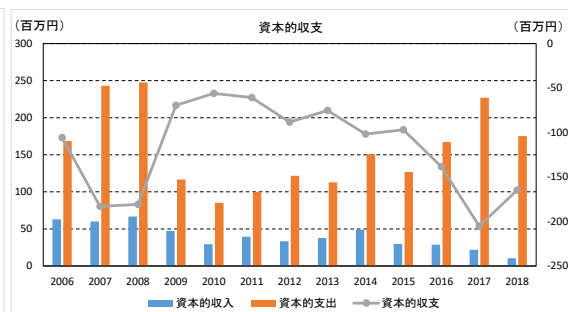


図-24 資本的収支の推移

これらより、収益的収支は一時悪化している。しかし、2014年以降は改善し、良好な経営状況になっていることがわかる。一方、資本的収支を見ると、2015年以降は資本的支出が増加し、資本的収入が減少していることから、今後の資本の維持という点からは不安定な面がみられることが明らかになった。

C-2-3) 水道事業に係るアセットマネジメント

(2)の現在の水道事業の経営状況分析を踏まえ、将来の更新需要予測を行い、財政収支の見通しを明らかにする必要がある。さらに、その結果から、本事業で提案する新しい水サービスを導入した場合に、その財政収支見通しがどのように改善されるのかを明らかにする。

その具体的方法は、厚生労働省が公開している「水道事業におけるアセットマネジメント（資産管理）に関する手引き」に基づき実施することにした。厚生労働省では、支援ファイルも提供されていることから、必要なデータを甲州市上下水道課等より入手し、将来シミュレーションの実施と、新しい水サービスの導入によるシミュレーションを実行していくことになった。

実施項目C-3：事業計画の作成

本実施項目は、ソリューションフェーズに向け、新しい水サービスが移住・分散型社会で運用される将来を想定した事業基本計画（マスタープラン）を上下水道関係事業者（甲州市水道審議会など）により作成するものである。

本年度は、甲州市と2020年3月27日に連携体制に関する協議を行い、事業内容の確認、協働実施者の変更、実施計画の意見交換を行った。そして、2020年3月に実施基本計画（マスタープラン）である「甲州市水道ビジョン及び経営戦略」が上下水道関係者（甲州市水道審議会）によって策定され、公表された。

(4) 当該年度の成果の総括・次年度に向けた課題

実施項目A

【進捗状況】当初計画に沿って研究を進めることができた。また、令和2年度より開始する実証試験（現場：峡東浄化センター）について、山梨県県土整備部下水道室、山梨県流域下水道事務所と峡東浄化センターの関係者と協議を重ね、実証実験実施計画、工程表と役割分担を決定することができた。しかし、3月以降は新型コロナウイルス感染症拡大防止のため、峡東浄化センターでの実証試験準備作業を中止した。

【成果】水素利用の上水と下水の高度処理の有効性と人工湿地により下水処理の有効性を確認することができた。

【今後の予定】水処理に関しては、令和2年度以降から始まる実証試験（現場：峡東浄化センター）での準備作業を3月以降中止している。関係者と協議しながら作業開始時期を決め、峡東浄化センターの協力のもと速やかに実証試験を進める予定である。

実施項目B

【進捗状況】当初計画に沿ってデータ収集を実施するとともに、同位体や微生物遺伝子マーカーの検出に向けた分析方法の検討を開始することができた。また、水資源診断と連携体制構築のグループの協働により簡易水道や小規模水道等の給水区や取水井戸の位置などのGISデータも整備できた点は、当初計画以上の成果である。その一方、人の移動が制限されている現状では、水源や水供給設備に関する現地調査が十分に行えず、採水の地点数や頻度を増やすことができなかつた点が課題として挙げられる。

【成果】収集した各種データをもとに、対象地域における水文・地理特性の空間分布や地域特性を把握できることが確認された。また、これらデータと同位体による水資源の涵養標高の特定技術や水質特性(化学成分、指標微生物)に関する情報を組み合わせることで、比較的狭い領域(甲州市, 264.1km²)を対象とした小規模水源の探索とその利用適正の評価が実施できる見通しを持つことができた。

【今後の予定】現地踏査や採水については、人の移動制限が可能になり次第開始するが、それまでの期間は、甲州市担当者の協力のもと、現在利用されている水源に関する位置情報や水源水質データの取得・解析を進める予定である。

実施項目C

【進捗状況】第1回の連携会議を実施したこと、甲州市の水道事業の現状と課題を明らかにしたこと、それらの課題解決に向けて、本事業で提案する新しい水サービスの導入効果の計測のための社会コスト評価に必要な人口等のデータ収集、各種分析手法の検討、および、甲州市の水道事業基本計画の策定を行った。一方、人の移動制限がなされている現状では、簡易水道や小規模水道の各施設の現地調査が行えていないこと、甲州市からのデータ入手についても滞っていることが課題として挙げられる。

【成果】甲州市中山間部には小規模水道地区あるいは水道未整備地区があり、それらの地域での水道事業の統合化あるいは適切な維持管理の検討が課題であること、それらの地域にも居住人口は存在し、その一部では人口が増加している地区のあることなどが明らかとなった。それより、本事業で提案する新しい水サービスが有効となる可能性のあることが示された。

【今後の予定】連携体制構築については、水道施設の現地視察、データ収集を進めていくとともに、人口分布予測と水道事業のアセットマネジメントを行い、連携会議にて情報提

供、意見交換を行う予定である。

2 - 3. 会議等の活動

年月日	名称	場所	概要
2019.12.13	第1回班長打ち合わせ	山梨大学	(参加者：西田、風間、鈴木、武藤、伊藤)
2019.12.18	チーム内キックオフミーティング	甲府市内	(参加者：相馬、森、田中、望月、森川、三迫、村田を除くメンバー)
2020.2.12	第1回事務打ち合わせ	山梨大学生命環境学域支援課	(参加者：西田、風間、石平、石原ま、石原さ、四氏、三井、小尾、福島)
2020.3.18	第1回学内進捗打ち合わせ	山梨大学	(参加者：風間を除く梨大メンバー)
2020.3.27	連携体制に関する協議	甲州市役所	事業内容の確認、協働実施者の変更、実施計画の意見交換(参加者：甲州市長・鈴木、杣野、古屋、風間、西田)
2020.4.24	連携体制構築(社会評価)班打ち合わせ	山梨大学	(参加者：武藤、風間、西田、石平、伊藤、小林、川原)
2020.1.24	オンデマンド水資源診断班打ち合わせ	山梨大学	(参加者：石平、原本、田中、中村、相馬、馬籠、西田)
2019.12.25	水処理班打ち合わせ	山梨県峡東浄化センター	(参加者：山梨大学・遠山、風間、西田、山梨県県土整備部・山口、山梨県流域下水道事務所・平井、丸山、樋口、鶴田)
2020.1.9	水処理班打ち合わせ	山梨県峡東浄化センター	(参加者：山梨大学・遠山、風間、西田、山梨県県土整備部・山口、河野、山本、山梨県流域下水道事務所・樋口、渡邊)
2020.4.3、4.30	水処理班打ち合わせ(新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言への対応について)	山梨大学(電話会議)	参加者：山梨大学・遠山、山梨県県土整備部・山口、山梨県流域下水道事務所・樋口、株式会社メイキョー・田中)

3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

・実証試験を実施する場所について関係者（参加者：山梨大学・遠山、風間、西田、亀井、山梨県県土整備部・山口、河野、山本、山梨県流域下水道事務所・渡邊、山梨県下水道公社峡東浄化センター・平井、丸山、樋口、鶴田）と協議し、山梨県峡東浄化センターに決めた。その後、関係者での協議を重ね、実証試験の具体的な装置と工程表、役割分担を決定した。

4. 研究開発実施体制

（1）小型自立式水処理パッケージ開発グループ

グループリーダー：遠山忠（山梨大学、准教授）

水素利用水処理：風間（環境科学）、遠山（水処理工学）、亀井（環境科学）

人工湿地：遠山、森（水処理工学）

（2）オンデマンド水資源診断グループ

グループリーダー：石平博（山梨大学、教授）

小規模水源探索：相馬（水文気象学）、馬籠（情報解析）、石平（水資源学）

マルチアイソトープ解析：石平、中村（地下水学）、西田（環境科学）

微生物遺伝子解析：原本（環境微生物学）、田中（環境微生物学）

利用可能水量の推定・提示：馬籠、相馬、石平、西田

（3）連携体制構築グループ

グループリーダー：武藤慎一（山梨大学、准教授）

連携会議：風間（環境科学）、武藤（交通工学・国土計画）、西田（環境科学）、鈴木（研究推進・社会連携機構）、伊藤（社会解析）、望月（甲府市上下水道局）、杉野・小澤・野田（甲州市上下水道課）、石倉・森川・三迫・富永・村田（株式会社日水コン）

社会コスト評価：武藤、西田、伊藤

事業計画：山梨県上下水道関係事業者

サービスモデル：全ての実施者

5. 研究開発実施者

オンデマンド水資源診断グループ

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
石平 博	インダイラ ヒロシ	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	教授
相馬 一義	ソウマ カズヨシ	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	准教授
馬籠 純	マゴメ ジュン	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	助教
原本 英司	ハラモト エイジ	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	准教授
田中 靖浩	タナカ ヤスヒロ	山梨大学	大学院総合研究部	准教授
中村 高志	ナカムラ タカシ	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	助教
西田 継	ニシダ ケイ	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	教授

小型自立式水処理パッケージ開発グループ

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
遠山 忠	トオヤマ タダシ	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	准教授
森 一博	モリ カズヒロ	山梨大学	大学院総合研究部	教授
風間 ふたば	カザマ フタバ	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	教授
亀井 樹	カメイ タツル	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	助教

連携体制構築グループ

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
風間 ふたば	カザマ フタバ	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	教授
武藤 慎一	ムトウ シンイチ	山梨大学	大学院総合研究部	准教授
西田 継	ニシダ ケイ	山梨大学	大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター	教授
鈴木 美季	スズキ ミキ	山梨大学	URAセンター	助教
伊藤 友里	イトウ ユリ	山梨大学	大学院医工農総合教育部	D1
石倉 俊	イシクラ スグル	株式会社日水コン	河川事業部東部 河川部技術第二課	
森川 敏成	モリカワ トシナリ	株式会社日水コン	河川事業部東部 河川部	部長
三迫 陽介	ミサコ ヨウスケ	株式会社日水コン	水道事業部東京水道部 技術第四課	課長
富永 昌伸	トミナガ マサノブ	株式会社日水コン	下水道事業部東部 事業マネジメント部技術第一課	主任
村田 道拓	ムラタ ミチヒロ	株式会社日水コン	事業統括本部環境・ 資源部技術第一課	主任
望月 孔明	モチヅキ コウメイ	甲府市	上下水道局工務部 水道管理室	室長
杣野 栄	ソマノ サカエ	甲州市	上下水道課	課長
小澤 美紀	オザワ ミキ	甲州市	上下水道課 水道部門	副主査
野田 一寿	ノダ カズトシ	甲州市	上下水道課 下水道部門	課長補佐

6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

6-1. シンポジウム等

・なし

6-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

(1) 書籍、フリーペーパー、DVD

・なし

(2) ウェブメディアの開設・運営

・なし

(3) 学会（6-4. 参照）以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

・なし

6-3. 論文発表

(1) 査読付き（__0件）

●国内誌（__0件）

●国際誌（__0件）

(2) 査読なし（__0件）

・

6-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

(1) 招待講演（国内会議__0件、国際会議__0件）

(2) 口頭発表（国内会議__1件、国際会議__0件）

・小俣淳一、亀井樹、風間ふたば（山梨大学）、間欠式水素添加型排水処理における最適ガス供給比率の把握、日本陸水学会甲信越支部会第45回研究発表会、諏訪市、2019年11月30日

(3) ポスター発表（国内会議__1件、国際会議__0件）

・三輪耀大、田中靖浩、森一博、遠山忠（山梨大学）、間欠流入式人工湿地を用いた下水処理に関する研究、第54回日本水環境学会年会、岩手大学・盛岡市、2020年3月16日（学会開催が中止となったが、講演集紙面において発表）

6-5. 新聞報道・投稿、受賞等

(1) 新聞報道・投稿 (件)

(2) 受賞 (件)

(3) その他 (件)

6-6. 知財出願

(1) 国内出願 (件)

以上