

下水処理水等の開放系循環利用に関する研究

研究予算： —
研究期間： 平 21
担当チーム：リサイクルチーム
研究担当者：岡本 誠一郎

【要旨】

近年、地球温暖化に伴う水循環系への影響が懸念される中で、世界的に下水処理水等の再利用が注目されている。本研究では、これまで実態が十分に把握されていない下水処理水等の開放系循環利用について、現地調査をもとにその利用用途や利用形態を把握し、農業用水利用を中心に利用形態の類型化を行った。さらに、適正な利用の推進に向けて取り組むべき研究の方向性について検討し、農業用水、親水用水への利用の病原微生物によるリスク評価や、HACCP(Hazard Analysis and Critical Control Point)の活用等による地域要件を反映しうる安全性評価手法の確立について、今後の研究の必要性が高いことを示した。

キーワード：下水処理水、開放系循環利用、農業用水、リスク要因、HACCP

1. 研究の背景と目的

わが国の下水道整備は着実に進展しつつあり、年間の下水処理水量は、約 139.3 億 m³/年に上っているが、一方で、下水処理水の処理場外利用は全処理水量の 1.5%の約 2.03 億 m³/年に止まっている¹⁾。一方で、下水処理水を一旦河川や水路等に放流してから、下流で何らかの用途に利用される間接的な水利用（以下、「開放系循環利用」という）は、都市部を中心に行われているが、実態は統計資料等でも明らかにはなっておらず、その特性や課題等についても体系的な検討は行われていない。

これまでに、下水処理場において再生処理された水を直接供給する形態の「閉鎖系循環利用」については、下水処理水の再利用水質基準等マニュアル²⁾が制定され、用途別の水質基準とともに、再生水処理から利用までの工程ごとの留意事項、対応策等がまとめられている。しかし、本マニュアルでは、開放系循環利用については適用対象外とされている。一般に国内の開放系循環利用では、放流先河川等での十分な希釈を前提としており、放流先河川下流の利水者等との特段の調整が行われていないケースや、下水道部局において処理水質に特段の配慮を行っていないケースが多いと考えられる。しかし近年は、河川の自流量の減少と河川水の処理水比率の増加や、下流での利用用途の多様化などの変化に応じた対応方策（安全性の評価手法、必要な処理レベルの決定方策、管理責任のあり方等）の検討が必要なケース

も増加していると思われる。

このため、本研究では、国内の下水処理水の開放系循環に関する事例調査をもとに、その利用形態と利用用途を把握するとともに、健康リスクの観点も含めた水質面の課題を明らかにし、下水処理水の適正な循環利用促進に向けて今後取り組むべき研究の方向性を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

2. 1 開放系循環利用の分類とリスク要因の整理

文献調査、関係者ヒアリング等により、国内で下水処理水の開放系循環利用が行われている地区を把握し、これらの地区のうち利用状況の異なると考えられた数箇所の現地調査を行い、その利用形態、利用用途等を把握した。さらに、これらの結果をもとに、開放系循環利用の利用形態別の分類を行い、分類別に想定されるリスク特性を整理した。

2. 2 独法土研の研究の方向性に関する考察

2. 1の結果をもとに、今後、再生水利用の促進を図る上で必要となる研究の視点と内容について整理するとともに、独法土研が再生水利用の分野で行うべき研究の方向性について考察を行った。

3. 研究結果

3. 1 開放系循環利用の分類

1) 現地調査

昨年度研究における文献調査・現地調査の結果³⁾より、国内における下水処理水の農業用水利用は、

今後利用ニーズが高くなることが期待される用途であり、さらにその多くは河川、ため池、水路等に一旦処理水を放流して利用する形態の開放系利用が多いこと、渇水時に利用転換（環境用水→農業用水等）が行われていることが明らかとなっている。また、農業集落排水施設の処理水も、農業用排水路や貯水池に放流後希釈され、農業用水として再利用されるケースが多い⁴⁾。このため、開放系循環利用の調査として、農業用水の取水源上流などに下水道終末処理場や農業集落排水施設などが設置されている地域を中心に現地調査を行い、そのなかで修景用水などとしても利用されている場合にはその利用実態を把握することとした。主な現地調査箇所を表-1に示すとともに、以下にその概要を示す。

i) A用水、B用水

これらの用水は、江戸時代に農業用水路として整備されたものだが、その後、高度経済成長期には河川の著しい水質汚濁に伴って水質が悪化、さらに灌漑区域内の市街化が急速に進み、特にB用水では、現在は農業用水としての機能は停止状態となってい

表-1 現地調査実施箇所

水系名	地区	概要
多摩川	A用水	都市化の進展で河川水の処理水量比率が増加。農業用水から修景用水へと役割が変化、市街地では暗渠化も進んでいる。
多摩川	B用水	都市化の進展で河川水の処理水量比率が増加。流域の都市化が著しく、農業用水利用は廃止。修景・親水利用用途に。
鶴見川	C地区	放流直後の下水処理水の取水が可能な構造の施設を設置。農業用水として利用。
大和川	D地区	高度処理水をため池、農業用水路に分水放流。流域では稲作、畑作あり。
(香川県)	E地区	高度処理水をため池に放流。用途は稲作中心。その他、河川・水路の修景用水等にも利用
白川	F地区	処理水と河川水を混合水して農業用水に通水。用途は稲作中心



写真-1 水路の親水利用施設整備の例 (B用水)

る。その後の下水道整備によりA、B用水ともに水質が向上し、市の事業として水路の環境整備や一部親水護岸化などが進められ、市民の憩いの場としてのアメニティ機能が期待される水辺空間となっている(写真-1参照)。こうした傾向は全国の他の地域でも報告されている⁵⁾。また、多摩川流域の下水道普及率が向上するとともに、流域内の市街化が進んだ結果、各用水の取水口付近の河川水量に占める下水処理水の割合は約50%に達している⁶⁾。

ii) C地区

典型的な都市河川の中流部であるC地区では、下水処理場放流口の対岸に取水口を設置し、小型の転倒堰を設けて、放流後の処理水を含んだ河川水の取水を可能にしている。都市化が進んだ結果、晴天時は放流口上流の自流量は極めて少なく、河川水量の大部分は下水処理水となっている。

iii) D地区

もともと周辺地区は農業水利が不足していたこともあり、処理場内のせせらぎ用水に使用している高度処理水の一部が農業用水に利用されている。ため池の湛水位や渇水等の状況に応じた利用が行われている。

iv) E地区

従前より水不足に悩まされていた本地区では、下水処理水の本格的な利活用事業が行われ、高度処理水を上流部に還元して、各種用途に利用している。農業用水利用は、高度処理水を一旦ため池に送水して、他の用水と混合して利用される。利用にあたって、有識者、農業関係者、下水道管理者による調査が行われ、供用後も水質面での問題がないことを確認するためのモニタリング等も実施されている。

v) F地区

下水処理水の農業用水利用量としては国内最多の地区である。農業関係者との数年間にわたる各種調査・試験結果を経て、農業利用に影響がないことを検証して、利用が開始された。栄養塩類濃度などを勘案して、処理水と河川水の混合比率を決定し、農業用水路に通水している。当該処理場は水処理の状態が良好であり、二次処理水を特に高度処理せずに利用している。また近年、さらに別の下水処理場からの水の農業用水利用も開始されている。

2) 利用形態別の分類

これまでの調査結果をもとに、農業用水に下水処理水等を利用する場合の分類を行った。利用形態により分類した4つのケースを図-1に示す。ケース

①は下水処理施設等からの処理水を、河川、ため池、水路などの自然の水循環系を経由せずに再利用する閉鎖系の利用である。

日本では、一定の降雨があり、農業用水施設の整備も進んでいることから、農業利用用途でケース①の形態を取るのは、事業化が検討された沖縄県島尻地区⁷⁾など限定的であり、むしろケース②～④の開放系の利用形態が主流であると判断された。表-1に示した現地調査箇所では、A用水、B用水、C地区がケース②の間接利用、D地区、E地区、F地区がケース③の混合利用の形態を取っていた。また、D地区、E地区では、渇水時などに再利用量を増加させたり、通常と利用用途を転換させたりするなど、ケース④の緊急利用的な利用も行っていった。

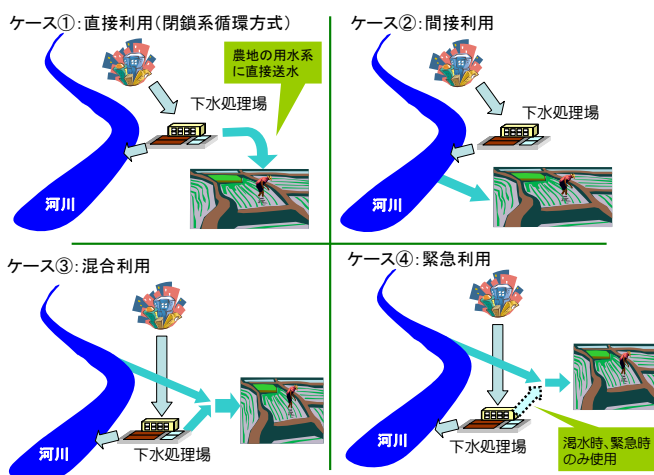


図-1 循環利用の形態別分類(農業用水)

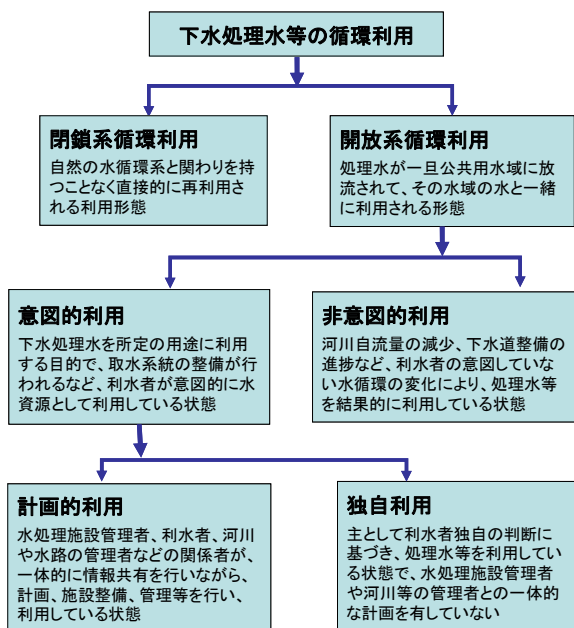


図-2 循環利用の計画面からの分類

3) 計画面からの分類

図-2は、下水処理水等の循環利用の計画面の特性から分類したものである。開放系利用の中でも、利水者が意図しない条件の変化により、結果的に下水処理水等を相当量循環利用している場合がある。現地調査箇所ではA用水、B用水がこれに該当する。

その他の現地調査箇所は、いずれも意図的利用に該当すると考えられるが、これらのうち、D～F地区では、下水道管理者と利水者である農業関係者との間で、再生水利用に関する調査や協議が行われた上で利用を進めており、水質面での影響などを踏まえて再生水処理のレベルや、河川水との混合割合などを定めるなど、計画的な利用が進められていた。

このような処理側と利用側の情報共有に基づく計画的な利用以外のケースもあると考えられ、利水者側の独自の計画・取り組みにより循環利用が行われるものを「独自利用」の分類とした。

3.2 リスク特性の整理

1) 水質面のリスク特性

開放系循環利用では、下水処理水等が一旦公共水域の他の原水と混合されるため、利用の安全性評価の際には、希釈混合の影響に留意する必要がある。現地調査、ヒアリング結果をもとに、開放系循環利用の各工程において発生が予想されるリスク要因をリストアップし、その結果を図-3にまとめた。

水質面のリスクとしては、作物障害の要因となる有機汚濁や窒素過多⁵⁾、再生水利用におけるリスクとして、亜鉛、マンガン等の土壌蓄積⁵⁾、さらに作業者の誤飲・誤摂取や作物に付着した病原微生物による感染症などが主要なリスクと判断された。

2) 利用形態によるリスク特性

ヒアリング等の結果から、工程別のリスク要因に対するリスクの度合いやリスク要因への対策は、循環利用の形態や、計画面の利用実態(図-2)によって異なることが示唆された。即ち、形態別では、図-3の「流量調整」の工程では、図-1のケース③、④の場合には処理水または河川水の水質悪化の際に、流量調整により農業用水の水質悪化を回避または低減できる可能性があるが、ケース②では混合割合の調整は困難であり、取水量の調整のみが可能となる。

計画面では、図-2の計画的利用と比較すれば、独自利用の場合は処理水質の情報を利水者が十分理解していないケースも想定され、利水障害のリスクは計画的利用と比較して高いと考えられる。特に、

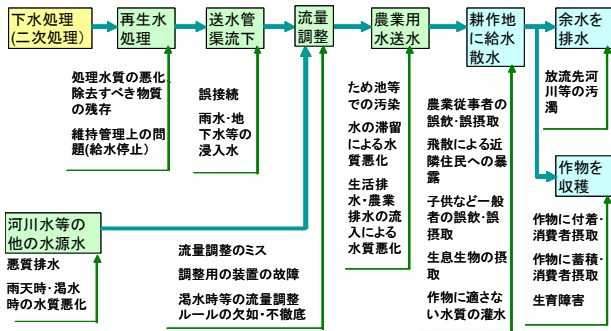


図-3 各プロセスのリスク要因

処理区域内の感染症流行による処理水中の病原微生物濃度の爆発的増加など、異常時への対応が遅れることが懸念される。

非意図的利用の場合は、さらに情報共有や関係者による一体的な対応が困難であり、利水者側に水の安全性や流域の水循環系の変化に関する情報が欠如している可能性が高く、顕在化するリスク要因に気づかないことも考えられる。流域での協議会的な組織による情報交換が重要であると思われる。

3. 3 独法土研の研究の方向性に関する考察

昨年度研究³⁾及び本研究における分析をもとに、今後、独法土研が重点的に取り組むべき研究項目を以下に整理した。

- 1) 本研究により明らかにしたリスクシナリオ(図-3参照)や既往研究における病原微生物の用量-反応モデルの知見等をもとに、農業用水や親水利用など、誤飲・誤摂取による病原微生物のリスク評価の試算を行い、対策の要否についての一定の見通しを明らかにすることが重要である。
- 2) 下水処理水等の開放系循環利用では、放流先水域の水量、水質、水域の形態等による影響が大きく、下水等の処理施設側での水質基準の設定は困難である。このため、食品、水道水などのリスク管理手法として推奨されている HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point)^{8),9)}などの手法を参考に、地域要件に応じた再生水のリスク管理が可能な標準的なプロトコルの確立に向けた研究を進める必要がある。

4. まとめ

本研究では、実態が把握されていなかった下水処理水等の開放系循環利用の現地調査をもとに、水利

用途や利用形態を把握し、農業用水利用を中心にその類型化を行った。さらに、適正な利用のために今後取り組むべき研究の方向性について検討し、農業用水、親水用水への利用の病原微生物によるリスク評価や、HACCP などによる地域要件の反映が可能な安全性評価法のプロトコルの確立について、研究の必要性が高いことを示した。

参考文献

- 1) 国土交通省下水道部：「我が国における下水処理水の再利用状況」、第1回下水処理水のバラスト水活用検討会資料、下水道グローバルセンター (GCUS) ホームページ
<http://gcus.jp/report/groupReport/pdf/ballast03.pdf>, 2009年12月
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部・国土交通省国土技術政策総合研究所：「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」、発行2005年4月
- 3) 岡本誠一郎、尾崎正明：「再生水利用を考慮した水再生システムに関する研究」、研究方針研究成果報告、土木研究所、2008年
- 4) 国土交通省水資源部：「平成21年版 日本の水資源」、国土交通省ホームページ、
<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/hakusyo/H21/2-8.pdf>, 第8章 p.134、公表2009年8月
- 5) 白谷栄作：「農業用水の水質基準に関する課題と提案」、平成21年度農地・水資源部研究会、(独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所、pp.15-21、2010年3月
- 6) 勝山志津子、柴田直俊、山田正：「河川水質の年々変動に与える影響因子に関する研究」、第32回関東支部技術研究発表会、II-1-21、2005年3月
- 7) 田中宏明、浅野孝：「農業灌漑への下水処理水再利用—沖縄でのわが国初の本格的な計画—」、再生と利用、Vol.29, No.114、6-13頁、2006年12月
- 8) 小久保弥太郎他：「改訂 食品の安全を創る HACCP」、(社)日本食品衛生協会、2003.8
- 9) 厚生労働省健康局水道課：「水安全計画策定ガイドライン」、厚生労働省ホームページ、
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/hourai/jimuren/dl/080530-5.pdf>, 2006.5