

【研究区分：地域課題解決研究】

研究テーマ：尾道市の水道水源「久山田貯水池」水質悪化原因に関する調査	
研究代表者：生物資源科学部 生命環境学科 環境科学コース 教授 西村和之	連絡先：nishimura@pu-hiroshima.ac.jp
共同研究者：生物資源科学部 生命環境学科 環境科学コース 教授 橋本温	
【研究概要】 尾道市唯一の自己水源池である久山田貯水池において、周辺環境の変化に伴う水質の悪化に関する科学的な検証と藻類の異常増殖や底質改善に向けた調査を行った。本研究では、毎月の採水調査と池心における採泥を含む水深別の採水調査を実施し、流入汚濁負荷量、底泥の汚濁状況、藻類叢の季節変動や健康影響微生物などの実態調査を行った。その結果、流入支流の水質は生活排水処理水質と強い相関を示し、ヒト由来の糞便汚染の疑いが示唆された。また、嫌気状態にある池心部底泥は微生物作用により浄化可能と判断された。	

【研究内容・成果】

1. 研究内容

本研究事業では、1) 藻類増殖を引き起こす水質要因調査と環境 DNA に基づく網羅的な生物相の定期調査、2) 底質の嫌気状態評価と悪臭発生要因の解明のための底質と微生物叢調査、3) 空中ドローン画像による植物プランクトンの発生状況の観察と4) 藻類増殖や底層の嫌気化を抑制・改善する手法の探索を目的に調査研究を行った。

2. 研究成果

1) 藻類増殖を引き起こす水質要因調査と環境 DNA に基づく網羅的な生物相の定期調査

久山田貯水池の取水口のある堤体直下の表層水を S1、各流入支流を S2～S5 とし、堤体下部からの放流水 S6 と呼称し令和3年6～3月までの期間に毎月1度の採水調査を実施した。採水した試料水について、水温、pH、DO、電気伝導度、SS、TOC、DOC、ろ液の E₂₆₀：紫外部吸光度と三次元蛍光スペクトル、T-N、T-P、D-N、D-P、クロロフィル a 量等を測定した。また、S1 の表層水から環境 DNA を分取し psbA 領域をターゲットとする次世代シーケンス解析により池内の藻類種の把握を行った。さらに S6 に付いては、悪臭成分である H₂S の原因となる T-S と D-S を測定した。一方、8、9、10、12月の調査時に流入水量と大腸菌/大腸菌群、腸球菌と嫌気性芽胞菌の測定を行い、微生物汚染の状況の評価した。

一般水質項目の経時変化の結果は、夏場は池底付近における微生物による有機物分解が活発であり、池底層部分が嫌気状態になることを示していた。

本研究における新規の水質評価手法の試みとして、ろ過水中の有機物組成の特性判別を期待して三次元蛍光パターンを分析評価した。取得した三次元蛍光スペクトルから特徴的なピークを示す励起波長と蛍光波長の組み合わせとして励起波長 210nm では蛍光波長 245nm～555nm の 18 組と同 220nm では同 280nm～495nm の 30 組、計 48 組の波長組み合わせを選定した。各試料で得られた 48 組の蛍光強度について、有機物組成の参照として下水処理場などの流入水や放流水から取得した蛍光パターンを加えて主成分分析を行った。各流入水の蛍光強度の変動パターンは、夏場の 8 月が下水放流水に最も近い一方、冬場に向けて希釈された放流水の蛍光パターンに近づくことが示された。これは、各流入支流中の有機汚濁成分が下水の放流水に近い成分を含んでいるとともに、低水温により微生物の有機物分解活性が低下した場合には、下水が希釈されただけの未分解状態に近づくものと考えられた。

衛生微生物に係るリスク評価を行った結果、何れの流入支流からも糞便汚染指標が検出され、4 回の試験で大腸菌は 100～1 MPN/100 ml、腸球菌は 10⁻¹～2 MPN/100 ml であった。また、嫌気性芽胞菌については、3 回の試験のうち 1～2 回検出され、平均値は 100～275 cfu/100 ml であった。S1 と S6 の大腸菌と腸球菌は、他の流入支流より 1 オーダー程度低い濃度であったものの、生残性の高い糞便汚染指標である嫌気性芽胞菌が陽性となった試験日においては、池内滞留による減衰が少なく流入側と同程度の濃度で検出された。この様に、

何れの流入支流からも糞便汚染指標のいずれかが高いレベルで検出されたことから、流域からのヒトあるいは家畜/野生動物に起因する汚濁の流入が推定され、生活排水処理水などが糞便汚染に大きく影響している可能性が考えられた。これらの結果と流入水量をもとに算出された流入支流毎の大腸菌をベースとした糞便汚染に関する汚濁負荷量推定値は、流入支流の日量の大腸菌汚濁負荷量は 106~108 MPN であり、流入量も大きく大腸菌濃度の高い S4 地点の汚濁負荷量が 6.8×108 MPN/日と流入支流の汚濁負荷量の 80% を占めていたことから、水質向上対策は S4 を優先的に実施することが効率的であると考えられた。

環境 DNA による藻類相の解析結果から得られた藻類種は、未同定種を含めて 160 属、120 種であった。得られた属レベルの検出割合の季節変動を見ると、6 月と 10 月の藻類種の多様性が高く 1 月の多様性が認められた。一方、7、9 月に Cyanophage が突出して高い出現率を示し、8、10、12 月の優占種は *Aulacoseira* に属していた。11 月は *Chamaesiphon* や *Skeletonema* に属する藻類が優占し、10 月には *Chrysochromulina* に属する藻類種、12 月には *Centronella* に属する藻類種、1 月には、*Cryptomonas* に属する藻類種の優占が認められた。浄水管理上での留意点は、7 月から 10 月にかけて *Microcystis aeruginosaga* が検出された点にあり、藻類制御の必要性が強く示された。

2) 底質の嫌気状態評価と悪臭発生要因の解明のための底質と微生物叢調査

8 月と 12 月の採水時に久山田貯水池の底質を採泥するとともに、0m、4m、8m の水深毎の採水を行い、池底に滞留している有機汚濁物質や水深毎の水質変化を評価した。なお、水温と DO は、機材調達の遅れによって 12 月の採水時のみ測定を行った。

水温と DO の水深方向の変化傾向より、12 月には水温躍層は形成されていないことが確認され、SS の結果から、夏場に底層で浮遊性の汚濁が生じていることが示された。一方、有機汚濁成分は、DOC や E₂₆₀ の水深方向の違いは僅かであるが、硫化物濃度の変化は夏場に観測されており、夏場に嫌気化が強まる可能性が示唆された。このことは、栄養塩類である T-P において、8m の底層の濃度が夏場に高い結果からも裏付けされている。次に底質をみると、有機物量に相当する VTS は 4.9% であり、溶出有機物量として DOC は炭素量として 7.1%、溶出栄養塩類の D-N が 1.4%、D-P が 0.6% であった。また、同じく溶出硫化物量は 0.3% あり、灰黒色を呈していた底泥の状態は、有機性汚濁物質の堆積とその微生物分解による池心底層部での嫌気状態の進行が強く示唆されるものであった。

底泥から DNA の抽出を行い、次世代シーケンス解析による微生物叢の把握を合わせて行った。その結果、未同定を含めて 364 属、370 種の微生物種が検出された。特に、好熱性古細菌群の Crenarchaeota 目に属する菌種、メタン生成菌である *Methanoregula* 属、*Methanosaeta* 属に属する菌種などが検出されている点は、底泥の嫌気状態を強く示唆している。ここで得られた微生物叢について主成分分析を行った結果、久山田貯水池底泥の微生物叢は、農業廃水等により汚濁の進んだ、ため池の近い微生物叢にあると評価された。

3) 空中ドローン画像による植物プランクトンの発生状況の観察

多波長カメラを搭載した空中ドローンを用い、リモートセンシング技術を活用したクロロフィル量の算出を試みたが、令和 3 年度は、夏場の天候不順などにより実施できなかった。

4) 藻類増殖や底層の嫌気化を抑制・改善する手法の探索

1) の水質調査の結果と 2) の底質の状況把握の結果から、底質には有機性汚濁物質の堆積あり嫌気化が進んでいることが示唆されたことから、底質を含めた有機性汚濁の改善に利用可能な浄化技術の探索を行った。その結果、主として汚濁の進んだ干潟の底泥改善方策として提案されてきた微生物燃料電池による浄化の可能性が見いだせた。特に、久山田貯水池の底泥の微生物叢の評価の結果と比較的近い微生物叢を有すると評価された農業用ため池の底泥を用いて微生物燃料電池を構築すると、約 90 日間で起電と起電の消失を観測し、その間に底質中の COD_{Cr} が 82.8%、T-N が 21.8% 除去されたことから、久山田貯水池の底泥を用いても微生物燃料電池の構築が可能であり、底質の改善が可能と推察された。