

洪水調整池がもつ多面的機能の総合評価手法の開発

報告書

福岡工業大学 田井明

豊橋技術科学大学 小野 悠, 広瀬侑

東京大学 石川 麻乃

大阪公立大学 遠藤 良輔

2025年3月

1 はじめに

世界的な都市化の進展に伴い、持続可能な都市のあり方が模索される中、水辺を活かしたまちづくりの重要性がますます高まっている。河川や運河、ため池、用水路など都市に張り巡らされた水辺空間は、土地の効率的利用を優先する都市開発により顕著に減少し、人々の暮らしから切り離されてきた。しかし近年、地球環境問題の顕在化や物質的豊かさから心の豊かさへと価値観が移行する中で、水辺が持つ多様な機能——洪水リスクの軽減、水質浄化、生態系保全、親水空間の創出など——への注目が高まっている。

一般に水辺の整備では、利水や治水といった人々の生活に直結する機能が最優先され、その他の機能は十分に考慮されない傾向がある。これは、経済合理性に基づく定量的な整備が求められる中で、生物多様性の保全や親水空間の創出といった、経済的価値を数値化しにくい機能を同じ土俵に載せることが難しいためである。例えば、都市部の河川護岸はコンクリート護岸化が進み（写真1）、景観や生物生息に配慮されないケースが多い。一方で、欧米や東南アジアおよび我が国の一部都市では、ウォーターフロント再生プロジェクトが成功し、観光資源や地域交流の場として機能している事例もある（写真2）。これらから学ぶべきは、水辺の持つ多様な機能が相互に影響し合い、複雑なネットワークを形成しながら全体としてバランスを保っている点である。

都市における水辺のポテンシャルを最大限に引き出すためには、各機能の理



写真1 コンクリート3面張り護岸



写真2 都市空間における水辺の利
用の例

解だけでなく、それらの相互作用を踏まえた統合的なデザインが不可欠である。具体的には、洪水調整機能と生態系機能のトレードオフを評価するための指標設定や、親水空間と治水機能の両立を可能とするゾーニング手法の導入が考えられる。また、水質浄化能力を定量化し、都市緑地や湿地帯の配置を最適化するシミュレーションにも取り組む必要がある。

さらに、機能間には必ずトレードオフの関係が存在するため、どのような機能バランスを持つ水辺を整備するのかについては、地域での合意形成が重要となる。その際には、専門家や行政だけでなく、実際の利用者である住民や企業、NPOなど多様なステークホルダーの意向を十分に反映させることが求められる。参加型ワークショップや住民主導のフィールド観察会を通じて、現地の声を収集し、共通言語としてのビジュアルツールを用いて議論を深める手法も有効である。

本研究では、都市の雨水管理システムの重要な構成要素である調整池に着目し、自然科学と社会科学のアプローチを融合した多面的機能の総合評価手法を開発する。従来の調整池は、整備・維持管理コストを抑える目的から洪水調整機能のみが重視され、コンクリート護岸化やフェンスによる閉鎖空間化が進んできた。しかし近年では、地域に開かれた親水空間として、都市の景観形成や憩いの場、動植物の生息地としての役割を担い、人々の生活に潤いをもたらす場として活用されるケースが増えている。その好事例として柏市にある調整池を対象に研究を行った。

2 研究対象について

(1) 柏の葉アクアテラスについて

柏の葉アクアテラスは、千葉県柏市において「環境共生」「健康長寿」「新産業創造」をコンセプトに開発が進められている「柏の葉スマートシティ」の中核に位置する、極めて多機能かつ親水性に優れた複合的な水辺空間である¹。この施設は、単なる都市景観の一部や公園の枠組みにとどまらず、都市の防災機能の強化、住民の心身の健康を支えるレクリエーションの場の提供、多様な人々が交流し、新たな価値を創造するコミュニティハブとしての役割、そして未来を担う世代への環境教育といった、多岐にわたる機能を融合させた、全国的にも類を見ないユニークな公共空間として設計・運営されている¹。

・沿革と革新的なコンセプト

柏の葉アクアテラスのルーツは、元々この場所に存在した都市の安全を守るための重要なインフラ、すなわち「洪水調整池」に遡る²。しかし、柏の葉スマートシティのまちづくりが本格化する中で、都市空間における水辺の価値を再定義し、より能動的に活用する visionary な構想が持ち上がった。その結果、「見るだけの池から触れ合える水辺へ」という革新的なコンセプトが誕生し、2016年に大規模な改修プロジェクトが実施された¹。このプロジェクトにより、従来の無機質な防災施設としての側面だけでなく、人々が積極的に水辺に近づき、水と触れ合い、憩い、そして自発的な交流が生まれる魅力的なパブリックスペースへと、その姿を劇的に変貌させた。このコンセプトは、都市空間における水辺の可能性を最大限に引き出し、住民の生活の質（QOL）を飛躍的に向上させることを目指しており、市民参加型のデザインプロセスを経て具現化された点が特筆される³。

・多様性に富んだ施設の詳細と機能

柏の葉アクアテラスは、その設計思想において利用者と水辺との能動的なインタラクションを最大限に引き出すことを重視している。具体的に整備された設備は多岐にわたる。水面に大きく張り出し、水上散歩のような感覚を楽しむ「デッキ」、陽光を浴びながら水辺の開放感を間近に感じられる「親水テラス」、コンサートやパフォーマンスなど多様なイベントが開催可能な多目的スペースである「親水ステージ」、そして水が緩やかに流れ落ちる心地よい音を聞きながら水辺へと降りていける、バリアフリーに配慮された「せせらぎ階段」などが挙げられる²。中でも特筆すべきは、夏場の特定の期間には池の水を抜き、安全な水遊び場やイベント空間となる「池底遊歩道」であり、これにより年間を通じて季節やイベントに応じた様々な楽しみ方が提供され、来訪者に飽きさせない工夫が凝らされている²。

これらの施設は、単なるレクリエーションの場としてだけでなく、柏の葉における多層的な都市活動の拠点として機能している。広大な敷地内には、市民が自由に利用できる快適なベンチや、子どもたちが駆け回り、家族がピクニックを楽しむことができる広々とした芝生広場が整備され、散歩やジョギング、ヨガ、読書、日光浴など、個々人のライフスタイルや気分に合わせて多様な過ごし方を可能にしている⁴。また、中心部にある「さんかく広場」や「親水ステージ」**は、地域住民によるフリーマーケットや音楽ライブ、ダンスパフォーマンスといった自主企画イベント、周辺の企業や研究機関による製品発表会や技術デモンストレーション、さらには東京大学などの学術機関による公開講座や文化祭など、年間を通して非常に多彩なアクティビティの拠点として活用され、地域コミュニティの活性化と新たな文化創造に大きく貢献している⁴。環境面においては、都市の安全を支える治水機能としての調整池の役割は引き続き維持されつつも、水質浄化を目的とした環境に配慮した噴水の設置や、在来種を中心とした水生植物の積極的な植栽による生態系への配慮がなされている²。これにより、都市部にいながらにして、身近な場所で自然環境に触れる機会を提供し、特に子どもたちへの環境教育や、生物多様性への意識を高める場としての役割も果たしている。

・公民学連携の先進的なモデル

柏の葉アクアテラスの実現から現在の持続的な運営に至るプロセスは、柏の葉スマートシティが世界に誇る独自の公民学連携モデルの最も成功した事例の一つとして、国内外から高い評価と注目を集めている¹。具体的には、都市デザインの総合的な調整とプロジェクトマネジメントを担う柏の葉アーバンデザインセンター（UDCK）が中心となり、都市基盤整備の事業者である千葉県、施設の管理者としての柏市、そして土地の所有者であり開発を主導する三井不動産株式会社を筆頭とする周辺地権者、さらには東京大学などの学術機関が、それぞれの専門性とリソースを持ち寄り、密接なパートナーシップを築いている

¹。この多主体連携体制は、地域の複雑な課題を共有し、それぞれの知見と技術を結集することで、革新的な都市空間を創出し、その価値を継続的に高めていくという、柏の葉スマートシティが目指す「共創のまちづくり」の哲学をまさに体現している⁵。

・景観とスマートシティ機能との融合

柏の葉アクアテラスのデザイン性は、その機能性だけでなく、視覚的な美しさにおいても高く評価されている。権威ある土木学会デザイン賞やグッドデザイン賞を受賞するなど、その洗練されたデザインと周囲の景観との調和は、国内外の都市計画関係者から注目されている³。特に、夜間には専門の照明デザイナーによって緻密に計算されたライトアップが施され、昼間とは異なる幻想的で都会的な景観を創出し、都市の夜景に彩りを添えるだけでなく、市民の夜間利用を促し、新たな魅力となっている。

さらに、柏の葉アクアテラスはスマートシティとしての先進的な取り組みにも積極的に統合されている。近年導入されたAIカメラを活用した人流データ

の取得・分析システムは、来訪者の動向や利用パターンをリアルタイムで詳細に把握することを可能にしている⁶。このデータは、単に「安心・安全」な街の見守りサービスの一部として機能するだけでなく、例えば混雑緩和のための動線計画の最適化、来訪者の満足度向上に繋がる施設改善計画の立案、そしてより効果的なイベント企画やマーケティング戦略の策定にも活用され、柏の葉スマートシティ全体の持続的な発展と都市機能の向上に不可欠な情報基盤となっている⁶。

参考文献

1. 柏の葉スマートシティ コンセプトサイト. 「柏の葉アクアテラス」
2. 柏市役所 都市部公園緑地課. 「柏の葉アクアテラスの整備について」
3. UDCK 柏の葉アーバンデザインセンター. 「プロジェクト紹介：柏の葉アクアテラス」
4. 三井不動産株式会社. 「柏の葉アクアテラスの活用事例」

(2) 洪水調整池について

柏の葉アクアテラスは洪水調整池である。ここでは洪水調整池について基礎知識をまとめる。

まず、洪水調整池の主要な目的は、以下の3点に集約される。

・下流河川の洪水流量の低減

集中豪雨時に発生する大量の雨水を一時的に貯留することにより、河川のピーク流量を抑制し、堤防の決壊や家屋や住宅街への浸水被害を未然に防ぐ。これは、人命と財産を守る上で最も重要な機能である。

・開発行為に伴う流出量増加の抑制

都市化や宅地開発の進展は、地表面の不浸透化を招き、雨水の地中への浸透を阻害し、結果として河川への流出量を急増させる。洪水調整池は、このような開発行為によって失われた保水機能を補完し、開発区域からの流出量を適切に管理する役割を担う。

・河川環境の保全

洪水時の急激な流量変化は、河川の地形や生態系に大きな影響を与える可能性がある。洪水調整池による流量の安定化は、河川環境の急激な変化を緩和し、生態系の保全に寄与する。

洪水調整池は、その構造形式や設置場所、機能によって多様な分類が可能である。

- 構造形式別：
 - 掘込式：地面を掘削して貯留容量を確保する一般的な形式。比較的広い用地が必要となる。
 - 盛土式（ダム式）：堤を築造し、貯留スペースを形成する形式。地形条件に合わせて設計されることが多い。
 - 地下式：地下空間に貯留施設を設ける形式。都市部など用地取得が困難な場所で有効である。
- 設置場所別：
 - オンサイト調整池：個々の開発区域内に設置される比較的小規模な調整池。駐車場や公園との多目的利用が図られる場合がある。
 - オフサイト調整池：開発区域の下流、河川流域内に設置される比較的規模の大きな調整池。複数の開発区域からの流出量をまとめて調整する。
- 機能別：

- 自然放流式（穴あきダム式）：自然の地形や構造を利用し，貯留水を徐々に下流に放流する形式．維持管理が比較的容易である．
- ポンプ排水式：ポンプを用いて貯留水を強制的に排水する形式．内水排除など，より積極的な排水が必要な場合に用いられる．

洪水調整池の設置，管理，および開発行為との関連に関する法律は多岐にわたる．

・河川法

河川の総合的な管理を規定する基本法であり，国または地方公共団体が管理する河川において，洪水調整池が河川管理施設の一部として設置・管理される場合がある．

・下水道法

都市における雨水排水を含む下水道の整備・管理に関する法律であり，雨水貯留施設が下水道施設の一部として位置づけられることがある．特に都市部における内水氾濫対策として重要な役割を果たす．

・都市計画法

土地利用計画や開発行為を規制する法律であり，一定規模以上の開発行為に対して，雨水流出抑制対策として洪水調整池の設置を開発許可の条件とすることが可能である．

・宅地造成等規制法

宅地造成工事に伴う崖崩れや土砂災害を防止する目的で，一定規模以上の宅地造成において，排水施設や擁壁などの設置が義務付けられており，洪水調整池もその一環として設置が求められる場合がある．

各自治体は，地域の特性や開発状況に応じて，洪水調整池の設置基準，構造，管理に関する条例や指導要綱を独自に定めている．これらの条例・要綱は，国が定める法律よりも詳細な基準を規定することが多く，地域の実情に合

わせた治水対策を推進する上で重要な役割を果たす（例：神戸市洪水調整池設置指導要領，京都府重要開発調整池に関する技術的基準）。開発事業者は，これらの条例・要綱を遵守し，適切な洪水調整池を設置・管理する義務を負う。

洪水調整池の機能を長期的に維持するためには，適切な維持管理が不可欠である。

- 定期的な巡視・点検：施設の異常（亀裂，漏水，閉塞など）を早期に発見し，適切な対応を行う。特に洪水期や豪雨後には重点的な点検が求められる。
- 貯留池内の清掃：土砂，ゴミ，流木などの堆積物を定期的に除去し，所定の貯留容量を確保する。放流施設の機能維持も重要である。
- 堤体および周辺の除草：雑草の繁茂は施設の安全性や景観を損なうため，適切な除草作業が必要である。
- 施設の補修・改修：損傷箇所を早期に補修し，必要に応じて施設の改修を行う。老朽化した施設は機能低下を招くため，計画的な改修が重要となる。
- 管理体制の確立：開発事業者などが設置した調整池を，完成後に地方公共団体などが管理する場合，責任の所在や管理方法を明確にするための管理協定の締結が必要となる。

洪水調整池は重要な治水施設であるが，現代社会においてはいくつかの課題も存在する。

- 用地確保の困難性：特に都市部においては，調整池に必要な広大な用地の確保が困難であり，地下式調整池などの新たな技術導入が求められる。
- 維持管理費の増大：高齢化や財政難を背景に，維持管理費の確保が課題となっている。効率的な維持管理方法や，AI・IoT技術を活用した維持管理の省力化が期待される。
- 施設の老朽化対策：既存の調整池の老朽化が進んでおり，計画的な改修や機能強化が必要である。
- 平時の有効活用：洪水時以外は利用されないことが多い調整池の，平時における有効活用（公園，駐車場などとの多目的利用）が検討されているが，安全管理上の課題も存在する。
- 周辺環境との調和：住宅地近隣に設置される調整池においては，景観への配慮や，悪臭・害虫対策，安全対策（転落防止柵の設置など）が重要となる。

今後の展望としては、気候変動による水害リスクの増大に対応するため、ハード対策としての洪水調整池の整備に加え、ソフト対策（ハザードマップの作成、避難体制の強化など）との連携がより一層重要となる。また、持続可能な社会の実現に向けて、自然環境との調和や多目的利用など、洪水調整池の新たな価値創造が求められていると考えられる。

なお、本研究で対象とする柏の葉アクアテラスやその他の調整池は行政管理上は“下水道施設”に区分される。

研究方針と比較対象の洪水調整池について

水辺を活かしたまちづくりの実現に向けて、都市の雨水管理システムの重要な構成要素である調整池に焦点を当て、調整池の多面的機能の総合評価手法の開発に取り組み、水辺に求められる役割が多様化・高度化する中で、機能間の相互影響の理解に基づく水辺のデザインおよび地域の多様な主体が整備・維持管理に参加できる仕組みづくりに貢献することを目指す。多面的機能を評価するため、都市工学、進化生物学、生命情報科学、農業環境工学、土木工学の研究者が連携して実施することに本研究の特色がある。対象は千葉県柏の葉キャンパス駅周辺に立地する1号・2号・3号調整池である。2号は「アクアテラス」と呼ばれ公民学連携でまちづくりを推進する「柏の葉アーバンデザインセンター」を中心とした行政と民間事業者の連携によって、従来型の調整池を市民が憩える親水空間へと再生したものである。一方、1号と3号は高いフェンスで囲まれた従来型の調整池であるが、前者は自然に近い環境、後者はコンクリート護岸化されている。

本研究に先立ち、2023年度に各テーマのプレテストを実施し、地元参加型の中間報告会も実施している。本研究はその成果も活かして実施した。





各機能の定量的評価

機能間の相互影響の検討

2023年 5月 機能評価 (Step1) プレテスト
 10月 中間報告会
 11月 価値評価 (Step2) プレテスト
 2024年 2月 中間報告会



機能評価プレテスト



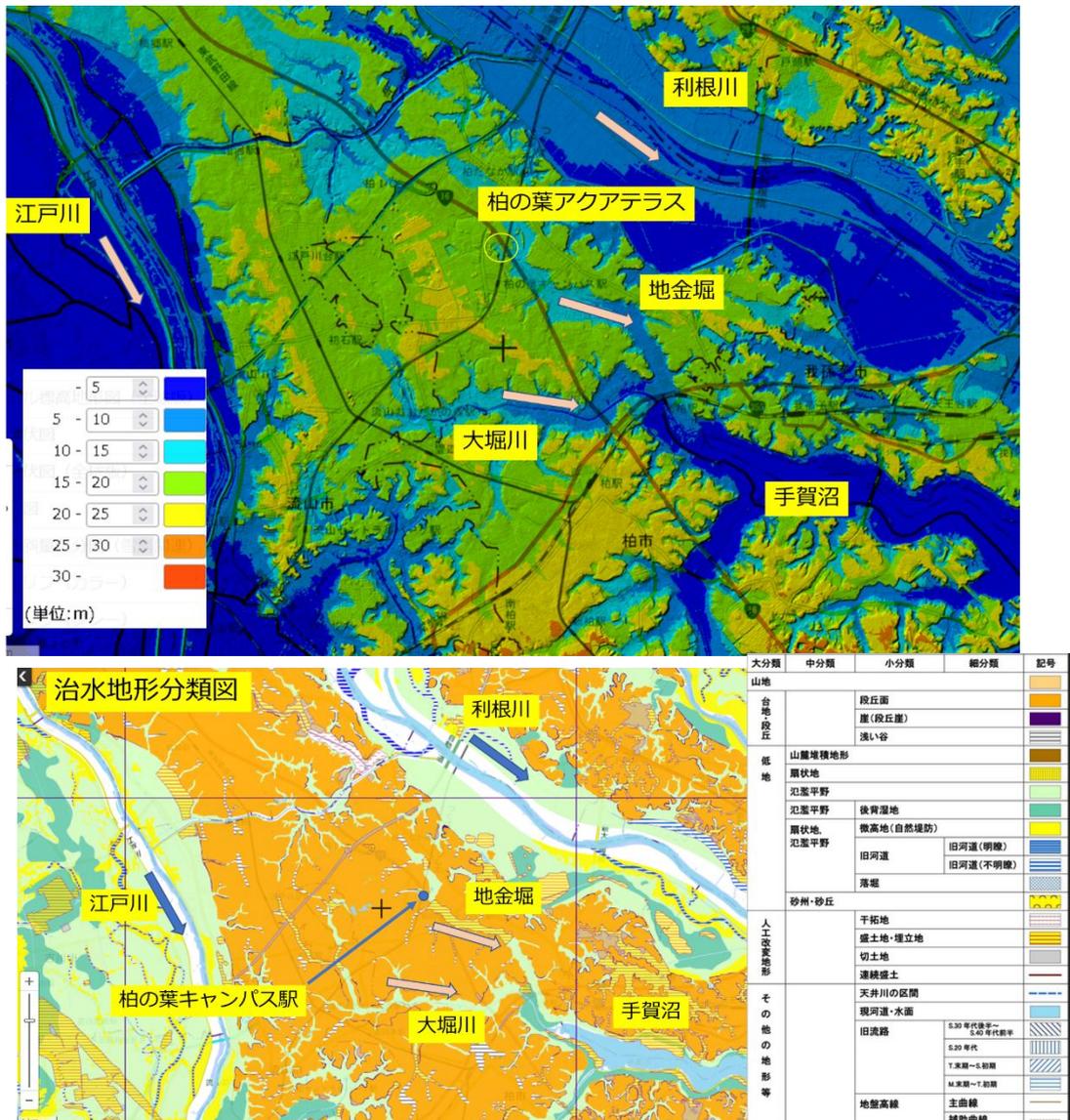
中間報告会

3 機能別評価について

(1) 治水機能に関して

柏の葉アクアテラスおよび1号, 3号調整池の治水機能について評価するためにまず, 本地域の洪水リスクなどについて概観する.

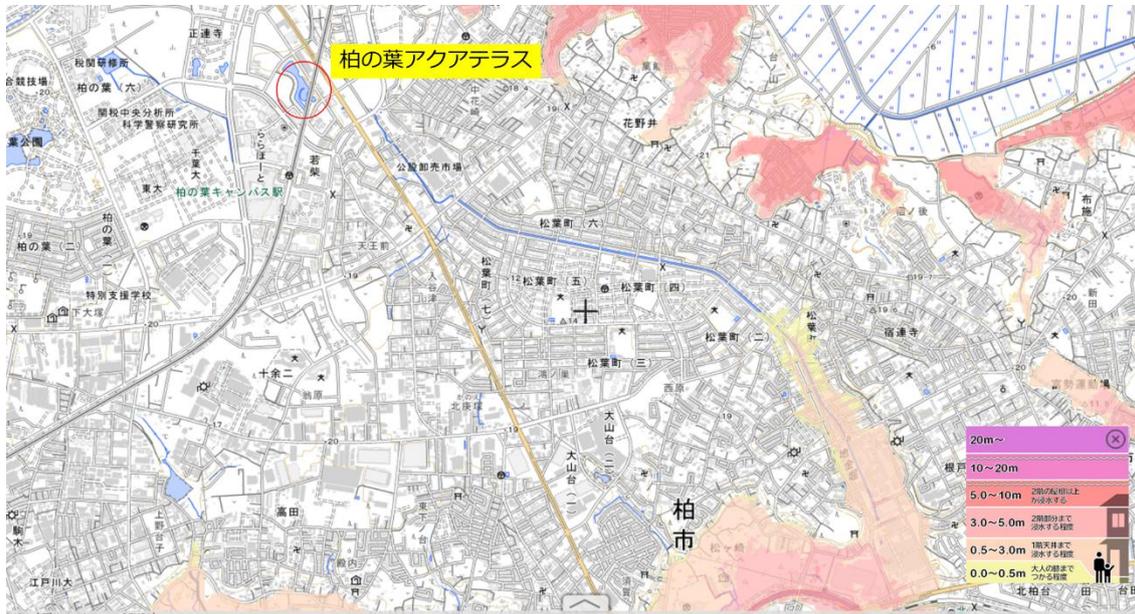
本研究の対象地域周辺の地形図を下図に, 治水地形分類図をその次に示す. 数に示す通り, 本対象地域は, 利根川と江戸川に挟まれた標高は10m~20m程度の段丘面に位置している. 雨水の流れとしては, 集水された後に1号調整池から地下堀という小水路に流出し大堀川に合流し, 手賀沼から利根川に流出することになる.





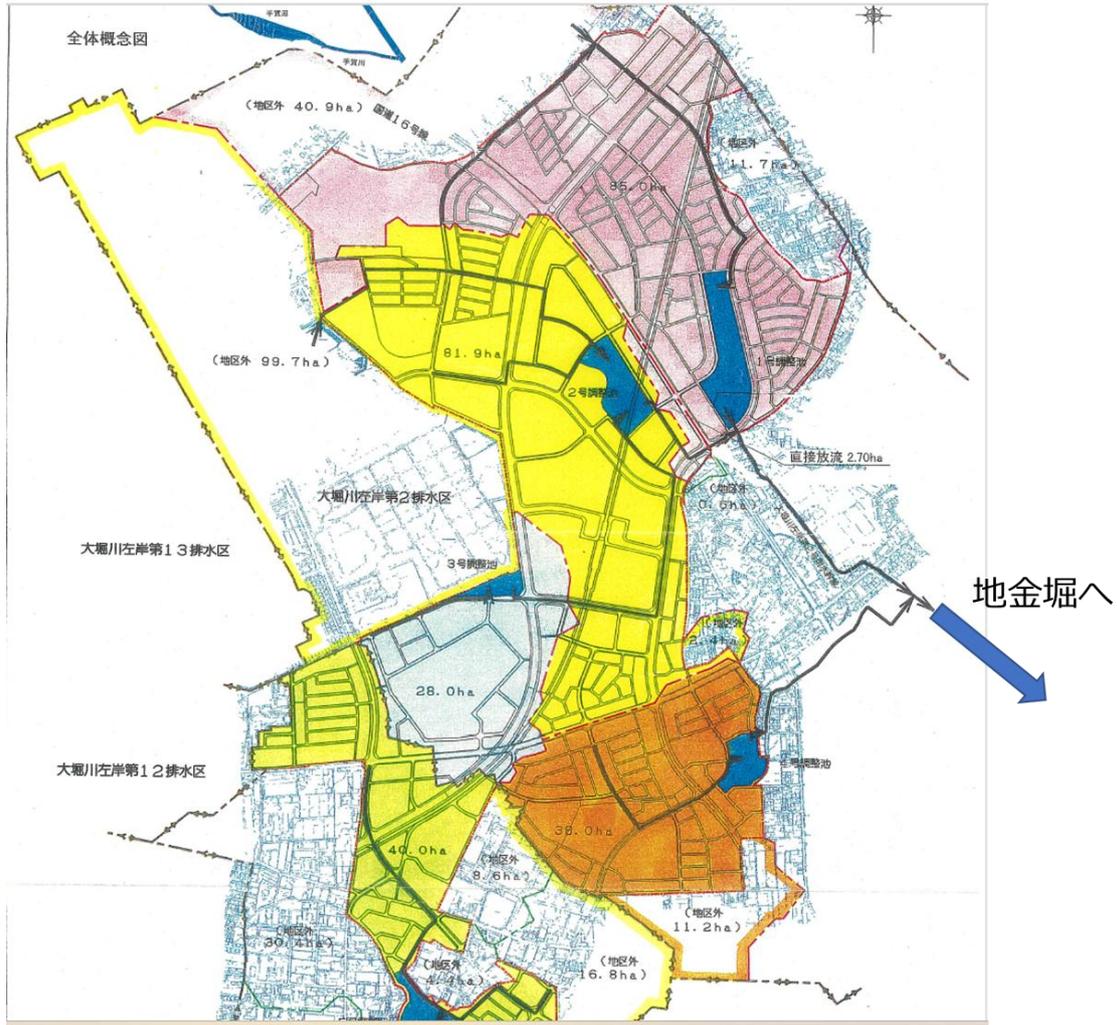
地金堀

大堀川



上図は対象地域周辺の洪水ハザードマップである。この地域では現在、想定最大規模の1000年に1回程度の大雨に対するものが公開されている。

ハザードマップによるとこの地域で洪水のリスクがあるのは、地金堀と大堀川の合流点付近から下流部である。アクアテラス付近は洪水のリスクは表示されていない。これは、現在のハザードマップは河川からの外水氾濫のみを対象にしているためで、内水による浸水リスクはあると考えられる。実際、後述する集中豪雨時も駐車場などの低地が冠水したことが確認されている。



上図は、柏市から提供された当地域の雨水の排水計画図である。

主な雨水の経路としては3号調整池に集まった雨水は地下の下水管を流れて2号調整池に流れ込む。

そして、2号調整池に流れ込んだ雨水は、地下の下水管を流れて1号調整池へ流れ込む。

最後に1号調整池に流れ込んだ雨水は地金堀に流出する。

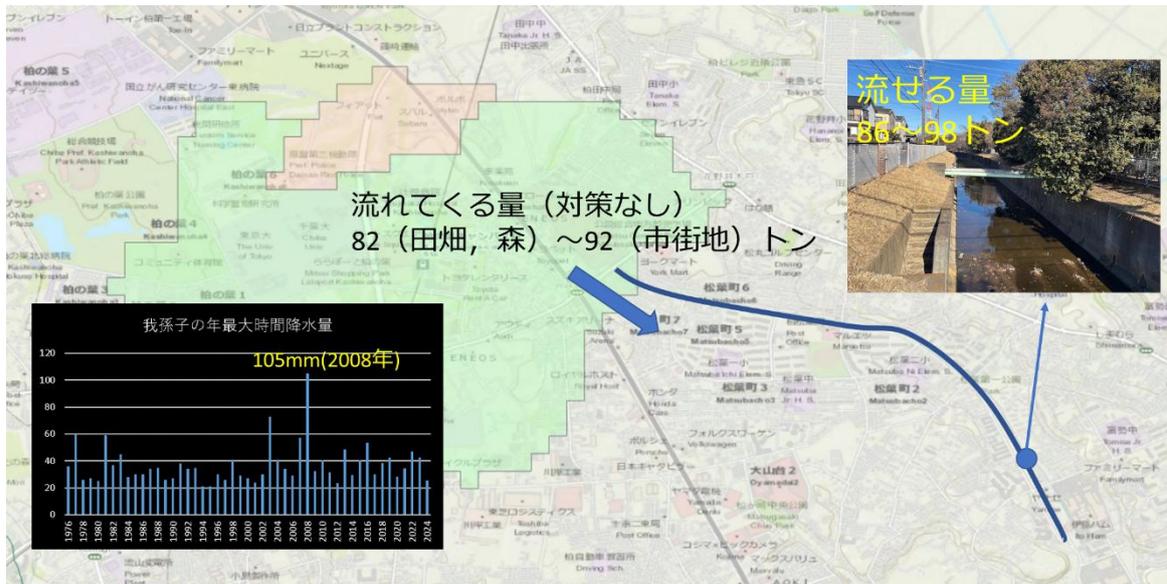
この、雨水管により3つの調整池は連結しており、水質や生物相にも少なからず影響を与えていると考えられる。

ここでは、アクアテラスを含む柏の葉の調整池群が下流の治水にどの程度、寄与しているのか算出する。

まず、下流の検証地点として地金堀の最下流部の流下能力を算定する。単純団面であるので算定には、Manning の式を用いた。必要な断面積、勾配などは現地で実測した。その結果、流下能力は毎秒 $86\sim 98\text{m}^3$ と推定された。

次に、流出量を算定する。算定には合理式を用いて、流域面積は排水計画図を基に上流域などは ArcGIS により算定した。対象雨量は過去のアメダス（我孫子）の最大1時間雨量である 105mm (2008年)を用いた。その結果、流域が田畑の場合は、毎秒 86m^3 と市街地の場合は毎秒 92m^3 となった。

よって、流下能力と既往最大流出量はほぼ同等であると推定された。柏市の排水計画図によれば1号調整池で毎秒 6.614 トン (1/50の雨) の流量を低減することが出来るとされており、その場合、流出量は約 $80\sim 85\text{m}^3$ に低減し、地金堀の流下能力内に収まる可能性が高くなる。



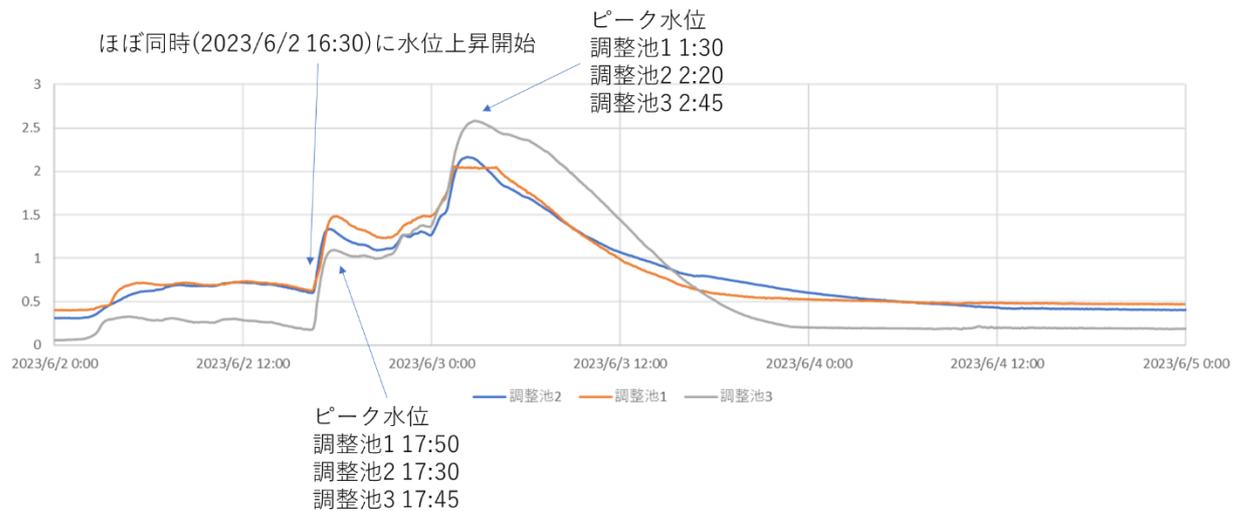
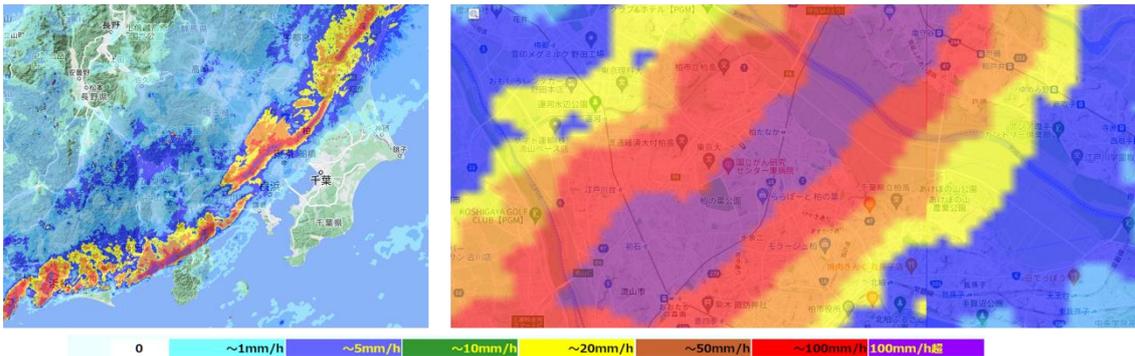
次に、3つの調整池の豪雨時の水位変化特性を調べた。

本研究期間内に大きな豪雨は生じなかったため、過去の豪雨時の観測結果を元に説明する。対象とした豪雨は、2023年6月2日に生じたものである。

水位は3つの調整池に設置した水位計で測定した。

水位上昇は同時に生じるがピークの時刻は3つの調整池で異なっていることが分かる。

2023/06/02 16:27



(2) 生物

3つの調整池で直接採取による生物種の調査を行った。

調査日時 2024.12.06 10:30 - 16:30 (参考データ 2022年5月26日)
調査地 1号調整池, 2号調整池 (アクアテラス), 3号調整池
調査方法 タモ網による採取 (各所10分)

北部中央1号調整池



見かけた鳥たち

- ・カルガモ
- ・カワウ
- ・ヒドリガモ
- ・コサギ
- ・ダイサギ
- ・オカヨシガモ?
- ・スズガモ
- ・ハシブトカラス



柏の葉2号調整池アクアテラス



※フナは一部リリース



・ミシシippiaアカミミガメ♂
(条件付特定外来生物)



- 見かけた鳥たち
- ・ヒドリガモ
 - ・カルガモ
 - ・バン
 - ・オオバン
 - ・ムクドリ
 - ・ヒメアマツバメ



塩ビ管がトラップになっていた…

北部中央3号調整池



- ・11/16に草が刈られていた
- ・①では何も捕獲できず…
- ・メダカはラグビー校沿いの溝の中に多くいた

採集日	採集場所	メダカ	モツゴ	フナ	タモロコ	ヨシノボリ	その他魚類	カメ	エビ類	ザリガニ	ヤゴ	カゲロウ	マツモムシ/ミズムシ	アカムシ	その他昆虫類	ヨコエビ	タニシ	その他貝類	
2022/5/26	第一	4								6	5		3	7		2			27
		種数：6																	
2022/5/26	アクア	3				3			65			1			1			1	74
2024/12/6	第一①								4										4
2024/12/6	第一②		20	9		3			21		2						1		56
2024/12/6	第一③								5								1		6
		種数：6																	
2024/12/6	アクア①		4						10								3		17
2024/12/6	アクア①入口		8	47	9				11										75
2024/12/6	アクア②		3			1	1	1	4								2		12
2024/12/6	アクア③		6						15								1		22
		種数：11																	
2024/12/6	アクア④		11						34		7						1	2	55
2024/12/6	アクア⑤	6	5	2					43		2						3		61
2024/12/6	第三②	8							5		1		1					6	21
		種数：5																	
																			242

初夏および冬期の調査において、2号調整池（アクアテラス）では1号調整池と同等、あるいはそれ以上の種数および個体数の水生生物が検出された。一方、3号調整池では1号・2号調整池と比較して検出種数および個体数が少なく、生息環境の違いが影響している可能性が示唆された（草刈り前の調査結果も併せて検証する必要がある）。

また、1号・2号調整池内においては、地点ごとに検出される水生生物種が異なり、同一の池内にも多様な生息環境が共存していることが明らかとなった。加えて、観察された鳥類の種数は2号調整池よりも1号調整池で多く記録され、餌場や休息地としての利用状況を長期的にフォローすることで、より詳細な生息地利用パターンが把握できると考えられる。

さらに、トラップなどの採集手法を用いることで、大型魚類の検出も可能であることが示されたが、広範な分類群を対象に生物種を同定することには依然として困難が伴う。これらの結果は、各調整池が有する多機能性評価および維持管理方針の策定に向けた基礎資料となる。

(3) 環境 DNA

調査日時 2024.12.06 10:30 - 16:30

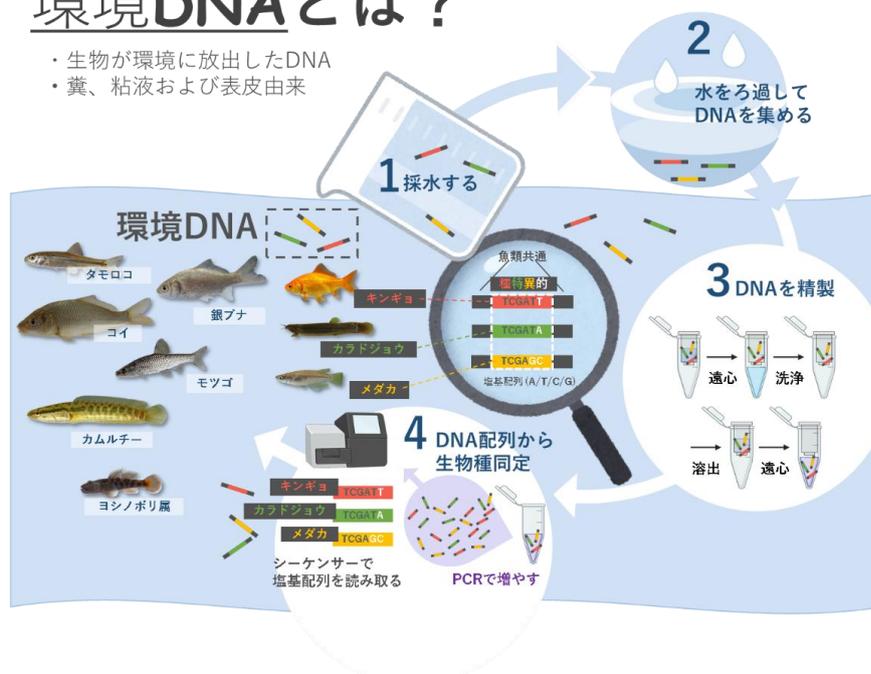
調査地 1号調整池, 2号調整池(アクアテラス), 3号調整池

調査方法 水試料から抽出した環境 DNA の分析

本研究では、生物種の実地調査に加えて、環境 DNA (eDNA) 分析による生物調査を実施した。環境 DNA 分析とは、生物が環境中に放出する微量な DNA を採取し、PCR 法によって増幅した後、その塩基配列の類似性に基づいて、存在する生物種を推定する手法である(下図参照)。環境 DNA 分析は感度が非常に高く、視認や捕獲が困難な生物(夜行性、水生、希少種など)を調査する際や、生物を捕獲せず非侵襲的に調査を行いたい場合(保護区、絶滅危惧種など)、あるいは広範囲にわたる多種の生物を効率的に把握したい場合に有効である。一方で、得られるのは DNA 配列に関する情報のみであるため、生物の状態(生死、性別、年齢、健康状態など)を把握することはできない。また、環境 DNA 分析で得られる配列量は相対的な存在量に基づくものであり、個体数やバイオマスなどの絶対量を直接示すものではない。そのため、分析結果の解釈には慎重を要する。

環境DNAとは？

- ・生物が環境に放出したDNA
- ・糞、粘液および表皮由来



本解析では、1号池調整池から3地点、2号調整池(アクアテラス)から5地点、3号池から2地点の、計10地点の水サンプルを採取した。各サンプルはフィルターろ過によって脱水処理を行った後、DNAを抽出し、次世代シーケンサーを用いた環境DNAメタバーコーディング解析を実施した。環境DNAの分析

では、試料中に含まれる生物種を特異的に検出するためのプライマーを用いてPCRを行うことで、生物種を同定する。今回は、魚類、鳥類、哺乳類、甲殻類、昆虫類に対応した5種類のプライマーを用いて、それぞれの分類群の検出を行った。各分類群における検出結果として、検出された生物種（和名）および配列数（Log₂変換値）を示す。得られた配列は99%の塩基配列類似度でクラスター化し、99%未満の類似度で同一種と推定される配列が複数存在した場合には、(1) (2) などの番号を付して区別した。

1, 魚類の分析

魚類について、下記の論文で報告されたMitFishプライマーを用いて検出を行った。

Miya, M., Sato, Y., Fukunaga, T., Sado, T., Poulsen, J. Y., Sato, K., Minamoto, T., Yamamoto, S., Yamanaka, H., Araki, H., Kondoh, M., & Iwasaki, W. (2015). MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: Detection of more than 230 subtropical marine species. *Royal Society Open Science*, 2(7), 150088. <https://doi.org/10.1098/rsos.150088JST+13>

ギンブナやコイ交雑種、ヨシノボリ、モツゴ、メダカ、ドジョウなどの多様な魚類が検出された（下表）。検出された魚類の種数について、1号池および2号池については大きな違いは見られなかったが、3号池では検出された魚類の種数が少なくなっていた。3号池は1および2号池よりも上流に位置しており、植生が少なく、水深も浅い。このような環境要因によって3号池への特定の魚類の進出が難しくなっている可能性が考えられた。また、下表には示していないが、外来種であるライギョの配列もわずかに検出されており、在来種への影響が懸念された。

	1号池			2号池 (アクアテラス)					3号池	
	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2
ギンブナ (1)	14.7	13.3	13.7	12.6	13.6	13.0	11.8	12.0	7.9	0.0
キンギョxコイ	0.0	4.4	9.9	12.6	11.0	10.8	10.2	8.7	0.0	0.0
ヨシノボリ	10.4	10.2	10.6	11.7	10.3	8.9	8.3	7.5	7.1	0.0
モツゴ	9.6	8.4	9.6	9.3	11.8	10.7	10.2	9.2	0.0	1.0
メダカ	9.6	8.8	9.4	6.4	8.6	5.6	6.9	3.2	12.4	8.5
ギンブナ (2)	6.0	0.0	7.7	11.3	11.6	10.3	9.3	8.8	0.0	0.0
コイ(1)	10.9	10.0	9.5	0.0	9.3	9.2	8.1	6.9	0.0	0.0
ドジョウxフタマタドジョウ	8.3	7.7	8.6	0.0	0.0	4.2	4.3	4.0	11.6	0.0
ギンブナ (3)	5.1	0.0	5.8	10.2	9.4	9.9	8.5	5.1	0.0	0.0
コイ(2)	9.5	7.3	7.8	6.5	9.8	9.6	7.9	7.3	0.0	0.0

2, 鳥類の分析

鳥類について、下記の論文で報告された MiBird プライマーを用いて検出を行った。

Ushio, M., Murata, K., Sado, T., Nishiumi, I., Takeshita, M., Iwasaki, W., & Miya, M. (2018). Demonstration of the potential of environmental DNA as a tool for the detection of avian species. *Scientific Reports*, 8(1), 4493. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22817-5>CoLab

オオバン、ツクシガモ、ヒドリ、コガモ、バン、ハシビロガモ、カワウ、ニワトリ、ドバトなどの鳥類が検出された（下表）。オオバンやバンは2号池のみに存在していることから、2号調整池（アクアテラス）の整備により、特定の鳥類が集まりやすくなることを示している（下表の水色線枠）。一方で、カモやヒドリについてはこのような分布の違いは見られなかった（下表の赤色線枠）。このような分布を生じた原因は明らかでないが、鳥類の餌になるような植物の違いが要因となっている可能性がある。また、アメリカヒドリは観察されていないことから、ヒドリなどの在来種の配列と区別が、今回使用したプライマーでは困難である可能性を示唆している。また、ニワトリについては周囲の畑等で使用した鶏糞肥料に由来する DNA である可能性が高い。

	1号池			2号池（アクアテラス）					3号池	
オオバン	0.0	3.0	0.0	10.8	13.7	15.3	11.3	9.2	0.0	0.0
ツクシガモ	10.6	14.9	11.8	11.1	10.0	11.1	9.2	7.9	11.7	5.5
アメリカヒドリ	13.3	8.9	10.9	10.2	6.2	11.7	6.7	6.3	0.0	0.0
コガモ	9.9	5.7	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	12.3	0.0
バン	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	11.6	7.9	6.1	0.0	0.0
ハシビロガモ	11.4	6.4	8.2	0.0	6.3	8.7	0.0	0.0	7.2	0.0
カワウ	10.0	6.6	7.7	0.0	0.0	10.3	5.4	5.2	0.0	0.0
ニワトリ	3.3	4.0	6.5	0.0	0.0	10.3	0.0	3.7	0.0	0.0
ドバト	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

3, 哺乳類の分析

哺乳類について、下記の論文で報告された MiMammal プライマーを用いて検出を行った。

Ushio, M., Fukuda, H., Inoue, T., Kobayashi, M., Kishida, O., Sato, K., Murata, K., Nikaido, M., Sado, T., Sato, Y., Takeshita, M., Iwasaki, W., Yamanaka, H., Kondoh, M., & Miya, M. (2017). Environmental DNA enables detection of terrestrial mammals from forest pond water. *Molecular Ecology Resources*, 17(6), e63–e75. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12690> [Tohoku University+1PubMed+1](#)

最も多く検出された配列はヒトであり、加えてアライグマ、イノシシ、シカ、ウシなどの DNA も検出された。（下表）。アライグマおよびイノシシについては柏市内での報告例がある。シカについては、千葉県で特定外来生物として指定されているキョン（シカ科）を検出している可能性もある。ウシについては周囲の畑等で使用した牛糞肥料に由来する DNA である可能性が高い。

	1号池			2号池（アクアテラス）					3号池	
ヒト (1)	12.1	11.2	10.6	8.2	9.2	7.7	7.5	11.0	9.9	6.8
アライグマ	7.3	7.3	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
台湾イノシシ	7.8	5.3	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ヒト (2)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8
ヒト (3)	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ホンシュウジカ	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ウシ	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4, 甲殻類の分析

甲殻類について、下記の論文で報告された MiDeca プライマーを用いて検出を行った。

Yamamoto, S., Masuda, R., Sato, Y., Sado, T., Araki, H., Kondoh, M., & Miya, M. (2019). Development of a new set of PCR primers for eDNA metabarcoding decapod crustaceans. *Metabarcoding and Metagenomics*, 3, e33835. <https://doi.org/10.3897/mbmg.3.33835>

ヌマエビとアメリカザリガニが検出された（下表）。

	1号池			2号池 (アクアテラス)					3号池	
ミナミヌマエビ (1)	11.9	11.0	12.1	12.8	15.6	13.8	15.3	14.2	10.6	0.0
アメリカザリガニ (1)	11.5	10.8	10.6	13.3	12.9	12.3	12.8	13.7	0.0	0.0
ミナミヌマエビ (2)	9.7	0.0	10.8	0.0	10.5	12.2	0.0	12.3	0.0	0.0
アメリカザリガニ (2)	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

5, 昆虫類の分析

昆虫類について、下記の論文で報告された MtInsects プライマーを用いて検出を行った。

Takenaka, M., Yano, K., Suzuki, T., & Tojo, K. (2023). Development of novel PCR primer sets for DNA barcoding of aquatic insects, and the discovery of some cryptic species. *Limnology*, 24(2), 121–136. <https://doi.org/10.1007/s10201-022-00710-5>

トビケラやトンボ、カメムシなど多様な昆虫が検出された（下表）。コガタシマトビケラやキブネミヤマシマトビケラが1～3号池に分布していた。3号池については特定の箇所でも多くの昆虫が検出されていた。

	1号池			2号池 (アクアテラス)					3号池	
コガタシマトビケラ	0.0	7.9	0.0	13.4	12.9	9.5	9.0	4.6	0.0	0.0
シオカラトンボ	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	12.8	0.0
ハネナガイナゴ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3	0.0
キブネミヤマシマトビケラ	0.0	12.0	1.6	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	7.5	0.0
マルカメムシ	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0	9.5	0.0
クロスジギンヤンマ	0.0	0.0	7.5	0.0	6.4	0.0	0.0	6.1	8.7	0.0
コオイムシ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	0.0
ウスバキトンボ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	0.0
キブネミヤマシマトビケラ	3.5	1.0	6.9	3.2	4.4	4.0	3.3	0.0	7.7	0.0
キイロヒラタガムシ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0
クロチビズムシ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0
キブネミヤマシマトビケラ	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
コバネイナゴ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0
クビキリギス	5.7	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ショウジョウトンボ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0
クロイトトンボ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0
オオカマキリ	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
コカマキリ	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

6, 生物調査との比較

環境 DNA 分析では多様な生物種が検出されるが、それらが実際に捕獲調査で確認された生物種と一致しているかを検証した例は多くない。今回の環境 DNA 分析で検出された生物種は、捕獲調査の結果とよく一致しており、環境 DNA 分析による結果は妥当であると考えられた。

(4) 水質分析

調査日時

2024. 12. 06 10:30 - 16:30 (参考データ 2022年5月26日)

調査地

1号調整池, 2号調整池(アクアテラス), 3号調整池の下図の位置

調査方法

各サンプルについて、フィルタリングして固形分を除いた後、イオンクロマトグラフを用いて無機イオン濃度を測定した。

本調査は、2024年12月6日の10時30分から16時30分にかけて、千葉県柏市に位置する1号調整池, 2号調整池(アクアテラス), および3号調整池に置いて実施した。それぞれの採水地点は下図に示す通りである。また、参考データとして2022年5月26日に取得した水質データも併用した。

水質分析にあたっては、各調整池から採取した水サンプルを用いた。まず、サンプル中の懸濁固形分を除去するため、孔径0.20 μmのメンブレンフィルタを用いてろ過処理を行った。その後、ろ過済みサンプルについて、Metrohm社製イオンクロマトグラフ(ECO-IC, 陰イオンカラム: Metrosep A Supp 5 250/4.0, 陽イオンカラム: Metrosep C6-150/4.0)を用いて、主要な無機イオン濃度(mg L⁻¹; Br⁻, Cl⁻, F⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺, NH₄⁺)を測定した。

また、柏の葉アクアテラスではヒシ(*Trapa jeholensis*)が繁茂し、景観、維持費用に問題となっている。ヒシは、湖沼や緩やかな流れのある河川に生育する代表的な浮葉植物である。その葉は水面に浮かび、下部の茎は水中に垂下して光合成を効率的に行う構造を有している。果実は硬い殻に覆われ、外観は栗に類似することから和名に「ヒシグリ」とも呼ばれ、その実は淡い甘みとほのかな渋みを併せ持ち、古くから食用や漢方薬として利用されてきた記録がある。このようにヒシは、生態学的な役割にとどまらず、人為的・文化的利用の観点からも長い間人間社会と深く結びついてきた植物である。

ヒシはその旺盛な成長力ゆえに、水域における生物群集や水質に大きな影響を及ぼす。まず、生育期には水面を広く覆うことで水温上昇や藻類の過剰発生を抑制し、葉や茎の表面が小型無脊椎動物や魚類の隠れ家・産卵場として機能することで生物多様性の向上に寄与する。一方、枯死した茎葉が水底に堆積すると、有機物分解過程で溶存酸素が消費され、逆に嫌気状態を助長して水質悪化

を招く恐れがある。このため、過剰繁茂したヒシの適切な収穫は、水域の富栄養化緩和につながる有効な管理手段とされるだけでなく、回収した生物量をバイオマスエネルギー源として活用する可能性も示唆されている。したがって、ヒシの生育・除去を含む総合的なモニタリングと管理は、都市湖沼や調整池など人工的水域の健全な維持に不可欠である。

そこで、調整池の水質に影響を及ぼしうるヒシの基礎的知見を蓄積するため、ヒシの光合成速度、メタン発酵を行った場合のメタンガス回収量について調べた。光合成速度は植物体ヒシの基本的特性を明らかにできる他、成長能力や栄養塩吸収能力の指標として利用できる可能性がある。メタンガス回収量は、化石燃料代替としてのバイオマスエネルギーの指標として利用できる可能性がある。

光合成速度 2024年10月に府大池で採取したヒシを対象として、携帯型ガス交換測定装置 (Li-6800, LI-COR) を用いて光合成曲線を測定した。測定環境は相対湿度 60%, 気温 28°C, CO₂濃度 400 μmol mol⁻¹, PPFD0, 150, 300, 600, 800, 1000, 1500 μmol m⁻² s⁻¹とした。測定は同一個体の3枚の葉を対象として行った。

メタン発酵速度 ヒシ植物体を葉と茎, 根に, 堅果を胚乳と果皮に分けて, 乾燥させた後粉末状にして投入基質とした。実験は回分式とし, 100 mL容積のバイアル瓶に基質を乾物重 0.5 g, メタン発酵消化液を 50 mL投入して行った。実験は中温メタン発酵の至適温度である 38°C (Mao et al, 2015) に維持したインキュベータ内で行った。各基質のサンプル数は3とした。



水生植物 ヒシ



長野県・岡谷ライオンズクラブより引用



毎日新聞より引用

柏市北部整備課
 @kashiwa_hokubu

8月22日に、アクアテラスのヒシ清掃を行いました！

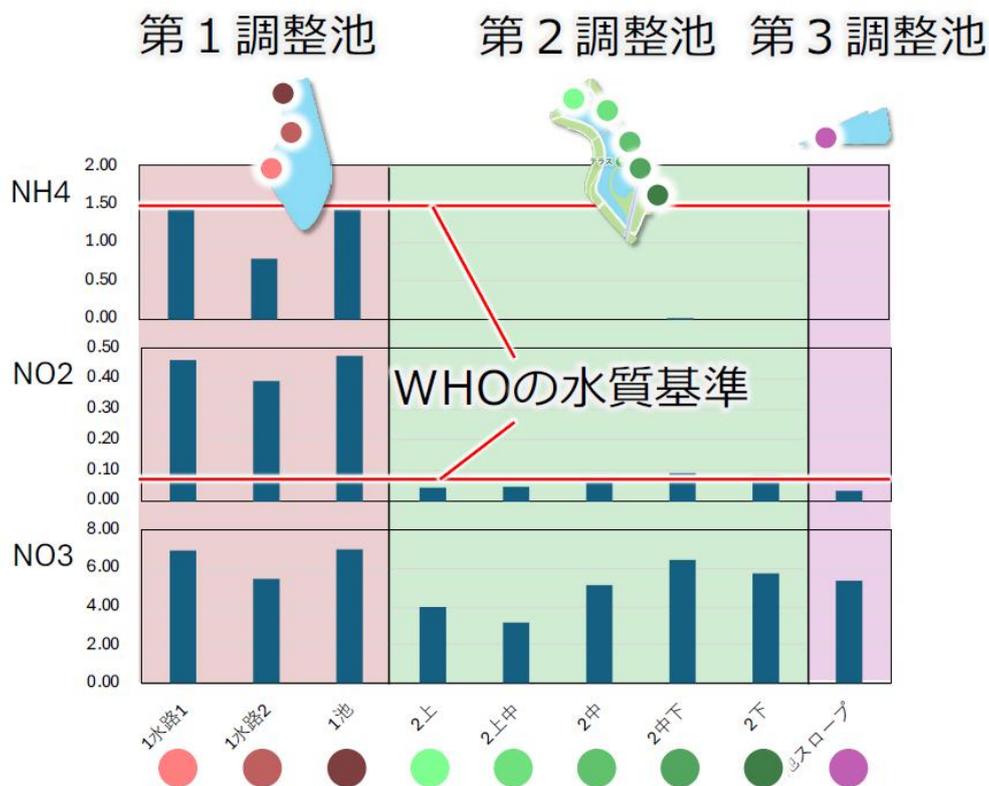
「ヒシ」とは、池や沼に自生する水草で、春になると水底に沈んだ種子から発芽し、水面に広がり繁殖します。アクアテラスの環境を守るために、近隣住民などの多くの有志の皆さまのご協力をいただき、「ヒシ」を回収しました！🌿

#柏の葉 #柏市役所

午後3:00 · 2024年9月3日 · 5,637 件の表示

調整池の水質 全体的に、第一調整池の無機イオン濃度は他よりも高い傾向があった。特に、アンモニウム態窒素ならびに亜硝酸態窒素濃度は第一調整池でWHOの基準と同程度あるいは高い結果となった。窒素濃度が高くなった原因については明らかにできていないが、サンプル採取時に第1調整池は他に比べて水に浸かった植物枯死体の存在量が多く、また、水の淀みが多い傾向があった。これらのことが高い溶存窒素濃度ならびに硝化反応進行の阻害に寄与した可能性がある。他方、代表的なもう一つの富栄養化物質であるリン酸態リンの濃度はいずれの調整池でも高くなく、ほとんどが測器の測定限界未満であった。ただし第2調整池の一部では他に比べると高濃度の高いところがあった。

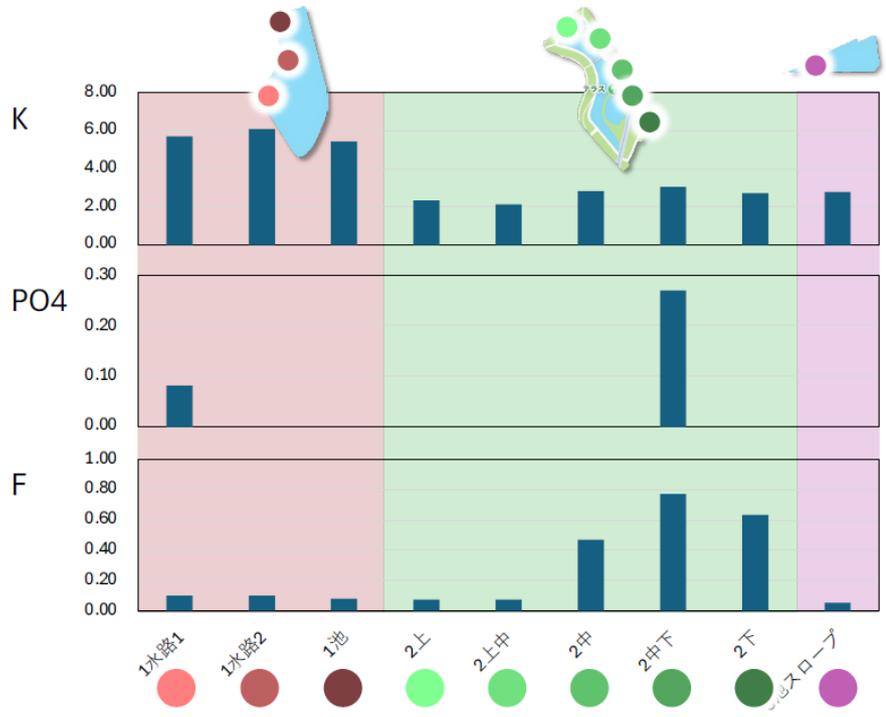
無機イオンの項目によっては調整池毎に大きく濃度が異なるものがあることがわかった。今後、調整池への水の流入ならびに滞留する水に対する時空間分布の特性や濃度変化のメカニズムを調べていくことが重要であると考えられる。



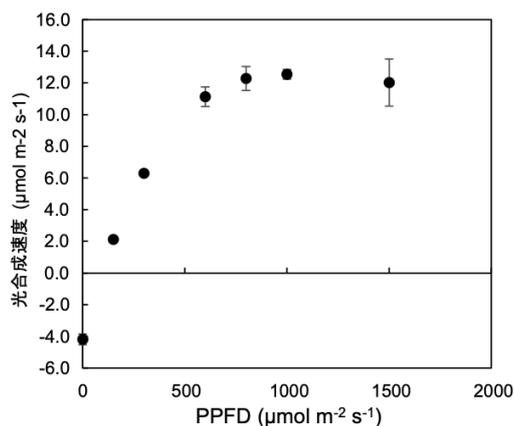
第1調整池

第2調整池

第3調整池



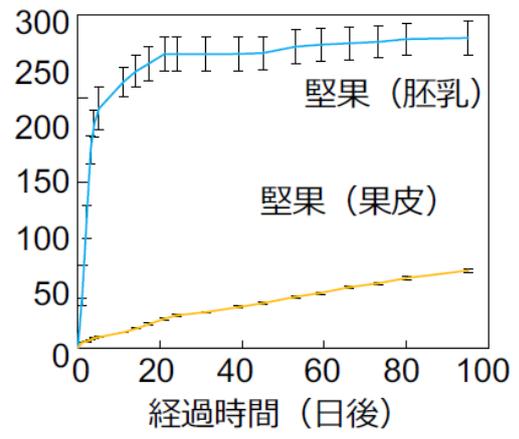
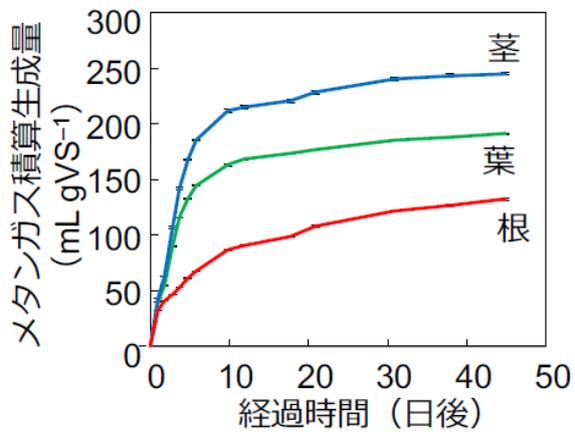
ヒシの光合成速度 ヒシの光補償点は $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度あり，飽和光合成有効光量子束密度は $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と，陽生植物としての性質を持つことがわかった．他方，最大光合成速度は $12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度であり，陸生の陽生植物に比べると高くはなかった．これは，陰のない環境で生育すること，一方で葉の背軸面が水と接しており，ガス交換が抑制されている事が一因であると考えられた．今後，さまざまな環境条件におけるヒシの光合成速度を明らかにすることで，調整池でのヒシ増殖速度やヒシの栄養塩吸収速度（=水質変化速度）の推定モデル構築に寄与できると期待できる．



光強度（光合成有効光量子束密度）がヒシ光合成速度に及ぼす影響

ヒシのメタン発酵速度

ヒシの有機物 1g あたりから得られる葉・茎・根のメタン生成量は茎が一番大きく，葉，根が続いた．堅果の胚乳・果皮のメタン生成量は胚乳で大きく，胚乳は部位全体でメタン生成量も生成速度も最大であった．果皮は部位全体でメタン生成量も生成速度も最小であった．胚乳の主成分は易分解性炭水化物のデンプンであり，他の難分解性物質の含有量が少ないため，分解が容易であったと考えられる．他方，果皮は難分解性の繊維分の割合が多いことが，分解性が低くなった要因である．ヒシの堅果を効果的に微生物分解してエネルギーを得るには，砕くなどして胚乳に微生物がアクセスしやすくなるための前処理が有効と考えられる．以上のように，ヒシはバイオマスエネルギーとして利用しうる可能性を有していることが明らかとなった．今後，他の水草との成長速度やメタン回収特性などを比べることで，ヒシのエネルギー作物としての有用性が明らかにできると期待できる．加えて，ヒシ分解産物の肥料としての有用性も，地域資源循環や持続的食料生産の観点から明らかにすることが重要である．



4 アンケート調査

(1) はじめに

都市の水辺空間は、従来、治水や利水の観点から整備されてきたが、近年は、都市の魅力を高める親水空間としての役割にも注目が集まっている。世界的にウォーターフロント開発が都市再生に活用され、日本でも同様の動きが進んでいる。また、頻発する豪雨災害への対応としてグリーンインフラの考え方が広がり、治水機能と都市環境向上を両立する空間として期待されている。加えて、生態系ネットワークの結節点としての役割も期待されている。

こうした背景を踏まえ、本研究では、都市内において洪水調整機能を目的に整備される調整池に焦点を当てる。調整池は、農村部のため池や都市河川に比べて新たに計画・整備される余地が大きく、都市空間の中でより柔軟かつ多面的な活用が可能な水辺空間である。実際にアクアテラスでは、洪水調整という本来の機能に加えて、都市住民の憩いの場、自然とのふれあいの場、景観を楽しむ場として、多様な生活・文化的役割を果たしている。

水辺空間に関する既往研究には、河川やため池を中心として多面的な評価や利用実態の把握が進められてきた。しかし、20世紀後半以降に主として治水目的で整備されてきた都市内の調整池については、都市の生活空間として位置付けられながらも、その社会的・文化的価値に関する評価や研究が十分に蓄積されていない。

ここで、親水機能という概念は1970年代に提唱され、景観や心理的価値、レクリエーションなどを含む幅広い水辺空間の価値を示すものとして用いられてきた。しかし近年の都市では、散策や休憩、交流、学習など多様な利用が進み、従来の親水機能では捉えきれない新たな価値が現れている。そこで本研究では、都市内の調整池を人工的な都市生態系と位置付け、ミレニアム生態系評価(MA)で提唱された生態系サービスの枠組みに基づいて機能を整理する。具体

的には、利水機能は供給サービス、治水機能は調整サービス、生態系保全機能は基盤サービスとし、住民の主観的な評価や地域文化との関わりは文化的サービスに対応させる。本研究では、この文化的サービスに着目し、調整池が住民の生活の質を高めたり、地域の文化やつながりを形成したりする役割を「生活・文化機能」として再定義する。

アンケート調査では、都市における調整池であるアクアテラスが都市住民にとってどのような生活・文化的価値を有するかを明らかにする。

(2) 研究手法

柏の葉キャンパス駅周辺の1～3号池を対象に、住民の利用実態と調整池に対する意識についてアンケート調査を実施した(表-1)。2024年8月から9月にかけて、駅周辺の4町を対象に、UDCKの協力のもと、各戸に計7,820部の調査依頼カードをポストイングした。回答はカード記載のURLまたはQRコードを通じたウェブ形式で回収し、有効回収数は464件、回収率5.9%である。

アンケート内容は、1～3号池の評価、アクアテラスの利用状況などで構成される(表-1)。アクアテラスが有する生活・文化機能を抽出するために用いる、調整池について「感じること」とアクアテラスの「利用方法」の選択肢については、水辺環境の住民評価や望まれる空間整備の要素に関する先行研究を参照し、UDCKおよび柏市河川排水課との協議を経て作成した。

表-1 調査概要

調査名	柏の葉キャンパス駅周辺の調整池に関するアンケート調査
期間	2024年8月3日から9月30日
対象	千葉県柏市正蓮寺、若柴、柏の葉1～6丁目、十余二 7,820件(高層マンション3,500件、その他の住宅4,320件)
方法	URL/QRコード記載のポストカードをポストイング、Webにて回収
有効回答	464件(回収率5.9%)

表-2 アンケート調査項目

調査項目	詳細
1～3号調整池の評価	魅力度／愛着度／必要性(防災・日常生活面)／感じること
アクアテラスの利用状況	利用経験の有無／利用頻度／利用目的／誰と利用するか／滞在時間／利用方法
回答者属性	年齢／性別／職業／家族構成／居住地／居住歴／職場の所在地／職歴／調整池の認知状況(機能・役割)／アクアテラスの認知状況／交通手段／どこから行くか／所要時間
自由記述	各調整池について／調整池全般について

(3) 調整池の認知・利用状況と評価

<回答者属性>

アンケート結果(表-3)から、回答者の性別は男性が約 60.0%、女性が約 40.0%であった。年齢分布では、40代が最も多く全体の 25.0%以上を占め、次いで 30代と 50代の割合が高かった。居住開始時期については、2010年以降 2019年以前が半数以上を占めている。また、アクアテラスまでの所要時間は「5分未満」が 40.0%、「5分から 15分」が 57.5%であり、回答者の大多数が 15分圏内に居住している。

4.2 1～3号池に対する住民の評価と認識

表-4は、1～3号池に対する住民の評価を示している。評価項目は「魅力」「愛着」「防災上の必要性」「生活上の必要性」の4つであり、それぞれについて住民の回答を集計し、各調整池間の評価の違いを統計的に検証した。各調整池の評価の違いは、同一回答者による比較に適したフリードマン検定で検証し、有意差が見られた項目については Nemenyi 検定で池間の差を確認した。分析には Python ライブラリ (scipy.stats, scikit-posthocs) を使用した。

魅力と愛着の評価では、アクアテラスに対し「とても感じる」「やや感じる」が 90.0%以上にのぼり、圧倒的に高い評価が示された。一方、1号池・3号池では「あまり感じない」「全く感じない」が過半数を占め、評価が低かった。防災上の必要性については、すべての調整池で「とても思う」「やや思う」が 80.0%以上と高く、住民全体として調整池の防災機能を重視していることが分かる。中でもアクアテラスは 96.3%と最も高い評価を得た。生活上の必要性に関しては、アクアテラスに対し「とても思う」「やや思う」が 95.0%以上と非常に高かったのに対し、1号池・3号池では「あまり思わない」「全く思わない」が過半数を占め、日常生活との結びつきが弱いことが示された。

フリードマン検定の結果、すべての評価項目について調整池間で統計的に有

意な差が認められた ($p < 0.001$)。その後のNemenyi検定では、魅力と生活上の必要性について、すべての調整池間で有意差が認められ ($p < 0.05$)、調整池ごとの評価に明確な違いがあることが示された。一方で、愛着では1号池と3号池の間 ($p = 0.99$) に、また防災上の必要性では1号池とアクアテラスの間 ($p = 0.07$) に、有意差は見られなかった。以上から、1号池と3号池との間では、愛着においては差が見られないものの、魅力や必要性については評価の差が見られた。

また、調整池に対して感じることについての調査(図-2)では、1号池では「自然豊かである」、3号池では「人工的である」が最も多く挙げられたものの、いずれも「何も感じない」と回答した割合が30.0%以上を占めた。これに対し、アクアテラスに関しては「水辺を近くに感じる」「風景や景観がよい」など、住民の印象が多様かつ肯定的であり、生活や感覚に密接に関わっていることがうかがえる。

表-3 回答者の属性

性別	男性	60.0%	年齢	20歳未満	0.4%
	女性	39.5%		20代	3.0%
	回答しない	0.5%		30代	18.6%
居住開始年	1999年以前	0.4%	40代	26.8%	
	2000年以降2009年以前	15.6%	50代	17.7%	
	2010年以降2019年以前	53.1%	60代	16.4%	
	2020年以降	30.9%	70代	14.5%	
アクアテラスへの所要時間	5分未満	40.0%	80代以上	2.4%	
	5分から15分	57.5%	回答しない	0.2%	
	15分から30分	2.4%			
	30分以上	0.1%			

表-4 1~3号調整池の評価

項目	対象	評価				フリードマン検定		Nemenyi検定		
		とても感じる	やや感じる	あまり感じない	全く感じない	カイニ乗値	p値	1号池	アクアテラス	3号池
魅力	1号調整池	11.3%	22.9%	43.3%	22.6%	413.82	< 0.001	1.00	0.00	0.04
	アクアテラス	61.7%	35.0%	3.1%	0.2%			0.00	1.00	0.00
	3号調整池	5.4%	11.4%	46.7%	36.5%			0.04	0.00	1.00
愛着	1号調整池	6.3%	18.8%	45.8%	29.2%	432.15	< 0.001	1.00	0.00	0.99
	アクアテラス	60.0%	33.4%	6.2%	0.4%			0.00	1.00	0.00
	3号調整池	6.3%	14.6%	43.3%	35.8%			0.99	0.00	1.00
必要性(防災)	1号調整池	45.5%	41.1%	11.3%	2.2%	192.99	< 0.001	1.00	0.07	0.00
	アクアテラス	69.5%	26.8%	3.7%	0.0%			0.07	1.00	0.00
	3号調整池	40.0%	41.6%	14.3%	4.1%			0.00	0.00	1.00
必要性(生活)	1号調整池	11.3%	30.7%	41.8%	16.2%	609.63	< 0.001	1.00	0.00	0.01
	アクアテラス	71.4%	26.0%	2.2%	0.4%			0.00	1.00	0.00
	3号調整池	8.9%	23.2%	39.6%	28.4%			0.01	0.00	1.00

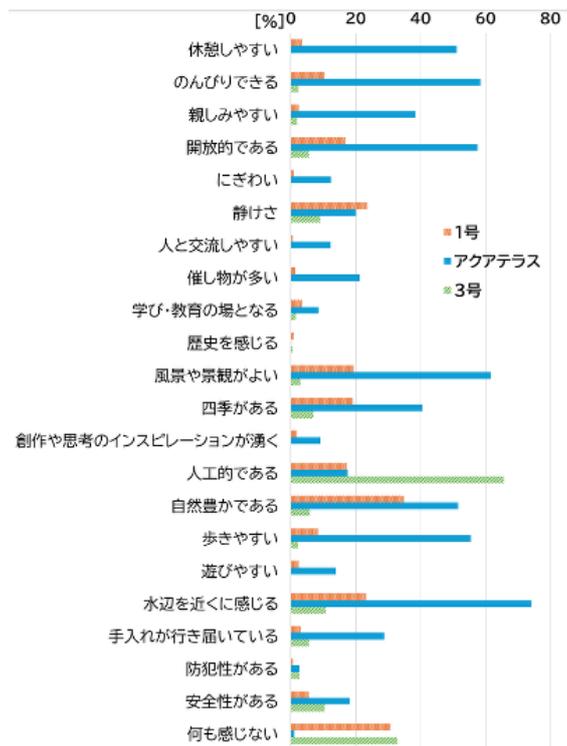


図-2 調整池について感じる事(複数回答可)

表-5 調整池の機能・役割とアクアテラスの認知

	知っている	知らない
調整池の機能と役割の認知	85.2%	14.8%
アクアテラスが調整池であることの認知	85.9%	14.1%

表-6 アクアテラスの利用状況

利用頻度	ほぼ毎日	8.4%	滞在時間	5分未満	20.3%
	週に2~3回程度	20.5%		5分以上10分未満	37.7%
	週に1回程度	34.8%		10分以上30分未満	30.0%
	月に1回程度	27.8%		30分以上	12.1%
	年に数回程度	8.6%			

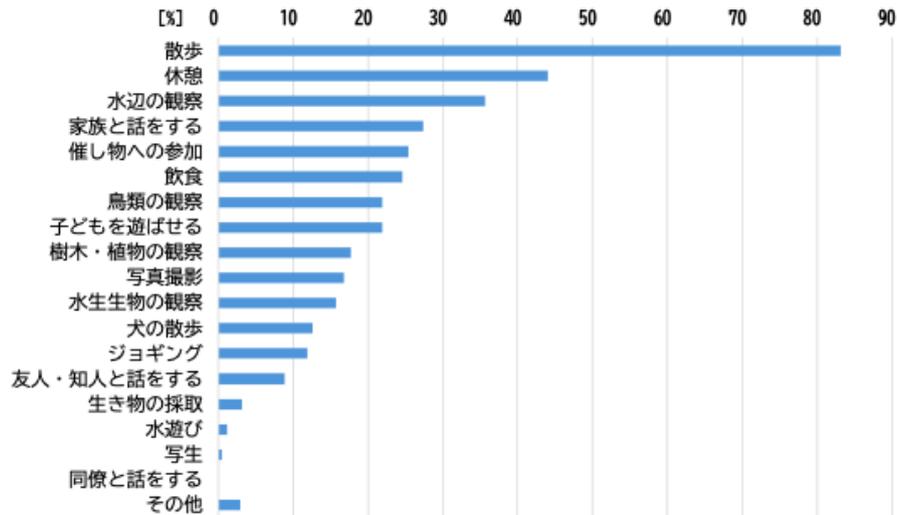


図-3 アクアテラスの利用方法(複数回答可)

(4) アクアテラスの利用実態と認識

表-5 では、調整池一般に関する機能・役割の理解と、アクアテラスが調整池であるという認知状況を示している。調整池の役割(例：洪水調整、雨水貯留など)について「知っている」と回答した住民は 85.2% で、アクアテラスが調整池であることを「知っている」とした住民は 85.9%であり、いずれも 80.0%を超える高い認知率が確認された。

また、表-6 はアクアテラスの利用頻度と滞在時間の傾向を示したものである。利用頻度では、「週に 1 回程度」および「月に 1 回程度」の利用が合わせて 62.6%を占めており、この層が主な利用者層であることが分かる。滞在時間に関しては、「10 分未満」が全体の 58.0%を占め、比較的短時間での利用が主である。一方で、「30 分以上」といった長時間の滞在は 12.1%と限られていた。

さらに、アクアテラスは調整池でありながら池の内部空間に立ち入ることができるため、利用方法についても調査した(図-3)。その結果、「散歩」が最も多く、全体の 80.0%以上を占めた。続いて、「休憩」「水辺の観察」も高い割合を示し、アクアテラスが日常的なリフレッシュや自然とのふれあいの場とし

て活用されていることが明らかとなった。

以上から、アクアテラスは 1 号池・3 号池に比べ、散歩・休憩・水辺の観察といった日常的な活動の場として住民に親しまれていることがわかる。また、「景観がよい」「水辺を近くに感じる」といった主観的な評価も高く、親水空間として好意的に評価されていることが明らかとなった。これらから、アクアテラスは防災機能に加え、都市住民の生活に密着した生活・文化機能を担う空間であるといえる。

(5) アクアテラスが持つ生活・文化機能の抽出

本章では、アクアテラスが持つ生活・文化機能を明らかにするため、数量化Ⅲ類とクラスター分析を用いて、住民の主観的評価や利用方法に基づく機能の構造を分析する。

<数量化Ⅲ類による機能特性の抽出>

アクアテラスに対して住民が「感じること」(図-2 の 21 項目)および「利用方法」(図-3 の 17 項目)の計 38 項目について、数量化Ⅲ類を適用した結果を図-4 に示す。

各項目の配置傾向から、2 つの軸が抽出された。第一軸は、正側に「歴史を感じる」「友人・知人と話をする」「水遊び」など人との交流や体験的な要素が大きい項目が配置され、負側には「写生」「ジョギング」「散歩」など個人的で静かな時間を過ごす活動が並ぶことから、「活動性の軸」と解釈される。また、第二軸は、正側に「歴史を感じる」「樹木・植物の観察」「静けさ」など静寂や自然志向の要素が大きい項目が、負側には「写生」「ジョギング」「散歩」など動的で能動的な要素な要素が配置されており、「自然志向性の軸」と解釈される。

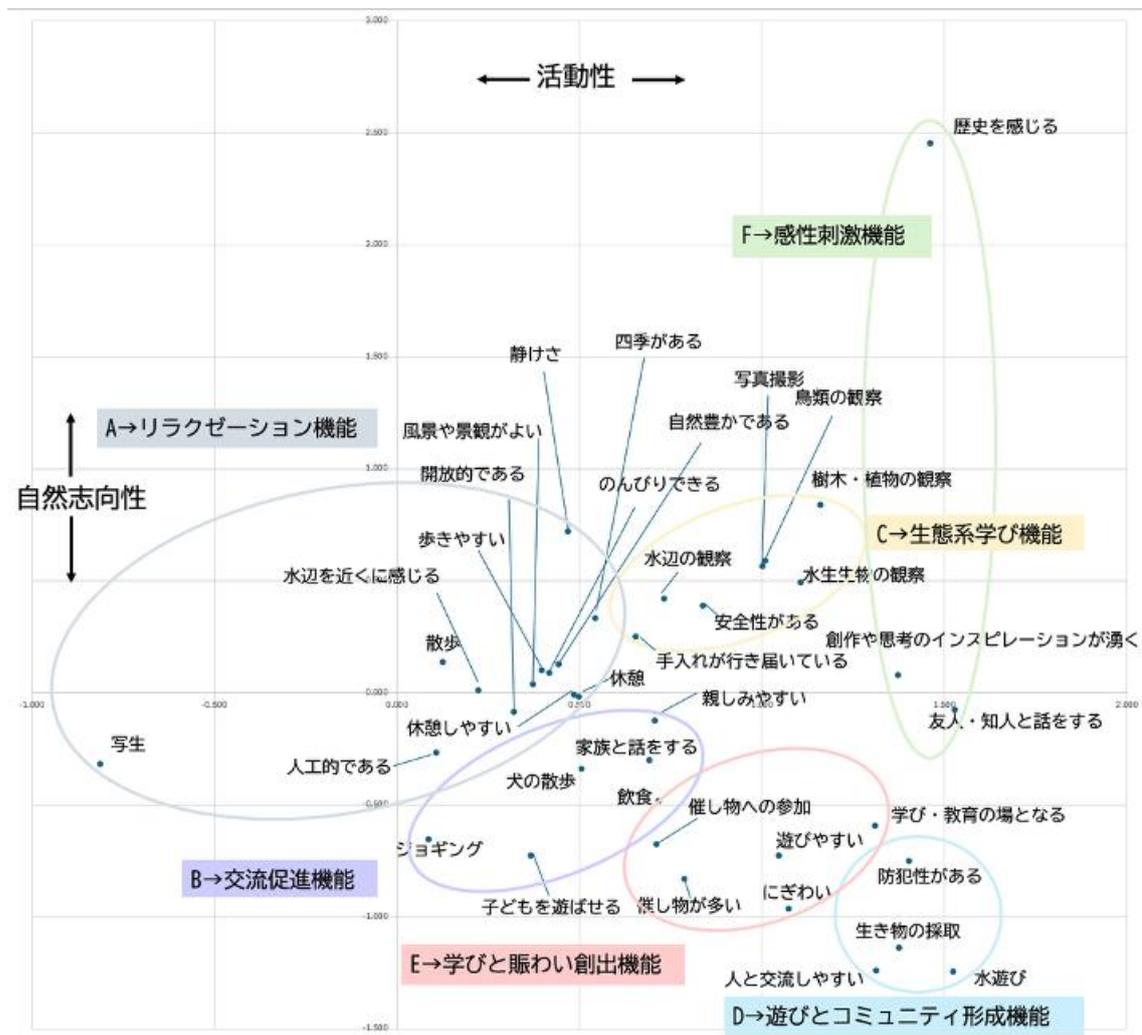


図-4 数量化Ⅲ類の結果

< クラスタ分析による機能の分類 >

第一軸と第二軸のカテゴリスコアを基にクラスタ分析(Ward法)を行った結果、A~Fの6つのクラスターが得られた(表-7)。

A(リラクゼーション機能)：「休憩」「散歩」「開放的である」など、心身を癒やす場としての機能が中心である。

B(交流促進機能)：「子どもを遊ばせる」「家族と話をする」「親しみやすい」など、家族や親しい人との交流を促進する機能が含まれる。

C(生態系学び機能)：「水辺の観察」「水生生物の観察」「鳥類の観察」な

ど、自然環境への理解を深める機能が特徴である。

D(遊びとコミュニティ形成機能)：「生き物の採取」「水遊び」「人と交流しやすい」など、遊びや地域交流の場としての機能が中心である。

E(学びと賑わい創出機能)：「催し物への参加」「にぎわい」「学び・教育の場となる」など、イベントや学習を通じて人々が集い、賑わいを生む機能が見られる。

F(感性刺激機能)：「創作や思考のインスピレーションが湧く」「友人・知人と話をする」「歴史を感じる」など、感性や記憶を喚起する空間としての機能が含まれる。

以上の6つのクラスターは、アクアテラスに内在する多様な生活・文化機能を表しており、調整池が単なる防災インフラを超えて、都市住民の感覚・経験・学び・交流を支える多面的な都市の水辺空間として機能していることを示している。

表-7 クラスター分析による機能の分類

A リラクゼーション機能	休憩 散歩 写生 休憩しやすい のんびりできる 開放的である 静けさ 風景や景観がよい 四季がある 人工的である 自然豊かである 歩きやすい 水辺を近くに感じる	C 生態系 学び機能	水辺の観察 樹木・植物の観察 水生生物の観察 鳥類の観察 写真撮影 手入れが行き届いている 安全性がある
	B 交流促進機能	犬の散歩 ジョギング 飲食 子どもを遊ばせる 家族と話をする 親しみやすい	D 遊びと コミュニ ティ形成 機能
			E 学びと 賑わい創 出機能
		F 感性刺 激機能	友人・知人と話をする 歴史を感じる 創作や思考のインスピレーションが湧く

(6) まとめ

本アンケート調査では、アクアテラスを対象に、調整池が都市住民にとってどのような生活・文化的価値を持ちうるのかを明らかにした。

まず、住民アンケートの結果から、アクアテラスは日常的な活動の場として親しまれており、主観的な評価も高かったことから、単なる防災インフラにとどまらず、都市住民の生活に密着した親水空間として生活・文化機能を果たしていることが明らかになった。次に、数量化Ⅲ類およびクラスター分析により、アクアテラスの生活・文化機能は6つのタイプ(リラクゼーション機能、交流促進機能、生態系学び機能、遊びとコミュニティ形成機能、学びと賑わい創出機能、感性刺激機能)に分類され、それぞれが具体的な役割を担っていることが示された。

本アンケート調査では、「生活・文化機能」という考え方を導入することで、都市の水辺空間が単なる親水性や景観的価値だけでなく、感性を刺激する体験の場、学びの場、人との交流の場、地域のにぎわいの創出など、住民の暮らしや文化に関わる多様な要素から成り立っていることが明らかになった。

これらの結果は、防災インフラとしての調整池にも生活や文化に関わる価値が見出されることを示しており、水辺空間の整備において「意味のデザイン」が重要であることを示唆している。今後の水辺空間づくりにおいては、ハード整備だけでなく、住民が空間の価値や役割を理解し、関わり、愛着を育めるような仕組みが一層求められるだろう。

5 公開勉強会について

本研究では、得られた知見を市民に分かりやすく説明し、アクアテラスやその他の調整池への理解を深め、関心をもってもらうことも目標の一つであるため、2度の公開勉強会をUDCKと協力して開催した。

(1) 第1回 公開勉強会

1回目の公開勉強会は2024年4月15日(月)にUDCKで開催された。

■開催趣旨

水辺は人々の憩いの場や経済活動の場として都市の生活・経済・文化を支え、また多様な生物にとっての生息地となる一方で、水害など私たちの暮らしを脅かす危険を秘めた存在でもあります。水辺に求められる役割が高度化・多様化する中で、都市の雨水管理システムの重要な構成要素である調整池に焦点を当て、柏の葉地域にある3つの調整池をモデルケースに、若手研究者が集い、調整池の多面的機能の総合評価手法の開発に取り組んでいます。

自然科学と社会科学のアプローチを融合し、公・民・学が連携することで、機能間の相互影響の理解に基づく水辺環境の創造および地域の多様な主体が意思決定に参加できる仕組みづくりを目指しています。

昨年度から多様な調査を行い、議論を重ねてきていますが、今回は、柏の葉に生息する鳥や生物多様性の取り組み、環境DNAについての報告と議論を公開型で行いました。

■プログラム

・報告1 水辺を生かしたまちづくりに求められる自然科学と社会科学の融合に向けた取り組み

小野 悠(豊橋技術科学大学)・石川 麻乃(東京大学)

・報告2 柏の葉とアクアテラスで見られる鳥たち—都市と鳥類

柴田 佳秀(科学ジャーナリスト・サイエンスライター)

・報告3 柏市における生物多様性の取り組み

柏市環境政策課

*なお、内容の詳細はUDCKのサイトのまとめられている。

(https://www.udck.jp/reports/mizube_community_openstudy01)

(2) 第2回 公開勉強会 | 越境する都市と水辺コミュニティ

2回目の公開勉強会は2024年3月27日にUDCKで開催された。

プログラム

○開会挨拶

○クイズタイム

・アイスブレイク

・各機能から1問

- ・ 事前に QR コード読み込み案内
- 調査結果の報告 (10 分×5 人) 石川、遠藤、広瀬、田井、大久保 (小野)
 - ・ クイズの答え合わせを意識
- ディスカッション (55 分)
 - ・ 答え合わせ 及川
 - ・ 機能間の関係性 専門知×地域知
 - ・ 「No tax, no life」からの脱却! → 「No XXX, no life in Kahiwa-no-ha」
- 閉会挨拶 (5 分) 三牧



写真1 第1回公開勉強会の様子



写真2 第2回公開勉強会の様子

6 まとめ

本研究は、①水域環境としての生物多様性の状況把握、②住民の利用実態および主観的評価の分析、③調整池が生み出す生活・文化的機能の類型化——の3点を柱に据えた。生物多様性についてはeDNAメタバーコーディングや現地捕獲調査を併用し、水生生物群集の種構成や個体数を明らかにした。住民利用実態はアンケート調査およびフィールド観察により把握し、数量化Ⅲ類分析やクラスター分析を用いて、アクアテラスが果たす機能を定量的に整理した。

1. 生物多様性の状況

eDNA解析の結果、1号池・2号池・3号池それぞれで検出種数および検出個体数に顕著な差異が認められた。具体的には、

- ・1号池および2号池では、底生無脊椎動物や小型魚類を中心に多様な種が検出された（1号池：27種／2号池：31種）。特にゲンゴロウブナ、モツゴ、メダカなど、典型的な淡水魚群集が優占した。

- ・2号池ではさらに、金魚×コウライフナなどのハイブリッド種が高頻度に検出され、人為的放流や水辺環境整備が群集構造に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

- ・3号池では検出種数が11種にとどまり、水深が浅く、底質が砂質であることから生息適性が限られていることが示された（たとえばメダカやドジョウ類のハイブリッド種などが優占）。

加えて、ネガティブコントロールからヒトやカラフトマス由来DNAの混入が確認され、データ信頼性向上のための実験室汚染対策が必要とされた。これらの結果は、調整池内のゾーニング計画や底質改良、植生管理などを通じて、多様な生息環境を確保することの重要性を示唆している。

2. 住民アンケートおよびフィールド観察結果

住民アンケート（回収数：N=412）を分析したところ、利用者が期待するアクアテラスの機能は多岐にわたり、「リラクゼーション」「交流促進」「生態系学び」「遊び・コミュニティ形成」「学び・賑わい創出」「感性刺激」の6つのタイプに分類された。具体的には、

- ・リラクゼーション機能：水辺における「安らぎ」「癒し」を求める意見が多く、池畔のベンチや芝生広場が高評価を得た。

- ・交流促進機能：世代を越えた住民同士のふれあいを重視する声が多数あり、親水ステージやさんかく広場でのイベント開催が交流の促進に貢献している。

- ・生態系学び機能：子ども連れの家族が水辺生物観察や自然観察会に参加しやすい環境整備が求められ、環境教育プログラムへの関心が高かった。

- ・遊び・コミュニティ形成機能：夏季に実施される池底遊歩道や水遊びイベントが、親子連れを中心に人気を博し、「遊び」を通じたコミュニティ形成に寄与している。

・学び・賑わい創出機能：近隣企業・研究機関による公開講座や製品デモンストレーション、フリーマーケットなど、多目的利用を通じて賑わいを生む場としての機能が確認された。

・感性刺激機能：夜間のライトアップや季節ごとの展示が、芸術鑑賞や感性喚起の場として支持されており、住民の創造的活動の契機となっている。

これらの分析から、単一の機能ではなく、複合的に作用することで、アクアテラスが多層的・多機能的な都市空間となっていることが裏付けられた。

3.

4. フィールド観察に基づくゾーン内差の把握

1号・2号調整池の現地観察では、流入部、堤体沿い、中央広域部などゾーン毎に検出される生物相が異なることが明らかになった。たとえば、流入部付近では流水による酸素供給が豊富なため貝類やヤゴ類が優占したが、中央広域部では底生珪藻群集が優位であった。この結果は、調整池内に複数の生息環境を意図的に配置することで、多様な生物群集を維持しつつ治水機能を担保できる可能性を示唆している。また、池底遊歩道や親水テラスなど異なる利用者動線を設定することで、人と生物が共存しやすい空間設計の指針を得ることができた。

5.

6. 今後の課題および提言

本研究成果を踏まえ、以下の課題および提言を整理する。

(1) 生物多様性管理の強化：

・池ごとのゾーニング設計を最適化し、底質改良や植生帯の再構築を通じて、多様な生息環境を創出・維持すること。

・定期的な eDNA モニタリングと併行して、水質 (pH, 温度, 農薬残留, 栄養塩濃度など) や底泥サンプリングを実施し、多変量解析によって環境要因と群集構造の動態を解明すること。

(2) 生活・文化機能の持続的向上：

・住民参加型ワークショップやフィールド観察会を定期的に行い、利用者自身がアクアテラスの価値を実感し、主体的に維持管理に関わる仕組みを構築すること。

・多様なイベントやワークショップを企画し、リラクゼーション・交流促進・学び・感性刺激など、6つの機能がバランスよく発揮されるように運営方針を見直すこと。

・周辺企業・研究機関との連携を強化し、アクアテラスを起点としたオープンラボや公開講座を充実させることで、地域全体の創造的活動を支援すること。

(3) 都市水辺空間のガイドライン策定：

・本研究で得られたゾーニング設計や植生構造、多機能評価の枠組みを他の都市調整池にも適用し、汎用的なガイドラインを策定すること。

・気候変動や都市化の進展による洪水リスクの変化を見据えた、動的

な維持管理計画を検討し、防災機能と生態系サービスのバランスがとれた持続可能な運営モデルを構築すること。

- ・バイオマスエネルギー利活用や洪水調節効果を組み合わせた複合的なインセンティブ制度を導入し、住民や自治体、事業者が連携できる仕組みを検討すること。

以上のように、柏の葉アクアテラスは、治水・防災だけでなく、生物多様性保全や地域住民の生活・文化を支える多機能空間として重要な役割を果たしている。本研究の成果をもとに、さらなる設計改善・運営強化を行うことで、持続可能な都市水辺空間としてのモデルケースを示すことが期待される。

謝辞

本報告書の作成にあたり，多大なるご助言とご協力を賜りました以下の皆様に深く感謝申し上げます。まず，柏の葉アーバンデザインセンター 副センター長 三牧浩也様，同 ディレクター 坂本朋子様には，本プロジェクトの構想段階から運営まで幅広くご助言をいただき，調査実施に必要な情報提供や現地案内など多くのご支援を賜りました。

また，柏市 土木部 河川排水課 内藤潤様，佐々木政秀様には，調整池管理に関する専門的知見やデータをご提供いただき，現地調査の調整や技術的助言をいただきました。

さらに，産業技術総合研究所 及川隆信様には，公開勉強会の運営に関して貴重なアドバイスを頂戴しました。加えて，東京大学大学院新領域創成科学研究科および豊橋技術科学大学大学院工学研究科建築・都市システム学系の学生の皆様には，フィールド調査やデータ整理に尽力いただき，現場作業の円滑な進行と調査結果の取りまとめに多大なるご協力を賜りました。

改めて，関係各位のご支援に心より御礼申し上げます。