

舟田池での水環境保全の取り組み

— 環境生態工学の視点から —

林 紀男

千葉県立中央博物館

〒260-8682 千葉市中央区青葉町 955-2

E-mail: hayashin@chiba-muse.or.jp

(2023年12月30日投稿; 2024年1月15日修正; 2024年1月18日受理)

要旨 舟田池は、灌漑目的に造られた「ため池」である。舟田池は生態園の開園に合わせて、利水用途を廃止し、底泥の浚渫・山砂の客土などの整備を経て自然観察用の親水池として1990年から利用されている。舟田池および周辺の水域環境は、水域生態系の試験研究の場として、環境生態工学の視点からさまざまな検証の場として活用されてきた。ここでは、富栄養化・ゼオライト濾過槽を用いた池水循環・水面に幹枝を張り出す樹木の伐採・粗朶沈床・人工浮島・ベントナイト流入・外来肉食魚による攪乱・かいぼり・水位低下による攪乱の創出・隔離水界の設置・湿地の再生など、1989年の開園から2023年までの35年にわたる舟田池での出来事・取り組みの概要を報告する。

キーワード：ため池、攪乱、水生生物、維持管理、かいぼり、再生、外来種。

ため池は、築堤により人工的に創出された里山の水環境である(土山, 2003)。灌漑用水として農地への水供給を担うという、生業に密接に関連した利水の役割を果たしてきた。用水受益者を中心に管理組合が維持管理を担い、良好な水環境が維持されてきた(角道, 2019)。管理手法の主なものとしては定期的な「かいぼり」が挙げられる(林, 2017)。灌漑(利水)の用途を廃止され、調整池(治水)機能および修繕池(親水)機能に限定した運用管理がなされている「ため池」では、富栄養化が常態化しやすい(角田, 2017)。その一因は、かいぼりに代表される維持管理作業が消失し、水位変動という生態的攪乱が生じない状況が続くことにある。藍藻類アオコの異常増殖が常態化し、カビ臭や腐敗臭が漂う水環境となる事例も数多く認められる(林, 2019)。富栄養化は、池の水生植物相の貧弱化を通じ生物多様性の減少も招く(Akasaka *et al.*, 2010; Akasaka and Takamura, 2011; Akasaka and Takamura, 2012)ことが知られる。

舟田池も灌漑目的に造られた人工の池である。大正から昭和40年代までは国立畜産試験場の一部として利用されていた(中村, 1994)。昭和50年代後半には富栄養化が顕在化し、底質は軟泥が堆積して嫌気化し、水生動物相の貧弱な池となっていたことが報告(占部ら, 1994)されている。生態園の開園に向け、1988年～1989年に底泥の浚渫・山砂客土・流入排水の切り回しなどの改修を実施し、自然観察のための池として活用するに至った

(占部ら, 1994)。1990年3月に雨水による湛水を開始し、同年9月には満水に至った。同年以降、生物の導入や排除など積極的な人為関与を行わず生物相の変遷を記録した(小林, 1989; 小林・倉西, 1994; 占部ら, 1994; 倉西, 1995)。

こうした背景のもと、舟田池を環境生態工学の視点で実証試験池と捉え、1996年～2023年まで各種の検証を試みてきた。ここでは、1989年の開園から2023年までの35年にわたる舟田池でのさまざまな出来事・取り組みを報告する。

富栄養化

舟田池は、開水面積：約1ha(改修前：1.47ha)、満水時水容積：13,000m³、最大水深：2.3m、集水域面積27haと、小規模で浅く富栄養化しやすい環境(林, 2019)である。流入河川はなく、水源は集水域への雨水および僅かな湧水である。地下水が湧出する場所は、池南西に位置する湿地林地先の水面下である。水位を低下させた時に複数箇所からの湧出が目視確認できる(図1)。正確な湧出量は測定できていないが、総量として毎時1～5リットル程である。湧出量の多寡は、地下水位の変動に起因したもの(高村, 1974)と推測される。生態園整備前の1987年までは集水域の降雨が生活雑排水を合わせ池に流入していた。1998年以降、生態園の整備により生活雑排水を含む雨水をバイパス管を用いて下流に誘

導し、池への流入の大部分は抑止された（中村，1994）。ただし、舟田池は調整池機能を残しているため、豪雨時などバイパス管の容量を超える降雨の際には、オーバーフローした雨水の一部が流入する設定（中村，1994）である。

池への汚濁負荷で大きな比率を占めるのは水鳥由来の糞尿である。池に張り出すように枝を伸長させたハリエンジュなどは、サギ類やカワウの埒（ねぐら）となり、大量の糞尿が直接水面に落とされてきた。水干し状態の池底から見ると、図2のように水面上に張り出す枝が多いことがわかる。幹枝が糞尿で白く染まり、枝の一部が葉を落とし枯死状態になるなどの問題（須川，2018）も



図1. 水位を低下させ確認される湧水。



図2. 水位を低下させ池底から見た水面上に張り出す枝。

確認できた。第二の汚濁負荷は、雨水に由来するものである。水面に直接落ちる雨の他、中央博物館の屋上等に降り注いだ雨も地下に設置された雨水貯留槽に貯められた後、ポンプで舟田池に排水される。これら集水域の雨水には、空中に漂う粉塵などの浮遊物や博物館本館屋上に積もる砂塵等が包含し流入する結果となる。特にファーストフラッシュと呼ぶ降雨初期の雨水には空中や地表面由来の汚濁物質が高濃度に含まれることが知られている（渡邊ら，2010）。舟田池に流入する雨水の総量および汚濁物質量の把握は未了である。しかし、流入河川が存在せず、工場・事業場排水や生活雑排水等の流入がない舟田池では、雨水起源の汚濁負荷は、流入水のある池沼に比較的高い比率となる。第三の汚濁負荷は、落葉由来の汚濁負荷（田中，2018）である。正確な物質収支の算定は未了ながら、既往の文献および舟田池での各種検証から得られた1996年時点の汚濁負荷の割合は、水鳥排泄物由来：約78%、雨水由来：約17%、落葉由来：約4%と推定された。

舟田池では、1993年6月以降に藍藻類アオコの異常増殖が顕在化した。1994年8月には風下に吹き寄せられ積層した藍藻類が腐敗臭やカビ臭を漂わせる状況となった。野鳥観察舎には窓の隙間からアオコ由来の臭気が漂い、来園者からの苦情が寄せられるに至った。

ゼオライト濾過槽を用いた池水循環

生態園では舟田池の水環境保全を目的に、ゼオライト（沸石）濾過槽を用いた池水循環装置を整備した。濾過槽（約72m²：5.3m×13.6m）には天然ゼオライト（藤井，2015）を約21cm厚で敷き詰めた。池満水時には、池表層水がU字型パイプを通じ濾過槽に自然流入する。濾過槽に入った池水を渦巻きポンプ（3.7kW×2基）にて槽下部から吸引することでゼオライト（約15m³）を通過させ濾過する構造（図3）である。濾過水は、池の中央部（水中）および池南側の斜面林下（旧東金街道沿い：通称イタリア橋近傍）に導き、池に戻すことで循環させる仕組みである（図3）。

天然ゼオライトは、多孔質の結晶であり、細孔は直径0.2～1.0nmである（藤井，2015）。アンモニア性窒素や亜硝酸性窒素を吸着除去する。ゼオライト粒子の表面には細菌・菌類・原生動物などから構成される生物膜（須藤，1977）が形成され、有機物除去を担う生物濾過能が発揮される。濾過槽では、ポンプにより創り出される流水環境が、ゼオライト表面に形成される生物膜に常に溶存酸素を供給する。このため好氣的微生物群による効率的な生物学的浄化を期待できる。ポンプ2基の同時稼働は、池水全量を約4日間で全量濾過可能である。

舟田池では、1990年3月の湛水開始以降、人為的影響を最小限に留め、水質と生物相の変遷を記録する方針（中村，1994）をとった。同方針に則り、生態園での「水界生態系の変遷と人為的影響に関する研究」の第1期とされた1990年開園～1994年7月は一度も濾過槽運用の機会がなかった。藍藻類アオコの腐敗臭が顕在化した1994

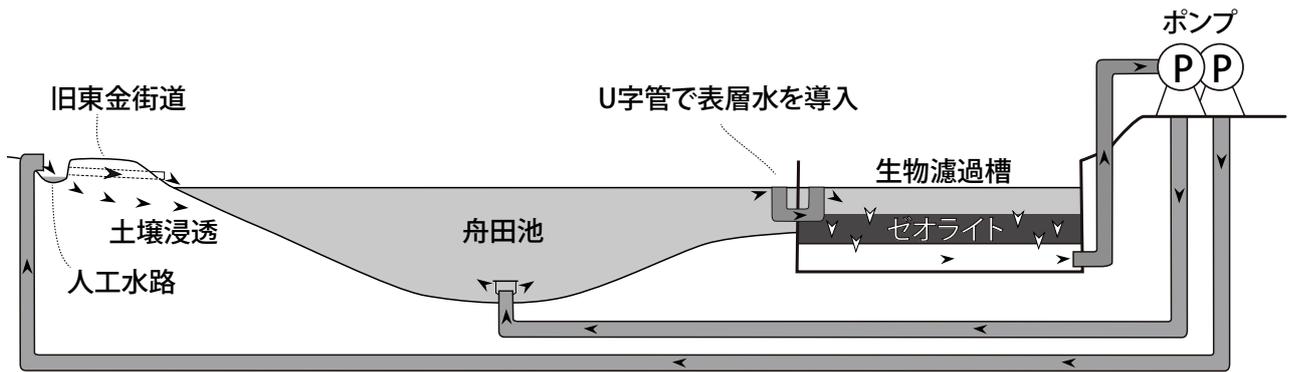


図3. 池水循環の仕組み。

年8月にアオコ対策が喫緊の課題と位置付けられ濾過槽の運用を開始した。濾過槽の運転開始から3日で水面のアオコは群体が目視できない密度にまで消失し、腐敗臭は解消した。これは濾過槽の設定が池表層水を濾過する構造であるため、舟田池の水面に浮遊積層した藍藻類アオコを効果的に捕集・除去できたことに起因する成果である。すなわち、この浄化は主に物理的な夾雑物濾過効果によるもので、ゼオライト表面に形成される生物膜による生物学的除去という機能性は発揮されていないと推察された。濾過槽に押し寄せた設計基準を超えたアオコなどの夾雑物はゼオライト間隙を目詰まりさせ、濾過槽の閉塞を招いた。

閉塞解消のため濾過槽の運用を休止し、ゼオライトの清掃を実施した。濾過槽のポンプ配管は、濾過水をバルブ操作でジェット水流としてゼオライト洗浄に活用できる設計である。洗浄作業はゼオライトを濾過槽に留めたまま実施可能であり、効率的な洗浄操作が可能であった。清掃を経て閉塞が解消されたゼオライトは、運転再開後は順調に稼働を続けた。運用前時点の池水の全窒素濃度：0.4mg/L・全リン濃度：0.02mg/Lは、濾過槽連続運用により全窒素濃度：0.26mg/L・全リン濃度：0.015mg/Lに低減できた。リン除去能に比較し窒素除去能が高かったのは、ゼオライトの窒素吸着能が発揮されたこと、および設置から稼働開始までの4年を超える運用前休止期

間にリン吸着能が失活したことなどに起因するものと推察された。しかし、ゼオライトのリン吸着能にはさまざまな議論（後藤ら、1994）があり、原因究明には詳細な解析が必要である。ゼオライトを取り出して再生すれば吸着能は復活する（室井、2015）。ただし、ゼオライトの再生は、細孔閉塞が原因であれば可能だが、脱アルミニウム等による結晶構造の変化が原因の場合には不能である。再生の費用対効果を考えた場合には、再生処理よりもゼオライトの入れ換えが現実的な選択肢と考えられる。

順調な運用が確認された濾過槽であるが、1995年7月に動力費が制限要因となり夏場の濾過槽ポンプ稼働停止を余儀なくされた。稼働休止は同年10月に解除されたが、休止期間にゼオライト槽を閉塞させた夾雑物は槽内で腐敗した。この解消のため再稼働にはゼオライト洗浄・一部交換の作業（図4）が必要となり維持管理費の増大を招いた。濾過槽は常時運転が基本であり、休止後の再稼働には手間と費用を要することが再確認できた。しかし、翌1996年の夏にも濾過槽ポンプの稼働停止が必要となり、通年運転ができない状態が繰り返される結果となった。

ゼオライト濾過槽による池水循環の仕組みは、水理的な池水滞留時間が約4日という高循環率の設計が奏功し期待した性能を発揮した。しかしながら、連続運転（常時稼働）という基本条件を満たすための動力費の確保が不十分な場合には、運用再開時に動力費節減効果を超える維持管理費の支出を要することへの理解が必要であると結論づけられた。



図4. ゼオライト充填濾過槽でのゼオライト交換作業。

水面に幹枝を張り出す樹木の伐採

舟田池の外周部は樹林に覆われている。池北東側および南側の斜面林は、イヌシデ・コナラ・クヌギなどからなる落葉広葉樹林、池北西側は、ハリエンジュ（ニセアカシア）の樹林、池西側は、ハンノキ林である。このうち、池北西のハリエンジュは、樹高15mを超える高木も多く、倒木となって池に太い幹を横たえる状態のもの、枝の一部が池水面に張り出すように伸びるものなどが多数認められた。直立する幹や倒木から伸びる樹枝は、留鳥として池に常時見られるカワウが羽を休める場所として機能

し、2002年夏には60～70羽に及ぶカワウが舟田池に夜間集まる事象が認められた。

カワウは樹枝に止まって液状の糞尿を排泄するが、この排泄物が付着した枝では葉が落ち枯れ枝となり、幹や枝を白く染めた。特に水面に張り出すよう伸ばした枝から排泄された糞は、池に直接投下され、池への汚濁負荷として大きな比率を占めることが推察された。

カワウが排泄する糞尿が池に直接落下する汚濁負荷量を削減する目的で、2002年12月には、池に張り出すハリエンジュの幹や枝の除伐(図5)を実施した。このハリエンジュ除伐は、池北西部に優占化していた外来種のハリエンジュを低密度化する目的も包含した。

池に張り出す枝の除去は、カワウ起源の糞尿負荷を削減することに奏功した。水面にトロ舟水槽をフロート状に接続して池に浮かべカワウ糞尿を採取したところ、糞尿の白い成分は尿酸主体、緑茶色系の成分は有機物主体であることが判明した。カワウ排泄物の汚濁原単位についての検証では、カワウ1羽の排泄物量は5.8g乾重/日との報告(中村ら, 2010)がある。また、排泄物の成分はC:25.1%, N:14.5%, P:5.5%, と解析され、カワウ1羽あたりの排泄物負荷量C:1.51g/日, N:0.86g/日, P:0.34g/日との試算結果が報告(中村ら, 2010)されている。1996年に池に排泄物が直接落ちる位置に止まっていたカワウ個体数は65羽であり、滞在時間の勘案から39羽/日と仮算定した。同算定に上記原単位をあてはめるとカワウ糞尿起源の汚濁負荷削減効果は、およそC:59g/日, N:34g/日, P:13g/日と見積もられた。カワウ集団の採餌量や餌種類等により排泄物負荷原単位は変化すると考えられるが、舟田池でのハリエンジュ除伐にともなう汚濁負荷削減の試算値としては意義のある試算と考えられる。

粗朶沈床

舟田池に張り出すハリエンジュの除伐では、大量の幹枝が発生した。この幹枝で直径が10cm未満のものを、2003年2月に水位を下げた環境下で池底に積み上げ、粗朶沈床を構築し(図6)、粗朶沈床の水中物理構造物として擬似的な藻場、いわゆる水生生物の寄り付き場としての機能性を検証した。



図5. 池に張り出す枝の伐採。



図6. 伐採した枝を水干し時に積み上げ構築した粗朶沈床。



図7. 池西側の木杭4箇所を設置した粗朶沈床が湛水により水没する過程。

粗朶沈床は、池に直立する木杭を中心に底辺直径3m、積み上げ高さ約1.5mの円錐形態とした。同規格の粗朶沈床は、粗朶に用いた幹枝の太さおよび積み上げ密度が同等になるよう配慮し、池の西側に4箇所設置した(図7)。

効果の検証は、粗朶区として、粗朶部の浅深度(水深20cm程)・中深度(水深70cm程)・深深度(水深140cm程)のプランクトン相および水質を指標とした。なお、対照区は、池の開放水面部分の試験区同深度の水を用いた。

4基の粗朶区の浅深度・中深度・深深度の各水塊から採取した水12検体および対照区の各同深度から採水した水試料4検体をプラクトンネット(NXXX25規格:1インチ四方あたりの網目数196×238)で濃縮しプランクトン相を比較した。その結果、植物プランクトンでは種構成は同一で現存量も有意差が認められなかった。しかし、動物プランクトンでは、種構成および現存量に有意差が確認された。

粗朶区では、対照区に比較してワムシ類およびミジンコ類の種多様性・個体密度の双方が高くなった。粗朶区にだけ出現し、対照区では確認されなかった主要なプランクトンは、ワムシ類ではヒルガタワムシ *Philodina* 属、*Rotaria* 属、ミジンコ類ではシダ *Sida ortiva*、マルミジンコ *Chydorus sphaericus*、シカクミジンコ *Alona rectangulara* であった。粗朶区・対照区の双方で共通に

確認できたプランクトン種が多いが、粗朶区にて特異的に高い生息密度が確認できた種として、オカメミジンコ *Simocephalus vetulus* があげられる。

粗朶区にて高い密度で認められたプランクトンは、シダ・マルミジンコ・シカクミジンコなどである。シダは後頭部に吸着器を有し基物への付着能を有するため、水生植物などの基物に付着して生活することが知られる。また、マルミジンコ・シカクミジンコなどは、水生植物の豊富な場所にて採集されることの多い仲間である。これらの種は、粗朶を構成する幹枝が付着担体としての役割を果たし場の多様性が高まったことに起因して高い密度を保持できたものと考えられる。オカメミジンコが粗朶区で高密度を維持できたのは、対照区に比較して粗朶が被隠基質としての機能性を発揮できたことに起因し、モツゴなどのプランクトン食魚からの捕食圧低減が生じた結果と考えられる。

水質について、粗朶区と対照区から採取した水の窒素濃度（アンモニア性窒素・亜硝酸性窒素・硝酸性窒素）およびリン濃度（リン酸性リン）を比較した。結果として浅深度・中深度・深深度の各水塊のいずれにおいても窒素濃度・リン濃度に有意差は認められなかった。このことは、小規模の粗朶では局所的な水質改善効果を水質データにより立証することが難しいことを示唆している。

動物プランクトン密度が高い事実から、動物プランクトンの濾過摂食能により、被食者としての植物プランクトン密度の低減がもたらされると予想した。しかしながら、本検証時には植物プランクトン密度には有意差が認められなかった。このことは、粗朶の圧密性が低かったこと、換言すれば換水性が高かったことに起因するものと考えられる。植物プランクトンの種構成が粗朶区と対照区で全く同一であったことは、この推論と整合的である。

粗朶区と対照区にて全窒素濃度および全リン濃度に差異が認められないこと、動物プランクトン現存量が対照区に比較し粗朶区にて高いことが明らかとなった。これらの両結果から、動物プランクトン体細胞に変換された分の溶存性窒素・溶存性リンは、対照区に比較し粗朶区で低くなっていたことが推察される。このことは溶存性無機栄養塩濃度の低減化に粗朶沈床が貢献した事実を示唆している。粗朶の容積規模を拡大することにより、プランクトン類から高次捕食者である水生昆虫・小型魚類などを包含した水生生物全体の被食・捕食を介した食物網、さらには水生生物の羽化・陸生化などを含めた物質循環の活性化が期待できると結論づけられる。

人工浮島

舟田池中央部は開放水面のため水中基物が存在しない。ここに人工浮島を設置する検証を2001年に実施した。人工浮島は、硬質ポリ塩化ビニル管（VP30: 外径38mm）の両端を蓋で塞ぎ水密状態としたものを基本浮力体とし、同基本浮力体を10cm間隔で10本平行に連接した縦横2m（4m²）の構造物とした（図8）。人工浮

島は、四隅から池底にロープで係留したもの2基とした。人工浮島には、ひも状接触材（バイオコード）を1m垂下させ、擬似的な沈水植物群落の物理的な担体機能を担わせた（図9）。バイオコードは、組紐技術を応用し細い繊維をモール状に加工した微生物付着担体である（ティビーアール（株）、1999）。舟田池では、多様なバイオコードの中からピニロン製、直径45mm、空隙率99%以上、比表面積0.3m²の規格を選択した。

硬質ポリ塩化ビニル管製の人工浮島での検証にて効果が確認できた後、2003年6月に浮島の浮力体を植物が定着可能なマット状構造物に変更した2基に入れ替え継続検証した。浮力体の変更により、図10に示すとおり浮島端部が水面に潜るような設定とし、水面との連続性を確保することにより水鳥の採餌や営巣に配慮した。

浮島から垂下させたひも状接触材は、付着担体としての機能性を発揮し付着生物（ペリフィトン）が高密度に集積した。空隙率の高い粗朶沈床に比較し、ひも状接触材が林立（実際には垂下）する空間は、ゾウリムシ類 *Paramecium* spp., ラップムシ類 *Stentor* spp., ツリガネムシ類 *Vorticella* spp. など各種の原生動物、水生ミミズ類 *Nais* spp., *Pristina* spp., *Dero* spp., 匍匐性ワムシ類のヒルガタワムシ *Philodina* spp. および *Rotaria* spp., 遊泳性ワムシ類のカメノコウワムシの仲間 *Keratella*



図8. 舟田池に設置した人工浮島（パイプ浮力体）。



図9. 浮島に垂下させたひも状接触材。

spp., ツボワムシの仲間 *Brachionus* spp., ドロワムシ *Synchaeta stylata*, コガタワムシの仲間 *Notommata* spp., ツキガタワムシの仲間 *Lecane* sp., ミジンコ類などが高密度に集積する場となった。

浮島下の周縁部と開放水面部の植物プランクトン密度を比較すると、年間を通じて浮島部にて植物プランクトン密度が低く維持された。浮島浮体の下部で照度が制限される場所ではなく、浮島側面部で開放水面と照度が同等の地点でも植物プランクトン密度が約 30～50% 減少することを確認した。動物プランクトンに着目すると、開放水面部に比較し浮島部で動物プランクトン類現存量が有意に高いことが確認できた。動物プランクトンを食物源とする高次捕食者である水生昆虫(トンボ幼虫など)・魚類(モツゴなど)も餌資源に引き寄せられ集積することが予想される。ひも状接触材が高い水生生物保持能を有するため、藍藻類や緑藻類への捕食圧も高まったことに起因する現象と考えられる。

浮島上面には、飛来した種子が発芽定着しイヌタデなど草が生い茂る人工湿地が創出された(図 10)。浮島上部にはカルガモ等が這い上がり休憩する姿が認められ、カイツブリが巣材を運び込み営巣の様子も確認できた。アオサギなどの大型水鳥が浮島上に長時間留まり小型魚類・ウシガエル成体などを採餌する様子も確認できた。その他にもウシガエル、ミシシippアカミミガメなどが上陸している姿も確認できた。舟田池では池南岸に野鳥観察舎が配置され、観察用望遠鏡が据え付けられ来館者の自然観察用に供されている。池中央に設置した 2 基の人工浮島は生物観察用にも大きな効果を発揮した。

ベントナイト流入

舟田池北岸の一部水塊が黄変する現象が 2000 年 1 月 31 日に確認(図 11)された。黄変は、成分分析の結果から舟田池の北側、都市計画道路沿い建設中の千葉市立青葉病院の建設工事に起因するものと断定した。当時、病院の建築予定地では地盤を固めるため、アースドリル(場所打ち杭)工法(宮本, 1989)による杭打ち工事が実施されていた。同工法は、ベントナイトを注入しながら

穴(青葉病院の現場では直径 2.8m)を掘り、穴内部に鉄筋を組みコンクリートを流し込んで杭を構築するものである(宮本, 1989)。ベントナイトは、モンモリロナイトを主成分とした天然粘土鉱物を粉碎したもので、水に入れると膨潤し粘性を増す特性を有する。この特性を活用し、ベントナイトは穴の掘削面を目詰まりさせ、掘削面の崩壊抑止や漏水防止に広く用いられている。

舟田池へのベントナイト流入は、注入されたベントナイト成分の一部が地中を伝って舟田池に滲出したことが原因である。舟田池は、生態園の整備にあたり北端・西端・東端が一部埋められ面積を減じられた。北端は元の水際が約 53m 切り取られている。このことは舟田池北側に整備された幅 20m の道路を越え、現在の青葉病院の南端部の一部区域が舟田池の水面だったことを示唆している。工事により杭打ちがなされた地点付近が舟田池に通じていることは想像に難くない。

ベントナイト成分の流入が顕在化した後、千葉市保健福祉局保健衛生部病院事業課(当時)および千葉市都市局建築部営繕課(当時)により迅速に以下の対応が取られた。1) 工事の一時停止、2) 池への浸出部を土手で囲いベントナイト溜を造成(図 12)、3) 陸地にノッチタンクを配置し、溜から 3 インチポンプによるベントナイト浸出水の回収除去、4) ノッチタンクに溜まった回収液は、



図 10. 浮力体を変更し植生が形成されつつある人工浮島。



図 11. 舟田池北端から浸出したベントナイト。



図 12. 舟田池北端ベントナイト浸出部に造成したベントナイト溜。

散水車で処理プラントに運搬。これらの対応と浸出水の観測を継続し舟田池へのベントナイト流入は2000年2月10日に収束した。

ベントナイトは、膨潤・粘性・塩基置換容量の特性を生かし、漏水防止や肥効の長期化などを目的に水田で広く用いられるほか、食品添加物にも活用されており毒性はない。しかしながら、舟田池に流入したベントナイトは、吸着性（塩基置換性）および高pHに起因して水質やプランクトン相に変化をもたらした。

ベントナイト安定液（高嶋ら、2000）にはアルミニウムが1,700mg/L、鉄が1,500mg/L含まれる。池への滲出液でも、アルミニウムが40mg/L、鉄が29mg/L含まれており、池水の1.2mgAl/L、0.9mgFe/Lに比較し高濃度である。ベントナイト流入前後の池水のリン濃度を比較すると、流入前0.028～0.036mgPO₄-P/Lが流入後0.001～0.003mgPO₄-P/Lに減少した。同様に窒素濃度に着目すると、流入前0.5～1.1mgN/Lが流入後3.6～4.2mgN/Lに増大した。詳細な化学反応機構は不明であるが、流入したベントナイト成分が池水の溶解性リン酸リンを凝集沈殿させたことが想起される。排水処理において、硫酸アルミニウム（硫酸バンド）やポリ塩化アルミニウム（PAC）を用いてリンを凝集沈殿させ除去する手法（須藤、2000）が広く用いられていることとの関連が示唆される。

舟田池ではベントナイト流入を契機に溶存性リン濃度が減少し、リン欠乏の状態が生じた。藻類の多くがリンを制限要因として増殖阻害に陥り藻類現存量が低下した。藻類現存量の低下は池水の透明度を高める効果を発揮した。ただし、藻類に消費されない溶存性窒素が過剰に累積することとなり、ベントナイト流入から半年を経て藍藻類の異常増殖に伴う透明度低下などに収束する結果を招いた。

藻類の栄養源となる窒素・リンは、濃度（絶対量）のみならず窒素とリンの比率（N/P比）も藻類増殖に影響を及ぼすこと（Changqing *et al.*, 2019）が知られている。ベントナイト流入は、舟田池の窒素/リン比を流入前の20～24から一時的に80以上へと大きく変容させた。極端なリン欠乏状態は、高い窒素/リン比を招き、結果として藻類の種構成や現存量に大きな攪乱をもたらした。池に滲出流入したベントナイト成分の総量は解明できなかったが、ベントナイトが池に生態的攪乱を生じさせ、プランクトン相を翻弄することが明らかとなった。

外来肉食魚による攪乱

舟田池の水面近くを遊泳する見慣れない魚影が、1993年3月の船上からの定例調査中に確認された。繰り返し調査により個体数は3個体、全長は60～80cm程、遊泳する形態から一般にガーパイクとして幼魚が鑑賞魚店で市販され流通していた肉食魚と判明した。水面から口先を出し空気呼吸する生態や長い吻からロングノーズガー *Lepisosteus osseus* と同定した。本種は北米に広く分布し、成長すると全長2m、体重22kgになる冷水性の

大型魚として知られる。環境省は、2018年にガー属の全種を特定外来生物に指定している（環境省、2023）。

舟田池は、生きものの捕獲や放逐を禁止し、関係者以外の水辺への侵入は常時制限して閉園時には園外周を施錠管理している。しかし、ロングノーズガーの出現は、人為移入に起因するものと考えられる。観賞魚として飼育していたものが成長して飼育困難となり、無思慮に舟田池に放たれた事件と推定された。初確認後、約2年間は生育を目視確認できたが、1995年3月調査では遊泳する姿を確認することができなくなった。

図13は、ロングノーズガー出現1年前の1992年から、ロングノーズガー消失後の1995年末までの舟田池における透明度、植物プランクトン現存量、動物プランクトン現存量、小型魚類の現存量、肉食魚の現存量（全長から推定）を示したものである。ロングノーズガーが確認された1993年3月から1995年1月の期間、モツゴやタモロコなどプランクトン食の小型魚類が捕食され、現存量が減少していることが明らかである。動物プランクトンの現存量は、同期間にプランクトン食魚の捕食圧から解放され高まったことがわかる。植物プランクトン現存量は、動物プランクトンによる捕食が活性化したことにより減少し、呼応して池の透明度が高まった。一方、ロングノーズガーが不在となった1995年3月調査時点以降は、プランクトン食魚類の現存量が徐々に高まり、呼応して動物プランクトン現存量減少、植物プランクトン現存量増加、透明度低下が連鎖的に確認できた。しかしながら、透明な池の水面が数日で藍藻類アオコで覆われるなど急激な景観変化が度々観察される状況が高頻度で認められた。

肉食魚による池生態系の攪乱は、全体として植物プランクトンの減少による透明度の向上という結果を招いた。しかしながら、植物プランクトンによる溶存性窒素・溶存性リンの吸収資化、すなわち消費が欠落した状態は、高い透明度ながら溶存性窒素・溶存性リンが豊富な過栄養な状況を形成させ、藍藻類アオコの急激な異常増殖が確認されるなどの不安定な生態系を創り出す影響に帰結することが明らかとなった。

1995年1月を最後にロングノーズガーが確認できなくなった理由は断定できないが、冷水性種のためロングノーズガーが高水温に順応できず衰退し死滅したものと推測した。ロングノーズガー出現以降、閉園時には施錠管理された池周辺の巡回警備を強化し、関係者以外の立ち入り制限を厳格化した。

かいぼり

舟田池では、1996年および2000年にかいぼりを実施し、水干しによる攪乱が水界生態系に及ぼす影響を検証した（図14）。その結果、かいぼりが水質・底質の保全に大きな効果を有することを確認できた（林、2017）。底質中の酸化還元電位および窒素・リン濃度の測定から、硝化・脱窒の反応界面についての知見が得られた。すなわち、1) 底質表面が空気に触れることで、底質表層では

アンモニア性窒素および亜硝酸性窒素が硝酸性窒素に酸化される、2) 底質下層の還元的(無酸素)環境では、脱窒細菌による脱窒作用(須藤, 1977)が活性化され、硝酸性窒素が窒素ガスとして空中に放出される、3) 水干し期間に底質表面の酸化層と底質下層の還元層との境界面が徐々に底質中で深い場所へと移行することに起因し、硝化・脱窒の反応界面が地中で深さ方向に広域化(容積増大)し硝化・脱窒が促進される、などの効果を確認した(林, 2017)。このことは、酸化環境と還元環境の界面移行による効果的な硝化・脱窒を期待する上では、底質表面を長期間にわたり空気に暴露させることが重要であることを示唆している(林, 2017)。底質の大気暴露による

酸化は、リン蓄積菌による細胞内へのリン取り込み(須藤, 1977)を促進し、水中の溶解性リン濃度の低下を引き起こした(林, 2017)。ただし、湛水後に底質が再び還元的な環境となれば、リン蓄積菌は細胞内に蓄えたリンを再溶出させる(須藤, 1977)。窒素は、脱窒作用により空中に放出され削減されるが、リンはその場に留まり総量に変化が生じにくい。このことは、かいぼりによる硝化・脱窒は、池水の窒素/リン比を下げる結果を招く。窒素/リン比が低下すると藍藻類アオコの異常増殖が生じやすくなる(Changqing *et al.*, 2019)ことから、窒素/リン比についての把握も重要な視点である。

水干しは、異常増殖したアメリカザリガニやウシガエルへの水鳥等による捕食圧を高め、これら外来種の現存量低減化にも効果を発揮した。かいぼりの水環境保全効果は大きいですが、水質や水生生物の効果に留まらず、底質改善にも効果が発揮されること、その効果は底質の乾燥期間が長くなるほど高まること、などへの留意も必要である。かいぼりは、水干しに伴う利点や注意点・課題を理解した上で実施することで、池の水環境保全に多面的効果を発揮する有用な維持管理手法であると結論づけられた。

水位低下による攪乱の創出

かいぼりは、水干しという攪乱を池にもたらし、池の水環境保全に有益である。しかしながら、かいぼり効果は時限的であり、かいぼりは定期的実施する必要があることも明らかにされている(林, 2017)。かいぼり実施の頻度は、池の水質・底質・生物相の構造などにより決定されるもので普遍的な最善解はなく、池の状況把握

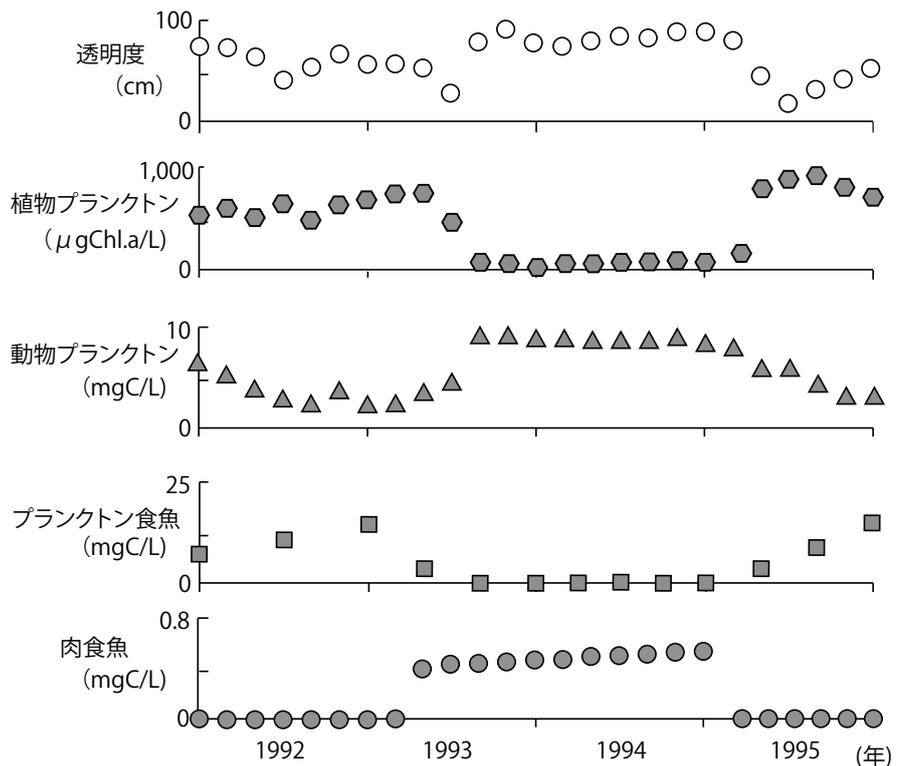


図 13. 肉食魚による攪乱がもたらした影響。

を通じての判断が不可欠である。かいぼりの効能は理解するものの、関係者間の調整や費用等が制約となり、かいぼりの実施が困難な池も多い。そこで、舟田池においてポンプにより池水の一部を排水し、水位を低下させた環境を定期的に創出する「水位低下攪乱」の検証を2001年から実施した(林, 2022)。

ポンプは既設のゼオライト濾過槽に敷設された池水循環ポンプを活用した。池水循環のための配管の一部にゼオライト洗浄用の吐出口が設置されている。同吐出口にサクシオンホースを接続し、池水の一部を排出し水位を低下させた。旧来、農業用ため池では、稲刈り後(秋)から田起こし前(初春)までの農閑期に水干しを実施してきた。舟田池での水位低下も同期間に実施した。水位低下は、排水する配管径およびポンプ老朽化が制限要因となり緩速で、満水からポンプの池水吸込み口の配置による制約上の下限水位までに2~4週を要した。

池水位の低下操作をはじめてすぐ、池の水際にアメリカザリガニの頭胸甲殻が散在する現象が認められた。頭胸甲殻には穴があいているものも混在し、捕食者に突かれた仕業と推察された。観察を通じ、頭胸甲殻が水際に認められる現象は、ゴイサギによる夜間捕食が原因であることが明らかとなった。開園前の毎朝、池岸を一周して水際に残されている頭胸甲殻の全てを捕集した。林(2022)は、捕集されたアメリカザリガニ頭胸甲殻の年間総数の変遷(図15)、捕集したアメリカザリガニ頭胸甲殻長のばらつきの変遷(図16)を報告している。アメリカザリガニは冬期は水辺や水底に掘った穴に籠っている。水位を低下させると穴内が乾燥するため鰓呼吸に好適な水を求め移動する。この移動は夜間に行われた。夜



図 14. 舟田池での水干し・かいぼり。

行性のゴイサギは、夜間に移動するアメリカザリガニを捕食する。この捕食に際し、ゴイサギはアメリカザリガニ大型個体を丸呑みできず、振り払うなどして頭胸甲殻が残されることが観察された。2001年には捕食を担うゴイサギの個体数は2～4羽であったが、毎年定期的に水位低下を継続したところ、年々ゴイサギ個体数が増加し最大で100羽近くまで増加した。捕集されたアメリカザリガニ頭胸甲殻は年々減少（図15）し、捕集される頭胸甲殻が年々小さくなった（図16）。2009年以降は約20mmが下限となっているが、これは観察によりゴイサギが小型アメリカザリガニを丸呑みしているため、小さな頭胸甲殻が残されないことに起因する（林，2022）。捕集できた頭胸甲殻の数の他に、丸呑みされているアメリカザリガニが存在することは、アメリカザリガニの小型化が進むにつれ頭胸甲殻捕集数は実際のアメリカザリガニ減少を過小評価していることを示唆している。

水位が下がった池では、潜水捕食性のカイツブリ、浅瀬に立ち採餌するアオサギ、ダイサギ、チュウサギ、コサギ、水中に飛び込み餌を捕食するカワセミなど水鳥たちのアメリカザリガニへの捕食圧も高まった（林，2022）。これらの捕食量を正確に把握することはできないが、こうした鳥類の捕食圧もアメリカザリガニおよびウシガエル幼生の低密度管理の達成に貢献した。図17は、抽水植物の繁茂面積およびミジンコの個体密度の変遷を示したものである（林，2022）。アメリカザリガニおよびウシガエル幼生の低密度化が達成されたことにより、水生植物の芽生え食害が抑制され、ヨシ、マコモ、ヒメガマ、ショウブなどの抽水植物の繁茂域が拡大した（林，2022）。

2015年までの継続的な水位低下攪乱の効果が確認されたため、2016年に水位低下の休止（満水継続）を試行した。その結果、図15に示すとおり2017年には捕集されるアメリカザリガニ頭胸甲殻数が増加した（林，2022）。しかし、2017年以降に水位低下攪乱を継続したところ再びアメリカザリガニ頭胸甲殻捕集数は減少・小型化した。この回復に4年を要した。これらの事実は、水位攪乱は毎年継続して実施することが望ましいことを示唆している。

池水位を低下させ攪乱を創出することは、アメリカザ

リガニなどの低密度管理に有益であることが明らかとなった。水位の攪乱は、かいぼりに比較し実施に向け関係者間の調整の障壁が低いと想定される。舟田池の事例では、水位を低下させることで干し上げ出現した水辺が緩傾斜の移行帯となり、キセキレイやトラツグミなどの鳥類、ヒバカリやクサガメなどの爬虫類、ウシガエルなどの両生類、タヌキなどの哺乳類といった生物を観察する機会が得られるようになった。ただし、池によっては池岸が老朽化した垂直擁壁などの構造物の場合もあり、水位低下による水圧・土圧の調和が崩れ擁壁崩壊の恐れが生じる可能性には留意が必要である。

隔離水界の設置

2008年2月、図18に示す一辺1.8mの直方体形状の隔離水界7基を舟田池の南岸側（野鳥観察舎の東側・旧東金街道沿い）に並列設置した。各水界には、素焼き鉢5基を配置し、舟田池の土壌シードバンクから休眠打破させた沈水植物コウガイモなどを移植し、アメリカザリガニによる捕食圧との関係性を検証してきた（図19）。本検証は、ザリガニ全般に造詣が深い中田和義氏（独立行政法人土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム、現：岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域）との共同研究として実施している。

隔離水界を網で囲いアメリカザリガニやウシガエル幼生を不在とした条件下では、植栽したコウガイモなどは順調に生育すること、隔離水界内にアメリカザリガニが入ると生育していたコウガイモが全て消失すること、等が明らかにされた。このことは、水生植物の生育を阻害する要因はアメリカザリガニなどによる食害であり、水質や底質は水生植物の生育に関し制限要因ではないことを示唆している。

2022年時点では、隔離水界が撤去され池底に配置した素焼き鉢を捕食者に暴露した状態での異なる検証を継続実施している。

湿地の再生

舟田池に隣接する湿地は、観察用に設けた木道（図20）の腐朽により崩壊し、危険回避のため2007年11月に閉鎖した。また、開園当初から続く漏水による水位低下が抑止できず乾燥化が進んだ（大窪，1994）。開園時に植栽したハンノキやヤナギ類が高木化し、アカメガシワ、ハリエンジュなども目立つようになり、下層はアズマネザサの藪と化した。図21は、木道腐朽により閉鎖した2020年の景観である。湿地の再生を目指すため、2020年に旧湿地の一部約600m²の樹木やアズマネザサの伐採を実施し、開けた空間を確保した（図22）。

藪が取り払われた湿地において、複数箇所を試掘した結果、開園当初の地盤高に比較して土壌の堆積が進み、中心部では堆積した土壌被覆厚が最大60cmあることが明らかとなった。また、舟田池ではアメリカザリガニ低密度管理を目的に、池の水位を定期的に変動させる水位攪乱を実施しているため、舟田池低水位時には湿地部の

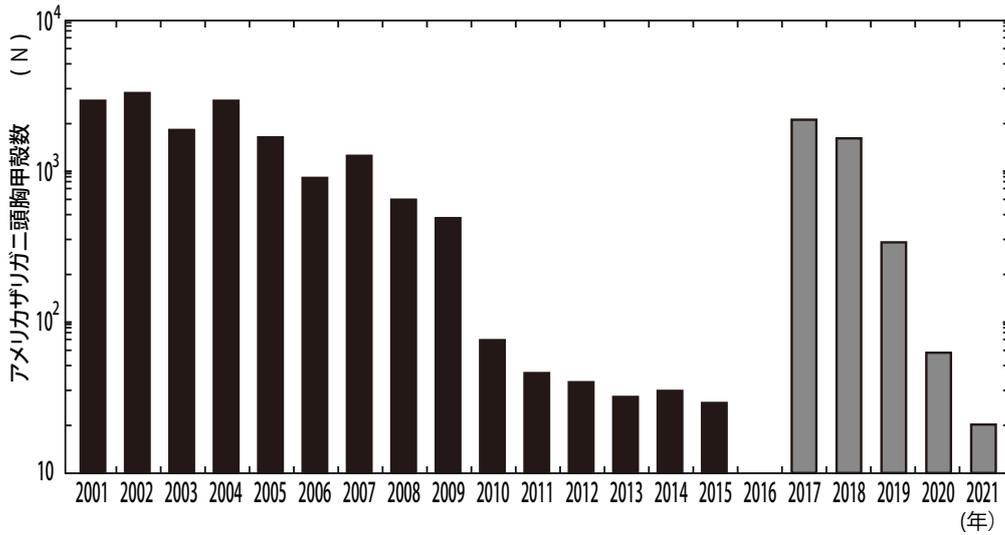


図 15. 水位低下攪乱により捕集されたアメリカザリガニ頭胸甲殻数の変遷
(林, 2022 から一部改変し引用).

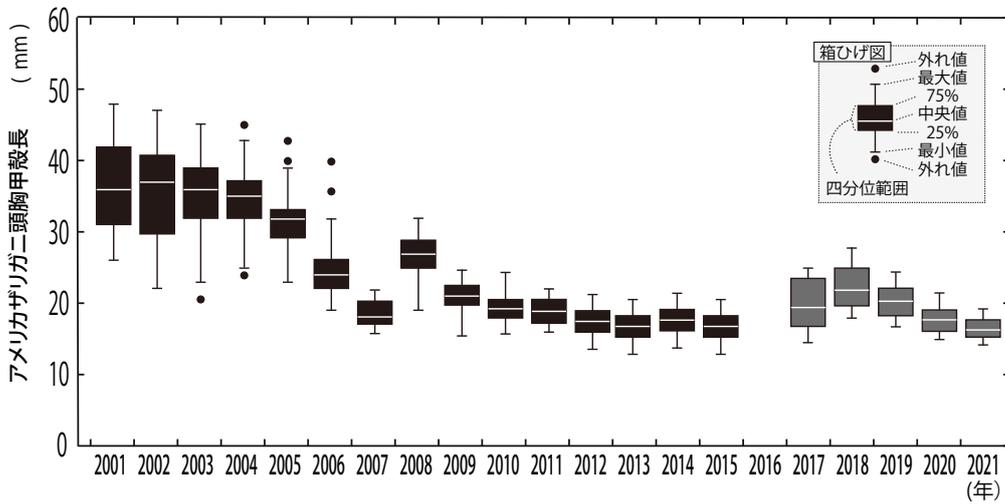


図 16. 水位低下攪乱により捕集されたアメリカザリガニ頭胸甲殻長の変遷
(林, 2022 から一部改変し引用).

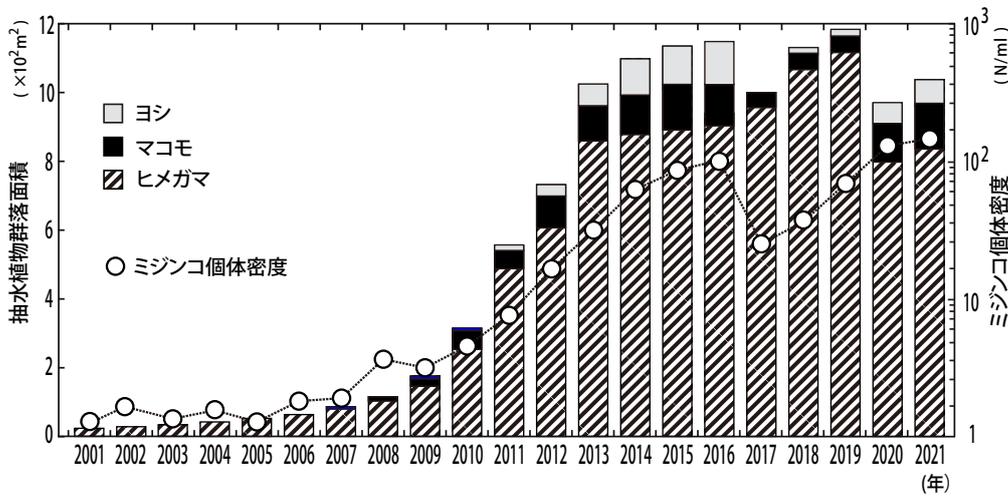


図 17. 水位低下攪乱による抽水植物群落面積およびミジンコ個体密度の変遷
(林, 2022 から一部改変し引用).

乾燥は助長される。これらを背景に、湿地の再生には被覆土壌の剥ぎ取り排除という規模の大きな土木工事が必要不可欠であることが明らかである。

生態園の園路に複数ある木橋の腐朽崩壊による通行止め措置は、生態園公開区画一部閉鎖を余儀なくしている。木橋の再架橋が実現していない現状では、湿地の掘り下げという土木工事への予算措置は、見通しが立ちにくい。このため手作業による穴掘りで水溜りを創る取り組みから着手することとした。図 23 は、2021 年に手掘りで創った約 1m² の水溜りである。1990 年当時の湿原の土留め杭の一部が露呈していることがわかる。湿地の地盤が高まり乾燥化が進んだ環境のため、水溜まりは図 23 に見られるように水が干上がり水底が露呈しやすい状況であった。千葉県生物多様性センターの協力を得て 2022 年には水溜まりを掘り下げて深くすると同時に面積を約 3m² に拡大した。さらに、2023 年 12 月には舟田池濾過槽のポンプが 35 年ぶりに初更新され、池水循環を湿地経由とする選択肢も加わった。今後は、同ポンプの運用により湿地の一部を常時湿潤環境に維持することが可能になり、湿生植物の繁茂や水生生物の生息空間の拡大などにつながる。当初は市民参画の連携事業として湿地再生を 2022 年に始動する予定であったが、COVID-19 の影響で観察会や講座の全面休止が余儀なくされ、市民参画型での取り組みは全て延期せざるを得ない状況になった。藪の解消で開けた湿地空間は、見通しが良好となり野鳥等の観察にも有益であるなど、さまざまな分野の研究を進展させ、市民も参画して共に創る場として発展させようと期待される。

おわりに

ため池は、人里に創出した人工的な環境であり、人手による維持管理を前提に継承されてきた水環境である。天然池沼での原生自然を大切する視点とは異なる特性を理解し、積極的な維持管理の導入を図ることが望ましい。ため池の水環境保全は定期的な水干しによる「かいぼり」が基本であることは論を俟たない。しかしながら、各種の制約が立ちほだかり「かいぼり」実施が難しい場合、人為的・定期的な水位攪乱の創出により、藍藻類アオコの異常増殖抑止、アメリカザリガニ低密度管理などを達成可能な事例を舟田池にて実規模で実証できた。池での水位攪乱は、水生植物を質的・量的に豊かにした。水生植物は、実験水槽および湿地という近隣水域も合わせ、場の多様性を高める効果を生み出した。その成果は、ミジンコなど動物プランクトンおよびトンボなど水生昆虫の種多様性や現存量の増大につながった。最終的には、池水の透明度向上など可視化しやすい結果に帰結した。

池への流入汚濁負荷の内、栄養塩（窒素・リンなど）は、アオコなど植物プランクトン、ミジンコなど動物プランクトン、モツゴ・フナなど魚類、ユスリカ・トンボなど水生昆虫、カエルなど両生類、サギ・カモなど鳥類と食物網を通じて高次捕食者に変換される。水生昆虫の羽化・カエル幼生（オタマジャクシ）の陸生化・水鳥の捕食な

どは、全てが池からの栄養塩の系外排除、換言すれば浄化につながる。池での水環境保全は、この物質循環を円滑化・活性化させる視点が大切であると結論づけられる。

舟田池および生態園に配置した水槽などでは、トンボ類を対象とした調査研究も継続し数多くの研究成果に結びついている（倉西，2013；松木・林，2017；松木ら，2022）。トンボ類の生態を理解し、産卵や羽化に配慮した取り組み・工夫によりトンボ確認種数や繁殖し羽化する頭数を増加させる成果も得られた（松木・林，2018；松木・林，2019；松木・林，2022）。舟田池および湿地など水辺環境を舞台に、さまざまな生きものを切り口としての研究の発展が期待される。こうした研究推進の舞台は、研究者のみならず広く市民にも門戸が開かれていることを観察会・講座・展示などを通じて喧伝することが重要な位置づけにあるといえる（林，2021）。

全国のため池では、水際が垂直に切り取られた護岸となり、浅瀬や移行帯の創出が困難な事例も多いのが現状である。池内の一部に浅瀬を造成し移行帯を創出させるなどの取り組みが、場の多様性を高める選択肢のひとつと考えられる。ただし、池が調整池（治水）の役割を担う場合、洪水予防のため貯水容量の確保という制約が果されている。浅瀬の創出を実現しつつ貯水容量を維持するためには、最深部の掘り下げなどの工夫も必要である。



図 18. 舟田池南岸に隔離水界を設置して水生植物の食害影響を検証。



図 19. 隔離水界を用いたアメリカザリガニによる水生植物食害影響の検証。



図 20. 開園直後の湿地および木道。



図 21. 木道が腐朽・崩落し藪化が進展した旧湿地。



図 22. 樹木伐採と藪刈り払いで湿地空間を確保。



図 23. 伐開した湿地を試掘して水溜りを創出。

ため池の維持管理計画の策定では、土着の水生植物を蘇らせ移植する長期的な視点を盛り込んだ取り組みの検討が望まれる。公園池として親水を目的に運用される全国の旧ため池において、生態園舟田池や湿地再生の取り組み事例が参考となれば幸甚である。

謝 辞

生態園の舟田池および湿地での取り組みには、数多くの専門家・行政担当者・市民・市民団体・企業等の助力を得た。中田和義氏、松木和雄氏、横林庸介氏からは数多くの指導・助言・協力を賜った。美しい手賀沼を愛する市民の連合会、水辺の植物同好会、浮島研究会、国立研究開発法人国立環境研究所、国立研究開発法人土木研究所、東邦大学理学部、印旛沼流域水循環健全化会議、手賀沼水環境保全協議会などには特段の協力を賜った。生態園での取り組みに協力を賜った全ての皆様に謝意を表します。

引用文献

- Akasaka, M. and N. Takamura, 2011. Relative importance of hydrologic connection and water quality on species richness of aquatic macrophytes in ponds: comparison between floating-leaved and submerged macrophytes. *Oikos* 120: 38-46.
- Akasaka, M. and N. Takamura, 2012. Hydrologic connection between ponds positively affects macrophyte α and γ diversity but negatively affects β diversity. *Ecology* 93: 967-973.
- Akasaka, M., N. Takamura, H. Mitsuhashi and Y. Kadono, 2010. Effects of land use on aquatic macrophyte diversity and water quality of ponds. *Freshwater Biology* 55: 909-922.
- Changqing L., S. Xiaoli, F. Fan and W. Fan, 2019. N: P ratio influences the competition of *Microcystis* with its picophytoplankton counterparts, *Mychonastes* and *Synechococcus*, under nutrient enrichment conditions. *Journal of Freshwater Ecology* 34(1): 445-454.
- 藤井直也, 2015. 天然ゼオライトの技術と特徴. *Japan energy & technology intelligence (JETI)* 63(10): 134-140.
- 後藤義昭・松本泰治・磯文夫, 1994. 天然ゼオライトのリン酸イオン吸着. *粘土科学* 34(2): 102-107.
- 林紀男, 2017. かいぼりが池の環境保全に果たす役割. *用水と廃水* 58(11): 56-64.
- 林紀男, 2019. ため池の生態系. *水環境学会誌* 42(2): 65-69.
- 林紀男, 2021. 地域社会で市民をつなぐ博物館の取り組み 所収 小川義和編 発信する博物館 持続可能な社会に向けて. 178-193. ジダイ社, 埼玉.
- 林紀男, 2022. ため池の水位攪乱による池水環境の保全～アメリカザリガニ低密度管理とその波及効果～. *日本水処理生物学会誌* 58(3): 107-114.
- 角道弘文, 2019. 小規模ため池の維持管理を巡る現状と課題. *水環境学会誌* 42(2): 50-54.
- 角田裕志, 2017. ため池の管理放棄と改廃による水域生態系への影響: 人口減少で何が起きるか?. *Wildlife and Human Society* 5(1): 5-15.
- 環境省, 日本の外来種対策. <https://www.env.go.jp/nature/intro/2outline/list.html> (最終更新 令和5年9月5日版)

- 2023/12/23 確認)
- 小林紀雄. 1989. II 生態園 (野外観察地) の基礎調査 1. 千葉市内の池の水生動物相, 昭和 63 年度千葉県立中央博物館自然誌資料調査・収集事業報告書: 8-17.
- 小林紀雄・倉西良一. 1994. 生態園舟田池における浚渫直後の淡水大型無脊椎動物相. 千葉中央博自然誌研究報告 特別号 1: 345-348.
- 倉西良一. 1995. 千葉市における淡水 (大型無脊椎動物) の生息状況Ⅲ, 千葉市野生動物植物の生息状況及び生態系調査報告Ⅲ: 268-273, 千葉自然環境調査会.
- 倉西良一. 2013. 生態園のトンボ 生態園観察ノート 19. 29pp. 千葉県立中央博物館.
- 松木和雄・林紀男. 2017. 千葉県立中央博物館生態園のトンボ類. 房総の昆虫 (59): 2-21.
- 松木和雄・林紀男. 2018. 生態園内でのイトトンボ類誘致・増殖の試み. 房総の昆虫 (63): 70-71.
- 松木和雄・林紀男. 2019. 生態園内でのイトトンボ類誘致・増殖の試み (続報). 房総の昆虫 (65): 55-56.
- 松木和雄・林紀男. 2022. 生態園の再生湿地で新たに確認されたトンボ 2 種. 房総の昆虫 (71): 23-25.
- 松木和雄・林紀男・小松新. 2022. 生態園のトンボ-2021 年の試みと追加種-. 房総の昆虫 (70): 20-22.
- 宮本和徹. 1989. アースドリル工法. 土木技術 44(4): 96-108.
- 室井高城. 2015. ゼオライト触媒の再生技術. 工業材料 63(3): 79-83.
- 中村雅子・矢部徹・石井裕一・木戸健一朗・相崎守弘. 2010. 湖畔林にカワウコロニーが存在する小規模池沼の極端な富栄養化. 陸水学雑誌 71(1): 19-26.
- 中村俊彦. 1994. 生態園の整備経過と管理運営. 千葉中央博自然誌研究報告 特別号 1: 7-17.
- 大窪久美子. 1994. 生態園湿原における植生の経年変化. 千葉中央博自然誌研究報告 特別号 1: 161-168.
- 須藤隆一. 1977. 廃水処理の生物学. 638pp. 産業用水調査会, 東京.
- 須藤隆一. 2000. 環境修復のための生態工学. 232pp. 講談社, 東京.
- 須川恒. 2018. カワウ問題解決のための順応的管理と河川環境改善. 所収 牛尾洋也・吉岡祥充・清水万由子編著 琵琶湖水圏域の可能性-里山学からの展望-. pp.155-164. 晃洋書房, 京都.
- 高嶋秀則・中村直紀・湯川恭啓. 2000. 技術紹介 機能性凝集剤 Gellanic による排水処理 (8) ベントナイト安定液. 用水と廃水 42(11): 1045-1049.
- 高村弘毅. 1974. 地下水の水位の変動を数量化する一つの試み-自噴井を利用する場合-. 地理学評論 47(6): 359-369.
- 田中仁志・木本達也・木持謙・須藤隆一. 2018. 野外実験池を用いたクヌギ (落葉広葉樹) およびスギ (常緑針葉樹) の落葉が負荷源として形成される水質の特徴. 日本水処理生物学会誌 54(3): 83-94.
- ティビーアール (株). 1999. バイオコードによる河川の直接浄化. 生活排水 19(217): 20-22.
- 土山ふみ. 2003. ため池という水環境. 水環境学会誌 26(5): 246-251.
- 占部城太郎・倉西良一・長谷川雅美・小林紀雄・小倉紀雄・谷城勝弘. 1994. 舟田池における水質と動物相の変化-改修工事の影響とその評価-. 千葉中央博自然誌研究報告 特別号 1: 333-343.
- 渡邊暁人・山田正・石川美宏. 2010. 雨水浸透施設によるノンポイント汚濁負荷の捕捉効果のモデル化に関する研究. 水文・水資源学会誌 23(6): 458-469.

Conservation Efforts for Water Environment in Funada-ike Pond, the Ecology Park, Natural History Museum and Institute, Chiba: From the Perspective of Ecological Engineering.

Norio Hayashi

Natural History and Institute, Chiba
Aoba-cho 955-2, Chuou-ku, Chiba 2608682, Japan
E-mail: hayashin@chiba-muse.or.jp

Funada-ike Pond is a “reservoir” constructed for irrigation purposes. In conjunction with the opening of the Ecology Park, Funada-ike Pond ceased its water-use purposes, underwent maintenance activities such as dredging sediment and adding mountain sand, and has been utilized as a waterside nature observation pond for environmental learning since 1990. Funada-ike Pond and the surrounding aquatic environment have been utilized as a testing ground for aquatic ecosystem research and a platform for various investigations from the perspective of ecological engineering. In this report, we provide an overview of events and initiatives in the Funada-ike Pond spanning 35 years from its opening in 1989 to 2023. This report includes activities such as eutrophication control, pond water circulation with zeolite filtration, pruning of trees extending branches over the water surface, coarse woody debris sediment beds as fascine, artificial floating islands with contact materials for aquatic microorganisms, unanticipated bentonite inflow, disruption caused by invasive carnivorous fish, dredging and drying, disturbance created by water level fluctuations, installation of enclosure for testing feeding damage on submerged aquatic plants, and wetland restoration with citizen engagement.

Key words: reservoir, disturbance, maintain, dredging, restoration, invasive.