

# 印旛沼・手賀沼における沈水植物再生の取り組みと課題

千葉県立中央博物館

林 紀男

## 1. はじめに

千葉県の印旛沼・手賀沼は、富栄養化による有毒藍藻類アオコの異常増殖が認められること、湖沼水質保全特別措置法による指定湖沼であること、大規模干拓事業にともない水面積を大きく減じて岸辺環境が激変したこと、など八郎湖と数多くの共通点を有している。また、湖岸の植生の再生を通じた湖沼環境の保全を目指した取り組みを実施している点においても共通性がある。同様の問題を抱える茨城県の霞ヶ浦も含め、植生再生を目指した各種取り組みが実施され成果と課題が明らかにされつつある（柚木ら、2003；久城ら、2010）。こうした背景のもと、ここでは2004年から2012年までの印旛沼・手賀沼における植生再生を目指した取り組みについて紹介する。

## 2. 印旛沼・手賀沼の概要

印旛沼・手賀沼は、図1に示すとおり千葉県北西部の北総地域に流域を隣接させ位置している。沼の諸元は表1に示すとおりである。八郎湖に比較し水面面積・水深・水容量のいずれも小さいが、流域人口が多く、農地等の面源負荷より生活排水など点源負荷の比率が高い特徴を有している。1960年代前後の高度経済成長期には、沼の富栄養化が急速に進展した。沼に流入する汚濁負荷は、1970年代前半までは工場・事業場排水に起因する点源負荷が中心であった。その後、工場・事業場排水に対する法律・条例の整備が進み、汚濁負荷源は、市街地から排出される生活雑排水などの

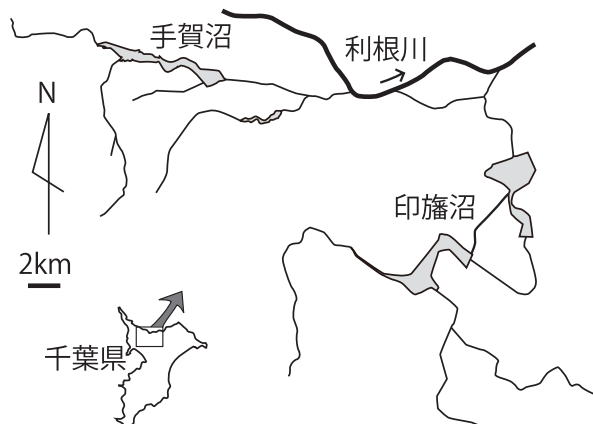


図1 印旛沼・手賀沼の位置

生活系排水、農耕地からの面源負荷などの占める割合が増加した（須藤、2000）。特に浄化槽によるトイレの水洗化の急速な進展により、浄化槽放流水に起因した窒素・リンの負荷が、汲み取り式トイレに比較し高まった点が指摘されている。

表1 印旛沼・手賀沼の概要

| 項目                 | 単位              | 印旛沼    | 手賀沼    | 八郎湖     |
|--------------------|-----------------|--------|--------|---------|
| 水面面積               | ha              | 1,155  | 650    | 4,730   |
| 平均水深               | m               | 1.7    | 0.86   | 2.8     |
| 最大水深               | m               | 2.5    | 3.8    | 10      |
| 水容量                | 万m <sup>3</sup> | 1,970  | 560    | 13,260  |
| 干拓による水面減少          | %               | 約55    | 約45    | 約78.5   |
| 指定地域内流域面積          | ha              | 49,389 | 14,398 | 894,000 |
| 指定地域内流域人口 (H21年度末) | 千人              | 764.5  | 503.2  | 77.0    |

## 3. 沼岸の植生

水域に流入した汚濁負荷を、水域内で浄化し負荷の蓄積を最小限に留める役割を果たすのが自浄作用（須藤、2000）である。富栄養化が急速に進行した背景には、流入負荷の増大のみならず水域そのものの浄化能の漸減も少なからず影響している。すなわち、自浄能力が期待できる浅瀬・藻場が地先干拓や埋め立てにより消失し、自浄作用を担ってきた場が失われた負の側面も富栄養化を促進してきた一因である。

沼岸に形成される水生植物は生活形により区分される（角野、1994）。生活形による分類とは、抽水、浮遊、浮葉、沈水で図2のように示される。これは、生物学的な系統分類とは別に類別したもので、植物の生活形態により仲間分けしたものである。アシ・ガマ・マコモのように水面を突き抜け空中に葉を広げるものが抽水植物、ホテイアオイ・ウキクサのように水面上に浮かぶものが浮遊植物、ヒシ・アサザ・ヒルムシロのように水底に根を張って茎を伸ばさせ葉を水面に浮かべるのが浮葉植物、センニンモ・クロモ・エビモのように水中に葉を展開するのが沈水植物である。抽水植物・浮遊植物は光合成に必須の光を受ける葉が水面上に存在するため、富栄養化により水の濁度が

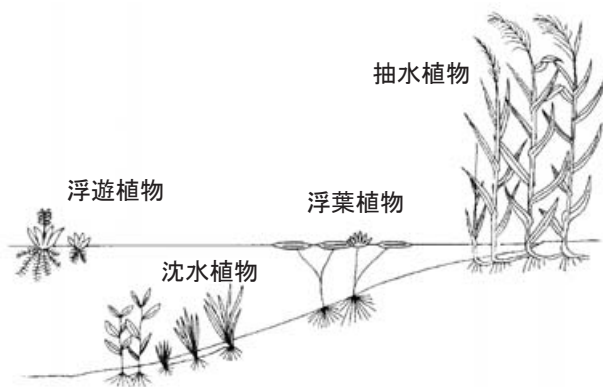


図2 水生植物の生活形による分類

高まり、水中に届く光が減少しても生育に直接的な影響は生じない。このため富栄養水域ではこれらの生活形の水生植物が優占化している。浮葉植物は、底質の影響を受けるため抽水・浮遊植物に比較して脆弱であるが濁度が高まっても生育可能である。沈水植物は、葉を水中に展開するため濁度が高まり水中照度が低下すると光合成が阻害され生育困難となる。このため沈水植物は、富栄養化の影響を受け易く、水域から消滅しやすい。また、岸辺がコンクリート等の人工物で被覆された環境では、波浪による底泥の巻き上げが生じ易い。この波浪による物理的剪断力は、濁度を高めるのみならず、底質を掘り返し沈水植物定着に必要となる底質土壌を奪い、水中に展開する葉を傷つける力となるなど生育の決定的阻害要因となる。こうした理由により、印旛沼・手賀沼でも沈水植物は他生活形の水生植物よりも先んじて絶滅した。

#### 4. 湖岸植生の役割

水生植物は、底質中・水中から窒素・リンを摂取し生育に資する。このため水生植物の生長により、窒素・リンが消費され水質浄化につながる。しかし、水生植物の多くは夏緑性で冬期枯死し植物体に蓄積させた窒素・リンを再び水中に放出させる。地下茎や殖芽に栄養を回収蓄積し越冬する水生植物も数多く存在し、この場合の地上部枯死による栄養塩回帰は限定的であることも知られている。

岸辺に形成される植生帯の役割は、直接的な栄養塩の吸収に留まらない。植生が豊かな水辺には、さまざまな水生動物の生息が認められる。すなわち、水生植物は場の物理的構造多様度を高め多様な生物の生息空間を創出する役割（山室・浅枝、2007）を担っている。

ミジンコ類は、水生植物とくに沈水植物の繁茂により生息密度を高めることが知られる水生動物の一種である。ミジンコは、胸脚の櫛状構造を使って微細な植物プランクトンを漉し捕り摂食する（花里、1998）。このため、ミジンコ類の現存量と水域の透視度とは密接な関係を有している。大型のミジンコであるダフニア (*Daphnia*) の生息密度が高い水域では透明度が高いことが知られている。一方、図2に示すとおり小型のミジンコであるゾウミジンコ (*Bosmina*) は、ダフニアに比較して生息密度と透視度との関係性が弱い。ゾウミジンコは体長 0.5mm と小型であるにもかかわらず、体長 2 ~ 3mm のダフニアに比較して胸脚に備わる濾過摂食用の櫛状構造の間隔が大きく、微細な植物プランクトンを捕捉する能力に劣っている（花里、1998）。多くの富栄養水域では、濾過能力の高い大型のダフニアが少なく、濾過能力が低い小型のゾウミジンコが多い。これは、大型のミジンコ類が安定的に生息できる水生植物の繁茂域が少ないことが原因である。ダフニアは、体が大きく目立つためプランクトン食魚やフサカ幼虫などの天敵に捕食されやすい。これら捕食者から逃れる上では、水生植物がミジンコ隠れ家として機能する条件が有効である。特に沈水植物は水中に葉を展開するため、水中の物理的構造物としての隠れ家機能に優れミジンコ類との相性がよい。このため沈水植物を繁茂させダフニアなど大型ミジンコを増やし水を透明にすることが重要である。透明度が高まると光が水中に到達しやすくなり、沈水植物の繁茂が促進されるという相利共生の連鎖が期待されている。

また、水生植物の繁茂域が誘引する水生動物群は、ミジンコ類に限らない。水生植物がもたらす環境には、水生昆虫類、両生類、魚類、鳥類など多様な水生動物が共存し生息する場がつくられる。生物多様性を高めることが生態系の安定化、すなわち特定の生物の異常増殖を抑制する自己復元力の構築につながることも知られている。



これらの背景のも 図3 ミジンコの比較

と、印旛沼・手賀沼では沼岸の植生再生を目指してきた。特に印旛沼では沈水植物再生を目標とした積極的な取り組みを実施することとした。

### 5. 沈水植物再生に用いる植物の調達

水域から消失した沈水植物群落を再生させる上では、(1) 同一流域内の繁茂地から人為移植、(2) 底質中に休眠している埋土種子等の活用、の両手法を取り得る。市場に流通する市販の植物や他地域に繁茂する植物を移植に用いるのは、たとえ同種であっても地域遺伝情報攪乱の恐れがあり避けなければならない。かつて繁茂していた沈水植物と生物学的に同一種であっても、地域の環境に適応した個性を育み継代してきた群落（個体群）には、その地域の個性が発現している。この遺伝的な多様性を人為的に攪乱してはならない。このため消失した沈水植物群落の再生を目指す上では、土着の沈水植物の確保が必須条件となる。

このため印旛沼・手賀沼での沈水植物再生では、底質中に生きたまま休眠している種子の集まり（土壌シードバンク）を活用（鷺谷、2010）することとした。水生植物は、異常気象や気候変動など予測不能な環境変化や偶発的な攪乱を乗り越え次世代に子孫を残すため、種子や殖芽などを用いて時間的、かつ空間的に子孫維持のための適応戦略をとっている（鷺谷、2010）。底土表面に沈んだ散布体は、土砂や植物遺骸等に埋もれ閉じこめられ、再び攪乱が生じて発芽の機会が得られるまで時間的な散布を果たしている。特に印旛沼・手賀沼では干拓により一気に覆土され土壌中に閉じこめられた埋土種子が、発芽能を維持した状態で休眠していることが期待された。

### 6. 沈水植物再生の取り組み

土壌シードバンクは、不均質に分布している。かつて大規模な沈水植物群落が記録されている場であっても、同地点に土壌シードバンクが均質に広がっているとは限らない。これは種子が水流などにより容易に移動することに起因する。底質を掘削し、堆積した層をコアで抜き取ると、種子は砂礫層に少なく泥質層に多く見いだされる。砂礫が堆積した環境は、水流があつて細かい泥質は留まることができなかつたこと、泥質が堆積した環境は逆に水流が弱く細かい粒子も沈降堆積し易かつたことを示している。すなわち、種子が流れ

の穏やかな場所まで移動した後に沈降堆積し土壌シードバンクを形成したと考えれば、埋土種子が泥質層に局在する事実は水理学的に整合的である。この不均質な土壌シードバンクを沈水植物復活のために活用する上では、土壌シードバンクが包含する種構成と密度をあらかじめ掌握しておくことが重要であり、印旛沼では初期に埋土種子の分布探索を実施した。土壌シードバンクの調査は、直接計数法と実生発生法に分けられる（鷺谷、2010）。直接計数法は、採取した土壌を篩いにかけて種子を目視選別し計数する手法である。この直接計数法は、種子密度の推定がしやすい反面、採取試料の篩い分け作業に労力を要するため大量の試料の取り扱いが困難であり、選別された埋土種子が発芽能を維持しているか否か判定しにくい欠点を有している。一方、実生発生法は、土壌シードバンクが期待される底土をバット型水槽などに薄い層状に撒きだして光や温度条件などの攪乱により覚醒させ、実際に芽生えてくる植物体の種類と量を確認する手法である。実生発生法では、発芽能を保持した種子密度を評価しやすく大量の土壌を対象に調査を進めることが可能という利点がある。一方で発芽確認に要する時間が長く必要で、撒きだし水槽を敷設するための圃場面積を要するなどが欠点である。印旛沼・手賀沼では、多地点の底質を検証するため、後者の実生発生法を用いた（久保田・中村、2009）。干拓地において重機を用いて土壌シードバンク包含が期待される地点を掘削（写真1）し、かつての沼底面を露呈させ覆土厚を確認（写真2）。その後、埋土種子の包含が期待できる泥層の下部まで掘り進め（写真3）、泥層部の一部を試験採取（写真4）し、現場で篩にかけ種子の有無を検証（写真5）した。埋土種子の探索は数多くの地点で繰り返し実施し（写真6）、掘り出した土壌を撒きだし実験に供した。採取した土壌はバット型水槽に撒きだし、芽生えを検証した（写真7）。本法による埋土種子からの芽生え検証は、埋土種子の休眠打破を目的に、冬期に撒きだし水槽内の土壌を天地返しする攪乱を複数年継続した。

撒きだし水槽での芽生え検証には、多くの湿性植物の発芽も認められた。しかし、発芽後に水没した状態を維持することにより、目的外の湿性植物は枯死した。このことは、芽生え株を水没状態に維持できるよう、撒きだし水槽の水深は10cm

以上確保することが芽生え株のスクリーニングに有益であることを示唆している。

撒きだし水槽を用いて、目的の沈水あるいは浮葉性と確認できた株は、容積約1 m<sup>3</sup>の大型水槽に移植(写真8)し、種別に継代栽培を続けている。千葉県立中央博物館の生態園には数十基の大型水槽を配置(写真9)し、同種でも異なる地点で発芽した株は、異なる遺伝情報を保持したクローンである可能性に配慮し、別水槽で栽培している。表2は2012年時点で系統維持している印旛沼産38種の沈水・浮葉植物である。各水生植物の株分け、定期的な土換え作業などは、博物館の性格を生かし、職場体験学習の中学生、インターンシップの高校生、博物館実習の大学生、市民講座等の社会人、ボランティア等の市民といった広い助力も得ながら実施している(写真10)。

表2 水槽にて系統維持している印旛沼産の水生植物

| 沈水植物 (26種) |  |
|------------|--|
| トチカガミ科     | クロモ・コウガイモ・セキシウモ  |
| ヒルムシロ科     | ササバモ・ガシャモク・インバモ・ヒロハノエビモ・オオササエビモ・エビモ・センニンモ・ヤナギモ・イトモ・ツツイトモ・リュウノヒゲモ |
| イトクズモ科     | イトクズモ  |
| イバラモ科      | イバラモ・オオトリゲモ・トリゲモ・ムサシモ  |
| スイレン科      | ハゴロモモ (フサジュンサイ)  |
| マツモ科       | マツモ  |
| アリノトウグサ科   | ホザキノフサモ  |
| タヌキモ科      | タヌキモ   |
| シャジクモ科     | シャジクモ・ケナガシャジクモ・オトメフラスコモ  |
| 浮葉植物 (6種)  |  |
| トチカガミ科     | トチカガミ  |
| ヒルムシロ科     | ヒルムシロ  |
| スイレン科      | ジュンサイ・オニバス   |
| ミツガシワ科     | アサザ・ガガブタ   |

土壌シードバンク調査により、潜在的な沈水植物再生能が保持されている地点が判明し、埋土種子から発芽させた土着種が系統維持できた背景のもと、これらの資源を生かし、地点別の特性に合わせた各種の工法による植生再生を試みた(久保田・中村, 2009)。ここでは、印旛沼・手賀沼において実施した1) 高水敷掘削による池創出法、2) 緩傾斜護岸法、3) 囲い込み水位低下法、4) 消波工による底泥巻き上げ抑止法、を紹介する。

### 1) 高水敷掘削による池創出法

湖岸整備に伴う築堤時に、湖岸帯を盛土した場合、盛土下層のかつての湖底に土壌シードバンク

の存在が期待される。印旛沼・手賀沼でも干拓造成工事により、瞬く間に覆土され酸素を遮断されたため、発芽能喪失が最小限に留まると期待された。そこで、高水敷のヨシが密生した盛土をはぎとり、かつての湖底土壌を露出させ、雨水や浸透水で湛水した長径20 mの楕円形の池(写真11)を印旛沼湖岸の8地点に造成した(久保田・中村, 2009)。池周辺のアメリカザリガニ生息密度が高いため、ザリガニ侵入防止目的で高さ30 cmの波板で防護壁を構築し、増水時の水圧に耐えられるよう内部から土のう袋で補強した。台風による大雨増水時にも防護壁が周囲との隔離状態を維持し、ザリガニなどの食害生物の侵入を阻止できた(写真12)。この結果、複数地点で複数種の沈水・浮葉植物の再生が確認できた(写真13)。再生した主な沈水植物は、ガシャモク、ササバモ、コウガイモ、セキシウモ、ヒロハノエビモ、エビモ、センニンモ、イトモ、オオトリゲモ、ホザキノフサモ、シャジクモなどである。一方で沈水植物の再生が全く認められなかった池も複数認められた(久保田・中村, 2009)。2年目以降、浮葉植物アサザの定着、周囲からアシ根茎の侵入によるアシ原への遷移も認められた。周囲が抽水植物帯である高水敷において、造成による小規模な人工池に沈水植物群落を維持させるためには、浮葉および抽水植物など沈水植物と競合する植物の人為的除去など維持管理が不可欠であることも明らかとなった。先述の印旛沼8地点の造成池の内、最も沈水植物の再生が顕著であった甚兵衛大橋工区では、水生植物見本園としても機能するよう池規模を拡大し、見学用足場を整備した(写真14)。現在、継続的に抽水植物の除去など維持管理作業を地域市民に担ってもらう体制を検討している。

### 2) 緩傾斜護岸法

既設堤近傍から沼がすぐに深くなるような構造となっている岸辺の場合、種子発芽に必要な光が十分に湖底に届かない。同時に堤に波浪が衝突する条件では直接波および反射波による物理的剪断力も沈水植物の生育を阻害する要因となっている。こうした場には、湖底基盤面を盛土により嵩上げして光が十分に湖底まで届く条件を確保し、埋土種子の含まれる土砂を撒き出す工法が有効である。印旛沼北須賀工区では年間を通じた卓越風向を考慮し、消波および土留め工として木杭

と板による木柵矢板の囲いで湾処を造成し、ここに浚渫土を盛土し緩傾斜を創出し（写真 15）、緩傾斜とした表層には埋土種子の含まれる土砂を撒き出した。本工区では、植食魚類ワタカ、アメリカザリガニ、カモ類などによる食害の影響が著しく、期待した沈水植物群落形成できなかつた。そこで、ザリガニ侵入防止ネットで囲った区画を複数設定（写真 16）し、沈水植物の食害を防ぐ試験を継続実施している。その結果、同ネットの内部にはコウガイモなどの密な沈水植物群落が安定的に保持されることが明らかとなっている。

### 3) 囲い込み水位低下法

濁度が高く沼底に光が届かない場において、鋼矢板で一定区画を囲い込んだ隔離水界を創出し、同区画内をポンプ排水により水位低下させ沼底に光を届ける工法である。岸辺の一角を鋼矢板で囲い込み表層浮泥層を排除して浮泥下層の沼底土壌を露出させ、水位を低く維持することで光を埋土種子のある沼底に届ける。印旛沼八代工区では沿岸の一角に本法を適用した（写真 17）。同地では、トリゲモ、コウガイモ、ササバモなど沈水植物複数種からなる豊かな水生植物群落再生された（写真 18）。本法では、水深を 70cm 以上に維持することで抽水植物群落への遷移を防止することが可能（久保田・中村、2009）という知見も得られた。しかし、ヨシやヒメガマなどの抽水植物がどの程度の水深まで生育可能であるかは、同種でも生息環境により異なるため、施工地の特性により必要とされる水深を見極めることが重要である。また、矢板による隔離水界を永年継続することは排水ポンプ稼働なくして困難となるため、沈水植物群落が安定的となった後、徐々に水位を上昇させ周辺水域と同水位条件でも沈水植物群落が継続されるよう導くことも必要であり、大きな課題である。

### 4) 消波工による底泥巻き上げ抑止法

風あたりが強く底泥巻き上げによる濁度が高い条件下において、潜堤等の消波工を構築し、波が静穏となる区画を確保する工法である。表層浮泥層を排除して浮泥下層の沼底土壌を露出させ、沼底面にまで光が届くよう浚渫土を盛土したり、盛土上に土壌シードバンクを含む土壌を撒き出す手法も併用される。手賀沼北岸では木杭土留め工を広範に適用している（写真 19）。本法により形成

された浅瀬にヨシが繁茂し、沼岸の波浪を弱めることが期待されている。2012 年時点では、施工後日が浅いため効果を確認できる段階には至っていない。

## 7. 沈水植物定着化への課題

土壌シードバンクなどにより土着の水生植物株を確保し、施工場所に応じたさまざまな工法を適用し沈水植物の再生を成し遂げてきた。しかしながら、各施工地では形成された沈水植物群落が安定的に継代されることなく、3～5 年で衰退してしまう現実にも直面してきた。これは、沈水植物を食害する生物の影響が大きいことが判明している。再生させた沈水植物群落を安定的に継代させる上では、食害生物を制御することが重要な課題である。印旛沼・手賀沼での代表的な食害生物は、アメリカザリガニ、ウシガエルのオタマジャクシ、ワタカ・ソウギョなど草食魚類、コブハクチョウ・カモ類など鳥類である。これら食害生物の生息密度管理は大きな困難を伴う。例を挙げれば特定外来生物に指定された外来魚オオクチバスは全国的に駆除対策が進行中である。その駆除方針は合理的であるものの、オオクチバス生息密度低下に伴いオオクチバスの餌生物であるアメリカザリガニの生息密度が増大し水生植物に被害が及んでいる。特定種を対象に現存量の人為管理を目指すのは、生態系の調和を崩し想定外の結果を導く危険を孕んでいる。バイオマニピュレーション技術の活用（高村、2005）など生態系全体を見通した戦略を立てることが必須である。

手賀沼畔に位置する手賀沼親水広場には、ミニ手賀沼と称される親水目的の池が創られている。これは約五千分の一縮尺で手賀沼を模した形状を成し、市民の憩いの場として機能している。手賀沼水環境保全協議会（流域市町・市民・研究者等により構成）は、啓発事業として、手賀沼の埋土種子から発芽させた土着の沈水植物をミニ手賀沼に移植する活動を 2008 年から継続実施してきた（写真 20, 21）。市民参加でアメリカザリガニ駆除を実施した上での植栽であったが、同池に残存したアメリカザリガニ等の食害により移植株は毎年消失し定着できなかつた。そこで、2011 年にアメリカザリガニを捕食するナマズ（隣接する印旛沼産土着種の養殖魚）を同池に放流し、ナマズによるアメリカザリガニ捕食圧を活用してアメリカ

ザリガニの密度低減化・移植沈水植物の繁茂・定着を検証した(写真22)。標識再捕獲法を用いたアメリカザリガニ推計個体数は、ナマズ放流前に比較して放流後、顕著に減少している事実が確認された。アメリカザリガニ個体数の減少に伴い、移植した沈水植物の繁茂、2012年には越冬株による再繁茂も確認できた(写真23)。食害生物への対策の成功例として示唆に富んだ結果である。

また、外来種の異常繁茂防除も喫緊の課題である。沈水植物の生育に適した環境を創出した場合、目的外の外来種がパイオニア種としてニッチを占める事例がある。特定外来生物に指定されているナガエツルノゲイトウやオオフサモなどは繁殖力旺盛で、手賀沼ではナガエツルノゲイトウの植物体の一部が千切れて農業灌漑水系を通じて流域全体に爆発的に繁茂域を広げ沿岸にも大きな群落を形成するに至っている(林ら、2008)。琵琶湖では、コカナダモが水域を占拠して船の運航障害をきたすなど問題が顕在化している事例(浜端、1997)もある。こうした水生植物の異常増殖は、土着種の生息場、沈水植物の再生場を奪ってしまう面でも大きな問題を内包している。

## 8. おわりに

岸辺は、水域と陸域をつなぐ移行帯で、水深等の環境に応じてさまざまな水生植物が繁茂する多様な空間である。しかしながら、全国の多くの水域で、岸辺はコンクリート等の人工構造物に置換され、水辺の水生植物帯が大きく消失している。一方で印旛沼・手賀沼の流域内にも、写真24に示すとおり沈水植物が豊富に繁茂を維持する池も残存している(横林ら、2012)。貴重な種が保存されているこうした環境を流域内で探索し保全すると同時に、土壌シードバンクという地域資源にも視野を広げ、土着の水生植物株を確保することが植生再生の第一歩となる。

水生植物豊かな岸辺を復活させることは、水域の透明度向上に大きく寄与することが明らかである。しかしながら、透明度回復のみを目標にすえた水質至上主義は、特定の外来水生植物の異常繁茂を招いたり、水域の漁獲量減少など生業への負の側面をも併せ持つことにも留意しなければならない。湖岸植生回復を目指す上では、水生植物のみならず、水質や生物多様性の向上などを含め、さまざまな視点からの検討を重ね、目指すべき水

環境を見据えておくことが必要である。目標を見据えた後、生物学・土木工学・農学・化学・社会学など多角的な視点を有機的に結びつけ、市民参画による維持管理を見据えた植生再生戦略を構築することが重要である。

## 9. 引用文献

- 浜端悦治 1997. 琵琶湖における外来種コカナダモの分布および群落構造と現存量の年変動：琵琶湖の沈水植物群落に関する研究，陸水学雑誌，58(2)，173-190.
- 花里孝幸 1998. ミジンコ その生態と湖沼環境問題，p. 230，名古屋大学出版会，愛知．
- 林 紀男・稲森隆平・尾崎保夫 2008. ミジンコ個体群動態に及ぼす水生植物代謝産物の影響，日本水処理生物学会誌，45(1)，57-62.
- 林 紀男・横林庸介・竹中真里子 2008. 手賀沼流域におけるナガエツルノゲイトウ繁茂域の変遷，水草研究会誌，91，6-10.
- 角野康郎 1994. 日本水草図鑑，p. 179，文一総合出版，東京．
- 久保田 一・中村彰吾 2009. 印旛沼水質改善にむけた沈水植物再生の取り組み，河川環境総合研究所報告，15，1-12.
- 久城 圭・林 紀男・西廣 淳 2009. 印旛沼における「高水敷の掘削」による散布体バンクからの沈水植物群落の再生，応用生態工学会誌，12(2)，141-147.
- 須藤隆一 2000. 環境修復のための生態工学，p. 229. 講談社サイエンティフィック，東京．
- 高村典子 2005. 土壌シードバンクとパイオマニピュレーションを活用した水辺移行修復・再生技術，環境研究，139，97-106.
- 柚木秀雄・高村典子・西廣 淳・中村圭吾 2003. 浚渫土に含まれる水生植物の散布体バンクとパイオマニピュレーションを活用して霞ヶ浦湖岸に沈水植物群落を再生する試み，保全生態学研究，8，99-111.
- 鷺谷いづみ・宮下 直・西廣 淳・角谷 拓 2010. 保全生態学の技法：調査・研究・実践マニュアル，p. 324，東京大学出版会，東京．
- 山室真澄・浅枝 隆 2007. 湖沼環境保全における水生植物の役割，水環境学会誌，30(4)，181-184.
- 横林庸介・竹中真里子・林 紀男 2012. 古新田調節池(千葉県印西市)の水生植物，水草研究会誌，97(3)，19-23.



写真1 手賀沼で重機を用いた埋土種子探索  
たくさんの地点を試掘して探す。



写真2 かつての沼底を露出させ覆土厚を計測  
場所により覆土された土層厚が異なる。



写真3 かつての沼底下まで掘削した状態。  
砂層でなくシルト層の沼底面を探す。

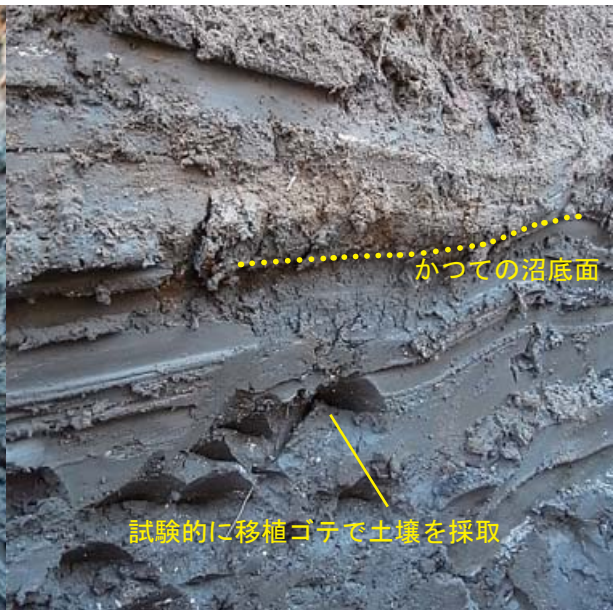


写真4 シルト層の上部から土を採取し  
埋土種子の包含有無を検証。



写真5 試験採取した土壌をその場で検証  
採取した土壌が散布体を包含している  
か否かを、ふるいに掛け見極める。



写真6 さまざまな場所で土壌を探索  
沼岸の複数箇所での探索を実施。  
埋土種子は局所的に散在していた。



**写真7 撒きだし実験**  
 土壌シードバンクが期待される底土を土嚢袋で運搬し、パット型水槽に地点別に撒きだし、発芽を検証した。



**写真8 大型槽へ移植**  
 土壌シードバンクで発芽した沈水植物は、素焼き鉢に移植し、大型水槽で株分けしながら継代栽培に供している。



**写真9 水生植物系統維持**  
 印旛沼株 44 基、手賀沼株 11 基の水槽を用いて種別に栽培。同一種でも遺伝的多様性に配慮し発芽した地点別に管理。



**写真10 水槽の維持管理**  
 土換え・株分けなどの作業は、市民、体験学習・インターンシップ等の学生などの協力も得て実施している。



**写真11 高水敷掘削による池創出**  
 抽水植物に覆われた高水敷を掘削し、土壌シードバンクからの発芽を期待。周囲の波板はザリガニ侵入防止用。



**写真12 大雨増水時のザリガニ侵入防止壁**  
 外周の波板囲いは、内部から土嚢袋で増水時の水圧に耐える構造とした為、台風後増水時にもザリガニ侵入を阻止。





写真 13 高水敷の池に再生した沈水植物  
沈水植物が豊かな群落を形成した池  
と、群落形成に至らなかった池が併存  
した。抽水植物の侵入が著しい。



写真 14 見学用の足場と手すりを整備  
高水敷の池で最も沈水植物が豊富に  
見られた池を再整備して見学用途に  
使えるよう維持管理している。



写真 15 緩傾斜護岸法を逆勾配で適用  
風当たりが強く波浪が高い地点のため  
木杭で湾処をつくり、内部に沈水  
植物の繁茂域を期待した。



写真 16 ザリガニ食害防止ネットを検証  
造成した湾処はアメリカザリガニ食  
害で沈水植物が生長できず。食害防  
止の囲いで効果を検証した。



写真 17 鋼製矢板を用いて沿岸の一部を囲い  
込み、ポンプで水位を下げた。内部  
の底泥は排除し、埋土種子を含む土  
壤を撒きだした。



写真 18 矢板囲い込み水位低下法で再生した  
沈水植物群落。見事な群落が形成さ  
れた。水位を低く維持しているとヒ  
メガマが侵入してきた。



写真 19 木杭・板壁で波浪緩衝護岸を整備  
手賀沼岸への波浪緩衝のためアシや  
ヒメガマなど抽水植物を繁茂させる  
浅瀬を木杭と板で整備している。



写真 20 育成した沈水植物を市民で定植  
市民啓発の意味も含め、親水広場の  
ミニ手賀沼では毎年、沈水植物を植  
える企画を実施している。



写真 21 ミニ手賀沼への沈水植物定植企画  
水位を下げた池に参加者が皆で入り、  
各自で自由にガシャモクやササバモ、  
コウガイモなどを植えた。



写真 22 ミニ手賀沼へのナマズ放流  
沈水植物を食害するアメリカザリガ  
ニの捕食者として在来ナマズを放流  
した。右下は放流したナマズ。



写真 23 移植した沈水植物が見事に定着  
ナマズによるアメリカザリガニ抑制  
が成功し、移植した沈水植物が越年  
して再び群落を形成。透明度も高い。



写真 24 流域内に残存する沈水植物豊かな池  
流域内には、豊かな植生が保全され  
た池も残存する。こうした池の保全  
も重要な位置づけにある。