

霞ヶ浦における流域支川等を考慮した水生植物の 保全・復元エリアの選定手法の提案

傳田正利・萱場祐一

1. はじめに

生態系は多くの恵みを人間社会にもたらしている。これらの恵みを「生態系サービス (Ecosystem Service、以下「ES」という。）」と呼び¹⁾、食品の供給や、水の浄化、気候などの調整といった機能が含まれる。

ESをより多く安定的に享受するために最も大きな脅威となるのは人類による酷使である。湖沼においても、かつて、急激な人口増加や経済発展に伴う環境の変化により、限界状態に達するほどの深刻なESの低下をもたらしたこともあった。その後、負荷を軽減する様々な取り組みや自然再生事業が本格化し、今では、一定のバランスを保つところまで回復してきているが、新たに少子高齢化に伴う人や体制の確保等の課題に直面している。これらの現状に対応するには、従来の取り組みを尊重しつつ、波に代表される湖沼の自然営力と営農等の人間活動を活用し維持管理が容易な²⁾水生植物の保全策を検討する必要がある。

本報では、そのさきがけとして、霞ヶ浦の西浦を主な対象に、湖沼における人為的改変と水生植物減少の関係を整理した後、水生植物の中でも、減少傾向の異なる抽水植物、沈水植物、浮葉植物、浮遊植物の特性に応じた保全・復元策を検討する(図-2参照)。湖内だけに留まらず流域支川と周辺農業用水路に視野を広げた水生植物を保全・復元する考え方を示し、保全・復元エリアの選定の基本的な手順を整理し、新たな考え方の一案を提案する。

2. 霞ヶ浦の概要と水生植物の変遷

2.1 霞ヶ浦の概要

霞ヶ浦は、湖面面積220km²で我が国で二番目の湖沼であり、平均水深約4mの浅い海跡湖である。霞ヶ浦は、西浦、北浦、外波逆裏で構成され

るが、主に西浦に着目する。霞ヶ浦には、大小22の支川が流入する(図-1)。

広く浅い霞ヶ浦は、風が波に影響を与え、さらに、波が水生植物に大きな影響を与える。図-1内に、2010年～2015年の4月における平均波高を示す。4月は、水生植物の発芽・生育に重要な期間である。南東からの風が多い4月は、湖心から湾域に向かうに従い、「波高」が下がる。霞ヶ浦の平面形状、特に内湾(幅に対して奥行が大きい湾)形状が波高に影響を与え、内湾の奥には静穏域が形成されていることがわかる。

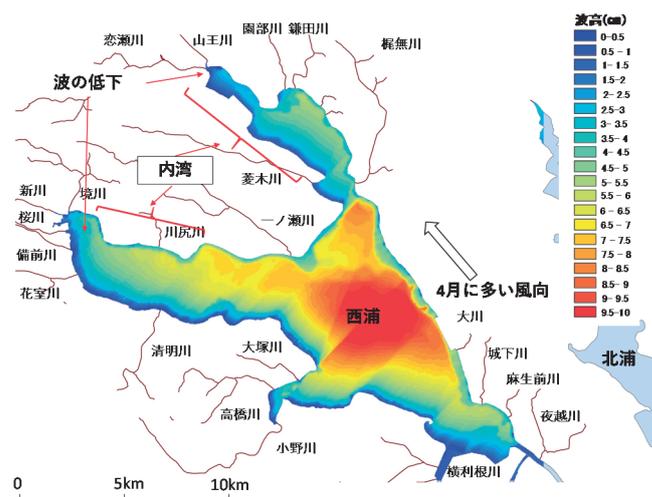


図-1 霞ヶ浦の流入支川と4月期の波高

2.2 水生植物の生育状況に影響を与える環境要素と霞ヶ浦総合開発による環境要素の変化

水生植物の生育に影響を与える物理環境は、波、湖浜形状、光を主とする。波は風によって発生する。波の大きさは、風の大きさ、風向に沿った湖面距離(吹走距離:フェッチ)、風が吹き始めてからの時間及び水位の影響を受ける³⁾。

霞ヶ浦総合開発は、利根川水系の治水・利水安全度向上に大きく貢献し、湖岸の堤防により浸水や波浪被害も大きく改善したが、一方で、霞ヶ浦総合開発による利水機能の強化によって、湖水位は上昇した⁵⁾。湖水位の上昇は、風の特異性・吹送距離が同じでも波の大きさをより発達させた(図-2)。

また、霞ヶ浦総合開発前の遠浅の湖浜は、湖心から湖岸にかけて緩やかに水深を変化させ、その結果、波は徐々に低減し、波の力の分布、砂礫、砂、泥が徐々に変化する多様な底質環境を作り出した。また、遠浅の湖浜形状は、湖心側から湖岸に向かって水中照度が大きくなる光環境を作り出した。多様な波の力・底質環境、十分な光量が到達する環境に対応し、抽水植物、浮葉植物、沈水植物、浮遊植物が生育した。

霞ヶ浦総合開発後は、貯水による水位上昇、治水・湖岸の浸食抑制のための護岸の設置のため、遠浅の湖浜がなくなり、護岸から一定の深さの水深が続く湖浜形状となった。遠浅の湖浜の消失に伴い、湖岸に到達するまで波の大きさが減少せず、それに伴い底質環境の単調化、巻き上げによる濁度の増加が生じ、水中に到達する光は減少した。その結果、穏やかな波の力、砂礫、砂、十分な水中照度を必要とする沈水植物・浮葉植物は減少した。一方、波の力に耐えられるヨシ等に代表される抽水植物は減少傾向にあるものの残存したと考えられる(図-2)。

3. 霞ヶ浦における水生植物の変遷と水生植物保全の考え方の整理

既往研究をレビューした結果⁶⁾は今後の水生植物の保全・復元の考え方に大きな示唆を与える。減少傾向にあるものの一定面積が確保されている抽水植物、保全・復元が行われても減少が著しい沈水植物・浮葉植物に関しては、分けて考える必要がある。

例えば、抽水植物に関しては、一定の面積が確保されているので、面積が減少している環境省または県のレッドリストに掲載されている種(以下、「重要種」と記述する。)を中心に保全・復元を行う方法が考えられる。重要種と重要種が生育する環境に着目することで、抽水植物の保全に関するコストを低減し、効果的な保全・復元を行うことができる。

沈水植物・浮葉植物に関しては、現状の霞ヶ浦においては保全・復元が難しいため、流入支川とその周辺域に生育環境を求める方法が考えられる。流入支川、特に霞ヶ浦との合流部には、広く静穏な河口域が形成され、沈水植物・浮葉植物の繁茂が確認されている。これらの水域における沈水植物・浮葉植物も保全対象に組み込めば、保全・復元の対象の「量」を確保できると考えている。

以下の4章から6章において、これらの方向性を具体的に説明する。

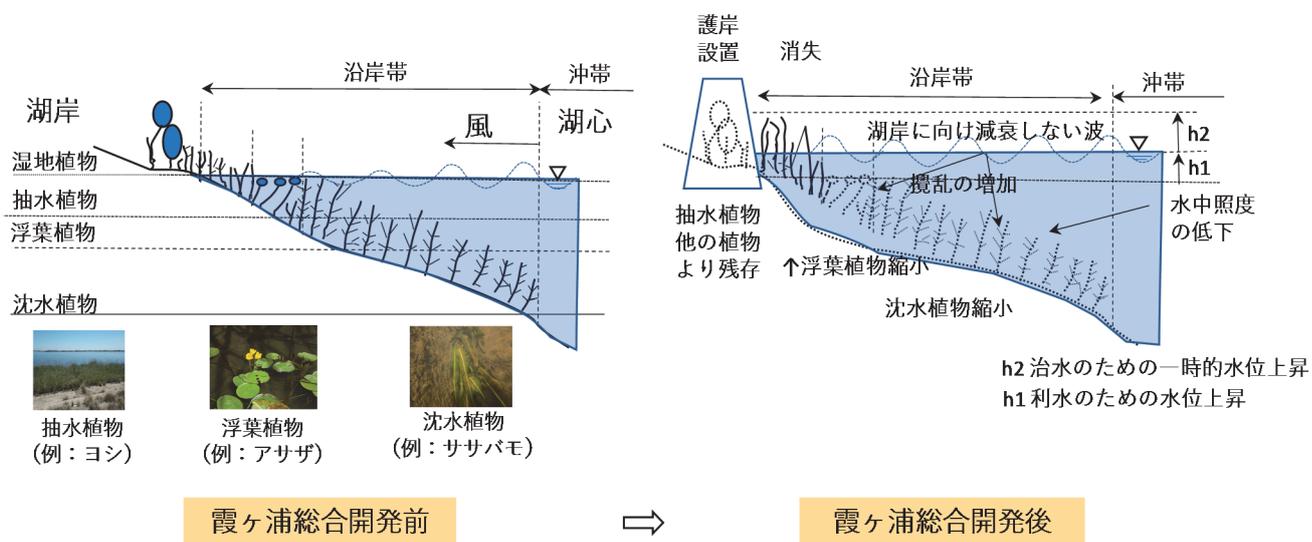


図-2 霞ヶ浦総合開発前後の湖岸域(沿岸帯)の変化^{3),4)}

4. 抽水植物の重要種ミクリが生育する区域の波高特性と保全の方向性

(1) 波高に基づく生育環境の評価

湖岸帯における抽水植物の生育は波に伴う外力の大きさによって支配される。波が大きい場合には、抽水植物の植物体に直接影響を及ぼすだけでなく、底面せん断応力を増大させて湖底の材料の移動頻度を増やし、抽水植物の定着を困難にする。一方、波が小さ過ぎる場合には、水中の細粒土砂や有機物の堆積を促進し、かつ、堆積した無機物・有機物の掃流を抑制するために湖岸が過度に細粒化し、嫌氣的な状態に陥りやすい環境を形成する。このため、抽水植物の生育には「程よい波」が必要であり、これを評価する上で「波高」は重要な評価指標となる。以降では、流動シミュレーションに基づき湖内の波高を評価し、抽水植物が生育する区域を明確における波高を明確にして、「程よい波」の定量化を試みる。

(2) 抽水植物の重要種ミクリが生育する区域の波高特性と保全の方向性

霞ヶ浦に生育する主な抽水植物は、ヨシ、ガマ、マコモ、ミクリであるが、この中で、ミクリは重要種（環境省準絶滅危惧種）である（図-3）。また、ミクリの内部には、近年、河川・湖沼の水際が陸地化し減少するタデ科植物が生育する。ミクリそのもの、また、ミクリ群落内に生育するタデ科植物も重要であり、保全・復元が望まれる群集である⁶⁾。

霞ヶ浦の河川水辺の国勢調査や筆者らの調査結果⁶⁾から、霞ヶ浦においては、ミクリが集中する区域があることがわかっている。2010年～2015年における霞ヶ浦の湖内流動解析に基づき、ミクリが集中して生育している区域における波高分布を図-4に示す。ミクリが生育する区域は、波が強すぎず・弱すぎず、「程よい波の影響」を受けていた。

この結果は、「程よい波の影響」が、ミクリ、タデ科植物で構成される多様性の高い区域の形成に寄与したと考えることができる。ミクリの生育が確認された区域は、霞ヶ浦の湖心から湖岸に向けて奥まった区域にあり、湖心との間に複数の岬が存在する。この湖沼形状が、水生植物の繁殖期である4月～6月の卓越風である南東方向からの



図-3 ミクリ集中区域におけるミクリの生育状況

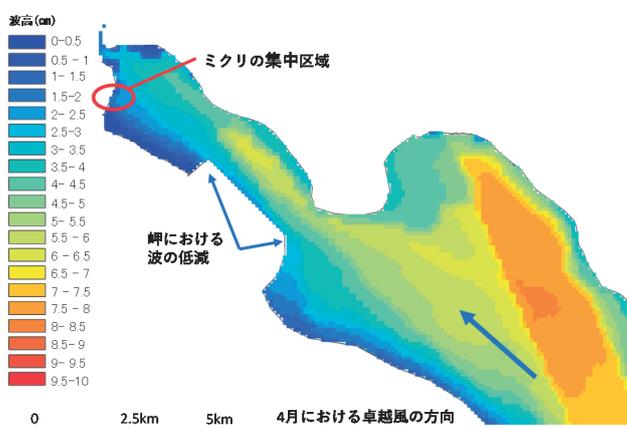


図-4 ミクリ集中区域における波高分布

風に伴う波高を減少させ、波が泥・有機物の堆積を抑制し、しかも湖岸を侵食しない「程よい波」を生み出す。「程よい波」を活用するためには、次節で説明する波高等の物理環境指標を定量化し、定量化した指標を用いて内湾エリアの良好な環境を特定、抽出し、保全・復元地として選定することが重要となる。以下、詳述する。

(3) 「程よい波」の定量化⁶⁾

前節では湖沼の平面形状と波高の平面分布を図-4に示し、「程よい波」の重要性を示した。本節では波高を用いて「程よい波」の定量化を試みる。図-5に2015年に霞ヶ浦において行った25地点の群落組成調査をその内部に生育する種で分類した結果と波高の関係性を示す。ミクリ群落の年間平均波高は、ヨシ群落、マコモ群落、ヒメガマ群落が多い他の地点分類よりも低く、年間平均波高約1cmであった。

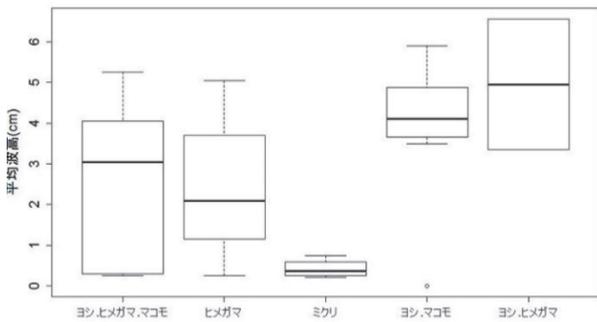


図-5 ミクリ集中区域における波高分布

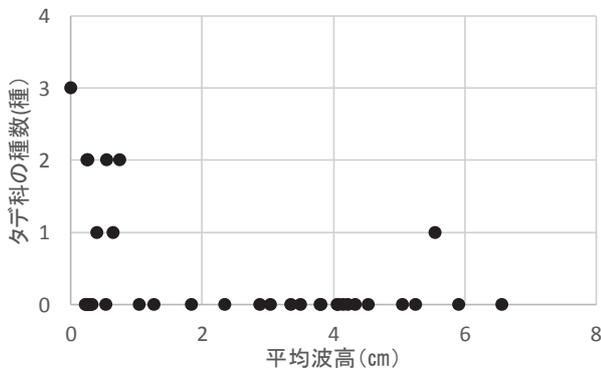


図-6 波高とタデ科植物種数の関係性

図-6に年間平均波高ミクリ内に生育するタデ科の種数を示す。年間平均波高2cm程度を境に急激にタデ科植物の種数が減少し、年間平均波高約1cmでタデ科植物の種数が多い。

これらの結果は、抽水植物を保全・復元する上で年間平均波高約1cmが「程よい波」の目安とであることを示す。前節のエリア選定の後、年間平均波高約1cmを管理の目標に抽水植物の生育域の抽出、保全・復元する必要がある。

5. 支川と周辺農業水路の水生植物の生育域としての可能性

既往の湖沼における水生植物の調査は、主に湖内で行われていることが多く、支川と周辺農業水路が着目されることは少なかった。そのため、2015年8月と2016年7月、支川と周辺農業水路において、抽水植物、浮葉植物、沈水植物、浮遊植物の生育状況調査を行った。

図-7に沈水植物の支川と周辺農業水路と湖内における2008年の沈水植物の生育状況を示す。湖内では、十分な面積の生育が確認されていない一定以上の面積を有する沈水植物種が確認された。

本誌の表紙に抽水植物（ミズアオイ）、図-8に浮葉植物・浮遊植物の流域支川における生育状況調査の結果を示す。支川と周辺農業水路にも、沈水植物、浮遊植物の生育が確認された。生育場所は、支川と周辺農業水路だけでなく周辺の農業用水路内にも生育した。生育した農業用水路を観察すると、農業用水路の土手が除草され水路の水域に十分な光が届く水路が多かった。

これらの結果は、支川と周辺農業水路を保全・復元の対象に含めることで、湖内で不足する水生植物の個体群を確保できることを示す。個体群を確保し生活史を通じた再生産により、遺伝的多様性の確保等、適切な水生植物の保全・復元が可能となる。しかし、オオカナダモ等の在来性の水生植物に影響を与える外来種も生育している支川と周辺農業水路もあるため、保全・再生エリアの選定には注意が必要である。

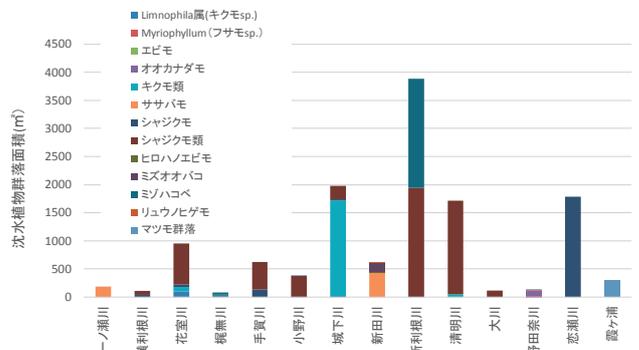


図-7 支川と周辺農業水路、霞ヶ浦内の沈水植物面積



流域支川に生育する浮葉植物アサザ (環境省RL：準絶滅危惧) 流域支川周辺の農業用水路に生育する浮遊植物トチカガミ (環境省RL：準絶滅危惧)

図-8 支川と周辺農業水路における浮葉植物と浮遊植物

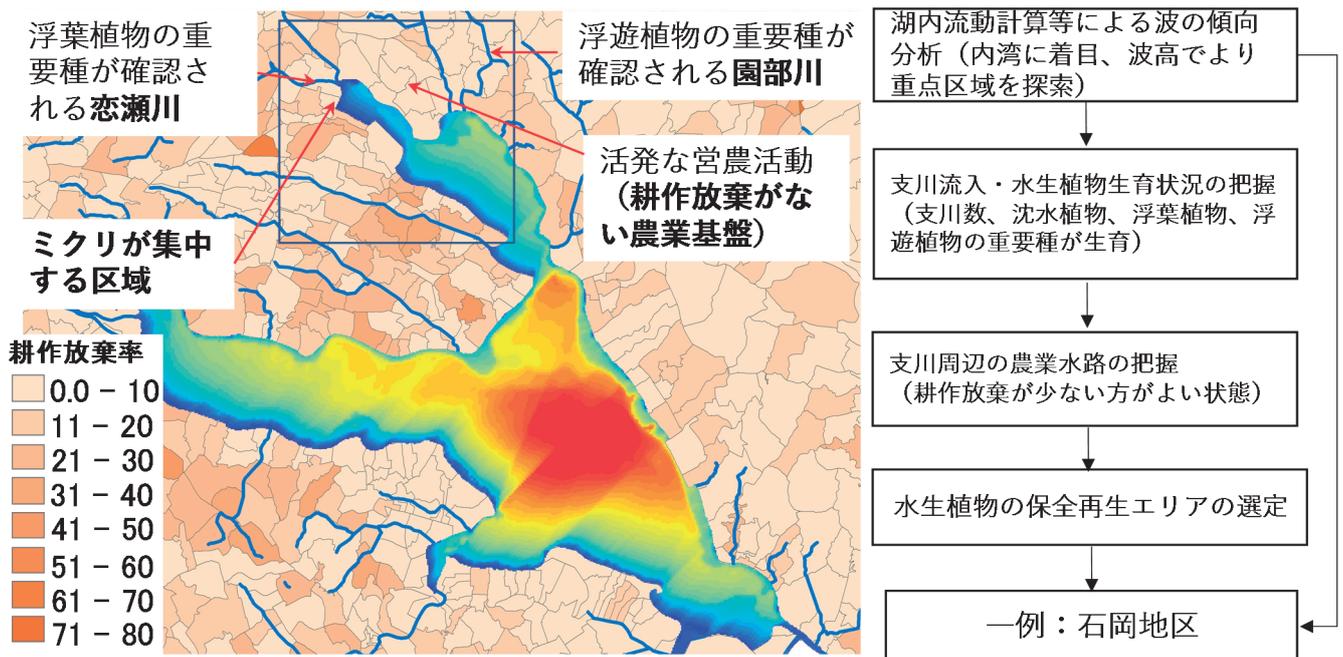


図-9 湖沼の自然の営力・農業利用の複合的な観点からの水生植物の保全・再生エリアの選定手法

6. 自然の営力・農業利用の複合的な観点からの水生植物の保全・復元エリアの選定

これまでの検討から、波に代表される湖沼の自然の営力・流域の農業利用の観点から水生植物の保全・復元エリアの選定手法を(図-9)、湖内、流域支川及び周辺用水路の2つの区域に分け、手順としてまとめた。以下に、その流れの概略を示す。

まず、湖内に関しては、内湾が抽水植物の生育域に適していること着目する。流動計算を用いて、湖内、特に、内湾の物理環境と抽水植物の関係性を分析し、保全対象とする抽水植物が生育する区域の物理環境特性を把握する。一例であるが、本報では石岡市周辺の内湾(以下「石岡地区」という。)の年間平均波高1cm程度の区域を候補地として選定する。

流域支川及び周辺農業用水路に関しては、沈水植物、浮葉植物、浮遊植物の重要種が生育する箇所を特定し、ここを候補地とする(図-7)。恋瀬川においては、沈水植物の重要種シャジクモ、浮葉植物の重要種アサザの生育が確認された(図-8)。園部川周辺の農業用水路においては浮遊植物のトチカガミが生育した(図-8)。恋瀬川、園部川は石岡地区に流入する支川であり、沈水植物、

浮葉植物、浮遊植物の面からも石岡地区は重要であることがわかる。全ての湖沼において流域支川の調査を行うことは難しいため、HEP(Habitat Evaluation Procedure)⁷⁾等の物理生育場モデルを用いて、重要種の生育場所を推定する技術が今後重要となる。

また、浮遊植物については、流域支川と周辺農業用水路を生育地として選定する場合には、農業活動の持続性が評価の視点として必要となる。持続性の評価には、農林業センサスと農村集落界データが参考になる。農林業センサスは、名称の変化はあるが、1950年から5年ごとに農耕地域を農村集落界(市町村内を細分した字の区画に相当)する空間単位に分け、耕作放棄率等を含めた農業活動の状態を調査した結果である⁸⁾。図-9は、背景を各農村集落界における耕作放棄率として図化したものである。農林業センサスを用いれば、過去からの耕作放棄率の変化を分析し耕作放棄が起こりやすい区域かどうかの推定が可能である。石岡地区は、耕作放棄率が少なく今後も農業活動の持続が期待できる区域と考えることができる。

このような条件を総合化すると、湖内域における水生植物の保全・復元が難しく、重点的に保全・復元を行う区域を選定する場合には、石岡地区は一つの候補となると考えられる。

7. 流域スケールでの水生植物の保全・復元の連携体制の構築にむけて

本報では、霞ヶ浦における水生植物の変遷を整理し、抽水植物に関しては年間平均波高約1cm程度の区域が、沈水植物・浮葉植物・浮遊植物に関しては支川と周辺農業用水路が保全上重要であることを示した。その後、湖内だけではなく、流入支川及び周辺農業用水路を含めた水生植物の保全・復元エリアの選定手法を提案し、霞ヶ浦においては、石岡地区が候補地となり得ることを示した。

石岡地区は、国土交通省の所管区域だけではなく、地方自治体、農林水産省及び農業従事者の所有地等であり、管理主体は多様であった。この多様な管理主体の管轄にまたがる保全・復元を行う場合には、管理主体間の連携が必須となる。まずは、流域スケールで水生植物の分布状況について情報を交換し、保全上重要な区域に関する認識を共有すること、そして、保全上重要な区域における事業・営農活動も実施に際しては良好な生息箇所をこれ以上の消失させない配慮が必要となる。

水生植物の再生に当たっては、新たな自然再生事業に着手し、生息域の拡大を図る方策が望まれるが、近年の国・地方自治体の財政状況を踏まえると自然再生事業を立案することは容易でない。このため、既存の治水事業、維持管理、営農活動の中で再生が図られるような工夫を行うことが重要になる。

今後、より広い空間スケールで保全・復元を捉え、かつ、多様な管理主体が参画する仕組みを視野にいれて、湖沼がもたらす生態系サービスを持続的に享受できる戦略を具体的に立案する必要がある。

8. まとめ

霞ヶ浦において、減少傾向の異なる抽水植物、浮葉植物・沈水植物・浮遊植物、それぞれの特性に応じた保全・復元方法を検討した。その結果、抽水植物の重要種については、「程よい波」がある湾域を対象とすること、湖内における生育が極めて少ない沈水植物・浮葉植物・浮遊植物については、支川と周辺農業水路と周辺農業水路を含め

ることで、より効果的・効率的に保全・復元を行える可能性を示した。同時に、抽水植物、浮葉植物・沈水植物・浮遊植物の保全・復元エリアを抽出する具体的手法を提案した。また、流域スケールにおける多様な管理主体が連携する重要性を指摘し、持続的な生態系サービスを楽しむための方向性を議論した。

謝 辞

国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所及び独立行政法人水資源機構には現地調査・資料提供等で、大変お世話になった。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 鷺谷いづみ、後藤章：絵でわかる生態系のしくみ、pp.136、講談社サイエンティフィック、2008
- 2) 河川法改正20年 多自然川づくり推進委員会：提言『持続性ある実践的多自然川づくりに向けて』、2017年
- 3) 沖野外輝夫：湖沼の生態学 新・生態学への招待、共立出版株式会社、pp.22～57、2004
- 4) 角野康郎：日本の水草、文一総合出版、pp.7～19、2014
- 5) 富山暢：よみがえる霞ヶ浦 生成 過去 現在 未来、pp.72～89、霞ヶ浦水質浄化対策研究会、1994
- 6) 傳田正利、片桐浩司、萱場祐一：湖沼における植物群落と種の関係性に関する研究—霞ヶ浦の抽水植物群落を対象として—、土木学会論文集B1(水工学) Vol.73、No.4、I_1147～I_1152、2017
- 7) 日本環境アセスメント協会：定量的予測手法の整理 <https://www.jeas.org/modules/info/> (2017年9月6日確認)
- 8) 農林水産省：農業センサスの歴史、http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/past/history_n.html (2017年9月6日確認)

傳田正利



土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム主任研究員、博士(工学)
Dr. Masatoshi DENDA

萱場祐一



土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム上席研究員、博士(工学)
Dr. Yuichi KAYABA