

流域スケールからみた湖沼環境の定量的分析を用いた適正な植生再生区域の選定手法に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：平 27～平 30
担当チーム：河川生態チーム
研究担当者：中村 圭吾、傳田 正利

【要旨】

本研究は、湖沼の自然環境特性・人的利用特性を定量的に考慮し、水生植生再生区域の選定方法を流域スケールで検討することを目的に、利根川水系霞ヶ浦において研究を実施した。その結果、①総合開発が行われた湖沼の場合、利水面での広域への影響があること、②抽水植物の保全には、年間平均波高約 1cm の攪乱が必要なこと、③流入支川の河口域を中心に湖沼では生育が難しい沈水植物・浮葉植物等の重要種の保全が可能なこと、④上記②・③の特性を考慮すると石岡市近傍の入り江的な環境が、植生再生区域として適切なこと、以上の 4 点を明らかにした。

キーワード：水生植物、保全と再生、水生植物の生育ポテンシャルモデル、保全と再生域の選定手法、霞ヶ浦

1. はじめに

全国の湖沼において、治水・利水事業の進展に伴う湖岸植生帯の減少が指摘されている。河川生態チームでは、約 15 年に渡り、霞ヶ浦における湖岸植生帯の保全・再生技術の開発を行った。

既往研究では、湖岸植生帯再生には、水中照度（発芽や生育に影響）及び波浪（定着、生育に影響）が重要な物理環境要因となることを明らかにした¹⁾。水中照度及び波浪は、湖沼周辺域の風向特性、湖沼の水深（水位）分布により規定されるが、霞ヶ浦における流動計算を通して、水中照度及び波浪の空間的不均質性が生じる要因についての考察を行ってきた。同時に、これらの研究成果を活かした霞ヶ浦における水生植物の保全・再生事業の実施を支援し、水生植物の再生に貢献してきた。

しかし、約 15 年の時間の経過に伴い、湖沼内外の環境は大きく変化した。数例を挙げれば、気候変動に起因するといわれる気温上昇と降雨形態の変化、流域人口の減少とそれに伴う営農活動の変化が挙げられる。湖沼における利水は、流域の生活・産業の要請に対応し設計・管理されているが、気候変動に伴う気温上昇と降雨形態の変化、流域人口減少、産業構造の変化は、治水・利水の設計・管理に大きな変化を与えると考えられる。湖沼の管理技術は、湖岸植生帯再生の観点から大きな可能性を持つことが考えられるが、大きな湖沼管理の変化は、流域社会に大きな影響を与える可能性が高い。流域または流域圏のスケールにおける治

水・利水状況を勘案しながら、湖沼の水生植物の保全・再生を考案する必要がある。しかし、河川生態チームでは、このような流域社会との整合性を考慮した流域計画の手法の研究を実施してこなかった。

このような背景から、本研究は流域スケールでの利水・治水との整合性の考慮した湖岸植生の保全・再生の重点区域の抽出と工法の選択手法の提案を最終目標とした。その過程として、達成目標を 3 つ設定した。達成目標 1 は、湖岸植生に影響を与える湖岸植生に影響を与える自然環境・人的利用のデータベースの構築とした。湖岸植生の保全・再生に関する既往研究では検討対象とされることが少ない流域・流域圏での利水状況を整理し、湖沼における水域管理が流域・流域圏に与える影響を考察する基礎資料とした。達成目標 2 は、湖岸植生に関する物理環境の選好性を整理し、物理環境特性（主として波浪）が水生植物に与える影響を整理する「湖岸植生の生育ポテンシャル評価モデルの開発」とした。達成目標 3 は、達成目標 1・達成目標 2 の成果に基づき、流域スケールでの利水・治水との整合性の考慮した「湖岸植生の保全・再生の重点区域の抽出と工法の選択手法の提案」である。

次章以降に、各達成目標の成果の概要を報告する。詳細な成果に関しては、研究発表成果を示すので、適宜参照いただきたい。

2. 達成目標 1：湖岸植生に影響を与える自然環境・人的利用のデータベースの構築

2. 1 本研究で対象とする霞ヶ浦の概要と自然環境・人的利用のデータベース構築手法

湖岸植生帯の生育に影響を与える事象として、自然環境と人的利用に分類した。

自然環境としては、湖沼地形（主に湖岸形状）、湖内流動（波高、流動量等）、湖内流動に影響を与える風・雨等の気候条件、流入支川から流入流量、下流からの放流量等の流量条件等が挙げられる。

人的利用としては、流域土地利用、利水施設による取水状況（取水施設の位置、取水量等）、湖沼管理施設、湖岸植生帯再生事業等の施設が挙げられる。

本研究では、霞ヶ浦を対象に、国土交通省（例えば、国土数値情報等）、気象庁の一般利用可能な空間情報、国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所等のデータを活用し、自然環境、人的利用のGIS情報を作成した。次節以降にその概要を示す。

2. 2 自然環境・人的利用のデータベース構築の結果

図-1に自然環境に関するデータベースの表示結果の一例を示す。霞ヶ浦は、湖面面積220km²で、我が国における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、外浪逆浦で構成されるが、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。

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。

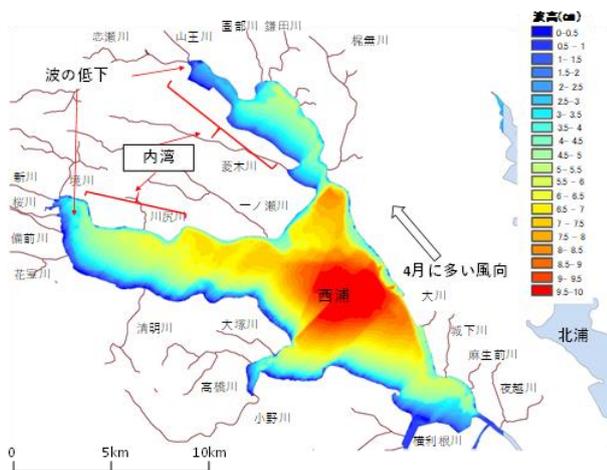


図-1 霞ヶ浦の流入支川と4月期の波高

図-2に人的利用に関するデータベースの表示結果の一例を示す。霞ヶ浦における利水施設状況を整理すると、霞ヶ浦流域や東京近郊の都市部へ上水道として、多くの水資源を供給していることが理解できる。工業用水も同様の傾向を示し、霞ヶ浦総合開発は、利水・治水の両面から、大きな便益を流域社会にもたらしていることを再確認する結果となった。

国土交通省関東地方整備局は、霞ヶ浦の水位コントロールを水生植物の保全のために行う活発的な湖沼管理を実施しているが、霞ヶ浦河川利水の目的から考えると、本研究で作成したような空間情報データベースを作成すると湖岸植生帯の保全・再生と域圏の水資源需給のバランスを考える有効なツールとなると考えられる。



図-2 霞ヶ浦における上水道分布系統図

3. 達成目標2：湖岸植生の生育ポテンシャル評価モデルの開発²⁾³⁾

3. 1 はじめに

既往研究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と、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。

以下の節において、これらの方向性を具体的に説明する。

3. 2 湖内環境における波高に基づく生育環境評価

3. 2. 1 はじめに

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、嫌気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。

3. 2. 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、ミクロ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。

霞ヶ浦の河川水辺の国勢調査や筆者らの調査結果³⁾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。



図-3 ミクリ集中区域におけるミクリの生育状況

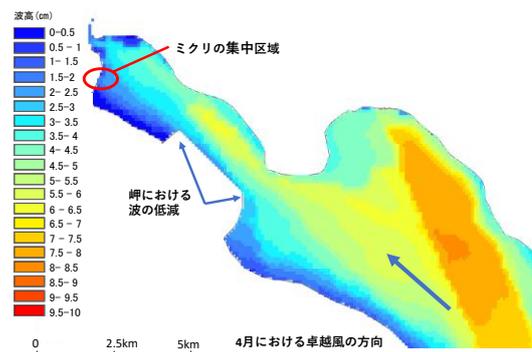


図-4 ミクリ集中区域における波高分布

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. 2. 3 「程よい波」の定量化

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。

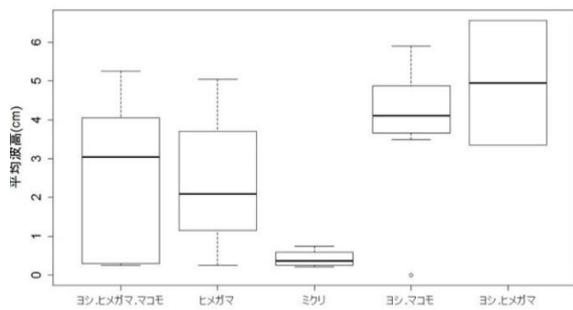


図-5 ミクリ集中区域における波高分布

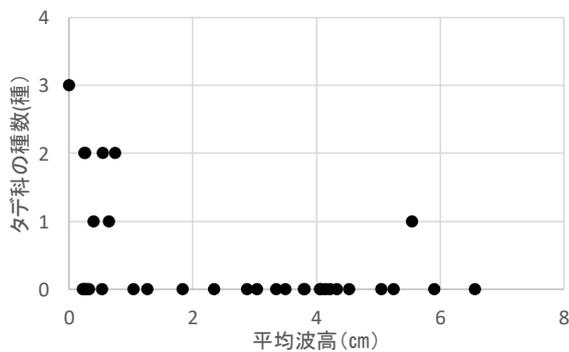


図-6 波高とタデ科植物種数の関係性

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-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 2 cm 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 1 cm 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 1 cm 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 1 cm 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。

3. 3 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。

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、浮葉植物、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。

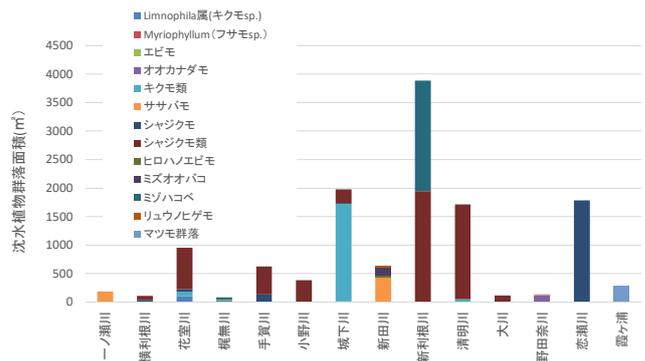


図-7 支川と周辺農業水路、霞ヶ浦内の沈水植物面積



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

4. 達成目標3：湖岸植生の保全・再生の重点区域の抽出と工法の選択手法の開発

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、内湾が水生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、内湾の物理環境と水生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」と記述する。)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)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。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。

4. 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

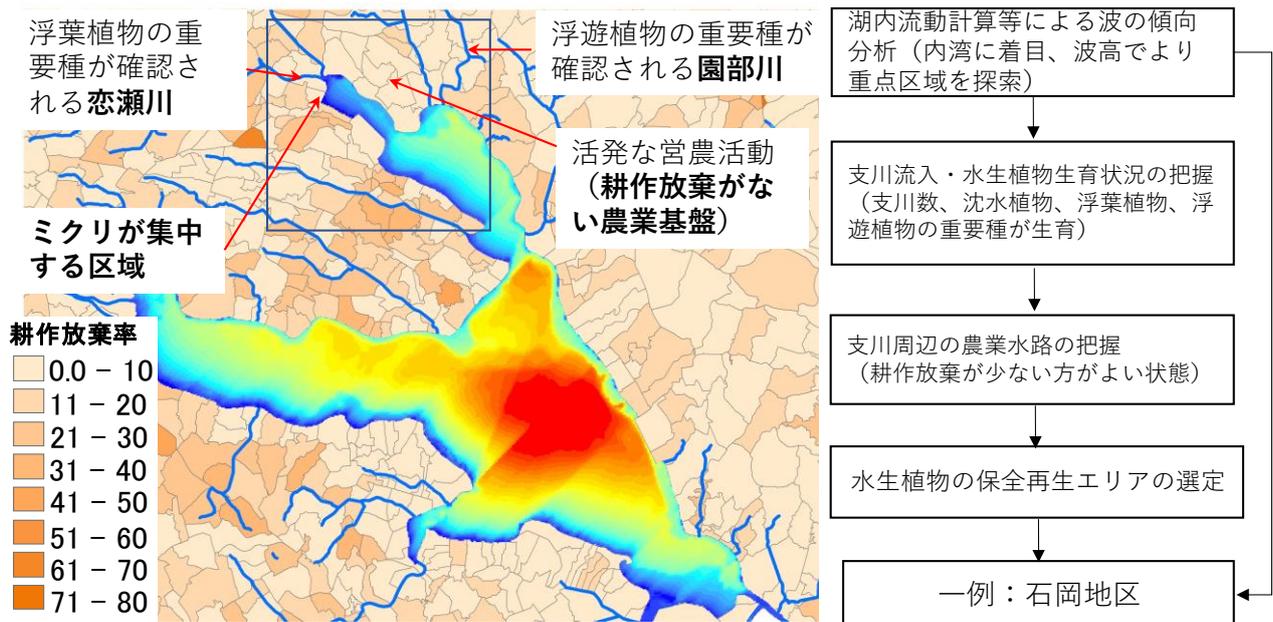


図-9 湖沼の自然の営力・農業利用の複合的な観点からの水生植物の保全・再生エリアの選定手法

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。

参考文献

- 1) 天野邦彦、大石哲也：霞ヶ浦における沈水植物群落の消長と環境変遷の関連性解析に基づく修復候補地の抽出，水工学論文集，Vol. 53, pp. 1369-1374, 2009.
- 2) 傳田正利・萱場祐一：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、土木技術資料 59-10、pp. 8-11、2017.
- 3) 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.

PROPOSAL OF A NEW METHOD FOR SELECTING AQUATIC VEGETATION CONSERVATION AND RESTORATION AREA IN RIVER AND LAKE BASIN SCALE

Research Period : FY2015-2018

Research Team : Water Environment Research Group(River restoration team)

Author : NAKAMURA Keigo, DENDA Masatoshi

Abstract : In this research, we studied effective conservation and restoration measures for aquatic plants in Lake Kasumigaura in consideration of their different decreasing trends. The results found that conservation and restoration can be successful for primary species important of species of emergent plants when the measures are taken in bays where waves disturb stir up the lake's water moderately. We also found that submerged, floating-leaved, and free-floating plants can be conserved and restored more effectively and efficiently when the measures are applied to not only their main habitats but also tributaries and nearby irrigation channels. Additionally, we proposed a new method for selecting appropriate areas for conservation and restoration of those four plant species.

Key words : Aquatic vegetation, conservation and restoration, physical habitat model, selection method of conservation and restoration area, Lake Kasumigaura.