

湖沼における沿岸帯植生の修復

天野邦彦*

1. はじめに

日本の湖沼の多くは、種々の人為的インパクトを受けたことで環境変化が顕在化しているが、環境問題としては、一般に人為的富栄養化に代表される水質汚濁への関心が高い。水質汚濁に代表される水環境の劣化は、流域での汚濁負荷排出量の増加という人為的インパクトにより生じた問題であるが、上水道原水の質的低下のような利水上の問題や湖沼景観の低下のように社会に認知されやすい問題であるため、早い時期から湖沼における重要な環境問題として懸案事項となってきた。

しかし湖沼の自然環境全般に対する人為的インパクトは、流域からの水質汚濁流入量増加のみではない。この他にも水深の浅い湖沼における沿岸帯の埋め立てなどの物理的 direct 変化や、利水や治水のために行われた水位管理方法の変更など、これまでに多様な種類の人為的インパクトが湖沼そのものに対しても加えられている。ところが湖沼そのものに対する物理的 direct 変化や水位変動の改変が有する影響については、その評価を定量化する手法が水質解析ほどには確立されておらず、湖沼環境の変化との関連性が必ずしも明白とは言えなかったこともあり、水質汚濁に比べて十分な注意が払われて来なかったと思われる。しかし近年の自然再生事業の進展等に見られるように、自然環境という大きな視点から見て、人の利用上は表面的に問題が無くても、自然環境に生育生息する生物や生態系の保全が必要であるという認識が浸透してきている。これに呼応し、種々の水生生物に棲み場を提供することで生物多様性の保全にも有効と考えられる湖沼沿岸帯における植生修復の様な環境保全事業に対するニーズが高まってきている。また、流域対策により湖沼に流入する汚濁負荷の削減が進んでいると考えられるものの、近年これが湖沼水質自体の改善に必ずしもつながっていない様に見える湖沼がある。この理由として、湖沼の生態系の劣化が関係している可能性があるという問題認識が高まっていることも、沿岸帯植

生の修復に対する期待を高めている。

このような背景から、沿岸帯植生の修復を目的とした事業や、現地実験を含む検討が本格的に実施されるようになってきている。本稿では、このような試みの中から特に水生生物の生息場や水質に対する改善効果が高いと考えられる沈水植物群落修復について、霞ヶ浦の事例を取り上げて紹介し、得られた知見について議論する。

2. 湖の沿岸帯植生

湖や周辺の湿地に生育する水生植物は、生活型や生育場所により、図-1に示されるように、湿性植物、抽水植物、浮葉植物、沈水植物、浮漂植物（浮漂植物は、図に記載されていないが、ウキクサ類のように水面に漂っている。）に分けられる¹⁾。湖内に分布し、湖の生態系の基盤となることから、抽水植物、浮葉植物、沈水植物の3つが湖沼環境を考える上で特に重要である。

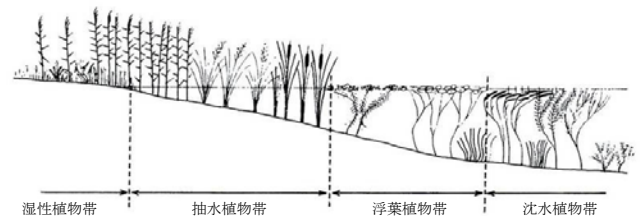


図-1 湖沼沿岸帯における水生植物の一般的分布
(桜井ら¹⁾より引用)

抽水植物は、水面下の土に根を張り茎葉が水面上に抽出している。浮葉植物と沈水植物は、湖底に根を張るが、浮葉植物は葉が水面に浮かんでいるのに対して、沈水植物は茎葉の全てが水面下に存在するものを言う（図-1）。

これらの水生植物は、水環境や生態系を維持する上で重要な機能を有している。桜井ら¹⁾は、水生植物のはたらきを8つに分けて指摘しているがこれらは概ね、①種々の生物への生息環境の提供、②水質の調整、③波浪の抑制、④景観の構成、⑤人を含む他の生物への食糧および材料供給、という機能に分けられる。この様に多くの機能を有する沿岸帯植生は、湖沼沿岸帯における生態系の基盤として重要な存在であるが、先述した様に、湖沼に対する物理的

直接改変や管理方法の変更に伴い、種々の影響を受けている。本稿で議論の対象とする沈水植物は、茎葉の全てが水面下に存在するため、水位変動や水質変化に伴う水中光量の変化に強く影響される。また、種にもよるが、一般的に底質が砂質土であることを好むために、底質特性にも影響される。このことから、抽水、浮葉植物に比べて、水質汚濁や水位管理の影響を受けやすく、また修復も難しいといえる。

3. 霞ヶ浦における沈水植物と環境変遷

3.1 沈水植物群落の変遷

桜井ら¹⁾により、霞ヶ浦（西浦）で1972、1978、1982年に実施された植生面積調査によれば、沈水植物群落は占める面積は750, 364, 190haと減少が顕著であり、1972年からの10年間で約1/4に減少している。1988年以後の調査では、沈水植物群落は発見されていないことから、1980年代半ばから後半にかけて沈水植物群落はほぼ消滅したと考えると判断できる。

3.2 水位変動の変遷

沈水植物は水中光量の影響を強く受けるため、沈水植物の消長には水位変動が大きく影響する。水位変動の変遷について正確な記録が残る1931年以後のデータを見ると、年間中央値については、大きく変化せず推移しているが、霞ヶ浦の水位は各時代の水文環境、水位管理によって異なっている。1950年代以前、つまり下流の北利根川拡幅以前の霞ヶ浦では、排水能力が低いために、出水の影響により、平均水位の年変動が相当大きかった。その後、下流北利根川の大規模な拡幅により、霞ヶ浦の水位は安定する傾向を示した。1975年からは常陸川水門の暫定水位運用により、平均水位が高くなり、偏差はかなり小さくなった。さらに、1996年の管理目標水位運用により、その傾向が強くなっている。沈水植物群落が大量に存在した1972年頃は、最低水位が特に低い状況であり現在に比べて約20cm低かった。

3.3 透明度およびCOD

透明度の変化については、1977年以降の正確なデータが存在する。1993年以降、特に低下傾向が見られ、50cm程度で推移している。1980年代までは植物プランクトンを捕食する動物プランクトンの急激な増加が原因と思われる短期的に透明度が大きくなる時期が散見されるが（しばしば1.5mを超える）、1990年代に入ってから、平均的に低下する

と共に、この様な透明度の上昇は見られなくなっている。

水質汚濁の指標であるCODの変化について見ると、1960年代は4mg l⁻¹程度であったものが、1970年代に入ってから急激に上昇し、1980年代初頭に10mg l⁻¹を超えるピークを迎えた。その後漸減したが、7~8mg l⁻¹と横ばいで推移している。

透明度とCODの変化は、必ずしも逆相関を示しておらず、CODがピークを迎えていた1980年代初頭の透明度は、CODが比較的低い値で推移した2000年代前半の透明度よりむしろ高い値を示している。このため、近年の透明度低下には、無機態懸濁物の増加などの有機汚濁以外の要因が関与している可能性がある。

3.4 沈水植物と環境変遷

霞ヶ浦において、沈水植物群落は、少なくとも1970年代以降存在量が減少し、特に1980年代後半以降に急速に消滅したと考えられるが、この間に生じた環境変化を見ると、水位上昇、透明度低下、水質悪化という沈水植物にとって不利な状況が同時に起こっていた。それぞれの変化が全て、沈水植物が生育する水中部における光量の減少を招く方向のものであり、沈水植物群落の減少、消滅はこれらが複合して作用した可能性が高い。

これらの変化に加えて、築堤等による地形改変も湖岸における波浪の変化を招いたと考えられるが、湖岸に分布する抽水植物群落に与えた影響に比べれば、沈水植物群落への影響は限定的であったと思われる。

4. 沈水植物群落の修復に向けて

4.1 修復適地の抽出

過去に沈水植物群落が分布していた場所の物理環境から類推して、現在の環境下での修復適地の抽出を試みた²⁾。光環境の変化が沈水植物群落減衰の主要因と仮定し、現状の透明度でも光が湖底まで十分届く箇所を抽出することを基本とした。ただし、水中光量は浅い場所ほど大きいので、現在の環境下で水中光量の観点から沈水植物が潜在的に生育可能な場所を抽出すれば、水深の浅い場所が単純に抽出される。水深が浅すぎると風波による底面攪乱が大きいためといった別の要因が生育に影響すると考えられるので、光量と底面せん断応力特性を沈水植物生育域を規定する2つの要因と考え、過去の沈水植物群落分布とこれら2つの指標特性の推定値から現在の

霞ヶ浦における沈水植物群落の生育適性域を推定した。このために霞ヶ浦において過去に実施された種々の環境調査結果を地理情報システムに格納し、空間情報として解析を行った。地理情報システムによる解析対象として、地形情報、沈水植物群落分布情報、透明度から推定した底面光量情報、水位および風向・風速情報から求めた底面せん断応力情報を整理した。手法等の詳細については、既報²⁾を参照のこと。

4.1.1 透明度と生育適性水深

水中において植物による光合成量と呼吸量が釣り合う深度を補償深度と呼び、これ以上深いところでは植物は持続的に生育ができない。補償深度は透明度の2～2.5倍の深さであるが、霞ヶ浦における過去の沈水植物群落分布した箇所の水深分布と当時の透明度との関係を解析した結果、補償深度/透明度比は1.06～2.7の範囲という結果が得られた。現状における前3年間の水位中央値と透明度を用いて、光環境の観点から沈水植物群落生育可能な最低標高の範囲を計算したところ、Y.P. 0.66～-0.06mと推定された。

4.1.2 修復適地の分布

昭和35年8月において沈水植物群落が存在した場所における最大底面せん断応力を上回らない場所を、底面攪乱の視点から見た沈水植物群落成立のもう一つの必要条件と考え、現在の環境で光条件に加えてこの条件を満たす領域を示したのが、図-2である。



図-2 現状で沈水植物の生育可能性の高い領域（赤色）

この図中で赤色に示された部分は、光環境、攪乱環境共に過去に沈水植物群落が成立していた場所における条件を現在でも満たしていると考えられる場所であり、修復を考える際に成功の可能性が高い候補地であると思われる。

4.2 埋土種子（散布体）の確保

先述のように、霞ヶ浦においては、沈水植物群落はほぼ消滅し、生育が認められない種も多い。沈水植物群落の修復を目指しても、既に当該湖沼において植物体が消滅している場合、他所から植物を再導入するという手法もあるが、本来その湖沼在来の植物で再生することが基本である。生物多様性の保全に配慮した形で、すでに失われてしまった沈水植物を再生する方法として、湖沼底質中の散布体バンク（埋蔵された未発芽の種子や卵胞子）を用いる方法が注目されている。ただし底質中の散布体バンクを効率よく利用するには、当該湖沼において底質中の散布体密度が高い箇所を推定することが必要である。

霞ヶ浦の底質において、発芽可能な散布体が多く分布する箇所を選定するために、底質コアサンプルを採取し、堆積年代分析及び散布体の確認と発芽実験を行った。手法等の詳細については、既報^{3), 4)}を参照されたいが、発芽可能な散布体を確保するための条件として、以下が得られた。

- ・底質中の散布体密度は、平面的に見た場合、大きな偏りがあり、湖岸形状が入り江状になっている箇所に高密度で存在していることが分かった。このため、湖岸形状が入り江状になっている箇所、流入河川が近くに流入している箇所、特に沈水植物群落が過去に存在していた箇所付近を選定し、底質を採取するのが良い。
- ・底質を深さ方向に見た場合、発芽能力を有している散布体は、30～60年前に堆積したと考えられる層から多く発見された。このため、平面的に上記の条件を満たす場所を選定し、このような層を重点的に採取すると効率的である。霞ヶ浦湖岸帯での堆積速度は約0.5～1.5cm/年と推定されることから、最低15cm最大90cm程度の深さの層に発芽ポテンシャルを有する散布体が多く存在すると考えられる。掘削のしやすさを考えると、表層から50cm程度まで採泥して、発芽実験に供すれば効率よく散布体を採取できると考えられる。

4.3 現地実験

4.3.1 現地実験概要

霞ヶ浦河川事務所により、2008年から沈水植物群落修復に向けた現地実験が行われている（表紙写真参照）。霞ヶ浦の南西に位置する木原湖岸（茨城県稲敷郡美浦村大字木原）に建設された実験施設内

に6つの隔離水界 (K-1~6) を設けて、それぞれ条件を系統的に変化させることで、沈水植物群落修復に向けて必要となる技術的課題に関する検討を行っている⁵⁾。

底質 (基質) として霞ヶ浦の航路浚渫土を敷設した2水界 (K-1,2)、霞ヶ浦内で沈水植物が繁茂していた場所から採取した土砂を敷設した2水界 (K-3,4)、沈水植物の散布体が全く含まれない購入砂を敷設した2水界(K-5,6)を設けて、底質 (基質) の違いによる発芽・生育状況、沈水植物の移植方法、魚類や鳥類などによる食害防止、生育する沈水植物を攪乱した後の回復過程について検討しているが、これまでに実験池内でササバモ、エビモ、リュウノヒゲモ、シャジクモ、フラスコモ、オオササエビモ、ヒロハノエビモ、セキショウモの8種の生育が認められている⁵⁾ (表紙写真下中央はK-1の状況を示しているが、ササバモの繁茂が確認できる)。

4.3.2 実験から得られた知見

沈水植物が繁茂していた箇所から採取した土砂を水界の底質表層に敷設した水界(K-3,4)においては、実験初年度から大量の沈水植物が発芽・生育した。航路浚渫により掘削された土砂を敷設した水界(K-1,2)からも発芽・生育が見られたが、初年度は量的に少なく、2年目になって一面に繁茂した。この理由としては、隣接するK-3,4から漂着した千切れ藻や散布体が定着した可能性がある。購入砂を敷設したK-5には別の場所から沈水植物をいくつかの方法で移植を試みているが、移植後2年目でササバモとリュウノヒゲモが大量に繁茂した (K-6は移植をしない対照区で、現在も沈水植物はほとんど生育しない)。

これらの結果は、霞ヶ浦の現在の水質状況下でも、光や基質などの生育条件が整っていれば沈水植物が発芽・生育可能であること、散布体を多く含む底質を採取し、条件を整えた場所に撒き出すことで、早期に沈水植物の発芽・生育が期待できること、また条件が整った底質 (基質) が周囲に存在すれば、沈水植物群落は拡大することを示している。

5. まとめ

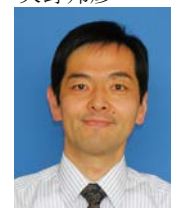
底質条件を整えて、光が十分届く環境を提供した上で、散布体の量が十分存在する環境を準備できれば、現在の霞ヶ浦水質でも沈水植物群落の修復が十分期待できることが現地実験から示された。しかし霞ヶ浦全体に目を向けると、現在の透明度では、図

-2に示したとおり光条件を満たす場所が限られていることや、水質汚濁が進んだ近年に堆積した泥分により底質環境が劣化していることが、沈水植物の自律的再生の妨げになっている可能性が高い。これらを勘案すると、現状の透明度においても光環境が満たされると考えられる標高Y.P. 0.66~-0.06mの湖底について地形的に検討して適切な場所を選択し、泥分の浚渫等による底質改善や、波浪対策を実施した上で沈水植物の移植や散布体を含む底質の散布をするという修復の方向性が得られる。一旦定着し食害が激しくなければ、群落が拡大することで、長期的に見て自律的回復も夢ではない。霞ヶ浦固有の沈水植物群落を、沿岸帯における本来の植生分布 (図-1参照) に調和させた形で修復する努力は緒に就いたばかりであり、容易な事業ではないが、人の利用と豊かな自然環境の両立に向けて推進すべき重要な事業である。今後現地実験を中心に知見を蓄積し、沿岸帯植生の修復技術として確立することで、生物と共生する社会資本整備の先駆例になることが望まれる。

参考文献

- 1) 桜井善雄、国土交通省霞ヶ浦河川事務所編著：霞ヶ浦の水生植物、1972~1993. 変遷の記録、信山社サイテック、東京、2004.
- 2) 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、第53巻、pp.1369~1374、2009.
- 3) 天野邦彦、時岡利和：沈水植物群落の再生による湖沼環境改善手法の提案、土木技術資料、第49巻、第6号、pp.34~39、2007.
- 4) 天野邦彦、時岡利和：湖底生態系に配慮した新しい底泥処理技術に関する基礎的研究、土木研究所成果報告書、Vol.2005、2分冊-1、pp.225~238、2005.
- 5) 霞ヶ浦河川事務所：第5回霞ヶ浦における沈水植物再生・保全等検討WG資料、2010.

天野邦彦*



国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部河川環境研究室長、博 (工)
Dr. Kunihiko AMANO