

## ◆ 特集：湖沼・貯水池の自然再生 ◆

## 湖沼沿岸帯の自然再生

中村圭吾\* 天野邦彦\*\*

## 1. はじめに

湖沼沿岸帯は、通常、水草が生育する最深部から、洪水時に冠水する陸域の高さまでの範囲を表す言葉である。近い言葉に湖岸、湖畔があるがこちらはあまり学術的には厳密でない。1990年の「多自然型川づくり」の通達以降、各地で水辺の環境保全が実施されている。さらに2003年の「自然再生推進法」をうけて自然を再生する動きが活発化している。湖岸においても保全・再生の取り組みが盛んになってきた。湖沼沿岸帯の再生は、当初、人間の利用を主眼とした親水整備的な事例が多かったが、最近では本来の湖岸景観、生物相の再生を目指すものにレベルが上がっている。また、単に地形・景観を整備するだけでなく、植物の再生に関してシードバンク（土砂に含まれる種子）の利用や水位変動の再生など自然の力を上手に活用する事例が出てきた。関連する研究事例や技術的な進展も多く見られており、湖岸の再生は、より高いレベルに進化している。そのために、新たな技術的課題も出てきた。本稿では、湖沼沿岸帯の自然再生について、検討すべき項目を整理し、実施事例を通じてさまざまな取り組み、技術的ポイントを紹介する。最後に、現状の技術レベルの問題点を今後の課題として整理した。

## 2. 再生の考え方—地形・水位・水質—

仮にある状態を湖沼沿岸帯の再生すべき姿（目標、ゴール）として描けたとすると、復元すべき要素として「地形」、「水位」、「水質」の3点を考慮する必要がある。

「地形」とは、湖岸の形であり、管理者が現実として操作できる主なものである。その場合、対象箇所だけを考えるのではなく、地質、地形及びそ

の変遷、湖沼全体の形状、周辺地形などについて総合的に考える必要がある。それらを理解した上で管理者は、過去の地形を参考に、現状（周辺の地形、構造物、波浪条件など）を適切に判断し、可能な湖沼沿岸帯の形状を、植物、水質、社会条件など、その他さまざまな要因を考慮しながら、決定する必要がある。

「水位」は河川で言う流況（フローレジーム）に当たる。つまり、水位の高低だけでなく、水位変動のパターンに着目する必要がある。「水位」は治水、利水、環境の3つを総合的に考えて、最適解を見出すべきものであるが、現状はおもに治水、利水の観点から水位管理がなされている場合がほとんどであろう。したがって、管理者はまず現状の水位管理が、湖沼沿岸帯（環境）に及ぼしている影響を理解する必要がある。そして、水位変動の再生によって得られる成果をある程度把握し、地形の再生と合わせて、水位変動の再生を検討する必要がある。

最近、水位変動は、これまで以上に湖沼沿岸帯の再生にとって重要であることが実証されてきた。オランダでは、湖岸の一区画を鋼矢板で隔離し、水位を低下させることにより、湖沼沿岸帯の再生



写真-1 Lake Volkerakmeerの水位変動による湖岸植生再生実験（オランダRIZA提供）

が進むことを実験的に証明している(写真-1)<sup>1)</sup>。

「水質」は、短期的な改善が難しいが、再生を成功に導く欠かせない要素である。現実的には水質改善のめどが立たないことが多い。そのときは水質がネックとなって再生できない要素(たとえば沈水植物)を把握しておくことが重要である。逆に、沈水植物のように水質が改善されれば解決できる場合もある。最近、諏訪湖では水質の回復により、水草(沈水植物)が再生されてきている。

### 3. 再生事例

実際の湖岸再生の現場では、上記3項目のうち「地形」にかかわるものがほとんどである。したがって、以下では地形の再生を中心に事例をみながら、湖岸再生のポイントについて検討していきたい。

#### 3.1 霞ヶ浦 —シードバンクによる水草再生—

霞ヶ浦は茨城県にある日本で第2位の面積(220 km<sup>2</sup>)の湖沼である。面積は大きい、水深は4mと浅く、水質的には極めて富栄養である。霞ヶ浦では近年、湖岸植生帯の減少が問題となってきた(図-1)。1970年代以来、ヨシなどの抽水植物は半減し、水中部に生育する沈水植物は、ほぼ壊滅状態である。その対策として2000年度から水生植物が生育できる湖岸の再生を目指して事業が開始された。

この復元計画の作成にあたって、同2000年に「霞ヶ浦の湖岸植生帯の保全に係わる検討会」が設立され、その中で霞ヶ浦の湖岸地形の成り立ち、湖岸景観の変化、植生帯の変化、水位変化の影響、護岸の影響、復元箇所の設定、などが議論された。これら議論の結果を受けて、今回の湖岸植生帯の再生では、いろいろと新しい試みがなされている。たとえば、新たに復元された湖岸帯では、過去の湖岸勾配を忠実に再現するため、もともとの湖岸勾配に近い1/100程度という極めて緩い湖岸勾配で設計されている(図-2)。実際には、このような緩勾配はあくまでも目安で、その後、波浪によって自然に湖岸の勾配が決定されている。「デザインの仕事は自然にまかせる」という思想である。

この再生では、投入土砂は霞ヶ浦内のものを使

用した。再生湖岸の土砂(養浜砂)は、霞ヶ浦の沖で採取した洗い砂を使用した。表層10cmには、航路浚渫(ヘドロ浚渫ではない)によって発生した浚渫砂を使用した。この浚渫砂は、霞ヶ浦の湖岸に生育する(していた)植物の種子の集団(シードバンク)を含んでおり、その種子からの植生再生が期待できる。湖岸再生において、投入土砂の質は重要であるので、その確保は早い段階で検討すべき項目である。

霞ヶ浦では上記の考え方にに基づき、湖岸植生帯の再生が実施された。竣工は2002年の3月から7月であるが、高川ら<sup>2)</sup>の調査によると工事完了から1~2週間で発芽がみられ、夏には全ての場所で沈水植物、浮葉植物、多くの湿生植物を含む湖岸植生帯が再生されたことが確認されている。写真-2、3に示す永山地区では、3月の竣工後、8月には約7,500 m<sup>2</sup>の範囲内において63種の植物が確認されている<sup>2)</sup>。そのなかには、シャジクモやエビモ、オオササエビモ、ササバモ、リュウノヒゲモ、コウガイモといった沈水植物をはじめ、絶滅危惧Ⅱ類であるアサザ、ヒメビシなども確認されている。今回確認された水生植物の中には霞ヶ浦

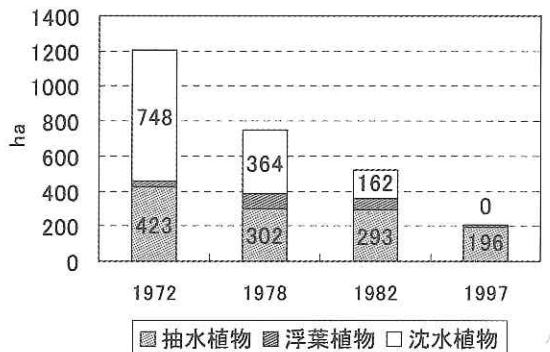


図-1 霞ヶ浦(西浦)の植生帯面積の経年的変化 (Sakurai, 1990<sup>4)</sup>のデータに加筆)

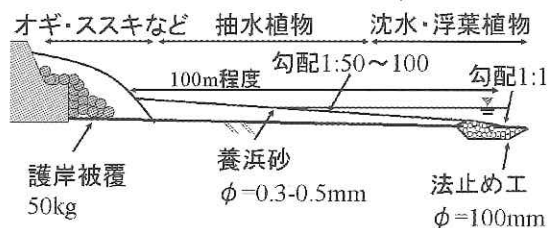


図-2 復元湖岸の一般的断面





写真-2 霞ヶ浦 (永山地区) における復元事例 (施工中の写真)。もともと直線的なコンクリート護岸であった。水際も直立護岸で連続性がなかった。

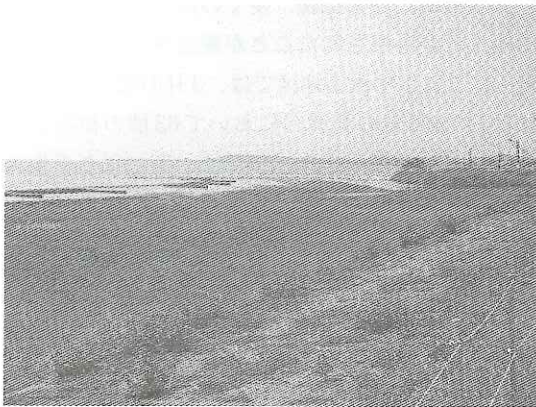


写真-3 施工後、3ヶ月。土壌シードバンクの活用により短期間に緑の復元が実現した。

ではすでに絶滅したと考えられていたものも含まれ、シャジクモにいたっては実に30年ぶりに確認された<sup>3)</sup>。

### 3.2 宍道湖 一流入河川と湖岸の復元

宍道湖は鳥根県にある面積79.2km<sup>2</sup>の汽水湖で、中海と二連の汽水湖を形成している。宍道湖は、比較的水質が良好で、生物相も豊かであるが、意外なほどに湖岸の景観は貧弱である。大部分の湖岸は道路擁壁を兼ねた直立の護岸が水と接している。宍道湖の昭和初期の写真を見ると、多くの湖岸は砂浜であり、ヨシ等の水生植物は河口付近の波浪が直接作用しない箇所を除くとそれほど多くない。昭和30年代まで、沈水植物も多く観察されたが、現在はほとんど見られなくなっている。その原因として、水質悪化、農薬、塩分上昇、しじ

み漁業などが言われているが、はっきりとしたことは明らかではない。

宍道湖の特徴は河川からの流入土砂の豊富さである。最大の流入河川である斐伊川は、流域における古代からの製鉄業と花崗岩地帯という地質的要因によって日本を代表する「砂河川」となっている。斐伊川の他にも、湖沼の南北から流入する小河川からの土砂供給があり、これらの河川からの土砂供給量と湖沼の波浪・湖流による侵食のバランスが、湖岸の地形を決定している。

宍道湖においても、湖岸の再生が実施されている。代表的な事例としては、1996年に施工された平田地区である (写真-4)。この事例は、既存の堤防を壊して、沿岸帯を確保した画期的な事例である。景観的に非常に優れており、生物量の増加も確認されている (出雲河川事務所調査)。しかし、本来そこにあるべき自然としては、やや安定した環境となっている。一方、2001年度に施工された斐伊川河口付近の再生では、斐伊川から運ばれてくる土砂を受け止めるかたちで、湖浜環境を再生している (写真-5)。この工法が興味深いのは、流入河川を持つ特性を上手く活かし、湖浜を自然にデザインさせている点である。

宍道湖のように土砂が運ばれてくる湖浜では河川から運ばれてくる土砂を上手く活かし、湖浜環境を再生する手法をとることが望ましい。

### 3.3 諏訪湖・琵琶湖 一水質と沈水植物一

長野県にある諏訪湖では、水質と水生植物の関

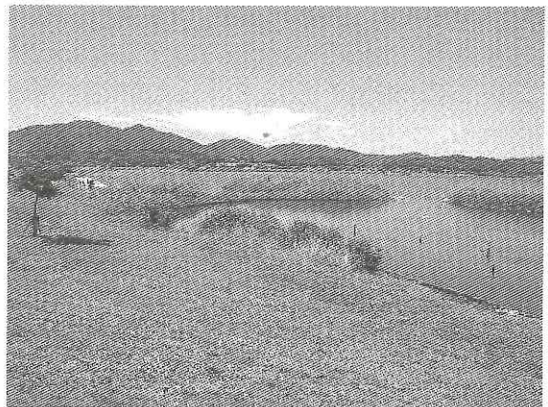


写真-4 宍道湖、平田地区。既存護岸を崩して沿岸帯を再生した画期的事例。





写真-5 宍道湖、斐伊川河口左岸。施工後、斐伊川からの土砂供給もあり、より自然な形状に変化。

係を考える上で興味深い現象が起きている。諏訪湖は、水深が浅く、周辺の流域人口も多いため以前から過度の富栄養湖であった。そこで下水道施設を整備し、1979年から終末処理場の供用を開始した。供用後、一次的に透明度が改善したものの、その後は改善が進まなかった。しかしながら1999年以降、栄養塩の高度処理の影響もあり明らかに水質が改善したと思われる現象が起きている。アオコが消滅し、透明度が改善し、エビモなどの沈水植物も再生してきている<sup>5)</sup>。湖岸帯の復元としては、場の復元も大事であるが、水中部に生育する沈水植物にとっては、やはり透明度が良くなる水質改善が一番効果的であることをこの事例は物語っている。

一方、滋賀県の琵琶湖においては、1994年の渇水時に水位が低下し、湖底に光が届き沈水植物が大発生した。その後も沈水植物は南湖を中心に拡大し、南湖の透明度を大きく改善している<sup>6)</sup>。このように、沈水植物と水質は、相互作用があり、この機能に着目すれば沈水植物の再生による水質浄化も可能である。

### 3.4 ボーデン湖 一粒径に適した勾配にするー

ボーデン湖は、ドイツ、スイス、オーストリアの国境にある湖沼で、面積は琵琶湖よりも一回り小さい571.5km<sup>2</sup>である。氷河湖で水深が深く(平均95m、最深部254m)、湖水量は485億m<sup>3</sup>と琵琶湖よりも大きい。ボーデン湖は、1950年代後半から水質が徐々に悪化し、透明度が減少し、植物プランクトンが増加したが、1970年代から実施した徹底した下水道対策などにより水質は改善し、現在はほぼ1950年代のレベルとなっている。

ボーデン湖でも水質問題のほかに、湖沼沿岸帯の衰退が問題となっている。湖岸侵食防止のために設置された直立護岸、水質悪化による糸状藻類の繁茂などによって湖岸植生帯の侵食・衰退が顕著になったのである。そこで、30年ほど前から湖畔のランゲンアルゲンにある研究所のシースエッカ博士らを中心に湖岸の復元が進められた。博士の復元のポイントは、徹底した自然湖岸の観察から見出した湖岸勾配と粒径の関係を利用するという方法である<sup>7)</sup>。図-3に示すように湖岸の勾配と粒径には一定の関係がある。その関係に逆らわないように、湖岸を復元するという手法である。投入した土砂の前面には、土砂の岸沖方向への移動を制御するため、レキからなる法止め工が水面下に設置されている(図-2参照)。

angle of slope 斜面勾配	substrate / (grain-size) 材質/粒径
	walls
1:1-1:2	boulders (30 - 100 cm)
1:2-1:4	boulders (200 - 300 mm)
1:4-1:12	Pepple stone (20 - 200 mm)
1:12-1:20	gravel (6,3 - 63 mm)
1:20-1:30	gravel (2 - 20 mm)
1:30-1:50	sand (0,2 - 2 mm)
1:50-1:75	fine sand (0,02 - 0,2 mm)
1:75-1:100	silt (0,01 - 0,063 mm)
< 1:100	clay (< 0,01 mm)

図-3 ボーデン湖における勾配と粒径の関係<sup>7)</sup>





写真-6 フリードリヒスハーフェン港付近の復元箇所：  
親水の整備

事例を見てみよう。写真-6は、ポーデン湖北岸のフリードリヒスハーフェンの近くである。このような都市部に近く親水性の復元を目指すところでは、63mm程度までの比較的粒径の大きなレキを表層に30cmほど敷いて、レクリエーション目的にかなった構造としている。ここではコスト削減のため中詰め材料は沖の湖沼砂をサンドパイプで運搬し利用している。ここから少し東に行ったロタッハ川の河口に広がる湖岸の復元事例では、前面の湖岸地形が緩いので、それにあわせてかなり緩やかな湖岸の復元となっている。投入土砂もそれにあわせて砂程度となっている。

投入土砂の粒径と勾配には一定の関係があるので、周辺の現場をよく観察し、自然に成立する勾配に近い設計をすることが重要である。

#### 4. 今後の課題

湖沼は河川と比較すると比較的静かな環境だが、それでも実際は、地形変動や水位変動、生態系の遷移などがあり、かなりダイナミックである。今後はこのような湖沼のダイナミクスをある程度取り入れることが重要である。また、たとえこれらの再生に成功したとしても、外来種の管理の問題がある。ここでは、これら今後の技術的課題について述べる。

##### 4.1 動的環境の再生

湖岸帯における動的環境の理想的再生とは、河川、あるいは周辺の沿岸から供給される土砂と侵

食される土砂がバランスし、沿岸方向の砂の動きは常に有しながら全体として、湖岸帯の景観が一定の範囲内で安定している状態（動的平衡）を作り出すことである。

しかしながら、実際の湖岸再生においては、沿岸方向は突堤などで砂の動きを制御し、岸沖方向は法止工や消波工などによって、前後左右制御している場合が多い。したがって、なるだけこの構造物の束縛をなくし、かつ地形として動的平衡を保つようにする必要がある。たとえば、岸沖方向の土砂制御構造物については、投入土砂の粒径が砂以上であれば、岸沖方向には移動限界水深（霞ヶ浦で1m前後）を超えて、沖側に移動することは無いので、それほど必要ない。沿岸方向については、現状では突堤などである程度制御するしかないが、再生湖岸の距離が長くなれば岬地形など、自然の地形を活かして突堤の代わりとする方法が可能である。

湖岸のダイナミクスを維持する方法として消波工などの一部を開放し、波浪によって再生湖岸の一部を侵食させるなどの方法もある。

##### 4.2 水位変動の再生

事例で上げたポーデン湖のように水位を管理していない場合は、水位再生の必要はないが、日本の多くの湖沼は水資源として利用され、治水上の機能も有しているので、なんらかの水位操作がなされている場合が多い。この場合、環境に配慮した水位変動の再生が重要である。たとえば、霞ヶ浦では治水・利水目的のために水位が管理されており、その変動は自然水位変動の逆パターンとなっている<sup>8)</sup>。そして、そのことが湖岸植生帯に悪影響を与えている<sup>9)</sup>。霞ヶ浦では、暫定的対策として湖岸再生と同時に植生帯の春の芽吹きの際に湖沼水位を下げるという操作を実際に行い、植生帯の再生に一定の成果をあげている。水位変動は湖岸にとって重要であると言われているが、実際の管理に応用できる知見はまだほとんどない。治水、利水、環境の観点からなるだけ調和した水位管理ができるよう、水位変動と湖沼環境に関する基礎的研究を今後進める必要がある。また、自然科学的研究に加えて、治水、利水、環境の観点か



ら水利用を決定する法制度や合意形成の手法の開発も急がれる。

#### 4.3 外来種の管理

土木技術としては、湖岸再生は十分実用レベルであるが、たとえ地形の再生に成功したとしても問題となるのが外来種の問題である。霞ヶ浦の湖岸植生帯の再生地区においても、セイタカアワダチソウ、アレチウリなどさまざまな外来種の侵入が問題となっている。また、沈水植物としてはオオフサモの進入に頭を悩ませている。これらの外来種に対しては有効な手立てが今のところなく、人間の手で引き抜くという原始的な方法が最も効果的であるのが現状である。湖岸再生に関連して外来種対策として、以下の3項目が考えられる。

##### ①シードバンクの汚染に気をつける

シードバンクがすでに外来種のシードバンクとなっている場合がある。この場合は、表層から土壌をスライスし、深さ方向毎に発生する植物を調べる。たとえば、表層10cmが外来種に汚染されているとすると、表層10cm程度をはつり、その下層のシードバンクを活用するなどの対策が考えられる。

##### ②水面との比高差に気をつけ、陸化させない

霞ヶ浦の湖岸植生帯の再生においても10cm程度のわずかな比高差が陸生の外来種群落と水生植物群落を分けている場合があった。したがって水生植物群落が成立する比高となるよう、施工管理をしっかりと行う必要がある。

##### ③早めに対策する

外来種は一度定着するとその除去が困難となる。従って外来種の問題が発生したときは、手遅れとならないよう早めの対策が重要である。

外来種対策は現在、有効な方法が少ないので、今後、外来種の管理手法の研究・技術開発がさらに必要である。

#### 5. おわりに

自然再生の取り組みは大きな湖沼だけでなく、小さな池沼レベルにおいてもはじまっている。しかしながら、湖岸再生の経験のある技術者が少ないために、困っている現場も多い。これまでの土

木工学の知識に加えて、本稿で書いた湖沼沿岸帯の再生のポイントを理解していただき各地の湖沼沿岸帯の自然再生に役立てていただければ幸いである。

#### 参考文献

- 1) Coops H, Vulink JT, Van Nes EH: Managed water levels and the expansion of emergent vegetation along a lakeshore, *Limnologia*, Vol.34, pp.57-64, 2004.
- 2) 高川晋一、西廣 淳、鷺谷いづみ：霞ヶ浦の自然再生事業によるアサザ群落および湖岸植生帯の再生、*応用生態工学研究会、第6回研究発表会講演集*, pp.97-100, 2002.
- 3) 西廣 淳、鷺谷いづみ：自然再生事業を支える科学、「自然再生事業」、鷺谷いづみ、草刈秀紀編、築地出版, pp.166-186, 2003.
- 4) Sakurai, Y.: Decrease in Vegetation Area, Standing Biomass and Species Diversity of Aquatic Macrophytes in Lake Kasumigaura (Nishiura) in Recent Years. *Jpn. J. Limnol.*, Vol.51, pp.45-48, 1990.
- 5) 花里孝幸：湖を浄化することの意味—湖の浄化と生態系—、*ヘドロ*, No.83, pp.19-22, 2002.
- 6) 浜端悦治：2000年水位低下調査報告 琵琶湖における夏の濁水と湖岸植生面積の変化—2000年の濁水調査から、*滋賀県琵琶湖研究所所報*, 20, pp.134-145, 2003.
- 7) Berthold Siessegger: Lake Constance - The Restoration and conservation of a disturbed, degraded and polluted littoral zone、*第9回世界湖沼会議 第4分科会発表文集*, 4B-P20, pp.268-271, 2001.
- 8) 中村圭吾：湖沼沿岸帯の復元を考える視点—霞ヶ浦の事例を中心として—、*雑誌「河川」* 3月号, No.668, pp.42-46, 2002.
- 9) Nishihiro J, Miyawaki S, Fujiwara N, Washitani I: Regeneration failure of lakeshore plants under an artificially altered water regime, *Ecological Research*, Vol.19, pp.613-623, 2004.

中村圭吾\*



独立行政法人土木研究所  
水循環研究グループ河川  
生態チーム主任研究員、  
工博  
Dr. Keigo NAKAMURA

天野邦彦\*\*



独立行政法人土木研究所  
水循環研究グループ河川  
生態チーム首席研究員、  
工博  
Dr. Kunihiko AMANO