

Q. 69-R. 46 琵琶湖開発事業と環境保全*1

毛 涯 卓 郎*2
 中 村 宣 彦*3
 大 塚 俊 匡*4
 原 稔 明*5

1. はじめに
 1-1 淀川水系と琵琶湖
 1-2 琵琶湖開発事業の概要
 2. 湖岸堤・管理用道路と前浜の環境保全対策
 2-1 前浜の確保
 2-2 ヨシ地帯の保全と復元
 3. 人工河川におけるアユ資源の維持と増進
 3-1 アユの人工増殖技術
 3-2 人工河川の設計と特長
 4. おわりに
 概 要



写真—1 琵琶湖全景（南湖）

1. はじめに

1-1 淀川水系と琵琶湖

淀川水系の最上流域に位置する琵琶湖流域は、淀川流域の約50%を占め、大きく北湖と南湖に分かれる日本最大の淡水湖（写真—1）である。琵琶湖の概要を表—1に示す。

淀川水系は、滋賀、京都、大阪など2府4県にまたがる流域面積8,240km²で、日本を代表する水系である。その源である121の河川からの流水は、湖面積約674km²を有する琵琶湖に流入したのち、湖の南端に位置する唯一の自然流出河川である瀬田川へと流下する。（図—1）

この淀川水系は、古くから舟運の便、用水の確保等に恵まれ、京都をはじめとする都が栄え日本の政治・経済・文化の基盤をなしてきている。

現在においても淀川水系は、京都・大阪といった大都市を中心に多くの中小都市を擁し、人口が約1,400万人、

表—1 琵琶湖の概要

項 目	規 模 等
湖 面 積	約670km ²
湖 岸 線	約230km
最 大 水 深	104 m
平 均 深 度	北湖43 m, 南湖 4 m
貯 水 量	275億m ³
流 域 面 積	3,848km ²
年 間 流 入 水 量	53億m ³
年 間 雨 量	約1,900mm

首都圏とともに人口、資産、都市機能の集積した日本の中枢機能を有する地域として重要な役割を担っている。

*1 Environmental Conservation Under Lake Biwa Development Project

*2 水資源協会専務理事

*3 水資源開発公団日吉ダム建設所長（前 琵琶湖開発総合管理所長）

*4 〃 管理部施設課長（前 〃 副所長）

*5 〃 中部支社建設部審議役（前 〃 第三管理課長）

1-2 琵琶湖開発事業の概要

約275億 m^3 もの豊富な貯水量を誇る我国最大の琵琶湖は古くから多くの人々と深い係わりを有してきた。特に湖周辺地域では、昔より洪水、渇水被害に悩まされてきた。一方淀川下流阪神地域は、急速な都市用水の需要の増大に伴い、琵琶湖を貴重な水源として期待してきた。このような状況下、これら一連の諸問題を解決するため「琵琶湖の恵まれた自然環境の保全と汚濁しつつある水質の回復を図ることを基調とし、その資源を正しく有効に活用するため、琵琶湖及びその周辺地域の保全、開発及び管理についての総合的な施策を推進することにより、関係住民の福祉と近畿圏の健全な発展に資する。」ことを基本目標とした琵琶湖総合開発計画が策定され

表-2 工事概要

工 種	概 要
湖岸堤(単独)	約3km
湖岸堤・管理用道路	約47km
内水排除	6地区
湖岸堤関連河川改修	13河川
瀬田川洗堰の改築	1カ所
瀬田川浚渫	約800千 m^3
南湖浚渫	約500千 m^3
管理設備	1式
その他補償工事	1式

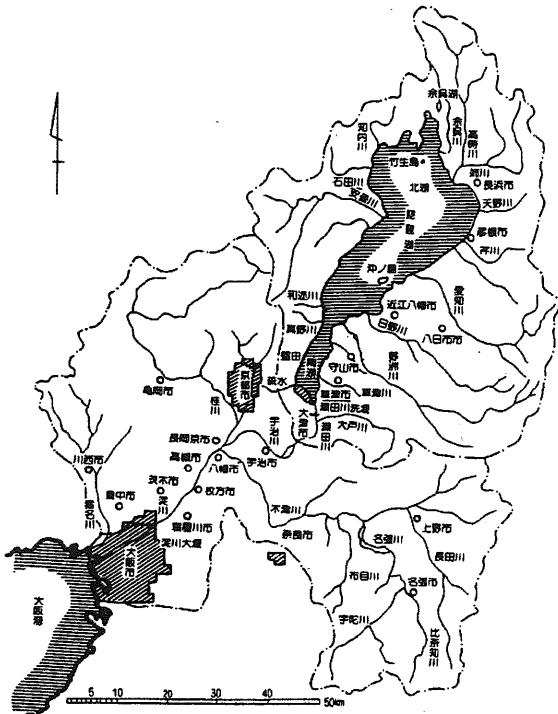


図-1 淀川水系流域図

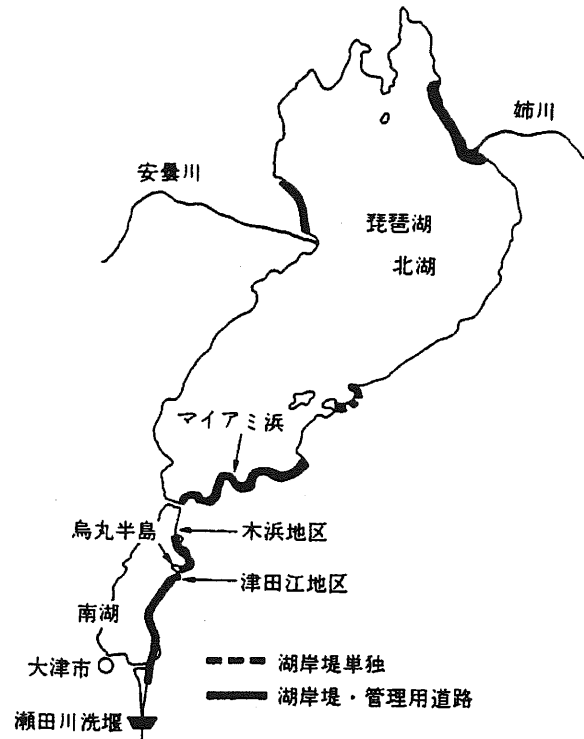


図-2 位置図

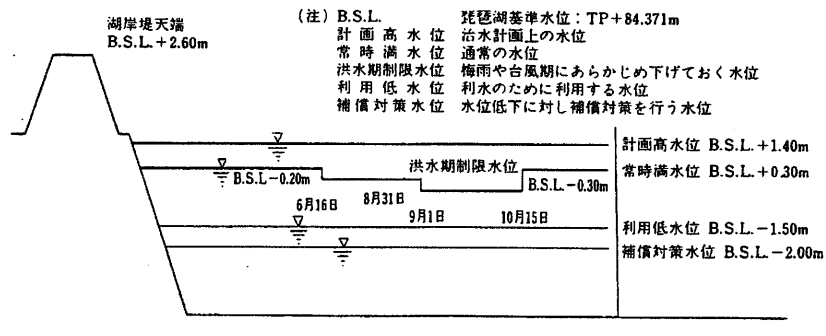


図-3 湖水位の変動範囲

た。この計画の特徴は、環境保全、治水、利水を柱に、近畿圏の広域的な水資源開発事業と琵琶湖沿岸の治水及び地域開発事業とを総合的に推進して行くところにある。水資源開発公団は、これらの事業の一環として治水、利水対策を基幹とした琵琶湖開発事業を実施してきたところである。琵琶湖開発事業は、湖岸堤・管理用道路及び内水排除施設などを新築し瀬田川洗堰の操作と相まって琵琶湖周辺の洪水の防御や淀川下流の洪水流量の低減を図ること及び、大阪、兵庫に対して最大40m³/secの都市用水を供給することを目的とするものである。工事の概要は表一に示すとおりであるが、琵琶湖湖岸延長の235kmうち、計画高水位（B.S.L.+1.4m）に対し地盤が低く、浸水の恐れがある一連の地区について約50kmにわたり湖岸堤を築造するなど（図一）大規模な工事を施工してきた。この事業の完成により、琵琶湖の水位は図一に示す範囲で変動することになり、人工的で大規

模なダム湖と同等の運用効果を発揮することになる。

ここでは、琵琶湖の多くの施策の中で様々な形で環境保全へのきめ細かな配慮がなされているが、それらのうち、湖岸堤・管理用道路事業で実施した水辺環境の保全対策及び創生、さらには人工河川などによる生物環境の保全について述べるものとする。

2. 湖岸堤・管理用道路と前浜の環境保全対策

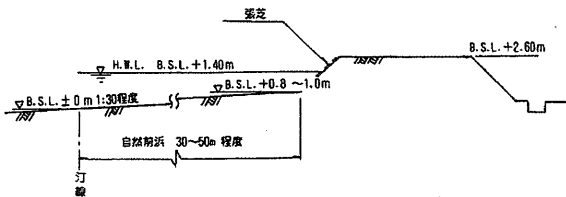
2-1 前浜の確保

琵琶湖の湖岸堤計画の中で最も特徴的なことは、環境保全のために堤防本体の汀線の間数10mの前浜を設けたことである。これにより湖辺の無秩序な開発の防止や湖辺環境の保全を始めとする琵琶湖の適切な管理を図ることができる。

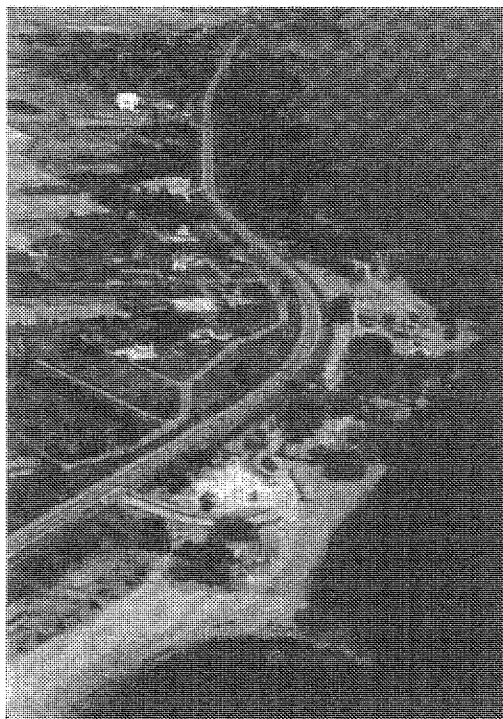
北湖では湖岸堤は汀線から20m～50m程度内陸側の位置に設置することにより、従前の湖辺を自然状態のまま前浜として確保した。（図一、写真一）この前浜は湖辺の環境保全という観点から2つの大きな役割を果たしている。

2-1-1 前浜の消波効果と湖岸堤防天端高

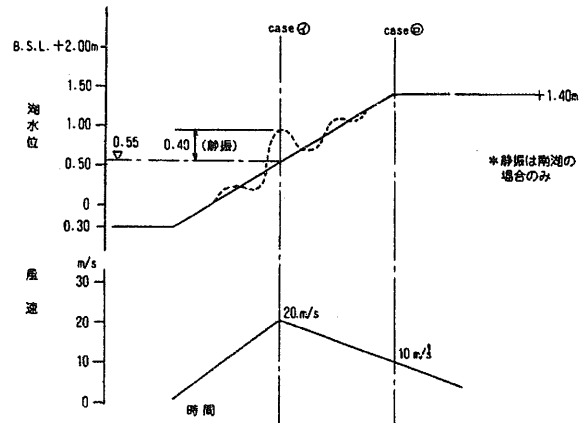
ひとつには、この前浜での消波効果により湖岸堤の天端高さを低く押さえるという工学的な効果である。琵琶湖のように大きな、しかも水深の深い湖では、台風などの強い風が吹いた場合には非常に大きな波が発生する。



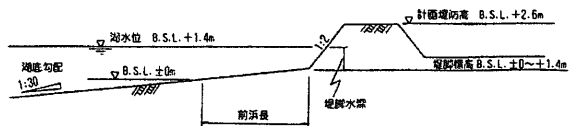
図一 北湖自然前浜タイプ



写真一 自然に近い状態で前浜を残した湖岸堤・管理用道路



図一 湖水位と風速の組合せモデル



図一 波の打上げ高さ算定の計算条件

この場合、波浪の打上げ高さにより堤防の天端高さが決まるが、前浜による消波効果で波の打上げ高さを著しく減衰させ、堤防の高さを低く押さえることができる。

台風通過時における前浜を設けない場合の湖岸堤への波の打上げ高さは、北湖において B.S.L.+3.4m、南湖において B.S.L.+2.9m となるが、波の打上げ高さは堤脚部の標高によって大きく左右される。一方、湖岸堤を設置する区間の汀線付近の地形は湖から陸に向かって緩やかな勾配を持つ。そこで湖岸堤を汀線からどの程度陸側に設ければ(どの程度の前浜幅を設ければ)所定の消波効果が得られるかの検討を行った。

湖岸堤への波の打上げが最も大きくするのは、台風に伴う風雨によるものであり次のケース(図-5)が想定できる。また、図-6は計算条件を示したものである。(ケース)

- ① 台風が直近にあり、これに伴う吹き寄せや吸い上げによる水位上昇や風浪は大きい湖水位はまだピークを迎えない状態
- ② 台風通過後、湖水位はピーク(B.S.L.+1.4m)を迎えているが、風浪はピークを過ぎてそれ程大きくなく、セイシュの影響もほとんどない。

図-7は、波の打上げ高さの計算結果をまとめたものである。これから見れば、湖岸堤の堤脚標高が、

北湖の場合で概ね B.S.L.+0.7m 以上、南湖の場合で概ね B.S.L.+0.5m 以上であれば、堤防天端高は B.S.L.+2.6m で良いということとなる。

そこで、北湖においては湖岸堤を汀線から20~50m程度陸側に設置することにより所定の堤脚標高を確保し、地形の都合上その確保ができない場所および南湖の全区間については、人工的な消波施設を設けて対処すること

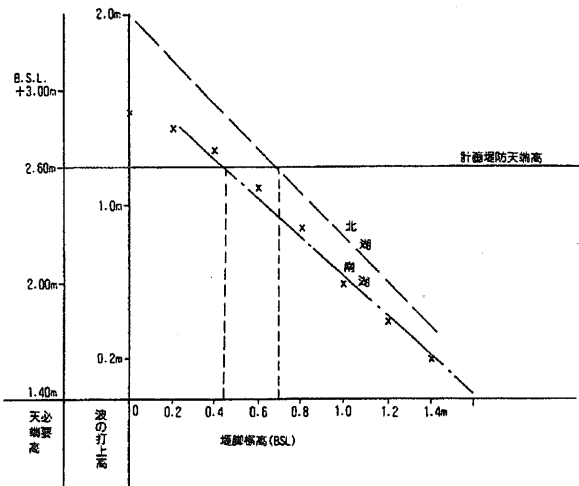


図-7 堤脚標高~波の打上高さ

とした。

なお、消波施設は、水理模型実験を実施してその形状を決定した。

2-1-2 前浜の環境保全効用

前浜が持つもうひとつの効果は、前浜そのものが直接的に持つ湖辺環境保全の効用である。湖岸堤の天端高さを低く押さえることが持つ環境保全上の優位性としては次の事柄が挙げられる。

①陸から汀線への連続性が確保でき、湖岸堤・管理用道路による周辺地域の生活と湖の遮断感覚を和らげることができる。

②湖辺利用の利便性が確保でき、親水機能が高まる。また南湖においては、汀線の平面的な出入りが激しいという地形的な制約、遺跡、土地利用、湖辺に広がるヨシ群落の保存もあって、湖岸堤は汀線付近または湖中部(琵琶湖内に入る区間)に設置されることとなった。このため、自然状態の前浜を確保することが困難なことから、湖中部に設置する湖岸堤については、その前面に50~60mの人工的な盛土による前浜を造成した。(図-8、写真-3)

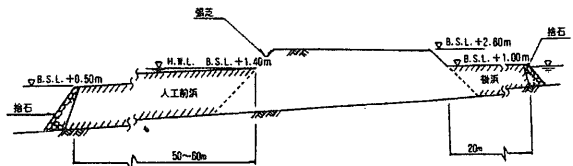


図-8 南湖人工前浜タイプ

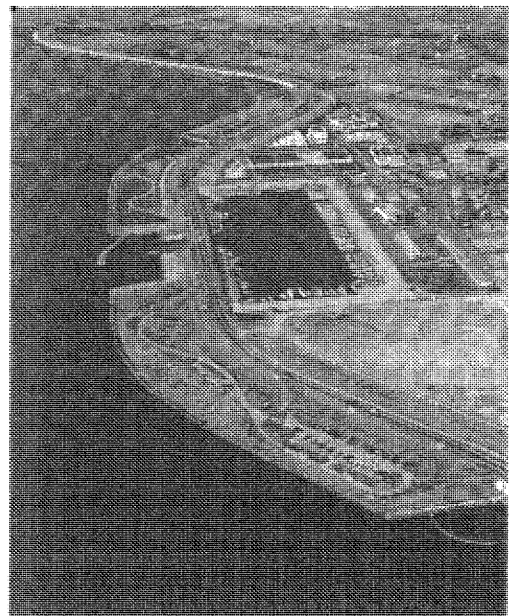


写真-3 人工前浜の湖岸堤・管理用道路と漁港

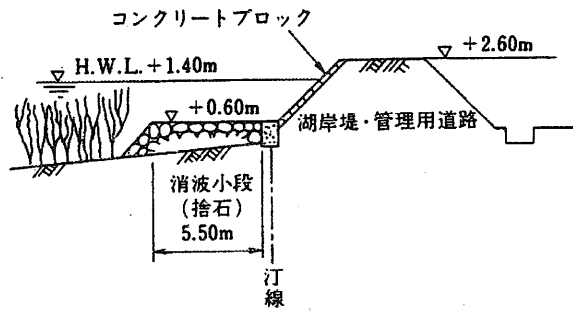


図-9 南湖消波小段タイプ

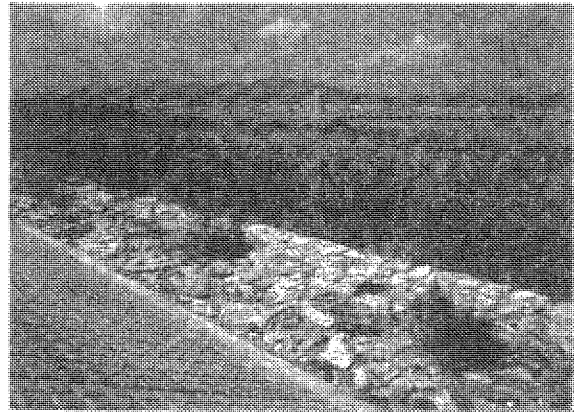


写真-6 ヨシ植栽状況



写真-4 緑に恵まれた前浜と湖岸堤・管理用道路

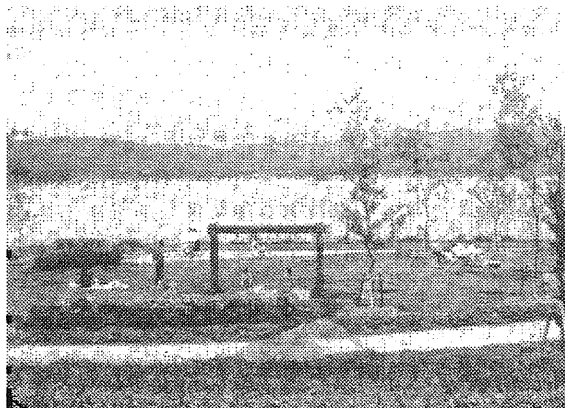


写真-5 前浜の利用状況

また、汀線付近に設置する湖岸堤については、ヨシ地帯をできるだけ潰さない法線を選定し、湖岸堤前面に幅5.5mの捨石による消波小段を設けることにより前浜の機能を代替させてヨシの保全を図った。(図-9)

このように前浜は、その湖辺環境と調和のとれた整備と適切な管理により、水辺の生態系や景観などの湖辺環境を保全するとともに、ここを訪れる人々に水と緑のレクリエーションの場として豊かな自然と潤いのある水辺空間を提供することになる。(写真-4, 5)

2-2 ヨシ地帯の保全と復元

2-2-1 ヨシの植栽概況

日本は、古来「豊草原の国」と呼ばれ、全国各地にみられるヨシ原は純日本的な風情を感じさせるものとして親しまれてきている。琵琶湖においても、かつては湖辺全域にヨシ原が存在していた。

琵琶湖における環境問題に欠くことのできないひとつに、近年減少傾向にあるこのヨシ帯の問題がある。ヨシ帯は、鳥類、魚類、昆虫類などの生物に対して貴重な棲息の場を提供するとともに、湖辺に広がるヨシ原がかもしだす風情は人々に安らぎと落ち着きを与え、生物環境、景観保全上重要な役目を果たしている。湖岸堤・管理用道路築造に当たっては、前浜の確保でも述べたとおりヨシ帯への配慮がなされている。しかし、やむをえず一部ヨシ帯を消失させることに対しては、可能な限りヨシ帯の復元を図るためにヨシ植栽(写真-6)を実施した。ヨシ植栽にあたっては、ヨシ群落の分布調査を始めとして、生育条件の分析及びその検討、ヨシ苗の育成試験、現地での移植試験など約10年間の歳月にわたる調査・試験研究を重ねた後、本格的な植栽工事を実施した。

2-2-2 ヨシ植栽試験

① ヨシ苗の育成について

種子起源のヨシ苗栽培について研究・開発を進めた結果、ヨシの種子は大きさが0.7mm内外で極めて小さく、琵琶湖周辺では10~11月に種子の採取が可能である。また、採取した種子は図-10に示すように5~6月に苗床に砂をまき、湿気を含ませた状態で播種(約200粒/m²)すると約1週間程度で発芽した。次に、播種から50日後に優良な苗を選別し、畑土を入れた中鉢(写真-7)に移植すると100日ほどで草丈が20cm程度になることが明らかになった。また、

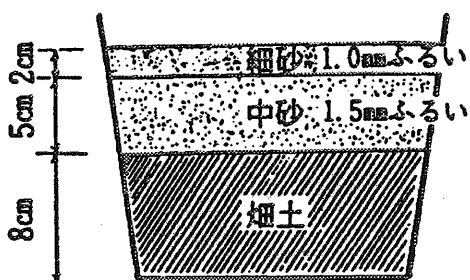


図-10 苗床

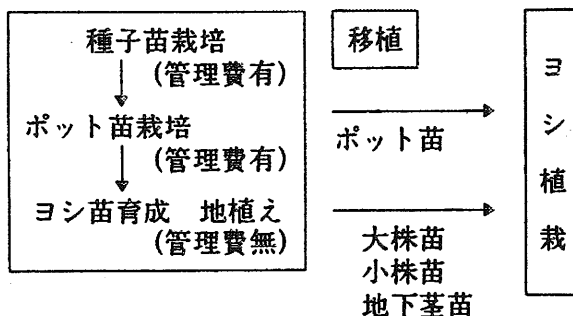


図-11 各種移植試験フロー図



写真-7 中鉢と苗 (100日後)

この時期には湿気を残す程度に水をやり、施肥を施した。この方法で栽培した100日後のヨシ苗はポリポット (φ30cm) に移植すると写真-8に示すように1~2年後にはポリポットの中に高密度に繁殖してきた。(但し散水等の管理を充分に行う必要がある。)

② ヨシ苗移植方法

ヨシ苗の移植は一般に大株苗移植法、小株苗移植法、地下茎移植法等があるが、今回新たに種子起源のヨシ苗栽培を行ったため、この栽培過程で生産された苗を直接使用するポット苗移植法も試みた。図-11に各種移植試験法のフローを示す。結果はポット苗移植法と大株苗移植法が良い育成状況を示した。このため、実際の植栽にあたっては、ポット苗移植法と大株苗移植法を採用した。なお、大株苗移植法はポット苗をヨシ苗育成地にいったん地植えし、管理

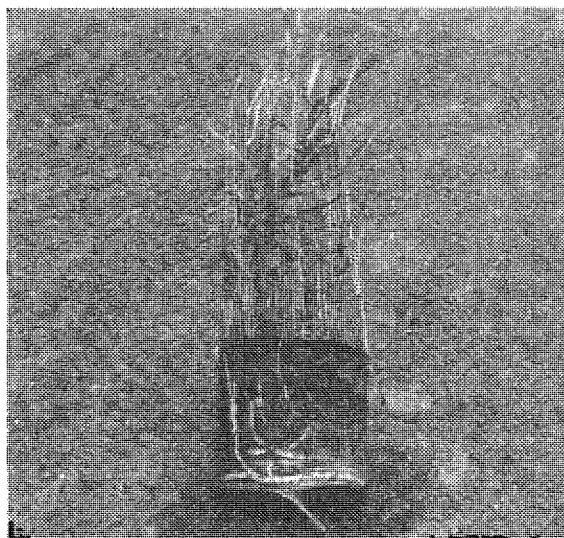


写真-8 ポリポットで栽培したヨシ (2年後)

費を軽減させた後に、植栽計画に応じて現地への移植を行った。

2-2-3 ヨシ植栽地試験結果

このようにヨシ苗を栽培・移植し、最終的に植栽予定地に植栽した結果、琵琶湖においては、ヨシの育成条件は以下のポイントに要約できる。

- ① ヨシ地帯は陸から湖に緩やかな勾配を持つ地形に発達し、良好な育成が可能なのは水深60~80cm程度までである。
- ② ヨシの育成に適している地盤は砂質土の卓越した土壌である。
- ③ 波浪はヨシの育成を阻害する大きな要因である。

植栽にあたっては、これらの条件を満たす必要があり、遠浅な地域にB.S.L. 0 m前後の緩やかな砂質土壌の人工地盤を造成した。さらに波浪の影響を軽減させるため、植栽先端部に消波施設を設けた。(図-12) この消波施設に関しては、捨石、鋼矢板、木柵などにより実験を行い、景観、機能性、経済性を考慮し木柵タイプを採用した。

2-2-4 ヨシ植栽の成果

これまでに植栽されたヨシ群落の生育状況(現存量等)を把握するために、表-3に示す調査項目に従って追跡調査を行い、琵琶湖沿岸平均値との比較検討を行った。その結果が表-4である。

この表より、植栽ヨシは琵琶湖に自然に生育する平均的なヨシの生育状況に比べて茎直径、草高は少し劣るものの特に重要な指標となる現存量は上回っており、自然生育と遜色ない状況にあるといえる。

2-2-5 鳥類生息状況

ヨシ群落の重要な機能の一つとして、さまざまな種類

の鳥類の生息環境としてヨシ群落の利用がある。鳥類がヨシ群落をどのように利用しているのか、その実態を把握する調査を行った。植栽されたヨシ群落と自然生育起源のヨシ群落(自然生育ヨシ群落と呼ぶ)を選び、カシミ網によってヨシ群落内に生息する小鳥類(写真-9)の生息状況について調査(捕獲標識調査, 1992年)を行った。

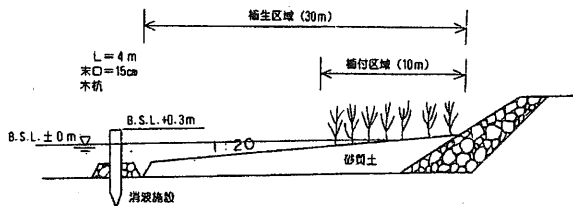


図-12 ヨシ植栽地標準断面図



写真-9 ヨシ植栽地で捕獲されたアオジ

表-3 ヨシ追跡調査項目一覧

調査項目	備考
ヨシの平均茎直径 [mm]	地際から50cmの高さの部分の直径
ヨシの平均草高 [cm]	最上部の展開葉の基部までの高さ
ヨシの平均個体重(乾重量) [g]	
ヨシ茎個体数密度 [本/m ²]	生茎
ヨシ現存量(乾重量) [g/m ²]	

表-4 ヨシの生育状況の比較

項目	ヨシ				
	茎直径 mm	草高 cm	個体重 g	生茎 本/m ²	現存 g/m ²
植栽地平均値 (1992)	5.3	199	15.9	58	905
琵琶湖沿岸平均値 (滋賀県, 1992)	6.9	219	24.2	31	704

表-5 捕獲標識調査結果

調査地名		植栽ヨシ群落				自然生育ヨシ群落			
標識調査	網枚数(総延長)	4 (48m)				4 (48m)			
	調査日	12月8日	12月9日	12月10日	計	12月8日	12月9日	12月10日	計
	調査開始時	13:20	7:00	7:00		計	14:30	7:00	7:00
調査終了時	17:30	17:00	15:00			17:20	17:00	15:00	
種名	モジウビタキ	1			1				
	ウグイス	2	1(2)	(2)	3(4)	1	1		1
	セッカ		1		1				
	ホオジロ		1		1			2	2
	カシラダカ			2	2				
	アオジ	3	3(1)		6(1)		5	1	6
	オオジュリン		5	5	10				
カワラヒワ								1	1
スズメ	1		2	3				1	1
出現種数	4	5	4	8	1	3	4	6	
総個体数	7	11(3)	9(2)	27(5)	1	7	5	13	

注) () 内の数値は再捕個体数を示す。

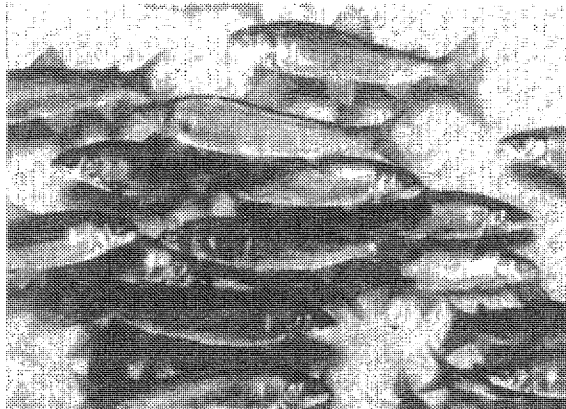
結果を表一5に示す。植栽ヨシ群落と、自然生育ヨシ群落の結果を比較すると、植栽ヨシ群落のほうが出現種数、総個体数とも多かった。したがって植栽ヨシ群落は、鳥類にとって自然生育ヨシ群落と同等の好適な生息環境を形成していると考えられる。

3. 人工河川によるアユ資源の維持と増進

3-1 アユの人工増殖技術

日本には、約200種類に近い魚類が生息分布し、純淡水域に生息する魚類のほとんどが琵琶湖に生息し、その種類は約60種といわれている。そのうちアユは琵琶湖の最も重要な水産資源であり、全国各地の河川放流や養殖の種苗アユとしての需要も多く、全国への供給量は年間600から800トンにのぼっている。琵琶湖のアユは秋に琵琶湖の主要流入河川を溯上して産卵するため、琵琶湖開発による水位低下の時期と重なると、産卵に影響が及ぶ可能性がある。このため、滋賀県との共同で、アユの人工増殖技術の調査研究を行い、以下の知見を得た。

- ① 人工河川においては、アユの最適な産卵条件である産卵床としての礫の粒径、水温、水深、流速、親魚の放流密度、他の魚類による食害の防止などの諸条件をすべてコントロールできるため、産卵数は天然河川の約10倍(100万粒/m²)が期待できる。
- ② 孵化率は天然の場合(約60%)に比べ高い率(90%)が期待でき、さらに産着卵は天然河川の場合、他の魚類によって約30%が食害をうけ、減耗が大きいが人工河川の場合は、簡易な装置によりこれを防止できる。
- ③ 夜間の電灯照射により、親アユの産卵時期をコントロールすることにより、1シーズン3回の産卵が可能である。



写真—10 ア ユ

この調査研究を基に、具体的な構造、規模を決定し、琵琶湖の主要河川である安曇川と姉川の河口近くの湖岸に人工河川が新設された。(写真—10, 11, 図—13)

3-2 人工河川的设计と特長

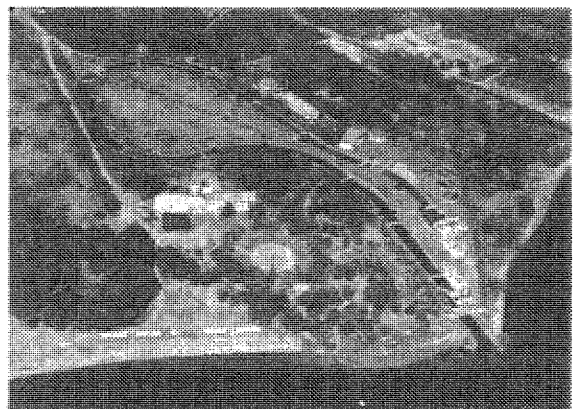
両人工河川の設計条件、特長は以下の通りである。

- ① 水温を18℃前後に保つため取水層(琵琶湖の水深)を-5m、-20mの二層とした。
- ② 流速50cm/sec、水深20cm、勾配を1/700とした。
- ③ 産卵用敷砂利は厚さ20cm、粒径5~25mmとした。
- ④ ヨシノボリ、カジカなどアユ卵を食べる魚が溯上できないよう、川下に「かえし」を設けた。
- ⑤ 養成親魚の成熟促進のため養魚池に一面あたり12個の照明灯を設けた。
- ⑥ 産卵後の死魚の処理施設、停電時の自家発電設備、水位低下時の溯上水路に配慮した。

人工河川が稼動を開始した1981年には、人工河川からの流下仔アユ数は、天然河川を含めた全体比(人工河川/(人工河川+天然河川)×100)で約26%を占め、かなりの成果を収めている。1984、1985年には天然アユの流下仔魚類数が非常に少なかった(22~30億尾)が、人工河川からは天然河川の約2倍(36~85億尾)の流下仔魚があり、漁獲高も大きな影響をうけなかったとして特に評価されており、この人工河川は今後とも琵琶湖のアユ資源の安定供給に大きく貢献していくものと期待される。

4. おわりに

琵琶湖開発事業は、長年の悲願である琵琶湖周辺の洪水防御と下流淀川の洪水量の低減を図るとともに、下流地域への都市用水の供給を行うため20年にもわたって国家的プロジェクトである。1992年に本事業は完成し、既に管理に移行している。これからの琵琶湖に与える社会



写真—11 人工河川

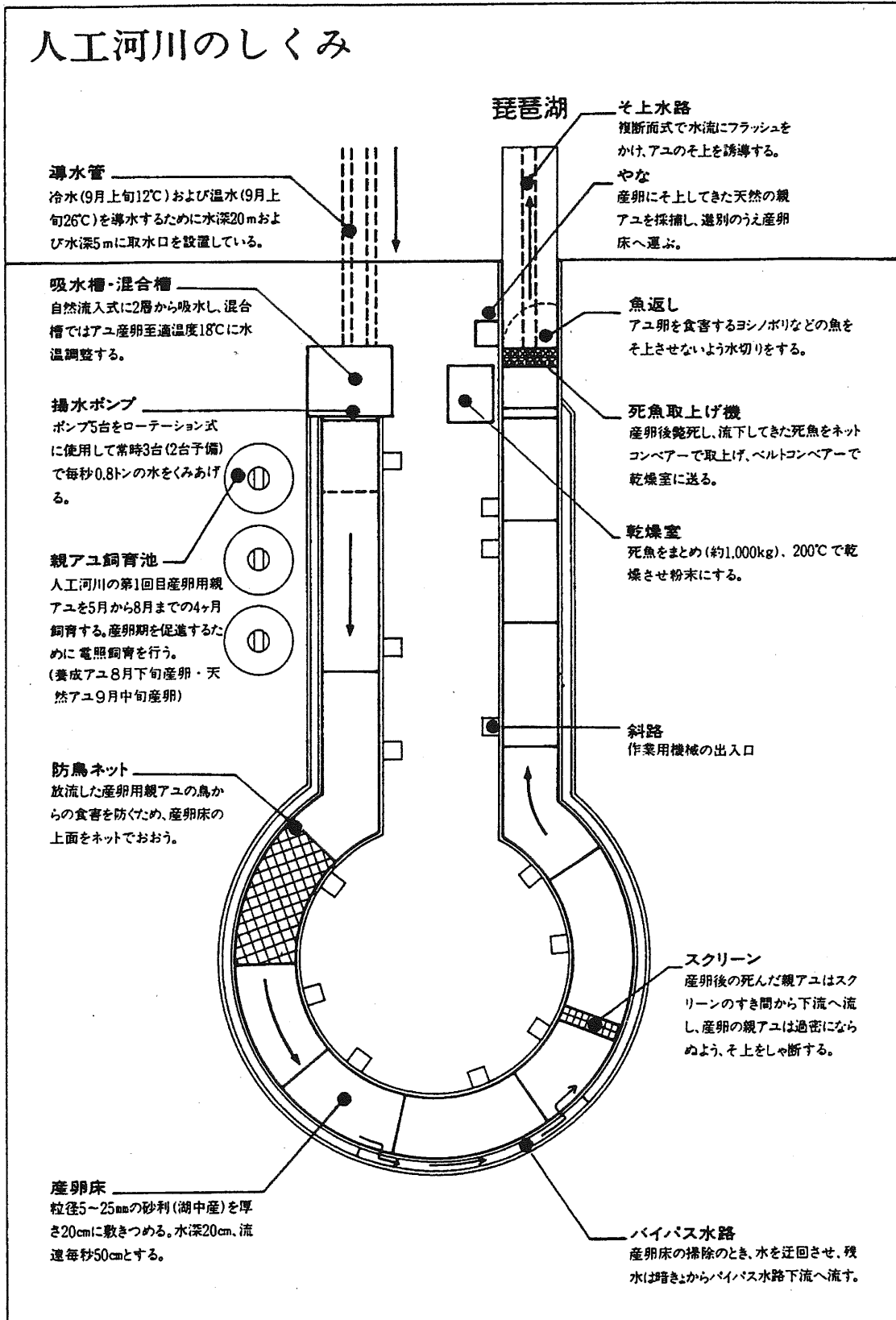


図-13 人工河川のしくみ

的、自然的な動向を正確に把握しつつ、これまで以上に豊かな水環境を守り育ててゆくための的確な管理に努めてゆきたい。

概 要

水資源開発公団は、事業の一環として治水、利水対策を基幹とした琵琶湖開発事業を実施してきた。また、環境保全へのきめ細かな配慮を行っているが、ここではそれらのうち、湖岸堤・管理用道路事業で実施した水辺環境の保全対策及び創生、さらには人工河川などによる生物環境の保全について述べている。

琵琶湖の湖岸堤計画の中で最も特徴的なことは、環境保全のために堤防本体の汀線間に数10mの前浜を設けたことである。これにより湖辺の無秩序な開発の防止や湖辺環境の保全を始めとする琵琶湖の適切な管理を図る

ことができる。また、湖岸堤・管理用道路築造に当たっては、ヨシ帯への配慮がなされており、やむをえず一部ヨシ帯を消失させることに対しては、可能な限りのヨシ帯の復元を図るためヨシ植栽を実施した。

人工河川が稼を開始した1981年には、人工河川からの流下仔アユ数は、天然河川を含めた全体比で約26%を占めており、それ以後も漁獲高にも大きな影響をうけなかったとして特に評価された。この人工河川は今後とも琵琶湖のアユ資源の安定供給に大きく貢献していくものと期待される。

水資源開発公団は、これからの琵琶湖に与える社会的、自然的な動向を正確に把握しつつ、これまで以上に豊かな水環境を守り育ててゆくための的確な管理に努めてゆきたい。