

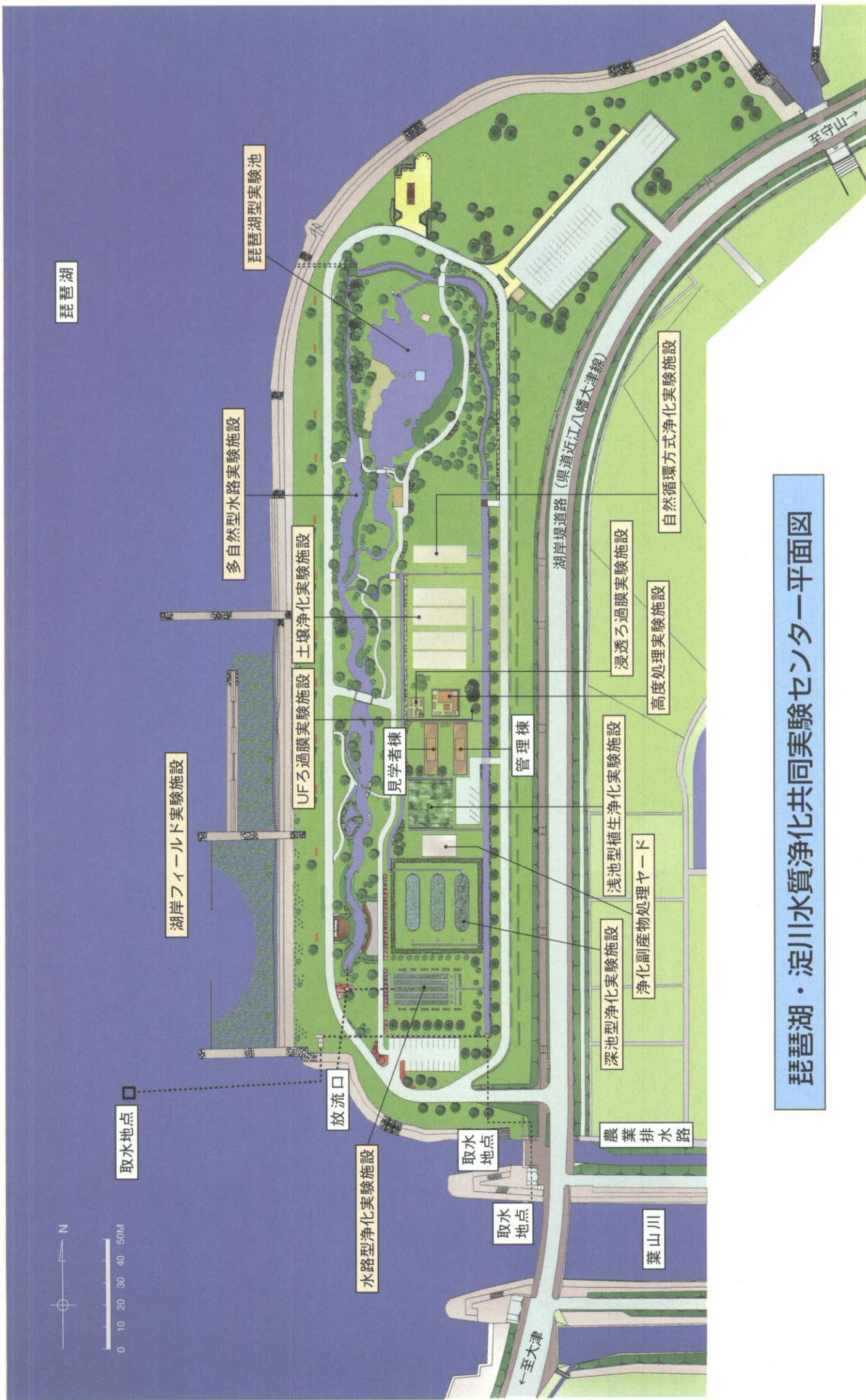
# 第2回 琵琶湖・淀川水質浄化 共同実験センター成果発表会 講演集



日時 2001年9月20日 (木)

会場 びわ湖ホール

国土交通省 近畿地方整備局  
滋賀県  
水資源開発公団関西支社  
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構



琵琶湖



0 10 20 30 40 50M

取水地点

湖岸フィールド実験施設

多自然型水路実験施設

UFろ過膜実験施設

土壌浄化実験施設

見学者棟

管理棟

水路型浄化実験施設

取水地点

取水地点

取水地点

←至大津

農業排水路

深池型浄化実験施設

浄化副産物処理ヤード

浅池型植生浄化実験施設

浸透ろ過膜実験施設

高度処理実験施設

湖岸堤道路 (県道近江八幡大津線)

自然循環方式浄化実験施設

自然循環方式浄化実験施設

葉山川

至守山→

琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター平面図

# 目 次

## ・特別講演 10:45~11:45

- 「生物多様性からみた琵琶湖の生態系保全」・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1  
滋賀県琵琶湖研究所総括研究員 西野麻知子

## ・成果発表① 13:00~14:50

1. 実験センターの概要と成果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13  
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 田井中善雄
2. 深池型施設におけるヨシ帯浄化実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21  
国土交通省琵琶湖工事事務所 春木二三男
3. 琵琶湖岸におけるヨシ植栽実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27  
水資源開発公団琵琶湖開発総合管理所 大村 朋広
4. 浅池型施設における植生浄化実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 35  
滋賀県湖南地域振興局 今井 崇
5. 多自然型水路における生態系調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43  
国土交通省琵琶湖工事事務所 中村 超

## ・成果発表② 15:10~16:40

6. 土壌浄化施設における土壌浸透浄化実験・・・・・・・・・・・・・・・・ 49  
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 和田 桂子
7. 自然循環方式浄化実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55  
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 三井 光彦
8. 琵琶湖型実験池におけるひも状繊維接触材方式浄化実験・・・・・・・・ 61  
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 馬場 玲子
9. 水路型施設における不織布接触材方式浄化実験・・・・・・・・・・ 67  
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 堀野 善司

— 特別講演 —

「生物多様性からみた琵琶湖の生態系保全」

滋賀県琵琶湖研究所総括研究員 西野麻知子

## 特別講演

# 生物多様性からみた琵琶湖の生態系保全

滋賀県琵琶湖研究所 総括研究員 西野麻知子

### 1. 生物地理学から見た湖沼

#### 1-1. 古代湖としての琵琶湖

湖沼とは、地質学的時間スケールで見ると、陸の上のできた小さなくぼみに水がたまっただけのものに過ぎない。その大部分は過去1万年以内に生じ、今後1万年以内に消滅する運命にある。湖沼という環境は、そこにすむ水生生物にとって、本来、極めて不安定な環境である。

ところが例外的に長期間、おおむね10万年以上安定して存続してきた湖が、ごく僅かながら存在する。これらの湖は古代湖と呼ばれ、多くの固有種が生息するだけでなく、生物多様性が高いという特徴がある。世界中には2万以上の湖が存在するが、古代湖と呼ばれる湖は、ロシアのバイカル湖、アフリカのタンガニカ湖、南米のチチカカ湖など10ほどしかない。最も古い古代湖はバイカル湖で、2800万年の歴史を持ち、3,000種以上の動植物が生息し、その半分以上が固有種である。琵琶湖は、古琵琶湖まで含めると400万年の歴史があるが、現在の琵琶湖が形成されてからでも43万年の歴史をもつ古代湖である。

#### 1-2. 湖と島

ところで固有種が多く生息するのは古代湖だけではない。歴史の古い島にも多くの固有種が生息する。世界遺産の屋久島をはじめ、奄美諸島、沖縄諸島にはアマミノクロウサギ、イリオモテヤマネコなど多くの固有種がすんでいる。また日本列島にも多くの日本固有種が生息している。海洋島であるハワイ諸島も古い歴史を誇るが、そこには鳥類、昆虫類、陸生貝類を中心に1千種以上の固有種が生息する。

なぜ湖と島に固有種が多いのかというと、湖も島も外界から隔離されやすい環境であることがあげられる。もちろん、島には陸上生物、湖には水生生物がすむという違いはある。しかし淡水にすむ生物にとって、湖沼は陸という海に浮かぶ島なのだ。湖や島にたまたまやってきた生物が、外界から隔離され強力な競争者が存在しない状況下で、安定した環境のもと、十分な時間をかけて、それぞれの環境に適応して進化したのが固有種である。その中にはある特定の祖先種から、形や大きさ、生理メカニズムや生態を変化させることによって進化したと考えられる固有種も多い。

このように古代湖と古い島は、そこにすむ生物は違っても、生物地理学的にはよく似た条件を備えている。ただ古代湖の数はごく僅かであるのに対し、固有種が多くすむ島は多くの事例が知られている。また島の生物多様性に関する理論もよく研究されており、琵琶湖のような古代湖の生物多様性保全にあたっては、島の理論が参考になる。

#### 1-3. 島の生物多様性理論

種の生物多様性に関する法則として、古くから種数面積曲線が知られている。例えば、湿地の面積(X)とそこにすむ鳥類の種数(Y)との間には、

$$Y = a X^b$$

という関係が成り立つ。ここで $a$ と $b$  ( $b < 1$ ) はそれぞれの地域や対象となる分類群によって固有の値をとる。

島の面積 ( $X$ ) とその島に生息する種の数 ( $Y$ ) の間にも、同様の関係式が成り立つことが明らかにされている。この式は、広い面積の島ほど、そこにすむ生物の種数は多くなるが、増加の割合は面積の増加とともに低下することを示している。逆にある一定の面積以下の島では、そこにすむ生物の種数が激減する。このことは、ある地域の生物多様性を保全する場合、地域全体ではなく、ある一定の大面积を確保すればかなり多くの種を保全できること、またその一方で、それを下回ると生物多様性が激減するような下限の面積が存在することを教えてくれる。ただ問題は、最低限どれだけの大面积を確保すればよいのか、あるいは下限となる面積について、個別的・具体的な実証データが不十分だという点にある。

一方で、島と湖は生物地理学的に似た条件を備えてはいるが、違う点もある。それは島では、常にどこかの大陸が種の供給源になっているということである。種の供給源となる大陸に近い島ほど、生物の種数が増えることが確認されており、大陸から遠い島では、その面積から予想されるより少ない種数の生物しか生息していない。

ところが湖には、種の供給源となる大陸に相当する水域が存在しない。それどころか、琵琶湖のように大きな湖では、その湖自身が種の供給源としての大陸の役割を果たしていることもありうる。例えば、琵琶湖における淡水ミミズ類の種数は日本の淡水ミミズ相の約 70% を占めている (Ohtaka and Nishino, 1995)。琵琶湖は、彼らにとって陸の中の島であると同時に、種の供給源という性格も有しており、このことが、湖の生物について種数面積曲線を描くことが困難な理由のひとつとなっている。したがって、もし琵琶湖の生物多様性が失われると、その影響は琵琶湖のみならず、近隣地域、少なくとも西日本の湖沼における生物多様性にも大きな影響を与えることになる。なぜなら西日本には、自然の淡水湖沼は琵琶湖と九州南部の湖沼を除いて存在しないからである。

いずれにせよ、面積の広さはその地域にすむ生物の種数、いいかえると生物多様性に対し、決定的な意味を持っている。このことが、生物多様性の保全を考える上で、もっとも重要な点である。もし十分な面積を確保することが可能ならば、できるだけ広い面積の保護区を設定することが、生物多様性の保全にとって最も有効な手段である。

しかし現実には、野生生物の生息に十分な面積を確保するのは極めて困難な状況にある。とくに日本のように地価が非常に高い国では、なおさらである。そこで出てきたのが、コリドー (回廊) や飛び石という考え方である。これは大面积の確保が困難な場合に、複数の小面積の保護区をコリドー等でつないで生物の移動経路を確保しようとする考え方で、とくに移動能力の大きい大型哺乳類や魚類などを対象に考えられた方策である。ただ、これはあくまで代替的な方策であり、その有効性についても十分検討されていないことを忘れてはならない。

## 2. 琵琶湖生態系の変化

### 2-1. 琵琶湖の生物

これまで琵琶湖からは約 1,000 種の動植物が報告されている (図1)。このうち、動、植物プランクトンが約 480 種、底生動物が約 400 種、水草 (沈水植物、抽水植物) が約 60 種、遊泳動物 (魚類) が約 60 種、水表生物が約 10 種である。固有種はこのうち 57 種 (亜種、変種を含む) で、全生物種に対する固有種の割合 (固有率) は約 6% である (Nishino and Watanabe, 2000)。固有率は魚類で 25%、貝類だと 55% に上り、琵琶湖の固有種のほとんどは、魚類と貝類で占められているといつてよい。

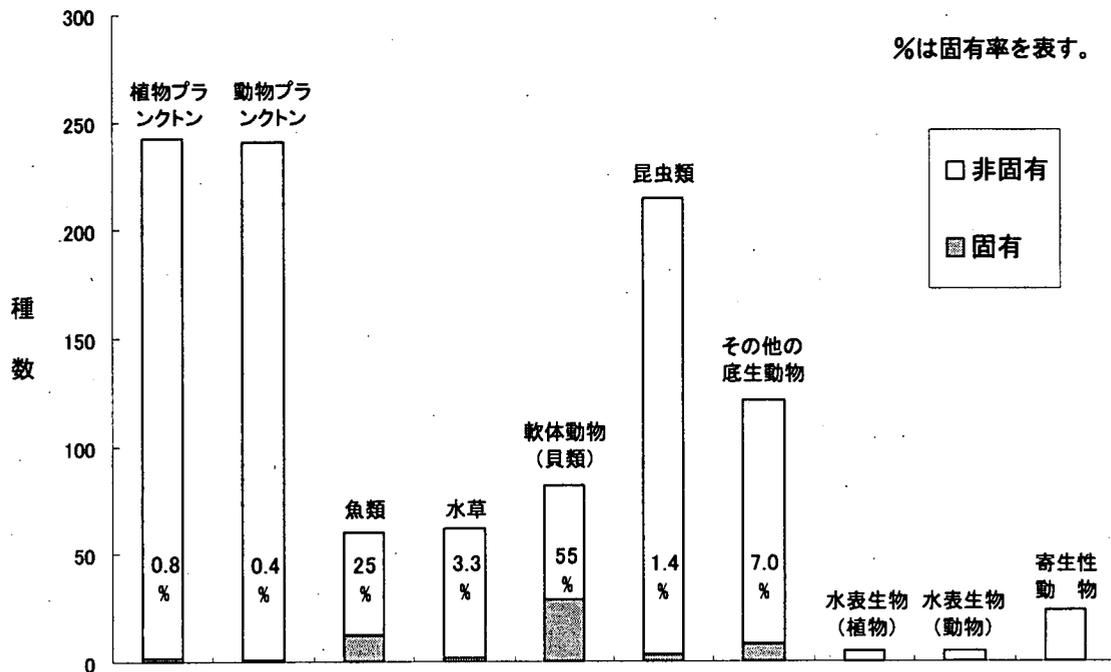


図1. 琵琶湖から報告されている動植物と固有種の数 (Nishino and Watanabe, 2000)

## 2-2. 湖の生態学的区分

湖の中は一様な環境ではない。琵琶湖のように大きな湖では、大きく沿岸部と沖部の二つに分かれる。沿岸部は陸と水の境界にある移行帯（推移帯、エコトーン）で、陸の影響を直接的に受ける。いっぽう沖部も陸の影響を受けるが、影響の受け方は間接的、限定的である。最近の研究で、湖底泥の炭素、窒素の同位体比から、沿岸部の湖底では陸起源、沖部の湖底からは湖起源（湖内生産された）の堆積物が多いことがわかった (Murase and Sakamoto, 2000)。このことは沿岸部での生物生産が、陸から運ばれた外来性 (allochthonous) 物質にも依存しているのに対し、沖部では自生性 (autochthonous) の生物生産が中心であることを示唆している。

沖部はさらに光条件や温度により表水層、変水層（水温躍層）、深水層、湖底（深底部）に分けられる。深底部は、深水層に相当する湖底と定義され、琵琶湖では水深 30m 以深の湖底をさす。北湖の深底部は、湖底面積の 2 分の 1 以上を占める (図2)。

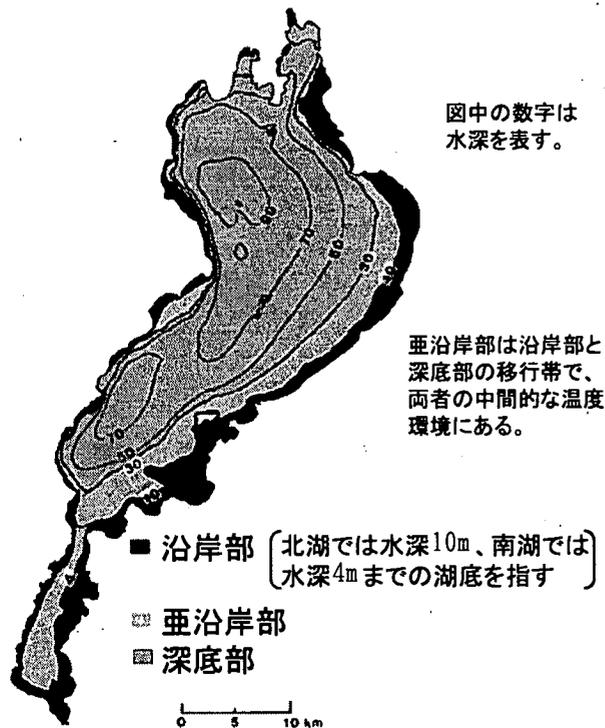


図2. 湖底の生態学的区分 (西野, 1992)

### 2-3. 沖部の変化

湖の沖部はプランクトンが優占し、魚類の一部が生活史の一時期を過ごす場である。したがって生物の変化は主にプランクトンの変化として表れる。まず1960年代に入ってからプランクトンカレンダーの乱れが生じた。その後 *Closterium aciculare* や *Anabaena* spp. のブルーム、1977年に *Uroglena americana* の赤潮発生、1983年夏のアオコ (*Microcystis* spp.) の発生へと続く。1980年以降、クロロフィル量に大きな変化はないが、種構成はめまぐるしく変化している (一瀬ほか、1996)。

北湖沖部の一次生産量は、1963-64年には  $0.34-0.66 \text{ g C m}^{-2} \cdot \text{日}$  だったが、1986-87年には  $0.35-1.07 \text{ g C m}^{-2} \cdot \text{日}$ 、1992年で  $0.28-1.29 \text{ g C m}^{-2} \cdot \text{日}$  (6-11月) で、最大生産量が20年余りではほぼ2倍に増大した後、大きく変わっていないようである (西条、1966; Takahashi *et al.*, 1995; Urabe *et al.*, 1995)。

### 2-4. 深底部の変化

深底部は、底生生物がすみ、魚類の一部が生活史の一時期を過ごす場である。したがって深底部の変化は主に底生生物に表れる。

まず深底部の環境だが、湖底付近の水温に季節変動はないが、長期的には1965年以降、上昇傾向にあり、30年あまりで平均  $1.5^\circ\text{C}$  上昇した (図3) (遠藤ほか、1999)。

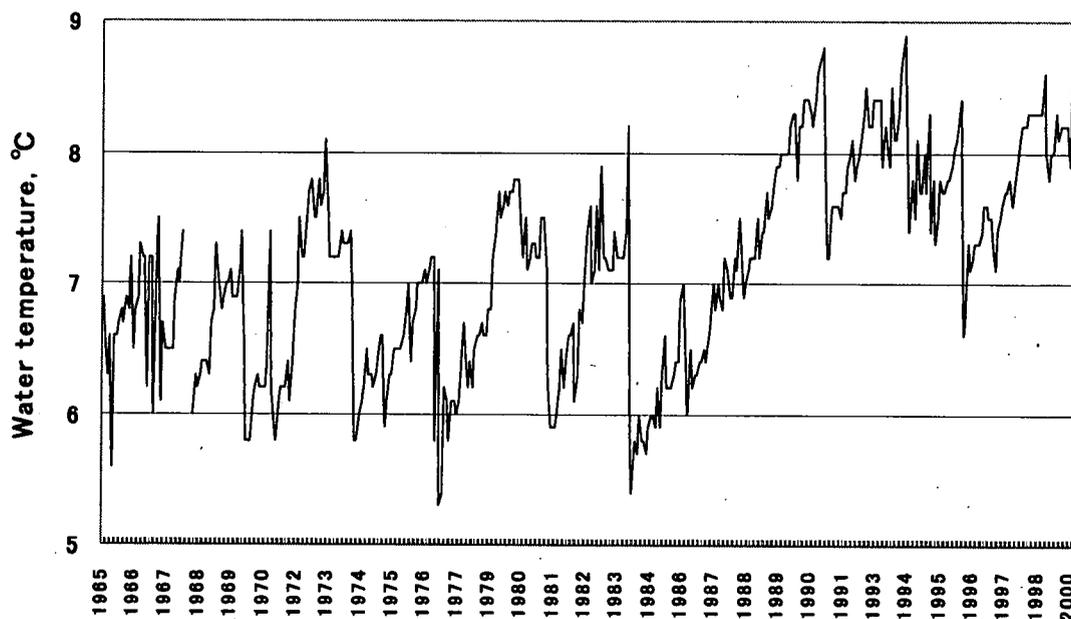


図3. 北湖水深80mにおける湖底直上水の温度の長期変動  
(滋賀県水産試験場のデータを一部改変)

いっぽう湖底直上水の溶存酸素は季節的に変動し、毎年、水温躍層が形成される5-6月頃から減少し始め、全循環期の直前の10-11月に最も低くなる。そして全循環期に再び最大となる。水深80m以深での年最低溶存酸素濃度を長期的にみると、1950年以降減少傾向にあり、1987年冬には  $0.8 \text{ mg/l}$  (飽和度8%) を記録した。その後、再び上昇したが、1999年秋に2番目に低い  $1.3 \text{ mg/l}$  (同11%) を記録した (図4)。

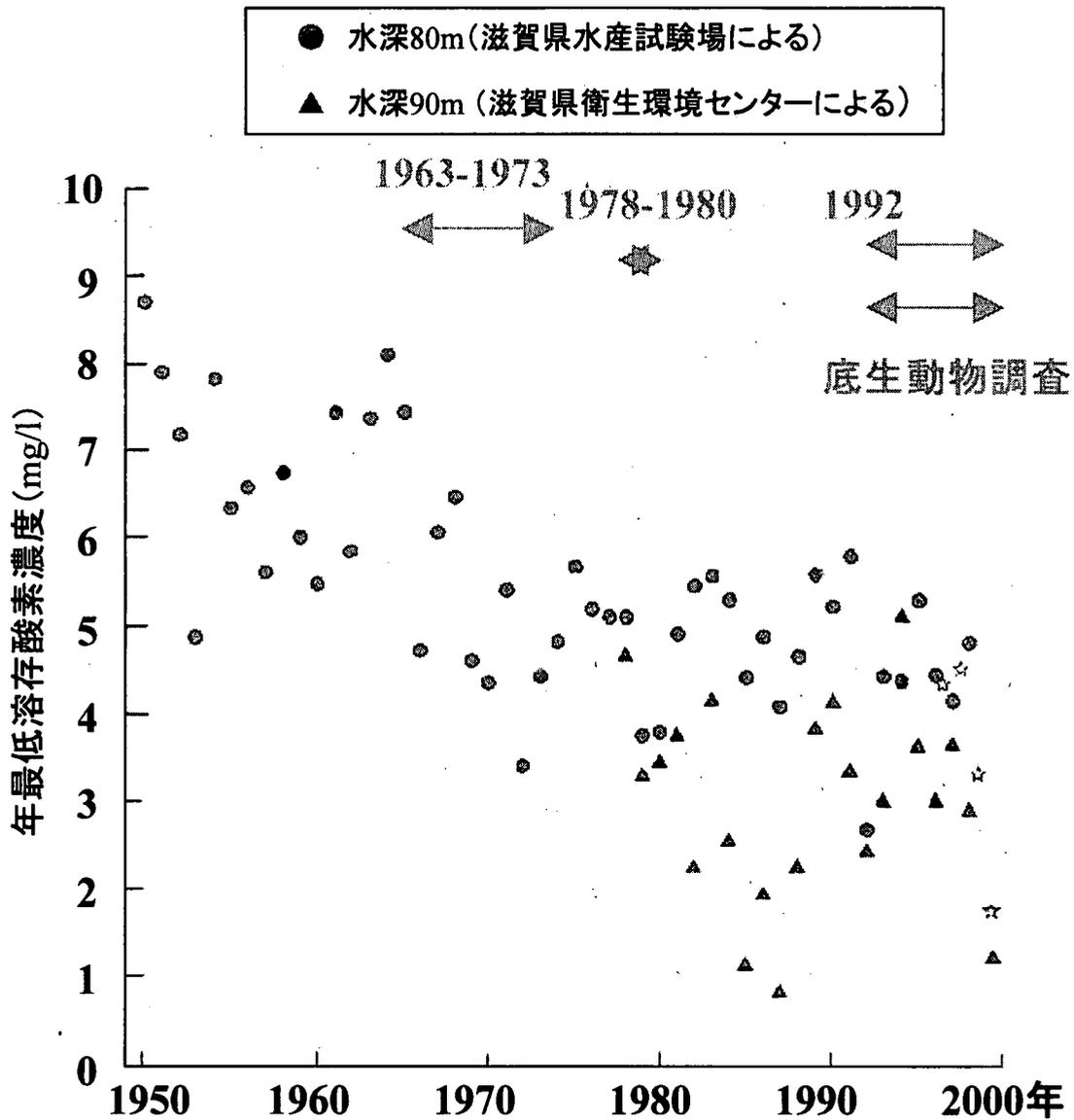


図4. 北湖水深 80m および 90m における湖底直上水の年最低溶存酸素濃度の長期変動

底生生物では、高密度の硫黄酸化細菌チオプロローカが 1991 年、深底部の湖底から発見された (Nishino *et al.*, 1998)。チオプロローカ属は、硫化水素を取り込み、それを酸化したときに生ずるエネルギーを利用する細菌で、本属が高密度で生息することは、湖底が還元状態に近づいていることを示唆している。

1991-1993 年には、固有種のビワオオウズムシ (図5) をはじめ大型の底生動物が減少し、その前後に底生魚のイサザの漁獲量も激減した。1994 年以降、ビワオオウズムシの密度はほぼ回復したが、同時にミズムシ (図6) やコガタウズムシなど沿岸性の種や外来種の一部までもが深底部で高密度に生息するようになった。また深底部にもともと生息していたアナンデルヨコエビの密度も上昇した。これらの結果は、湖の富栄養化で多くの有機物が湖底に堆積するようになったことに加え、地球温暖化により深底部の温度が上昇した結果、沿岸性の一部の動物が繁殖可能になったことを示唆している。

図5. ビワオオウズムシ生息密度の長期変動 (底曳網による)

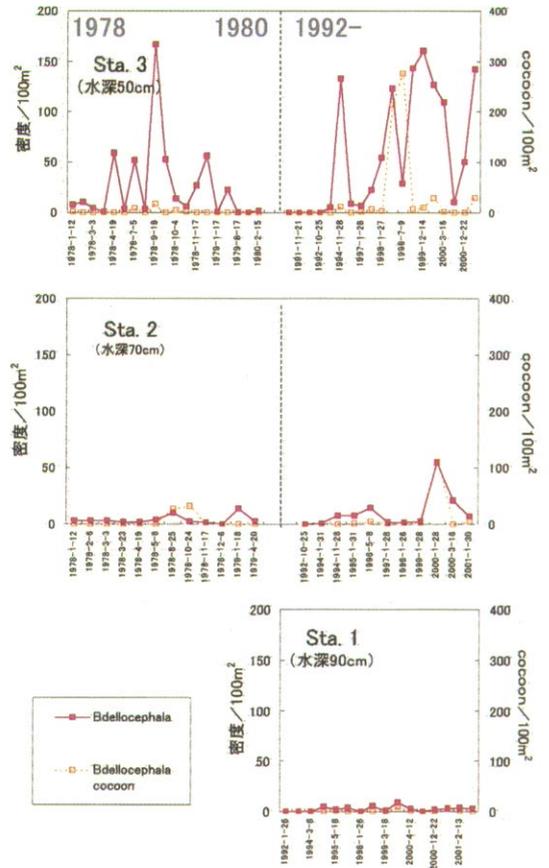
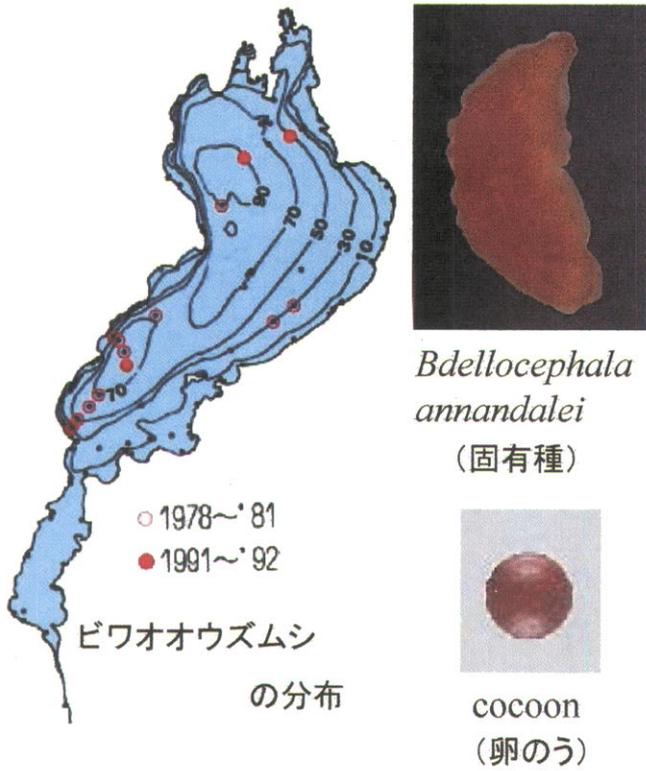
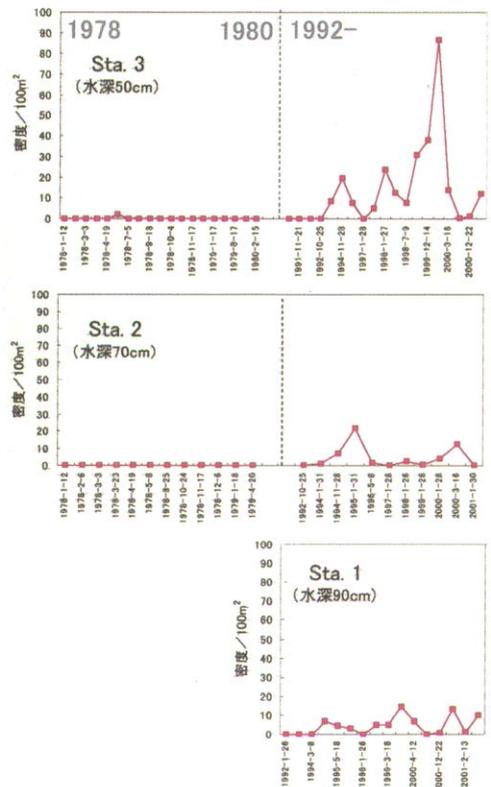
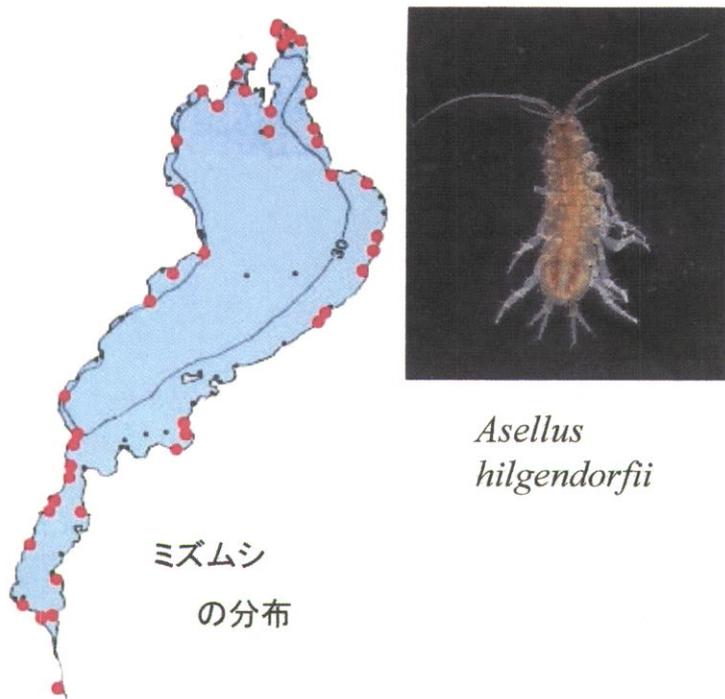


図6. ミズムシ生息密度の長期変動(底曳網による)



## 2-5. 沿岸部の変化

沿岸部はプランクトン、底生動物、魚類、水草など湖にすむほとんどの生物が生息し、固有種の大部分が生息する場である。また魚類をはじめ、多くの動植物が繁殖する場でもある。したがって沿岸部の変化は、ほとんどすべての生物に表れるはずである。さらに沿岸部の変化は、陸にすむ人々の目にもつきやすい。しかしその変化を総合的、定量的に評価した資料は少ない。なぜなら琵琶湖の周囲は235kmにおよび、湖岸の景観も岩石湖岸、砂浜湖岸、ヨシ帯など多様で、それぞれの沿岸部は多様性に満ちている。そのため沿岸部全体の変化をみるには、全沿岸部を概観しないといけないからである。

### 2-5-1. 底生生物の変化

滋賀県水産試験場は、1995年に水深0-7mまでの沿岸部55側線において底生動物および水草の生息量調査を行い、同様の方法で実施した1969年調査結果との比較を行った(滋賀県水産試験場、1998)。その結果、湖底面積が全体で114.7km<sup>2</sup>から5%近くも減少し、特に0-3mの湖底の減少率が高かったことが明らかになった。また底質では砂泥湖底の面積が32.1km<sup>2</sup>から10.5km<sup>2</sup>と3分の一に減少し、逆に泥質湖底の面積が29.9km<sup>2</sup>から42.9km<sup>2</sup>と1.5倍も増加した。砂質湖底の面積にはほとんど変化がなかった。しかし一方で、陸上部では砂浜の面積が1965年頃から1995年の間に16%減少している(滋賀県水政課、1998)。

底生動物の変化をみると、最大の現存量を占める貝類のうち、二枚貝では固有種であるセタシジミを含むシジミ類が4225tから1734tに減少した一方、固有種のタテボシガイが2597tから4899tに増えた。二枚貝は、入水管から湖底直上の微生物や有機物を餌として取り込むろ過食者であるが、シジミ類は主に砂質湖底に、タテボシは主に泥質湖底に生息することから、二枚貝相の変化は主に底質の泥質化と対応していると考えられる。

また巻貝類では、カワニナ類が2755tから1319tに減少した一方、タニシ類が475tから1166tに増加した。沿岸部に棲息するカワニナ類は琵琶湖の固有カワニナ13種がほとんどで、それぞれ種によって棲息する底質が異なるが、特に岩石質の湖底に棲む種が多い。固有種であるナガタニシは、1910年代にはごく浅い水深のヨシ帯にも棲息していたという記録があり、1969年のタニシ類には、ナガタニシもある程度含まれていたと考えられる。しかし現在、ナガタニシは南湖では絶滅したようで、現在の分布は北湖の一部(水深5-10m)の砂泥質~泥質湖底に限定され、ごく低密度で棲息している。このことから、1995年の調査で採集されたタニシ類のほとんどはヒメタニシと考えてよい。ヒメタニシは、岩石質から泥質まで、あらゆる底質の湖底に生息し、しかも付着藻類や有機物の多い湖底を好む。つまり貧栄養を好むスペシャリストの固有カワニナ類やナガタニシが減少し、富栄養を好むゼネラリストのヒメタニシが増えてきたといえる。巻貝類の種の変化は、湖底の底質変化とともに沿岸部の富栄養化が関連しているようである。

貝類以外では、ミミズ類、ユスリカ類、他の水生昆虫類をあわせた現存量が1969年の298tから1995年の77.6tと3分の一以下に減少した。種の同定がほとんどされていないため詳細は不明だが、ミミズ類のほとんどは、採集に用いた篩のメッシュサイズ(1mm)から考えて、エラミミズだと推定される。エラミミズは世界的な広分布種ではあるが、琵琶湖の個体群は鰓の発達が悪く、しかも水深によって鰓の発達に違いがある個体が分布することが知られており(Ohtaka and Nishino, 1999)、今後、固有種に進化していく可能性が高い。エラミミズは琵琶湖全域に生息するが、深底部の密度も減少しており、沿岸部での著しい減少は、本種が琵琶湖全域で減少していることを意味している。

沈水植物では、現存量は1969年が68037t、1995年が75220tと1995年のほうが増大している。

しかも外来種であるコカナダモの現存量が減り、在来種であるセンニンモ、クロモが増えた。その一方で、固有種のネジレモの現存量が激減した。ネジレモは南湖の水深1mより浅い湖底に多く、砂質や砂泥質湖底に棲息することから、ネジレモの減少は、浅い湖底での砂泥質の減少と関連しているようにみえる。

ところで沿岸部では、堆積した有機物のほとんどは外来性（陸起源）であり、湖内で一次生産された有機物は湖底に堆積後、すみやかに分解されると考えられていることから（Murase and Sakamoto, 2000）、著しい泥質湖底の増加は、単に湖の富栄養化だけで説明することはできない。湖全域にわたる砂泥質湖底の減少や泥質湖底の増大、および砂浜湖岸の減少の原因として、湖底の底質（主に砂泥から泥へ）の風化が考えられるが、そのおおもとは河川改修に伴う流入河川からの土砂供給の著しい減少であろう。琵琶湖に注ぐ流入河川は400本にのぼるが、その中下流部で河川改修の行われていない河川は全くないといってよい。河川改修の影響は、河川のみに限定されるのではなく、流入した湖底を泥質化し、その過程をつうじて湖底の生物に影響を与えているのではないだろうか。

## 2-5-2. 魚類の変化

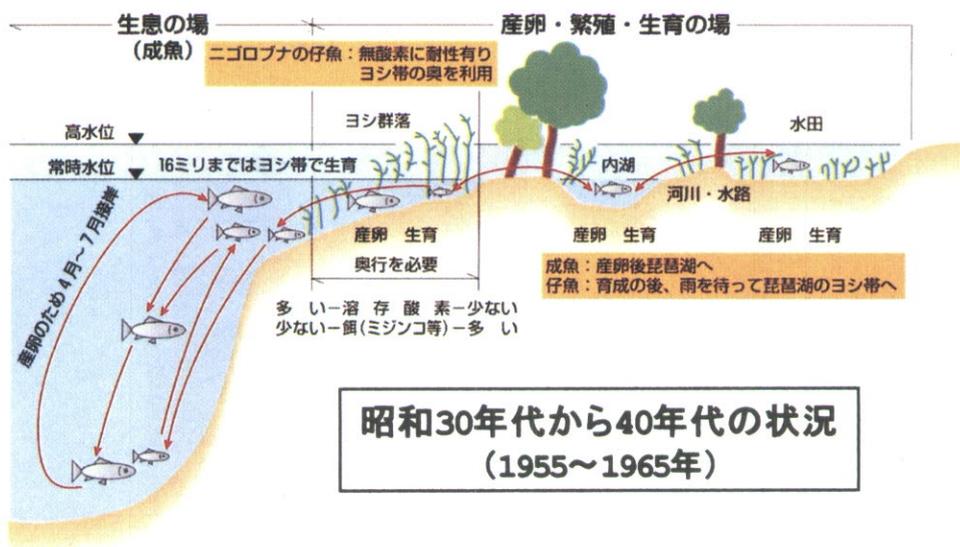
もうひとつ顕著なのは、ヨシ帯や内湖の面積の減少、および逆水灌漑の普及とほ場整備による水田の乾田化である。ヨシ群落の面積は1953年の260.8haから1992年にはほぼ半分の127.5haに減少した。内湖の面積は、1940年の2900haから1995年の425haへと約7分の一に減少した（滋賀県、2000）。それに大きく影響されたのが、魚類である。なぜなら沿岸部、内湖や水田、流入河川はすべての魚類の産卵場として利用されてきており、ヨシ帯や内湖の面積の減少および水田の乾田化は、彼らの産卵可能な場所の面積の減少を意味しているからである（図7）。

琵琶湖の魚種別漁獲量は、様々な保護策がとられたアユを除くと、1969年以降、全体に減少傾向にあるが、1987年以降、とくにコイ科魚類の減少が著しい（図8）。1987年以降の減少の理由はいくつか考えられる。ひとつは、この時期にほぼ完成した湖岸堤建設で、北湖および南湖のヨシ帯の一部が消失し、残ったヨシの一部が湖と切り離され、コイ科魚類の産卵場が減少したことである。実際、南湖東岸の抽水植物帯の面積は、湖岸堤および湖中堤建設により、1981年の62.6haから1987年の36.1ha、1995年には24.6haに減少した（大塚ほか、1996）。かつての琵琶湖は、雨が降れば陸に向かって水平に広がったが、それは魚類の産卵面積が増大することを意味した。しかし湖岸堤の建設後は、雨が降っても単に上下に水位が変動するだけで、コイ科魚類の産卵期に湖の面積が増えることはなくなった。

もう一つは1992年以降、南郷洗堰の操作規則が改められ、琵琶湖の水位が6月中旬～8月に基準水位よりマイナス20cm低下するよう定められたことである。たった20cmの低下だが、このことがコイ科魚類の産卵に与えた影響はかなり大きいと考えられる。なぜなら、多くのコイ科魚類の産卵期は4-8月であり、産卵場所であるヨシ帯は水深1mより浅い水域にしか分布しない。しかも最近の研究で、コイ、フナ類の仔稚魚は水深50cmより浅いヨシ帯で、しかもヨシのリター（枯葉）が多く堆積する場所に生息することがわかってきたからである（山本、遊磨、1999）。リターの多い場所は水深80cmまでに限られ、水位-20cmにおけるリター上水域の減少率は、面積にして25%と見積られている。したがって水位低下は、仔稚魚にとって実質的には生息面積の低下と位置づけられる。実際、コイ、フナ類の仔稚魚は、1964年の調査では4月から8月まで出現し、5-7月に数回の出現ピークがみられた。ところが1996年の調査では、産着卵は4月から5月までしか出現せず、産卵期が半分以下に短縮された（山本、遊磨、1999）。その理由として、山本氏は低水位のときに産卵が抑制されることを指摘している。

1996年は渇水年ではなかったが、降雨が少ない年には水位がさらに低下し、結果として産卵期がさらに短縮され、産卵数も減少する可能性が高い。

もう一つの問題は、外来種の導入である。ブラックバスの漁獲は1987年以降統計が取られるようになったが、1992年の漁獲は154tに上り、この年のアユを除く魚類漁獲量の実に11%を占めた。本種は魚食魚であるが、琵琶湖在来の魚食魚であるハスの最大漁獲量が156t（1974年）、ビワマスが114t（1950年）であるから、本種の漁獲量は在来の魚食魚に匹敵する。さらに1999年度、2000年度に駆除されたブルーギル、ブラックバス等はそれぞれ134tと188tに上る。また南湖につながる内湖で、採集された魚類の95%がブラックバス、ブルーギルという最近の報告もある。



**現在の状況**

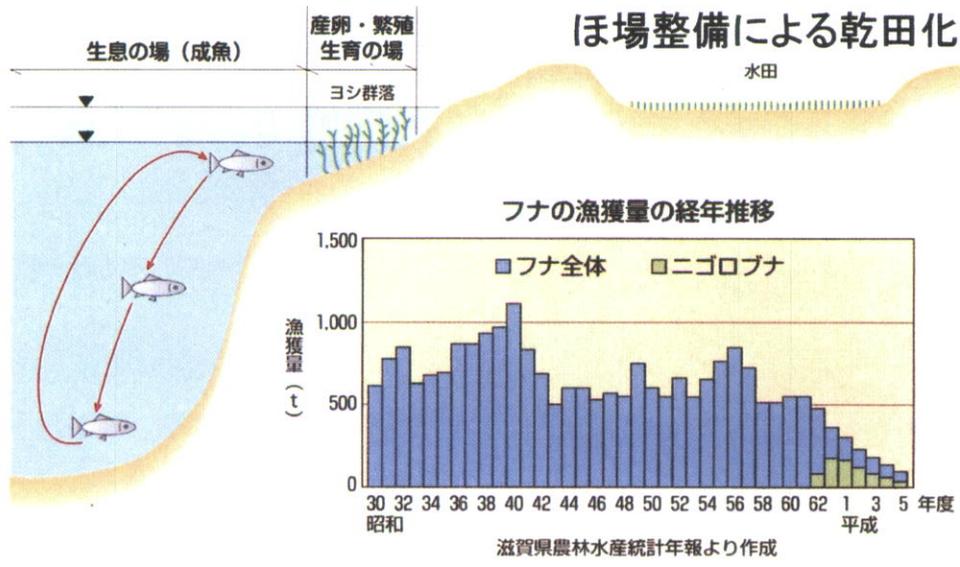


図7. 琵琶湖湖岸におけるニゴロブナの生態環境の変化概念図（滋賀県、2000）を改変

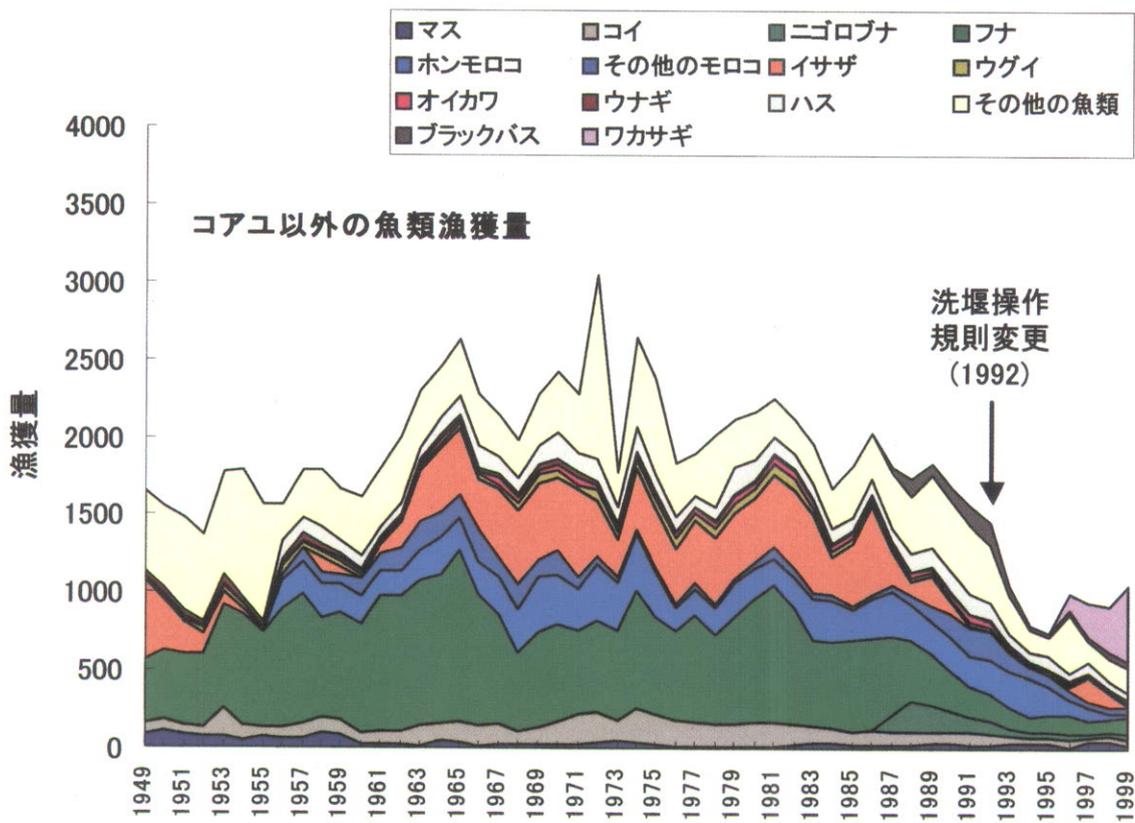
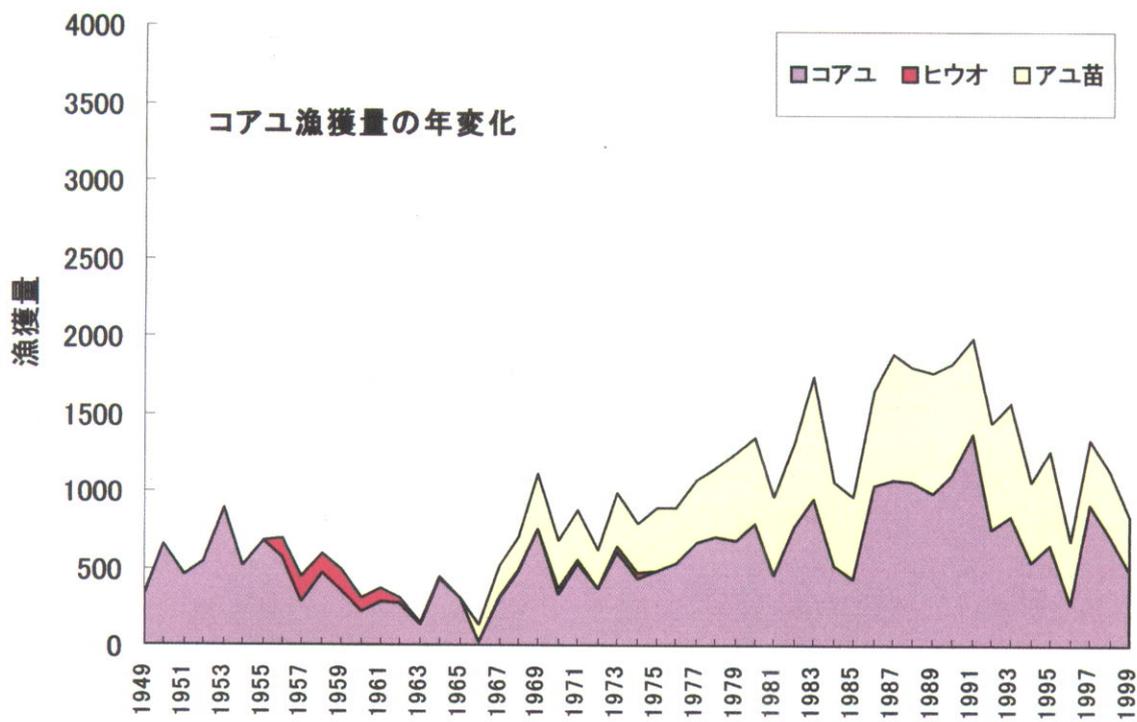


図8. 琵琶湖の魚種別漁獲量(昭和24年から平成11年まで)

### 3. 生物多様性の保全に向けて

上記のような事実をふまえ、琵琶湖の生物多様性の保全について考えてみたい。沖部のプランクトン相や深底部の溶存酸素量の変化は、琵琶湖では富栄養化の問題が依然として重要課題であることを示している。その一方で、かりに富栄養化の問題が解決したとしても、生物多様性の減少に歯止めはかからないことも明らかになってきた。滋賀県が昨年策定した「マザーレイク21計画」でも、琵琶湖の水質保全、水源かん養とともに自然的環境、景観保全を3つの目標に掲げ、「湖の環境を守る豊かな自然生態系」を最終目標の一つとしている。

一般に生物多様性減少の要因は、1. 生息場所の分断化、破壊、悪化、汚染、2. 人による動植物の大量殺戮、3. 外来種の導入、4. 絶滅の二次効果の4つといわれる。これまでみてきたように、琵琶湖の生物多様性、特に魚類の変化に対する最も大きな要因は、1の生息場所の消失、次いで2の外来種の導入とあってよいだろう。また特殊な産卵様式をもつタナゴ類や二枚貝類では、寄主の減少により、4の現象が起こっていると考えられる。したがって、魚類の多様性を増大させるには、在来種や固有種の生息可能な場所の面積を増やし、同時に外来種の撲滅を図る必要がある。なお面積の増大には、魚類の産卵期における水位上昇も含まれる。

ここで、なぜ固有種あるいは在来種を保全しないといけないのか、という問題を考える必要がある。それは、日本固有の生物あるいは琵琶湖固有の生物を保全することは、固有の文化を守ることと同等の価値があるからである。日本在来の野生生物は、文化財に対して、いうならば自然の宝、自然財というべき存在である。文化財は破壊されると元に戻すことはできないが、生物種もいったん絶滅してしまうと、永久に失われてしまう。生きた固有種は、無形自然財と考えるべき存在である。ただ残念ながら、わが国には文化財保護法はあっても、自然財としての貴重な生物を守るための強い法的拘束力を持つ法律はない。

かつて水はタダだと信じられた時代があったが、今はお金を出して付加価値の高い水を買うようになってきている。生物も同様で、かつてあたりまえにいた生物がどんどんいなくなっている現在、それを保全するのにも相応の覚悟と費用負担が必要になってきている。実際、環境アセスメントで事業予定地に絶滅危惧種が生息していた場合、事業者は、その種の保全のためにかなりの手間と費用をかけなければ開発ができなくなっている。このように考えると、外来種の存在を許容することは、日本本来の自然を破壊することにつながるとともに、保全のための費用負担を増大させる要因になっていることがよくわかるはずである。

#### 3-1. 内湖の保全に向けて

生物多様性保全の一例として、内湖の復元を考えてみよう。この場合、まず望ましい自然観、内湖像を確立することが先決である。望ましい自然とは、もともとそこにあった自然にできるだけ近づけること以外にありえない。破壊された環境を新たに創造するとしても、目標にするのは、本来そこに存在するはずであった自然でなければならない。内湖本来の生態系はどのようなものであったのかを描き、それを目標にしない限り、その行為は、言葉では環境復元、環境創造とうたってみたいところで、自然の更なる破壊でしかない。確実にいえることは、公園として美しく整備された内湖から豊かな生物多様性は生まれにくいということである。

と同時に、復元の目標を設ける必要がある。最もわかりやすい目標は、多様な在来魚種がすむような環境を創り出すことである。なぜなら、魚は親しみやすい動物である上に、固有種が多い。また生活史が多様で、それぞれの種の生活要求を満たす環境を物理的に作り出すことが、他の生物よりもあ

る意味で容易だからである。そのためのヒントはいくつかある。ひとつは琵琶湖—内湖—水路—水田という水系のつながり（コリドー）を確保すること、堰堤などの段差の解消、および構造物の工夫などがある。また人が近づくことのできない自然のヨシ帯を広面積に確保することも、効果を高めるだろう。

ただ問題は、残存している内湖のすべてで外来種（ブラックバス、ブルーギル）が侵入、定着している点である。しかしこれだけ外来種が増えていても、在来種が生息できる条件がまだ琵琶湖や内湖には残っているはずだから、在来種の生態を追跡するうちに、外来種が生息しにくく、在来種が繁殖しやすいような環境条件をみつけだせる可能性は残っている。そうなれば、内湖の復元に弾みがつくだろう。

そのために我々の持っている知見は、まだ断片的で不十分なものでしかない。断片的な知見を有機的に結び付け、それを技術化することが、本当の意味でのエコテクノロジーといえる。目標をはっきり定め、個々の生物の生活史を十分理解した上で、どのような保全策をとるのがベストかを、十分な時間をかけて検討する必要がある。一方で、既存の「保全事業」と呼ばれた事業の失敗例やごく僅かの成功例をよく検討し、それに関する情報を一元化し、その結果を新たな事業にフィードバックすることが求められよう。

— 成果発表① —

# 1. 実験センターの概要と成果

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構 ○田井中 善雄

## 要 旨

国土交通省近畿整備局、滋賀県、水資源開発公団関西支社および(財)琵琶湖・淀川水質保全機構が共同で運営する琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター(略称 Biyo センター)が今後の琵琶湖・淀川水系の水環境改善に資する水浄化技術の開発等のため1997年(平成9年)、葉山川河口部に接した琵琶湖南湖の東岸に開設された。以後、この実験センターにおいて河川や湖沼の水質浄化に役立つ技術の研究開発を行ってきたところであり、また、水質浄化事業の広報、啓発の場となる事業についても努めてきた。

ここでは、実験センターの施設や原水特性等の概要と今まで実施してきた主な実験の年間を通した平均的な成績、成果をとりまとめた。また、実験センターの今後の展開について述べた。

## 1. はじめに

琵琶湖・淀川流域は、2府4県にまたがり、その流域面積は8,240km<sup>2</sup>に及び、古くから豊かな自然と美しい水の恵みにより近畿圏の文化をはぐくみ、生活を支えてきた。現在、琵琶湖は1400万人の生活の水となっており、琵琶湖を含む淀川水系全体ではその流域外も含めて1,600万人に水を供給している。21世紀に入り地球環境における淡水はますます貴重な存在となってくるが、淀川水系における水質保全対策について英知を絞り流域の人々とともに押し進めていくことは喫緊の課題である。

琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センターでは、今後の琵琶湖・淀川水系の水環境保全のため、実験研究を通じて省エネルギー、低コスト、高効率の新しい水処理技術の開発を行うとともに、自然の浄化能力を再評価、増強する手法開発も併せて行っていく。また、住民等の一般の方々も水質浄化のメカニズムを体験し、学習する場として実験センターが利用されることが期待される。実験センターは、琵琶湖における重点的な水質保全行動計画を進めている南湖東岸の赤野井湾地域と中間水路地域の中間に位置し、その計画において適用する浄化技術の実験研究を行っていることから、これからはますます水質保全対策のPR拠点としても重要性が増すであろうと考える。なお、実験センターの施設配置等の平面図は図1-1のとおりである。

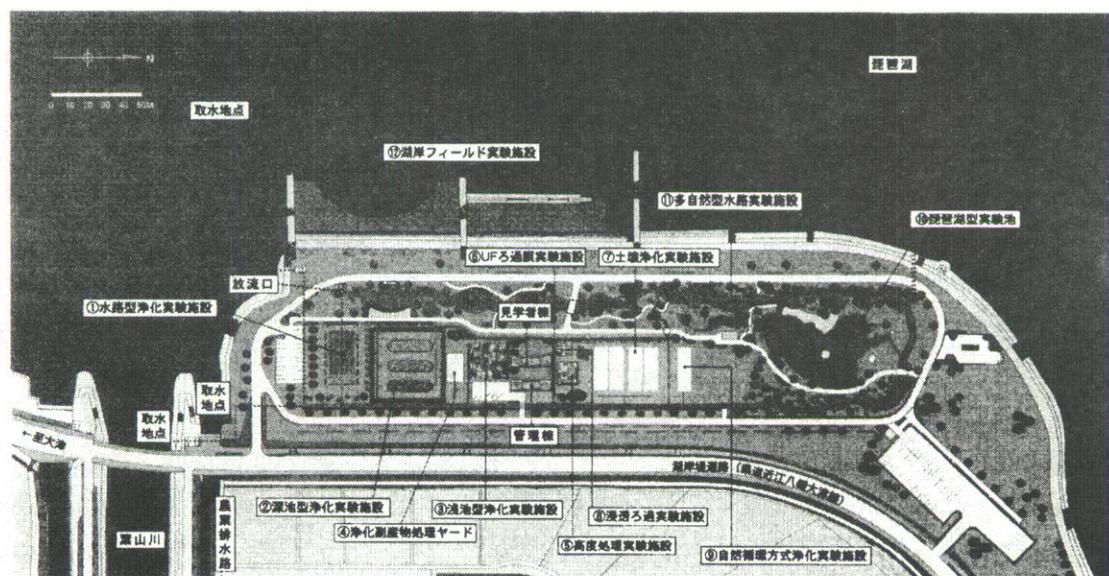


図1-1 Biyoセンター平面図

## 2. 目的

琵琶湖流域においては、図-2に示すように、家庭系と工業系を合わせた点源の汚濁負荷については、下水道や工場・事業場排水規制などにより対策されているところで、たとえば生活排水が処理される割合を示す生活排水処理率（滋賀県全域）は、1999年度末で63.6%（内、下水道による処理率は45.3%）となっており、毎年処理率の向上が見られている。滋賀県では2010年の目標年においてそれを100%にすべく努力されている。ところが農業系と自然系と合わせた面源の流入汚濁負荷量の割合がCODで52.2%、窒素で59.0%、リンで34.5%となっているが、ほとんど手が着けられず、その対策が求められているところである。

琵琶湖の水質については、淡水赤潮やアオコの発生が顕著となっていることや、図-3に示すようにBODがやや下がっているもののCODが漸増傾向にあり、BODとCODの乖離現象があることなどから、琵琶湖の水環境は予断を許さない状況にある。

このような状況の中、今後は琵琶湖流域をはじめ、淀川水系全域において面源対策を種々実施していかねばならない。その取り組みのためには、流域特性に応じた住民と行政が協働した様々な対策が必要であるが、その対策の一つとして面源汚濁負荷が流れ込む河川の直接浄化の対策があり、実験センターではその技術開発を目的として実施に近い規模の実験施設で実験研究を行っている。

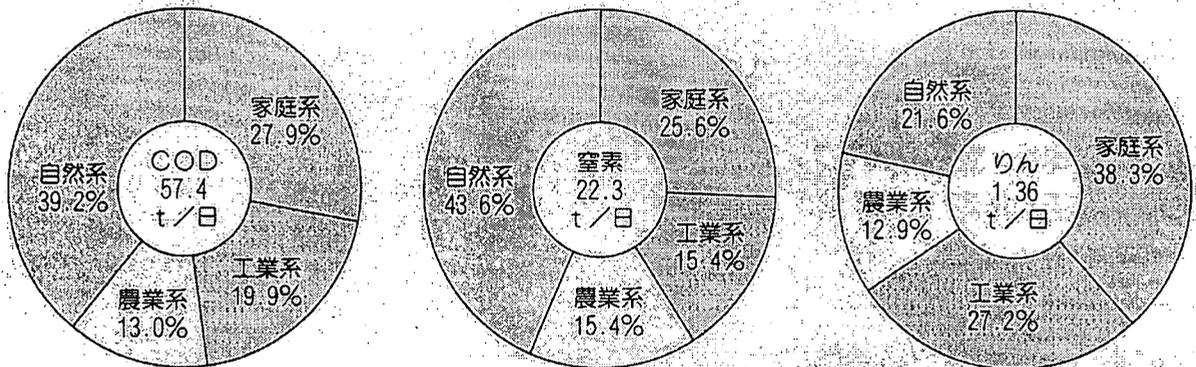


図2-1 琵琶湖に流入する汚濁負荷量の割合 (1995年度実績) (滋賀県)

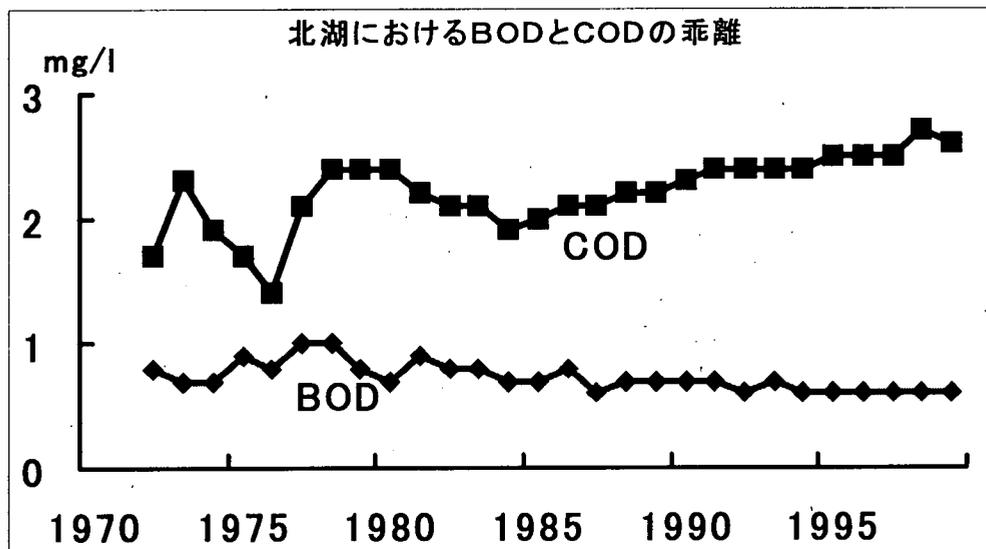


図2-2 琵琶湖水質 (BOD、COD) の経年変化

### 3. 水質浄化の研究と成果

#### 3-1 実験施設

実験センターは約 25,000m<sup>2</sup> の実験フィールドを有し、河川や湖の直接浄化に適用する水質浄化技術の研究を実証的な規模で実験を行うことができる。センターには以下のような実験施設があり、それぞれの施設において過去約4年間行ってきた主な実験を示す。

- ①水路型浄化施設 (B×L×D=2×24×0.9(m)、5水路) ……カーボンファイバー方式浄化実験、不織布接触材方式浄化実験等 (共に接触材を用いた浄化実験)
- ②深池型浄化施設 (B×L×D=6×20×2.0(m)、3池) ……ヨシ帯浄化実験、底質浄化実験
- ③浅池型浄化施設 (B×L×D=20×20×0.6(m)、4分割) ……植生浄化実験、副産物(クレソン+堆積泥) コンポスト実験
- ④土壌浄化施設 (B×L×D=6×20×1.8(m)、4池) ……土壌浄化実験
- ⑤自然循環方式浄化施設 (B×L×D=2×20×3.2(m)) ……自然循環方式浄化実験
- ⑥琵琶湖型実験池 (面積約 2000m<sup>2</sup>、貯水量約 1000m<sup>3</sup>、D=0.5m) ……ヨシ移植実験、太陽エネルギーを利用した流動床ろ過浄化実験およびひも状接触材方式浄化実験 (B×L×H=6.6×23×4.5(m))
- ⑦多自然型水路実験施設 (延長約 320 m) ……水域生態系調査、実験センターおよびその隣接公園地域での陸域生態系調査
- ⑧限外ろ過膜ろ過実験施設 (B×L×H=4.0×8.0×3.0(m)、外圧型中空糸膜、膜面積 36m<sup>2</sup>、公称孔径 0.01 μm) ……限外ろ過膜ろ過実験
- ⑨湖岸フィールド実験施設 (琵琶湖岸に接して設けられた沖方向約 30m、岸方向約 200m の水域 (わんど型 : L=100m、なぎさ型 : L=100m)) ……ヨシ植栽実験

#### 3-2 今までの実施実験

実験センター内で今まで実施してきた実験について、表3-1にとりまとめる。

表3-1 実験センターにおける実施実験一覧(2000年度まで)

実験名	実施機関	実施年度
①土壌浄化実験	(国交省)	1996～
②浸透ろ過型実験	(国交省)	1998～1999
③深池植生浄化(ヨシ帯浄化)実験	(国交省)	1996～
④酸化剤を用いた底質改善実験	(国交省)	1998～1999
⑤磁気を利用した底質・水質改善実験	(国交省)	2000
⑥浅池型植生(水耕栽培)浄化実験	(滋賀県)	1997～
⑦コンポスト作成実験	(滋賀県)	1997～
⑧河川における難分解性有機物削減実験	(国交省、滋賀県)	1998～1999
⑨織物、多孔質セラミック等接触材方式浄化実験	(滋賀県)	2000～
⑩限外ろ過膜(UF膜)ろ過実験	(機構)	1997～1999
⑪自然循環方式浄化実験	(機構)	1998～
⑫太陽エネルギーを用いた流動床ろ過浄化実験およびひも状接触材方式浄化実験	(機構)	1997～
⑬カーボンファイバー方式浄化実験	(機構)	1997～1998
⑭不織布接触材方式浄化実験	(機構)	1998～2000
⑮ヨシ移植実験	(滋賀県)	1997～1998
⑯多自然型水路実験、生態系調査	(国交省)	1998～
⑰造成地における動植物遷移調査	(関電)	1998～
⑱琵琶湖岸におけるヨシ植栽実験	(水公団)	1997～
⑲マット式ヨシ植栽実験	(機構)	2000～

### 3-3 環境条件

実験センターでは、葉山川河川水、農業排水および琵琶湖南湖湖水の選択的に取水できるが、基本的には葉山川河川水 10,000 m<sup>3</sup>/日を揚水し各実験施設に原水として導水している。

葉山川 流域面積：約 23 km<sup>2</sup>

土地利用：市街地約 68 %、農業系約 18 %、山林系約 14 %

下水道による汚水処理率（2000 年度末）：約 62 %

実験原水の水質（2000 年度）：表 3-2 のとおり

表 3-2 実験原水水質（葉山川河口部）（2000 年度）

（単位 水温：℃ DO～T-P：mg/l）

	水温	pH	DO	SS	BOD	COD	T-N	T-P
2000/4月	15.7	7.2	8.0	34.2	3.4	5.9	2.29	0.216
5月	20.8	7.1	6.1	20.0	2.7	5.3	1.43	0.161
6月	23.0	7.0	5.9	30.3	4.5	5.7	1.51	0.159
7月	29.6	7.2	7.5	26.4	5.4	5.7	1.38	0.149
8月	29.0	7.6	6.4	22.0	2.7	5.2	0.79	0.142
9月	24.0	7.6	5.5	16.7	11.3	4.0	1.29	0.125
10月	18.2	7.0	10.1	14.3	2.5	6.4	1.88	0.129
11月	18.4	7.1	8.0	3.3	1.0	3.7	1.32	0.061
12月	10.2	7.0	9.6	8.7	1.6	4.9	1.74	0.101
2001/1月	2.0	7.4	11.8	42.3	2.8	6.8	1.62	0.163
2月	8.2	7.1	6.2	6.7	—	4.6	1.95	0.089
3月	8.6	6.8	8.0	40.3	—	6.2	1.68	0.185
平均	17.3	7.2	7.8	22.1	3.8	5.4	1.57	0.140

### 3-4 研究成果

開設時から 2000 年度までに実施してきた主な実験成果、課題等について以下に示す。

#### (1) 不織布接触材方式浄化実験

水路に不織布の接触材（菊花断面棒状不織布）（充填率：47%）および脱リン材（鉄繊維充填：0.55g/cm<sup>3</sup>）を充填し、曝気、遮光したものが成績が良く、曝気時については、SS 除去率は全期間で 64～83%と高いものが得られた。BOD 除去率は全期間平均値約 33%、COD 除去率は約 31%、T-N 除去率は約 10%、T-P 除去率は約 45%であった。無曝気時に比べ曝気運転時は約 2 倍の除去率が得られた。脱リン材についてはリサイクル品の鉄繊維の他、天然土壌系や、 hidroタルト系を用いて比較したところ、鉄繊維が良好な結果を示し、実用上最も適すと考えられた。ただし鉄繊維は、表面被覆の課題があり、1～2 回/年の交換のメンテが必要である。

以上の実験成果を踏まえ、2000 年度において、実施への適用を考えた設計指針あるいは運転条件や維持管理方法についてとりまとめた。

（実験条件 施設面積：48 m<sup>2</sup>、水面積負荷 3.1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日、滞留時間：約 6 時間（150m<sup>3</sup>/日）・・・施設の槽構成は、接触材槽 I（1hr）・沈殿槽 I（1hr）・接触材槽 II（1hr）・沈殿槽 II（1hr）・脱リン槽（1hr）・放流槽（1hr）としている。）

#### (2) ヨシ帯浄化実験

深さ 2 m の深池型の水槽にヨシ帯を再現し、植物・生物・土壌を含めた生態系全体としての水質浄化能の評価や最適処理流量等を調査してきた。1～2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日処理効率が高くその条件で SS 除

去率は 36 ～ 93%、T-P 除去率は 35 ～ 80% と高いものが得られた。COD 除去率は 2 ～ 33%、T-N 除去率は 5 ～ 17% であった。汚濁負荷の削減は、ヨシの吸収作用（T-N、T-P の栄養塩削減の 20% は吸収作用による）のほか、ヨシ帯におけるろ過・沈降・吸着が大きく貢献している。浄化施設として処理効率の良い最適処理水量は  $10 \text{ m}^3/\text{hr}$  ( $2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ ) であった。

また、ヨシの生育限界は水深 80cm であったが、水深 45cm を越えると生長が悪くなることが確認できた。

（実験条件 施設面積： $120 \text{ m}^2$ （ヨシ区  $60 \text{ m}^2$ （4 株/ $\text{m}^2$ ）、沈水区  $60 \text{ m}^2$ ）、水面積負荷： $2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 、滞留時間：約 1 日（ $240 \text{ m}^3/\text{日}$ ））

### （3）浅池型植生浄化実験

浅池型の水槽にクレソン、ミント等を栽培し、水路勾配や維持管理条件を変えて調査してきた。主な結果としては、クレソンを用いて実験し、水路勾配 0.5%、水深 5cm で、植物体の間引き面積量を  $1/2$ （一旦全量除去して、苗のみ  $1/2$  量を戻し植栽する管理方法）としたもので、除去率は SS 67%、BOD 29%、COD 14%、T-N 14%、T-P 33% であった。一方、花卉植物として選んだリシマキアは、SS 除去能以外はクレソンと同様の水質浄化性能が得られた。しかし間引きした場合、成長速度が遅いので管理上の工夫が必要である。また、植生浄化副産物を処理処分するためのコンポスト実験については、2000 年度に小規模実験で破碎サイズ、水分調整、カロリー調整材添加、通気量等の一定の基礎条件を得ており、2001 年度ではこの実験結果に基づき実スケールでの維持管理手法の検討に取り組む。

なお、水質保全行動計画（赤野井湾地域）の事業の一つとして守山川浄化施設が建設されているが、写真 3-2 に示すように守山川河口部にその施設の一部として浅池型植生浄化施設（ $450 \text{ m}^2$ ）建設されており、2001 年度から運転される。現在、その施設のモニタリングやコンポストについて調査中である。

本施設は、有用植物を用いることで住民参加型の施設として可能性があり、水質浄化の仕組みを知る環境教育の場としての目的を併せ持った有効なものとなりうると考える。

（実験条件 施設面積： $40 \text{ m}^2/1$  水路、水面積負荷： $2.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 、滞留時間：約 40 分）

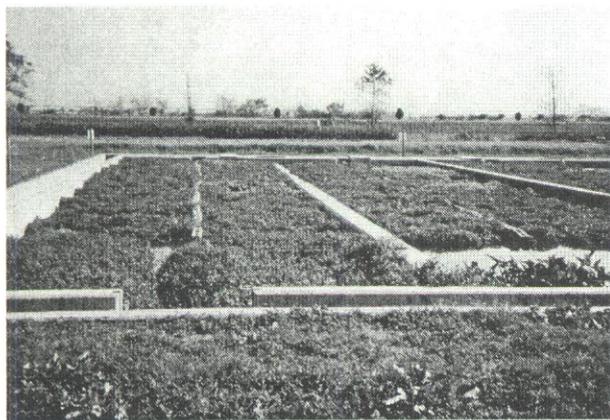


写真 3-1 実験施設

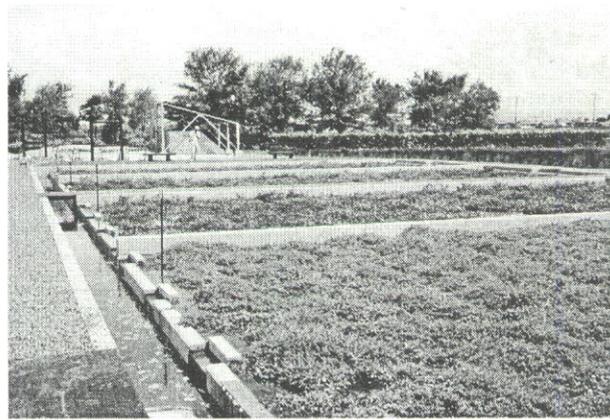


写真 3-2 守山川浄化施設内の実施設

### （4）土壌浄化実験

ろ材を比較したり、ろ層厚や流向を変えて土壌による浄化実験を行ってきた。ろ材は赤玉土が効果的であった。土壌浄化では、SS による閉塞を長期発生させないようにする前処理が重要で、実験ではヨシ植栽水路施設を使用したものが有効であった。赤玉土使用、層厚 50 cm、上向流方式  $1.5 \text{ m}/\text{日}$  で除去率は SS 96%、BOD 51%、COD 75%、T-N 11%、T-P 87% であった。同条件で下向流方式の場合もほぼ同じ結果であった。

また、赤玉土使用、層厚 100 c m、下向流方式 1.5 m / 日では S S 91%、B O D 35%、C O D 81%、T - N 1%、T - P 86%であり、流速を上げた 2.5m / 日でも 1.5m / 日とほぼ同様の除去効果が得られた。さらに通水速度を上げた下向流方式 5.0m / 日では、C O D 除去率が 20 % ほど低下した以外ほぼ同様の除去効果が得られた。このことから通水速度を 5.0m / 日まで上昇させても処理水質が極端に悪化しない結果となった。

実験の結果、S S、T - P、C O D の除去率が高かった。このことから土壌による浄化実験の目標を主にリン除去としているものの、C O D の除去率も高く、難分解性有機物等の除去手段としても有効と考えられる。

一方、維持管理性については、前処理を確実にすることが重要であるが、S S による閉塞時の対応については、通水回復作業性からみると上向流方式に課題が残る。

なお、水質保全行動計画（中間水路地域）の事業の草津川放水路浄化事業の一つとして、写真 3 - 4 に示すように、土壌浄化施設（前処理施設（沈殿地）：190 m<sup>2</sup>、土壌浄化施設：約 710 m<sup>2</sup> + 約 660 m<sup>2</sup>）がその支川である北川の合流部に建設されており、2001 年度から運転される。現在、施設のモニタリング調査を行っているところである。

（実験条件 施設面積：120 m<sup>2</sup>、水面積負荷：1.5 ~ 5.0 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> · 日）

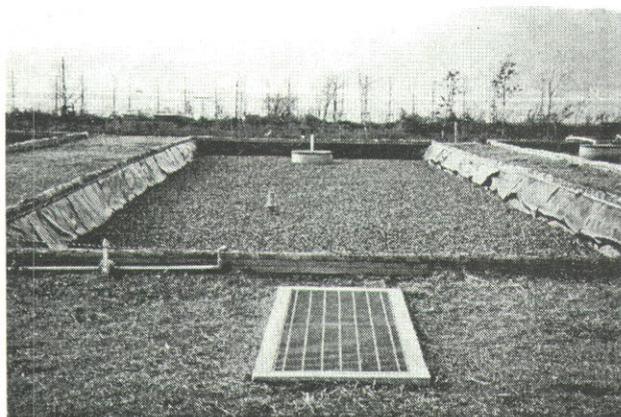


写真 3 - 3 実験施設

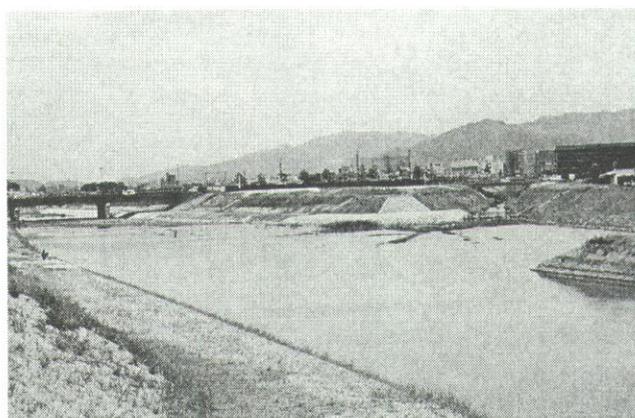


写真 3 - 4 草津川放水路での実施設

#### (5) 自然循環方式浄化実験

各槽に木炭、枯れ木、石等の自然素材を加工したろ材を充填し、ろ材に付着した微生物の働きによる水質浄化効果を調査してきた。処理水量を 100、150、200m<sup>3</sup>/日と変えて実験した。15℃以上の時、処理水量 150 ~ 200m<sup>3</sup>/日で除去率は S S 88 ~ 98%、B O D 53 ~ 77%、C O D 17 ~ 41%、T - N 13 ~ 32%、T - P 35 ~ 61%であった。15℃以下になると生物活動の低下により C O D、B O D、T - N は除去率の低下（30 ~ 50 % 程度低下）が生じる。

次の課題として、窒素除去効率を向上させる実験検討を行う予定である。

（実験条件 施設面積：48 m<sup>2</sup>（処理槽 41 m<sup>2</sup>、汚泥貯留槽 7 m<sup>2</sup>）、滞留時間：約 11.8 時間（通水量 150 m<sup>3</sup>/日）

#### (6) 太陽エネルギーを利用したひも状接触材方式浄化実験

閉鎖性の水域（滞留日数約 20 日）とした琵琶湖型実験池において、接触材にひも状繊維を用いた接触酸化浄化方式で池の浄化を行ってきた。2つ目の第 2 槽のみにおいて曝気する運転で、300 m<sup>3</sup>/日の処理量の場合、夏場（8 ~ 10 月）の施設全体（2 系列）の平均除去率は C h l - a 87%、S S 69%、B O D 46%、C O D 32%、T - N 6%、T - P 24%であった。実験全般通じ、本施設の浄化性能は、原水クロロフィル a が 20 μ g / l 以上、水温が 20℃以上で安定して高い除去率が得られ、その時の

Ch1-a 除去率は 70%以上であった。また、除去の効率からみて、その最適処理水量については 300～400 m<sup>3</sup>/日と考えられた。

発生する汚泥はほとんど第 1 槽に堆積していた。通年運転により、発生した汚泥は年 1 回程度の回収で運用できると判断された。

一方、ソーラー発電 (2kw) (蓄電池なし) は、水の汲み上げのためのポンプ動力 (1.2kw) の電力として使用し省エネを図るため設置しているが、本施設においては年間約 25 %の省エネができた。

(実験条件 1 系列の施設面積 : 53 m<sup>2</sup> (第 1 槽 29 m<sup>2</sup> (10 m<sup>3</sup>), 第 2 槽 18 m<sup>2</sup> (4.4 m<sup>3</sup>), 第 3 槽 5 m<sup>2</sup> (2.5 m<sup>3</sup>)), 滞留時間 : 約 2.7 時間 (通水量 150 m<sup>3</sup>/日/1 系列))

#### (7) 限外ろ過膜 (UF 膜) ろ過実験

UF 膜 (公称孔径 0.01 μm) が河川水の直接浄化方法として使用可能かどうか実験してきた。年間を通じて安定した浄化性能が得られ、SS、鉄、臭気、味、濁度、一般細菌、大腸菌群については 100% 近い除去率を示し、粒状成分の除去がみられた。処理水は河川公園の親水施設への利用などが考えられるが、河川水の直接浄化への使用にはコストの大幅な削減が必要である。

#### (8) 湖岸フィールドにおけるヨシ植栽実験

今後のヨシの保全や復元の効果的な実施に資するため、各種工法によるヨシの人工植栽を実施し、ヨシの生育に適した湖辺環境と植栽工法について明確にすることを目的として実験、調査を行ってきた。ヨシ植栽部の前面での流砂防止堤 (ふとん籠) 設置により、波浪を押さえ土砂の移動が少なくなり、ヨシの生長に必要な細かい粒子の砂をある程度保持できその有効性を確認した。

また、わんど型実験施設でのヨシ生長調査結果から、沖合での植栽はマット植栽法が適しており、費用が比較的少ないビットマン工法および地下茎工法は波浪影響の少ない環境条件の穏やかな場所に植栽すれば琵琶湖においても利用可能と考えられた。

2000 年度の異常渇水時 (8～9 月) には、冠水しない区域が広く生じ、各植栽工法においてヨシ茎個体数密度が大きく低下している。

#### (9) 多自然型水路およびその周辺における水域・陸域生物調査

望ましい河川環境づくりのための基礎的知見を得るため、葉山川河川水を流入させた多自然型水路において水路形態の違いによる水質浄化効果、水路および周辺の動植物遷移の調査を行ってきた。実験センターが 1997 年度までに琵琶湖浚渫土で造成され、施設が建設されたが、水路およびその水際部における植物確認種中の帰化植物は過去 3 ヶ年 (1998 年度～) 27%、25%、21%と減少し、河川の平均的なものになってきた。また、2000 年度にタコノアシ、カワヂシャの環境省レッドリストに記載されている貴重種が確認されている。一方、魚類は過去 3 ヶ年で 22 種が確認されており、タイリクバラタナゴやメダカなどの個体数も増加傾向を見せている。水質浄化効果については流下時間が短く確認できていない。

### 4. 今後の展開

(1) 実験センターでの実験成果が実際の施設に適用されていく中で、そのモニタリング調査などによって浄化技術にフィードバックさせ情報蓄積を行っていくことでよりよい施設づくりに役立てる。

(2) 複数の浄化方式の組み合わせを検討し、さらなる除去効果の向上を目指した研究を行う。

(3) 土壌などによる自然浄化能の評価を積み重ね、その活用方向を検討する。

(4) 底泥の改善技術やクリーンエネルギー利用など新技術の開発や適用を目指す。

(5) すでに 2000 年度から取り入れているが、実験公募の形により、新しいアイデアによる浄化技術の研究開発を大学、研究機関あるいは民間企業と共同で行っていきたい。

(6) 生物調査などで得られたデータをとりまとめ、生態系の復元や創造に役立てていく。

(7)実験センターは湖岸の公園施設に隣接し自由に入れることから身近な環境学習の場となっているが、より親しみやすく理解しやすい場内整備をしていきたい。また、自然観察会などの催しも充実し環境教育の場づくりを行う。

(8)センターが開設した1997年度以来、年間2,000人近くの見学者があり、最近では海外からの視察者が増える傾向にある。(2000年度は約30カ国約100人の視察者があった。)このような交流機会に加え、センターからの発表会等の情報発信などにより、様々な団体や各種調査研究機関との交流を行う。

- [参考文献] (1)琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報 第1号 1999年9月  
(2)琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報 第2号 平成11年度  
(3)琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報 第3号 平成12年度

## 2. 深池型施設におけるヨシ帯浄化実験

国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所  
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構  
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

○春木二三男  
田井中善雄  
堀野 善司

### 要 旨

葉山川の河川水を原水として水質調査、ヨシ調査等を行い、ヨシ帯の水質浄化性能並びに、ヨシ帯を用いた水質浄化施設としての評価を行った。1996年～1999年までは深池の水位は一定で行い、2000年以降は琵琶湖の水位に合わせて水位を変動させて実験を行った。

前回の報告から新たに得られた知見として、ヨシの生長限界の水深は約80cmと考えられるが、水位を下げることによって、より沖合まで草高が高くなることが示唆された。

水質浄化施設としての浄化性能は、深池への通水量  $10 \text{ m}^3/\text{時}$ （水面積負荷  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ ）の時の浄化効果が最も高いと考えられる。

今回は、ヨシ帯浄化施設の設計と維持管理について、植物の管理、土壌の管理、水理の管理、堆積汚泥の管理について整理を行い取りまとめた。

### 1. 目的

琵琶湖はかつて湖岸に広大なヨシ帯を持っていたが、近年ヨシ帯が減少し、琵琶湖における生態系は確実に減少している。湖沼沿岸のヨシ帯は、水質浄化効果を有することが知られており<sup>1)4)</sup>、水生植物の栄養塩の吸収、微生物の有機物分解等の生物作用、土壌や植物によるろ過・吸着等の物理・化学的作用など様々な要因が影響を及ぼしながら生態系全体として浄化効果を発揮している。しかしながら、閉鎖系となっておらず、複雑な水質浄化のメカニズムを解明することは困難である。今回の研究は、閉鎖系の「深池型実験施設」にヨシ帯を再現することにより、植物・生物・土壌を含めた生態系全体としての水質浄化能を評価するとともに、浄化施設としての浄化性能についても合わせて評価を行った。

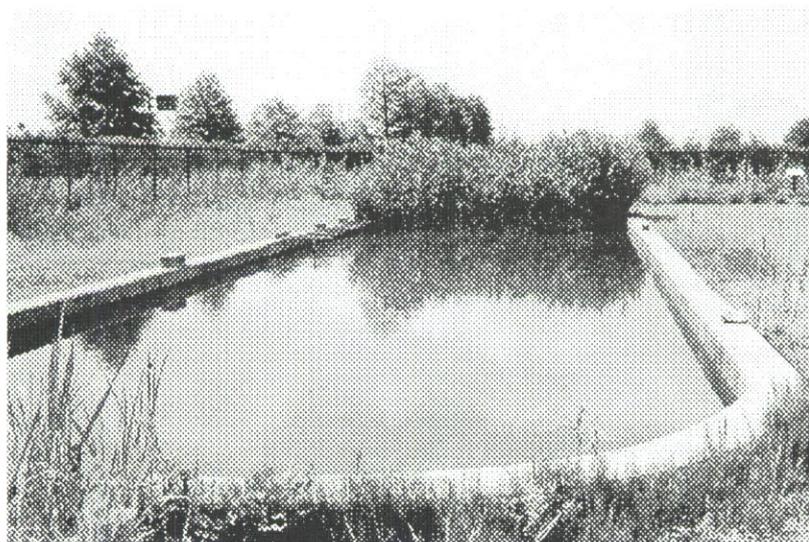
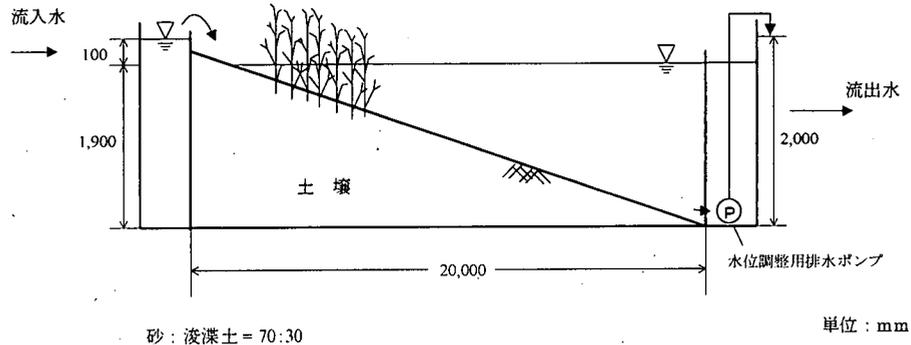


写真 深池型ヨシ帯浄化実験施設

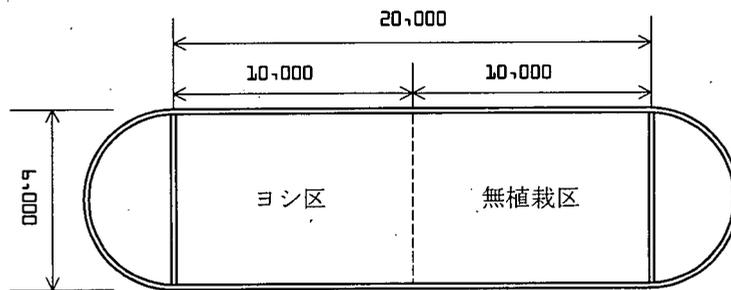
## 2. 実験手法

図 2-1 に深池型実験施設を示す。B i y oセンター内の深池型実験施設（幅 6 m × 長さ 20 m × 深さ 2 m）を利用し、湖岸を再現（砂と浚渫土を 7 : 3 で混合し、10 % の勾配で整形）した。また、ヨシはポット苗を用い、水深の浅い所から 10 m 区間に 4 株 / m<sup>2</sup> の割合で 60 m<sup>2</sup> 敷き詰めた。通水量は 1 ~ 40 m<sup>3</sup> / 時とし、水質ならびにヨシ等の調査を行った。なお、1996 年 ~ 1999 年は深池の水位は変動させず、水位一定で行い、2000 年以降は水位を変動（1997 年 ~ 1999 年の琵琶湖の水位の一週間の移動平均：最大幅 B.S.L.+25 ~ -36cm）させて行った。

<実験施設断面図>



<実験施設平面図>



ヨシ植栽区	60 m <sup>2</sup>
無植栽区	60 m <sup>2</sup>

図2-1 深池型実験施設

## 3. 結果及び考察

### 3.1 ヨシの生長

水位一定期間時のヨシの生育と水深の関係<sup>\*)</sup>を表 3-1 に示す。水深が 0 ~ 45cm では草高が平均 2.6m であったが、水深が 45cm を境にヨシの生長が悪く、水深が 45 ~ 80cm では草高は平均 1.8m となった。水深が 80 cm を超える場所ではヨシは全く生育できなかった。

この結果によって、琵琶湖での水深によるヨシの生育限界やヨシ植栽の際の最適水深が概ね確認されたものと考えられる。

表3-1 ヨシの生育と水深の関係\*

水深 (cm)	流入部からの距離 (m)	ヨシ草高 (cm)
0 ~ 45	0.0 ~ 4.5	240 ~ 280 (平均 260)
45 ~ 80	4.5 ~ 6.5	150 ~ 200 (平均 180)
80 ~ 100	6.5 ~ 10.0	生育せず

\* 水位一定期間によるヨシの生育調査結果 (1997 年)

水位を変動させた2000年のヨシの草高と水深の関係の散布図<sup>5)</sup>を図3-1に示す。

水位一定の時は、水深45～80cmの場所では2mを越える草高はなかったが、水位を変動させた場合、水深60cm辺りまでは、水深が浅い部分と同様の傾向を示しヨシの草高が高く、80cm付近でも2mを越えている時期があった。

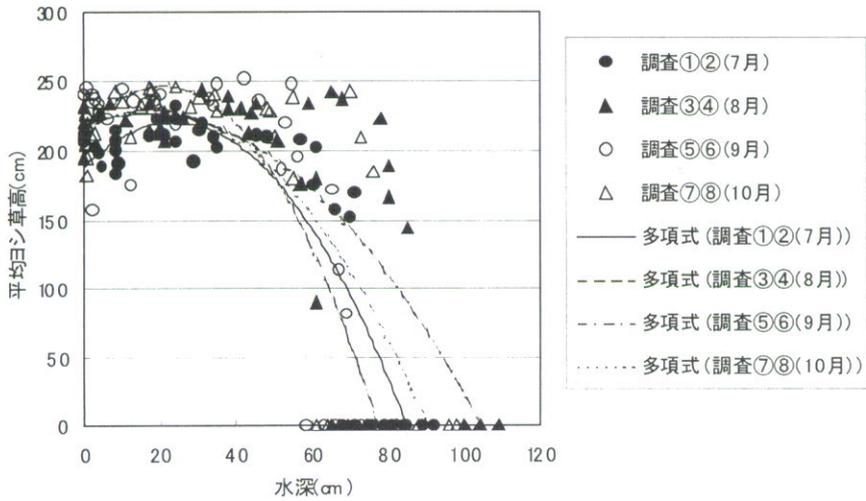
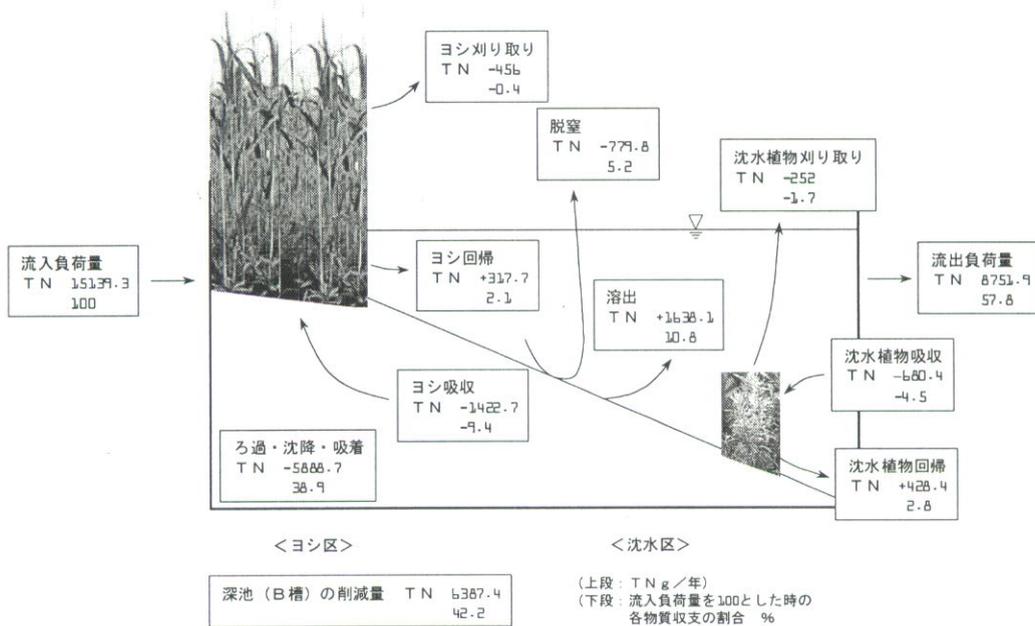


図3-1 散布図（ヨシの草高と水深の関係）

### 3.2 物質収支

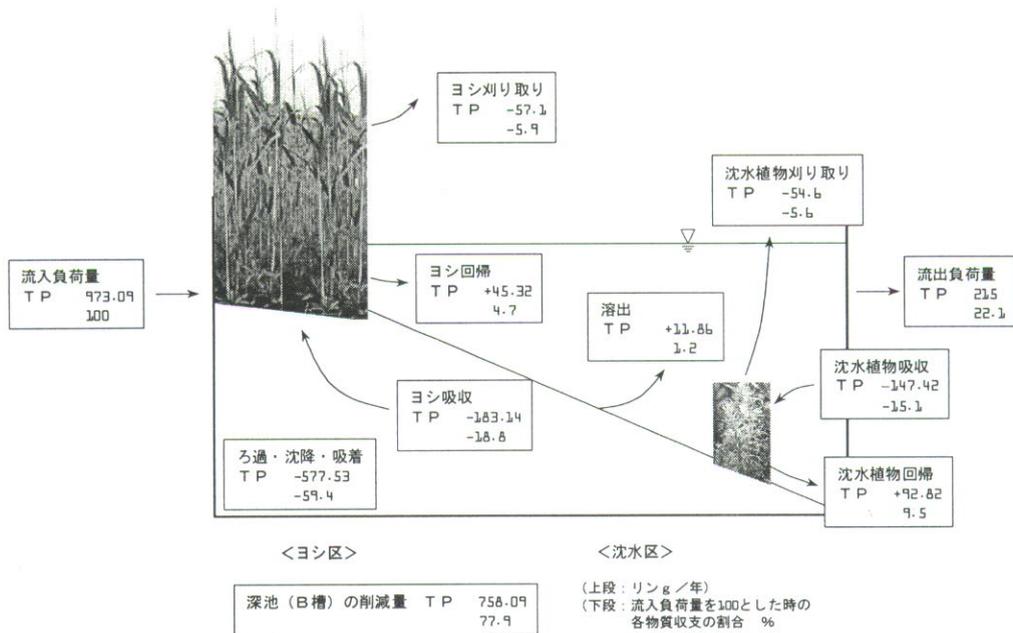
T-N、T-Pの除去量の内訳を知るため、深池の物質収支を試算した結果<sup>6)</sup>を図3-2に示す。

深池におけるT-N、T-Pの除去量は、1 m<sup>3</sup>/時の時、それぞれ約6,400 g/年（約53 g/m<sup>2</sup>/年）、約760 g/年（約6.3 g/m<sup>2</sup>/年）と試算された。植物による吸収（ヨシと沈水植物の吸収量の合計）は窒素が約2,300 g/年（約19 g/m<sup>2</sup>/年）、リンが約330 g/年（約2.8 g/m<sup>2</sup>/年）であった。土壌や植物のろ過、沈降、吸着はT-N、T-Pの削減に大きく貢献し、深池全体の除去量の8～9割を占めていた。なお、これらの値は文献値等からのものと、深池における水質調査、植物体組成分析、溶出試験等のデータを用いて算出したものである。



（図中の-は除去量を、+は回帰量を示す）

図3-2(1) 深池の窒素の物質収支（1996年9月～1997年8月）



(図中の-は除去量を、+は回帰量を示す)

図3-2(2) 深池のリンの物質収支 (1996年9月~1997年8月)

### 3.3 水質浄化施設としての浄化性能

1996年度~1999年度の調査結果について、除去量(流入水質と処理水質の差に流量を乗じた値)の平均値を各流量ごとに求め、浄化効果の高い水面積負荷(流量)を図3-3に示す。COD、T-N、T-Pについて、いずれの項目も深池の水面積負荷:  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$  (流量:  $10 \text{ m}^3/\text{時}$ )までは流量の増大とともに、除去量も増大する傾向が認められ、水面積負荷:  $4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$  (流量:  $20 \text{ m}^3/\text{時}$ )になると除去量は低下した。このことから、浄化効果の高い流量としては、 $10 \text{ m}^3/\text{h}$  (水面積負荷:  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ )に相当する値を用いるのが適切と推定される。通水流量の増加は汚濁物の除去量を大きくし、単位時間当たりの浄化効果を高める利点があり、各項目ごとに浄化効果の高い流量を求めた結果、総合的に判定して  $10 \text{ m}^3/\text{時}$  が最も浄化効果が高いと考えられる。

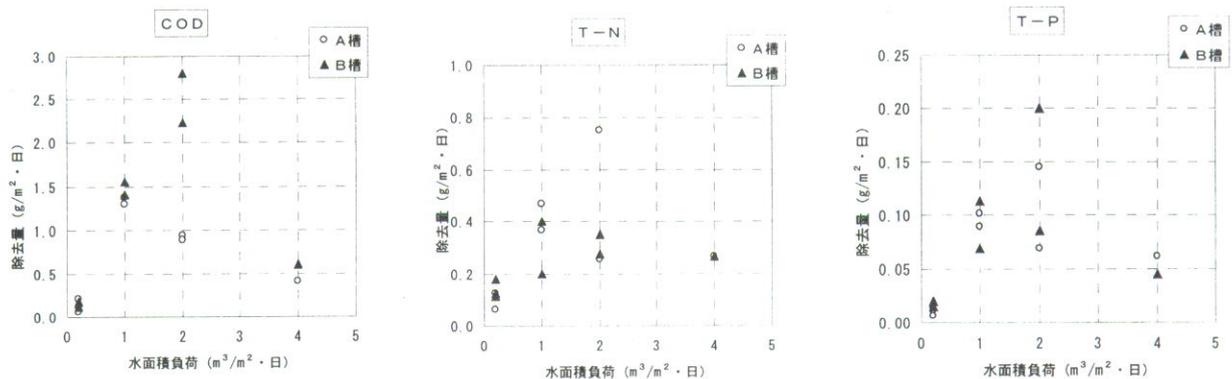


図3-3 水面積負荷と除去量

#### 4. ヨシ帯浄化施設の設計と維持管理

ヨシ原による水質浄化を行うに当たり、設計上の留意点と維持管理について本業務で得られた知見および既往文献等で示されている事項を整理した。

##### 4.1 植物の管理

植物の管理としてはヨシの適正な植栽密度の維持、枯死植物の除去、ヨシ以外の沈水植物、植物プランクトンの管理が必要である。

###### (1) ヨシの植生密度の適正化

現地の状況によって異なるが、既往文献<sup>4)</sup>によれば水質浄化開始時期には平均的に 50 本/m<sup>2</sup>程度が必要と考えられる。なお、本業務での密度は約 200 本/m<sup>2</sup>であった。

###### (2) 枯れヨシの処理、再利用

枯死したヨシを除去することは、栄養塩類の水系への回帰を防止するために必要なことであるが、同時に以下に示す効果も期待される。

- ・ヨシの刈取りを地場産業として成立させる。
- ・ヨシ原内に堆積した汚泥の減量化を図る。
- ・ヨシ原内に沈殿、付着した植物プランクトンが同時に除去される。

一方、ヨシの除去には以下のようなマイナス面もあるので、除去作業に当たり留意が必要である。

- ・通水期間中に形成された安定した生態系の一時的な急変

###### (3) 沈水植物の処理、再利用

ヨシ同様に栄養塩類の回帰防止の観点から必要である。ただし、上記調査結果によると、流入負荷量から見た場合、沈水植物からの回帰量もヨシからの回帰量同様その寄与は小さく、沈水植物の除去による影響は少ないと考えられる。

###### (4) 植物プランクトンの抑制

植物プランクトンは大量発生した場合、景観の悪化、異臭の発生、溶存酸素濃度の低下の他、毒性物質の生成等の問題を起こす。水生植物を繁茂させることは日光を遮り、植物プランクトンの増殖を抑制することに寄与すると考えられる。

##### 4.2 土壌の管理

土壌は懸濁物質のろ過による捕捉除去の他、リンの吸着、付着微生物による有機物の分解、脱窒等、水質浄化に寄与している。しかしながら、長期間通水を続けていると、汚濁物による目詰まりや破過による吸着能力の喪失など、浄化能力の低下を招くことになる。その場合には土壌を一部入れ換えて、浄化機能の回復を図る必要がある。

ところで、自然のヨシ原においては湖沼の水位変動や風、波により冠水部分、非冠水部分が常に変化している。非冠水部分は流入水の汚濁負荷を直接受けないばかりか、空気と接することにより蓄積した汚濁物の好気分解も期待され、浄化機能の回復の機会が期待できる。

##### 4.3 通水流量

通水流量が大きいと土壌の浄化機能の低下が速まり、土壌の入れ換え頻度が多くなる。しかしながら、一方では大きな通水流量は汚濁物の除去量を大きくし、単位時間当たりの浄化効率を高める利点がある。前述したように流量が 5 ~ 10 m<sup>3</sup>/h では除去率は低いが、除去量は大きく総量削減の観点からは浄化効率として優れている。

総合的に判定して、10 m<sup>3</sup>/h の時が最も浄化効率が高いと推定されるが、この流量(10 m<sup>3</sup>/h)は水面積負荷に換算して 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日に相当する。

#### 4.4 堆積汚泥の管理

堆積汚泥の増大は窒素、リンの溶出等、水質浄化機能の維持の面で好ましくない。したがって、定期的に浚渫により取り除く必要がある。

浚渫に当たり、以下の点に留意する必要がある。

##### (1) 浚渫方法

対象区域全域を一度に浚渫すると、生態系が大きく攪乱され、元の状態に戻るのに長い時間を要することになる。したがって、浚渫する区域を3～4分割し、1区域ずつ順次浚渫していけば、生態系に対する影響は軽減されることが考えられる。

#### 5. 参考文献

- 1) 細見(1994)内陸湿地における自然浄化のメカニズムと浄化機能の積極的利用、水環境学会誌、Vol.17No.3
- 2) 倉田(1994)琵琶湖内湖における自然浄化のメカニズム、水環境学会誌、Vol.17No.3
- 3) 大久保(1998)ため池、内湖を利用した水質浄化、用水と廃水、Vol.40 No.10
- 4) ダム貯水池水質保全技術資料(案)その1、平成7年3月、(財)ダム水源地環境整備センター
- 5) 松本ら(2001)深池型実験施設によるヨシ生育に及ぼす水深影響の調査、水環境学会年会、35、P20
- 6) 森川ら(1999)深池型ヨシ帯浄化実験、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター成果発表会、p27

### 3. 琵琶湖湖岸におけるヨシ植栽実験

水資源開発公団琵琶湖開発総合管理所 ○大村 朋広  
 水資源開発公団関西支社 山田 邦晴  
 財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 田井中善雄  
 財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 三井 光彦

#### 要 旨

本実験は、湖岸フィールド実験施設において、各種工法によるヨシの人工植栽を実施し、ヨシの生育に適した湖辺環境と植栽工法について明確にすることを目的として行っている。特に、重点を置いているのは、地盤安定度とヨシの植栽工法であり、前者については、ヨシの植栽に適した基盤の検討を行っており、わんどをイメージした半閉鎖型実験施設では、開口部へのふとん籠の設置によって、実験施設からの土砂の流出を防ぎ、細粒成分を保持する上で非常に有効であることが確認できた。また、後者については、1997年から4年にわたり、ヨシ植栽及び調査を継続して実施し、わんど型実験施設での3ヵ年の調査結果より、沖合での植栽はマット植栽法が適しており、ビットマン工法及び地下茎工法は砂質地盤で地形が緩く、波浪の影響が小さい場所を実施すれば琵琶湖においても利用可能と考えている。

#### 1. 目的

今から約50年前の1953年の琵琶湖では、湖岸に260.8haものヨシ群落が存在していた。しかし、年を追うごとにその面積は減少し、1992年には127.5haとなり、約40年の間に半分以下となっている<sup>1)</sup>。琵琶湖におけるヨシ原は自然景観上重要であるばかりでなく、多くの水生生物や魚類、鳥類の生息空間として、極めて重要な役割を果たすとともに、湖水の自然浄化地としての役割も期待されている。

水資源開発公団では、琵琶湖総合開発事業の一環として湖岸堤の建設を行ったが、やむを得ずヨシ原の一部を消失せざるを得ない箇所が生じた。その対策として、湖岸堤周辺にヨシ原の復元を目的としたヨシの人工植栽を実施しており、その面積は5haにも及んでいる<sup>2)</sup>。ほとんどの植栽区域においてヨシの人工植栽は成功しているものの、年間の水位変動が大きい琵琶湖でのヨシ植栽工法および生育環境等の知見は少ないため、うまく繁茂しなかった例もある。そこで、本実験は、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター湖岸フィールド実験施設において、各種工法によるヨシの人工植栽を実施し、植栽工法およびヨシの生育環境との関係についての調査を行い、今後のヨシの保全や復元の効果的な実施に資することを目的として行っている。

#### 2. 実験手法

##### 2.1 実験施設諸元

本実験は、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター湖岸フィールド実験施設に、「わんど」をイメージした半閉鎖型湖岸と「なぎさ」をイメージした開放型湖岸を人工的に作り、実験を行っている。表2-1に実験施設諸元を示す。また、ヨシの植栽範囲、地盤高調査測線及び土質調査地点を併載した実験施設図を、わんど型実験施設は図2-1に、なぎさ型実験施設は図2-2にそれぞれ示す。

表2-1 実験施設諸元

		わんど型	なぎさ型
面積		3000m <sup>2</sup>	2000m <sup>2</sup>
消波施設	種類	鋼矢板	コンクリートブロック
	高さ (B.S.L.)	南部：+0.3m 北部：±0.0m	南部：±0.0m 中部：-0.3m 北部：-0.6m
	長さ	32m	20m

## 2.2 地盤整形及び地盤高調査

本実験では、ヨシの生育可能範囲を広げるために、実験施設への土入れを行い、緩斜面を形成するように地盤整形を行っている。また、後述するが、実験途中において、土砂流出防止および地盤安定のためにわんど開口部にふとん籠を設置している。地盤整形およびふとん籠設置時期を表2-3に示す。

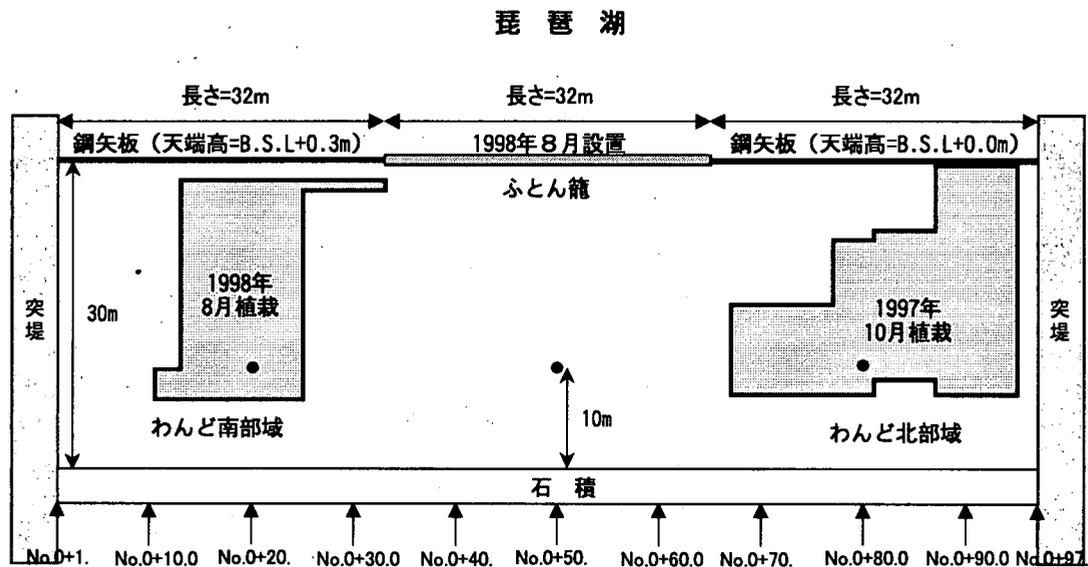


図2-1 わんど型（半閉鎖型）実験施設図

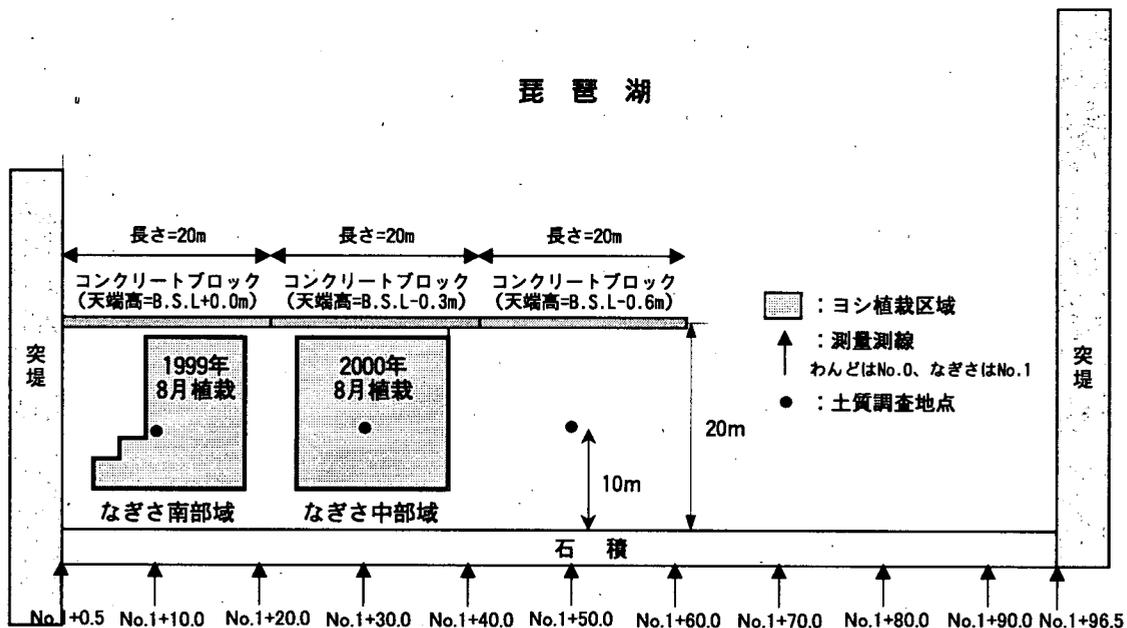


図2-2 なぎさ型（開放型）実験施設図

地盤を変動させる要因としては、風等による波浪が考えられ、本実験では、わんど型実験施設ならびになぎさ型実験施設において、実験を開始した1996年11月から2000年8月まで1～3回/年の割合で、計11回の地形測量により、地盤安定度を調査している。なお、測線数は、各施設ともに10m間隔で11のラインについて実施している（但し、2000年8月は15測線）。また、図2-1、2-2に示した地点において、1997

表2-3 地盤整形およびふとん籠設置時期

場所	工種	時期
わんど型 実験施設	第1回地盤整形	1997年10月
	第2回地盤整形	1998年8月
	ふとん籠設置	1998年8月
なぎさ型 実験施設	地盤整形	1997年10月

年10月から年2回の土質調査を行っている。

### 2.3 ヨシ植栽及び生長調査

本実験では、わんど型およびなぎさ型実験施設において、6つの植栽工法を選定し、ヨシの植栽を行っている。図2-1、2-2に示したように1997年10月にわんど北部、1998年8月にわんど南部、1999年8月になぎさ南部、2000年8月になぎさ中部に植栽を行っている。各ヨシ植栽工法の概要および特徴を表2-4に示す。

表2-4 ヨシ植栽工法の概要および特徴

ヨシ植栽工法	工法概要	特徴	備考
マット植栽法	ヤシガラマットに種を植え付けて成長させたものを、マットごと土中に埋める工法。	植生効果および取扱が最も良いとされるが、単価が高いため、費用がかかる。	1m×2mの範囲にマット1枚を植栽する。
ポット苗移植工法	ポットにヨシの種をまき成長させた後、ポットを取って直植えする工法。	種から育成させるため、植生効果は期待できる。	本実験では、単位面積あたりの植栽数による生長の比較検討を行うため、1m×1mの範囲内に4株植栽する方法と2株植栽する方法の2通りの方法で行っている。
土のう工法	ポット苗に土のう袋をかぶせて、袋ごと植える工法。	ポット苗より、施工性が悪くなるが、浸食には強くなると考えられる。	
大株苗移植法	ヨシ帯に生育しているヨシを株ごと掘り起こして移植する工法。	掘り起こすため、施工費がかかるが、費用は比較的安い。	1m×1mの範囲内に1株植栽する。
地下茎工法	ヨシの根を採取し、土中深さ10cmのところに埋める工法。	但し自然のヨシ帯を傷つけることとなる。	1m×1mの範囲内に10株植栽する。
ビットマン工法	ヨシの地下茎を根から50cmのところでカットして、挿して植える工法。	費用は安い、自然のヨシ帯を傷つけることとなる。	1m×1mの範囲内に4、5株植栽する。

植栽されたヨシについて、ヨシの成長期にあたる3月から10月の期間に8回/年の生長調査を行っている。調査は、各年とも調査日がほぼ同一になるように設定し、手法としては、最小50cm×50cmの区画内におけるヨシ茎個体数、最長ヨシ草高、水深の3項目を測定している。

## 3. 結果と考察

### 3.1 地盤安定度調査

図3-1に1997年10月(実験開始前)のわんど型実験施設の地盤高を示す。わんど型実験施設は、自然のままの状態に任せておくと、およそB.S.L.(琵琶湖基準水位: B.S.L. ± 0m=T.P. +84.371m) -1.5mの地盤高さまで5~10%の一定の勾配で減少し、ヨシの生育上では、かなり厳しい傾斜であることが確認された。そこで、この施設において土留め工を行わずに、単なる土入れおよび整形だけでどの程度の地盤安定が望めるかについての調査を行った。

工事は、沖合方向15~20m付近に土砂を入れ、地盤整形により、ヨシの生育に適しているとされるB.S.L. -30cm以上の面積を増大させた。その結果、生育範囲は広がったものの、その沖合に10%前後

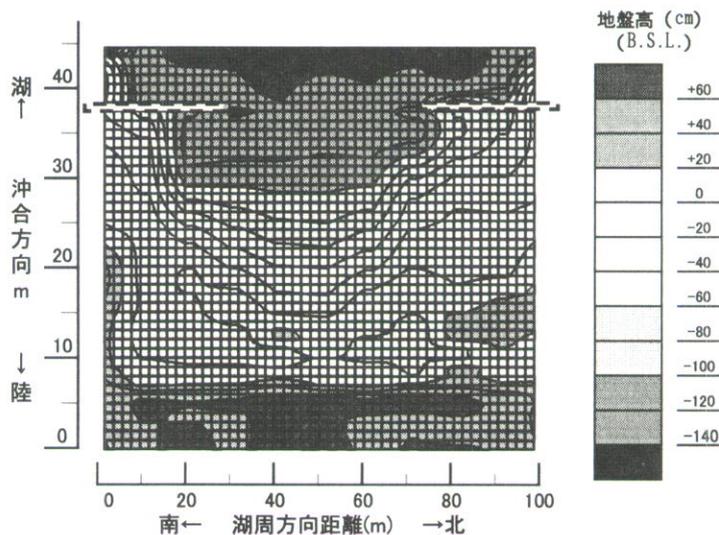


図3-1 1997年10月(実験開始前)の地盤高図

の急峻な勾配が形成されることとなり、その後の調査結果は前回の報告で述べたが、整形工事後4ヶ月が経過したときには、ほぼ元の地盤形状に戻ることが確認され、ヨシが生育しやすい安定した地盤形成するには、何らかの土留め工が必要と考えられた<sup>3)</sup>。その後、安定した植栽基盤をつくるために1998年8月にわんど開口部の深さ B.S.L. -80cm にふとん籠を設置し、土砂の移動を抑える工法を検討したので、ここではこの工事前後の地盤形状の変動について述べる。

わんど型実験施設開口部 (No.0+50 ライン) における1997年 (ふとん籠なし) と1998年 (ふとん籠あり) の地盤高変化の比較を図3-2に示す。この図よりふとん籠のない場合、土入れ地盤整形を実施しても4ヶ月半後には、元の地盤形状に戻っていることがわかる。しかし、ふとん籠を設置した場合は、半年後も整形前の地盤形状には戻らず、ある程度の地盤は維持しており、特にヨシ植栽に適していると考えられる B.S.L. -30cm までの区間において、減少はしているものの比較的地盤は維持されているものと考えられる。しかし、その後も地盤の変動は続いており、完全な安定地盤とは言えない。

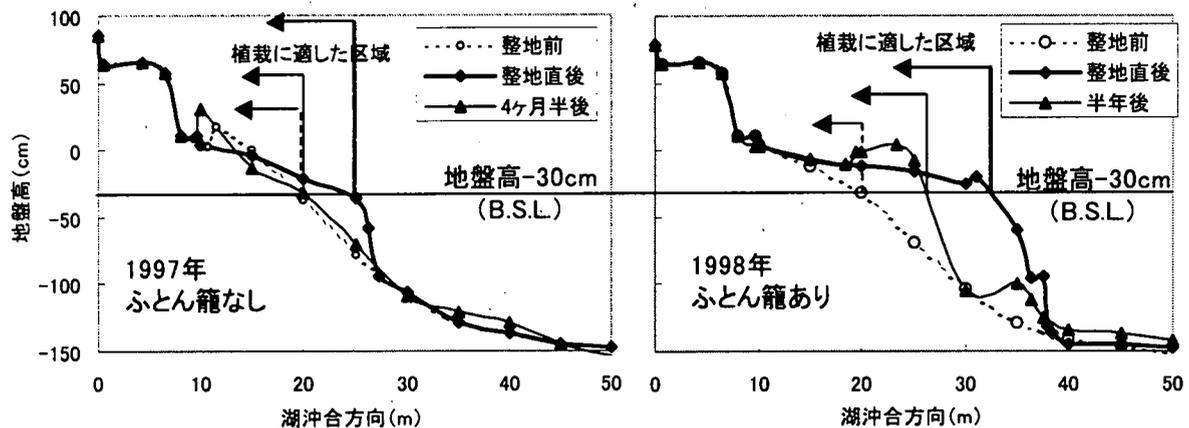


図3-2 わんど型実験施設開口部 (No.0+50 ライン) における1997年と1998年の地盤高変化の比較

表3-1 ふとん籠の有無による整地後の地盤変動割合 (単位: %)

地盤高範囲 (cm) B.S.L. (以上~未満)	ふとん籠なし (1997年度)			ふとん籠あり (1998年度)		
	整地直後	4ヶ月半後	増減	整地直後	半年後	増減
40~60	0.4	0.5	+0.1	0.5	1.3	+0.8
20~40	5.0	11.6	+6.6	10.2	9.9	-0.3
0~20	20.3	24.9	+4.6	21.4	24.2	+2.8
-20~0	36.3	20.5	-15.8	35.2	34.1	-1.1
-40~-20	16.3	14.8	-1.5	23.7	17.4	-6.3
-60~-40	3.8	8.1	+4.3	4.8	5.6	+0.8
-80~-60	2.1	5.0	+2.9	2.9	4.2	+1.3
-100~-80	2.0	4.4	+2.4	1.4	2.1	+0.7
-120~-100	7.0	4.6	-2.4	0.0	1.2	+1.2
-140~-120	6.9	4.5	-2.4	0.0	0.0	0.0
-160~-140	0.0	1.2	+1.2	0.0	0.0	0.0
-40~20	72.9	60.2	12.7	80.3	75.7	4.6

次に湖岸より30mの区域までにおいて、わんど型実験施設の地盤高別面積の割合を算出したものを表3-1に示す。表より、ふとん籠を設置した場合、なしに比べ、増減の幅が小さいことがわかる。また、ヨシの植栽に適していると考えられる B.S.L. -30~20cm を含む -40~20cm 区域の面積の比較をみると、ふとん籠設置

前の場合、整地直後は全体の約73%であり、約4ヶ月半後には約13%減少し、60%となっている。それに対して設置後の場合、設置直後は全体の80%を占め、約半年後に5%減少し、75%となっている。以上のことから、ふとん籠の設置は、土砂の移動を抑え、地盤安定度を高くする結果となった。

### 3.2 土質調査

図 3-3 は、わんど型実験施設中央部における 1997 年と 1998 年の粒径分布を示したものである。この図から、1997 年のふとん籠がない場合は、土入れ整地 4 ヶ月後には、細粒成分が流出していることが読み取れる。それに対し、1998

年度のふとん籠設置後は、半年後の調査においても、粒度分布にほとんど変動はなく、粒径の小さな土壌についても保持していることが確認できる。これより、ふとん籠の設置は、わんど内の地盤安定度を向上させただけでなく、ヨシの生育に必要な細かい砂についても保持する効果を持っていることが確認された。

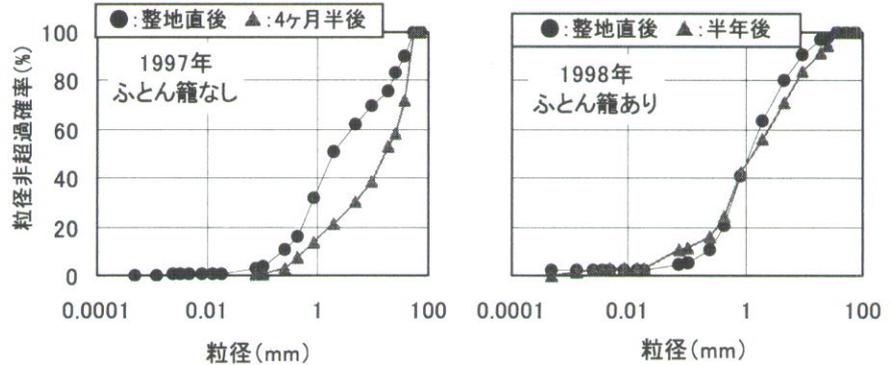


図 3-3 わんど中央部(No.0+50)における粒径分布 (1997 年と 1998 年の比較)

### 3.3 ヨシ生長調査および植栽工法検討

本実験では、わんど型およびなぎさ型実験施設において、6 工法によるヨシの植栽を行い、調査を続けているが、活着率はわんど北部 (1997 年 10 月植栽) およびわんど南部 (1998 年 8 月植栽) について、その他の項目についてはわんど北部を代表として調査結果を報告する。図 3-4 にわんど北部および南部の植栽配置を示す。

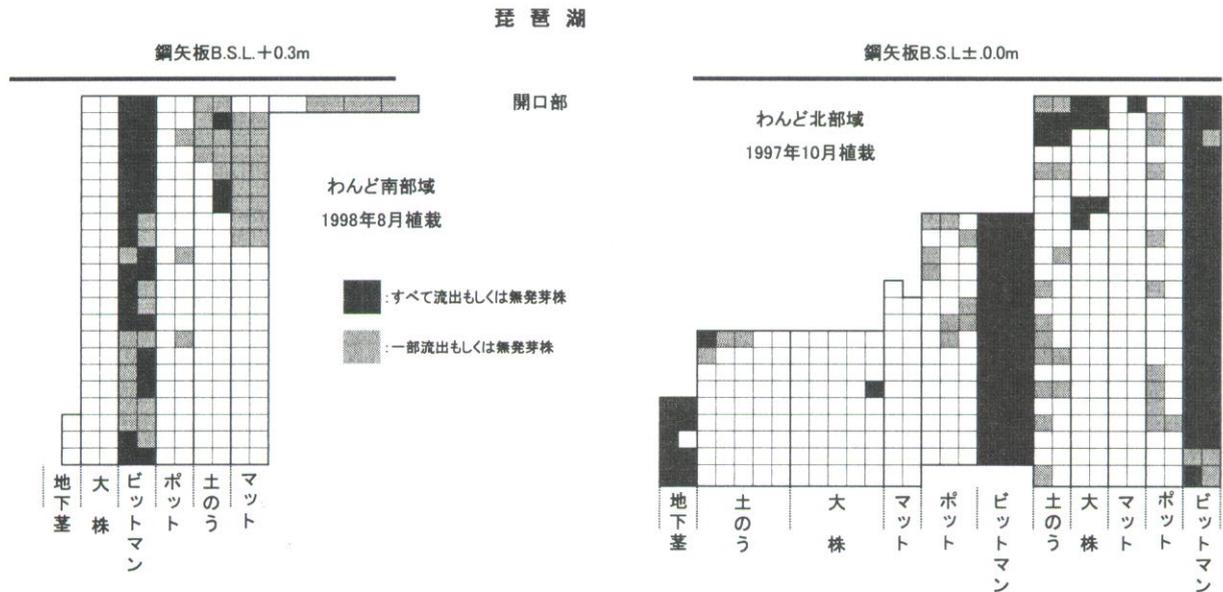


図 3-4 わんど型実験施設における植栽配置図

#### 1) 活着率

表 3-2 はわんど北部および南部における植栽後約 1 年間経過した際の活着率を示したものである。1997 年にわんど北部に植栽を行った結果、流出もしくは無発芽株の大半はビットマン工法および地下茎工法によるものであり、これらを除く株の活着率の平均は 89%であった。特にビットマン工法については、冬季の波浪により茎ごと流されていた。また、矢板およびわんど開口部に近い株の流出が目立った。そこで、1998 年度にわんど南部に植栽を行う際に、波浪および土砂移動等の影響を受けやすい開口部に近い位置に活着率の最も良いマット植栽法を配置し、外的要因に弱いと考えられるビットマン工法および地下茎工法は、影響が小さいと考えられる区域に植栽を行った。その結果、表 3-2 より、土のう工法、大株移植法およびポット苗移植工法については北部同様に高い活着率を示したものの、影響が大きい区域に植栽された

マット植栽法については約58%と低い活着率に留まった。このことから、植栽ヨシの活着の成否には、確かに植栽工法の特徴も影響はするが、それを超える影響が発生した時は、むしろ植栽配置が大きく影響するのではないかと推測された。一方で、わんど北部において活着率が低かった地下茎工法が発芽し、発芽後も流されることなく活着するといった現象も生じた。大株移植法も100%が活着し、これらの関係から、植栽

表 3-2 わんど型実験施設における活着率の比較  
(植栽翌年の8月下旬の調査結果使用)

項目 \ 工法	ビットマン	土のう	マット	大株	ポット苗	地下茎
わんど北部 (1997年10月植栽)						
植栽株数	364	282	46	91	288	10
無発芽株数	361	40	1	8	30	9
活着率(%)	0.8	85.8	97.8	91.2	89.6	10.0
わんど南部 (1998年8月植栽)						
植栽株数	198	132	26	44	132	3
無発芽株数	165	17	11	0	3	0
活着率(%)	16.7	87.1	57.7	100.0	97.7	100.0

配置を工夫すれば、簡易な植栽法でも活着する可能性は増大することが推測された。しかし、依然としてビットマン工法の活着率は17%と低く、もう少し環境条件の緩やかな場所での植栽が好ましいと思われる結果となった。

## 2) 植栽工法別茎個体数密度

わんど北部における3ヵ年の植栽工法別茎個体数密度の経時変化を図3-5に示す。また、各年8月下旬の植栽工法別ヨシ茎個体数密度の調査結果を併記したものを表3-4に示す。図より、植栽後1年目に比較して、2年目は植栽工法別の生育状況に差が出始めた。1年目にほとんど発芽しなかったビットマン工法および地下茎工法の区画にヨシの発芽が見られたが、これは別の工法で隣の区画に植栽されたヨシの地下茎が成長したものが発芽したと考えられる。植栽後3年目は渇水の年にあたり、表3-4に示したように、すべての工法において前年度比が大幅に減少に転じた。これは汀線の後退とともに陸域のヨシが枯れ始めたために生じた現象であり、ヨシの生育にはある程度の冠水が必要と考えられた。しかし、植栽区域外へのヨシの進出が顕著になり、調査時に沖合方向に3m程度の進出が認められた。この現象は渇水のため、汀線及び地下水位が後退し、ヨシの地下茎が水分を求めて、沖合方向に進行したためとも考えられる。

## 3) 植栽位置の影響

わんど北部域では、沖合方向に並列に23m、各種植栽工法別にヨシが植栽されていることから、植栽ヨシは、沖合と沿岸域とは異なる成長過程を示す結果となった。そこで矢板から陸域に向けて4mごとに、6つの区画に分類し、その区画ごとのヨシ茎個体数密度を比較することで、それぞれの地盤高における植栽工法別の特徴を検討した。なお、それぞれの区画の平均地盤高は沖合からB.S.L.-44, -27, -15, -3, 14, 24cm (1999年8月24日地盤高)となった。

図3-6は、琵琶湖水位とヨシ茎個体数密度との関係を示す。冠水の有無はヨシの成長に大きく影響するが、植栽後1年目は、3月初旬から発芽が認められ、その後水位の低下とともに緩やかに茎個体数密度を

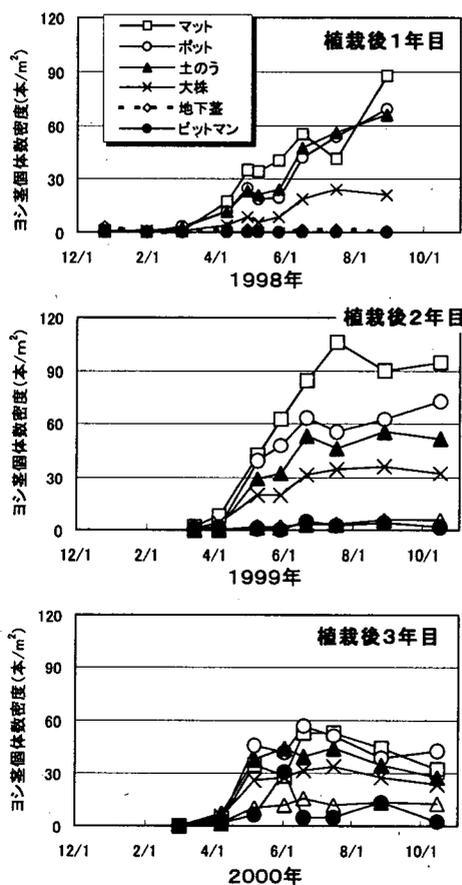


図 3-5 植栽工法別ヨシ茎個体数密度  
(わんど北部)

増やしているのに対し、植栽後2年目、3年目は琵琶湖水位の高い4月初旬から5月にかけて、茎個体数密度の急激な増加が起きた。これより、植栽後2年目以降は、根圏の発達により、高水位時においても成長可能な環境が整

表 3-4 植栽工法別ヨシ茎個体数密度の調査結果

		マット	ポット苗	土のう	大株	備考
植栽後1年目	密度 (本/m <sup>2</sup> )	86.6	67.8	65.3	20.6	—
植栽後2年目	密度 (本/m <sup>2</sup> )	89.8	62.1	55.2	35.5	—
	前年度比	104%	92%	85%	172%	—
植栽後3年目	密度 (本/m <sup>2</sup> )	43.8	38.8	34.3	27.2	渇水年 最低水位
	前年度比	49%	62%	62%	77%	B.S.L.=-97cm

ったことが推測される。また、陸域における個体数密度は、植栽後1、2年目ともほぼ同様の結果であるのに対して、沖側の平均地盤高 B.S.L. -27cm、-15cm 区域の個体数密度は、植栽後2年目に陸域を上回る結果を示した。さらに渇水年ではあったが、植栽後3年目についても沖側の平均地盤高 B.S.L. -27cm、-15cm 区域の個体数密度は、陸域を上回った。このことから、ある程度の冠水は植栽後2年目以降のヨシ生育に好影響を及ぼすことが推測された。

図 3-7 は、最も沖合に位置する平均地盤高 B.S.L. -44cm 区間における植栽工法別のヨシ茎個体数密度の経時変化と水深の関係を示したものである。図から植栽後1年目の場合、マット植栽法の変動がその他の工法とは異なり、5月初旬にヨシ茎個体数密度が急激に増加していることが分かる。この時期のこの区画の平均水深は 70cm であり、マット植栽法の水深に対する耐久性が他の工法より高いことを示す結果となった。また、ポット苗移植工法、土のう工法は水深が 45cm となった6月初旬に成長しており、大株苗移植法については、水深が 30cm を切った8月に成長していることが分かった。植栽後2年目は、1年目に比べて茎個体数密度が増加した。特にマット植栽法、土のう工法の茎個体数密度が大幅に増加したが、大株苗移植法は1年目とあまり変わらぬ傾向を示し、植栽工法別に適合する植栽条件が明確に異なることが推測される結果となった。植栽後3年目には、マット植栽法がさらに茎個体数密度を大きくした。6月～8月にかけては 100 本/m<sup>2</sup> 以上となり、沖域での植栽にはマット植栽法が適していることがうかがえる結果となった。ついで、土のう工法、ポット苗移植法の順に茎個体数密度が大きくなり、これら3工法と比べると大株移植工法の茎個体数密度がやや少ない結果となった。しかし、植栽後1、2年目と比べると大株移植工法の茎個体数密度も増加していることが分かる。ピットマン工法に関しては、初期

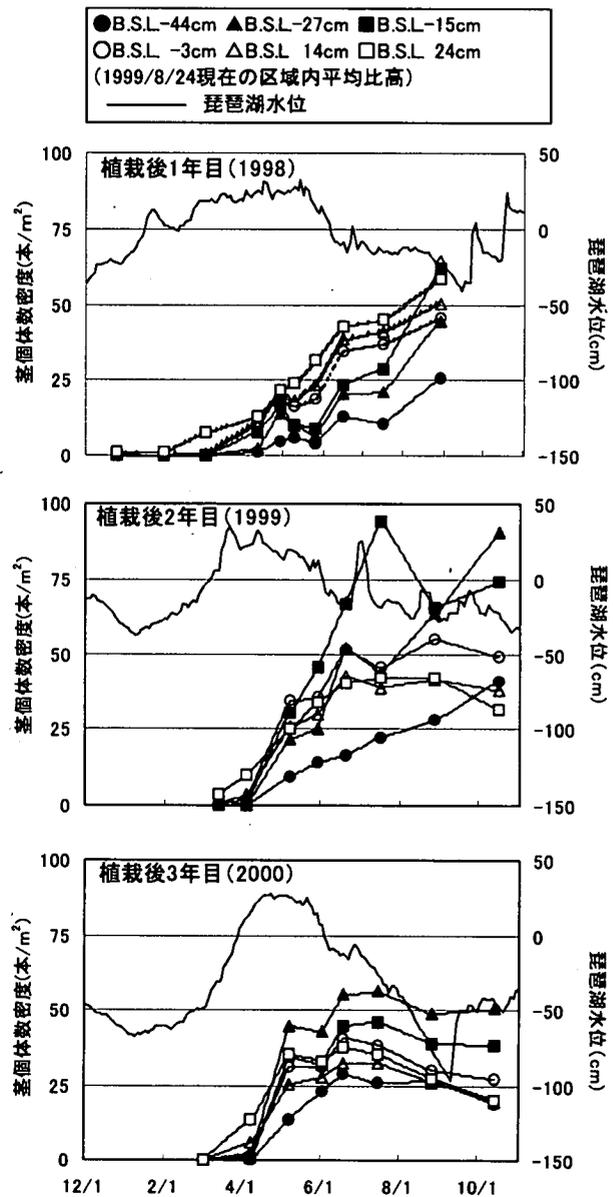


図 3-6 植栽位置別茎個体数密度の経時変化

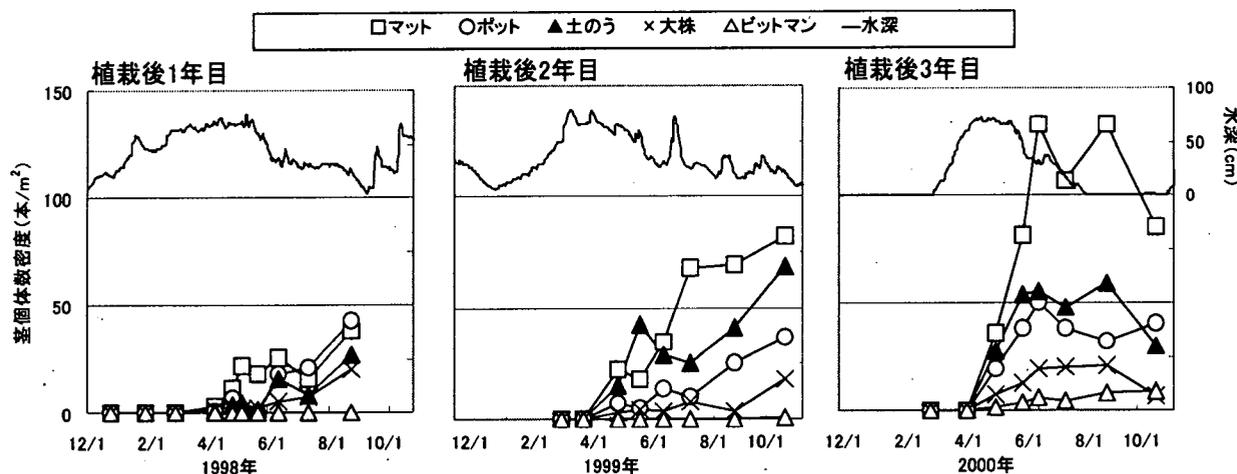


図 3-7 植栽位置別茎個体数密度の経時変化 (平均地盤高 B.S.L.-44cm 区間)

にビットマン工法で植栽した苗がそのまま生育したのではなく、別の工法で植栽を行った周囲の株からの地下茎の進出によるものである。なお、植栽後3年目の集計では、沖域に進出したヨシは対象としておらず、初期の植栽区画内のみを対象とした解析結果として示している。

#### 4. まとめ

##### 4.1 地盤安定度調査

わんど型実験施設において、ふとん籠設置により、土砂の移動を小さく抑えることができ、地盤の安定度が高いことが確認できた。また、粒径分布調査結果からもふとん籠の設置は、わんど内の地盤安定度を向上させただけでなく、ヨシの生育に必要な細かい砂についても保持する効果を持っていることが確認された。

##### 4.2 ヨシ生長調査および植栽工法検討

わんど北部の3ヵ年の調査結果から、沖合での植栽はマット植栽法が適しており、わんど南部域の活着率調査から、ビットマン工法および地下茎工法は環境条件の緩やかな場所に植栽を実施すれば琵琶湖においても利用が可能と考えられ、植栽配置を工夫すれば、簡易な植栽法でも活着する可能性が増大することが推測された。

植栽後3年目の調査結果では、わんど北部域において、沖合へ3m程度のヨシの延伸が確認されたが、ヨシ植栽後、ヨシ原として自立し、さらにその面積が自然に広がって行くようにするためには、予めヨシ群落を形成する区域を想定し、その区域にヨシの生育条件(土壌、地形、水深など)を整えておくことが必要である。

#### 5. 謝辞

本資料を作成するにあたり調査データを提供して頂き、ご協力頂いた立命館大学環境総合研究センターに対し、感謝の意を表します。また、調査データの解析に立命館大学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期過程、田中周平氏の協力を得たことを付記し、感謝いたします。

#### 6. 参考文献

- 1) 滋賀県, マザーレイク21計画-琵琶湖総合保全整備計画-, 平成12年3月
- 2) 水資源開発公団琵琶湖開発総合管理所, 未来耕創-びわ湖のヨシ植栽-
- 3) 村尾浩ほか, 琵琶湖岸におけるヨシ植栽実験, 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター成果発表会講演集, 67-85, 1999.
- 4) 琵琶湖岸におけるヨシ植栽実験, 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報第1号, 217-245, 1999.
- 5) 琵琶湖湖岸におけるヨシ植栽実験(その2), 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報第2号, 263-300, 2000.

## 4. 浅池型施設における植生浄化実験

滋賀県湖南地域振興局河川砂防課  
 滋賀県土木交通部河港課  
 財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構  
 財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

○今井 崇  
 狩野 俊男  
 田井中善雄  
 馬場 玲子

### 要 旨

本実験では、クレソンや花卉植物を用いた水質浄化施設の琵琶湖流入河川への適用性および施設計画や維持管理についての知見を得るため、クレソンの栽培管理方法を変えた場合の水質浄化性能や、花卉植物を用いた水質浄化性能を調査し、さらに施設への住民参加の可能性について調べた。

その結果、水路全面除去後クレソンの苗のみ水路 1/2 量植栽の維持管理方法を行った場合、H11 年 11 ~ 12 月の除去率は T-N7.7%、T-P32.6%、SS66.7%、COD13.5%であった。また、花卉植物でクレソンのように根圏を繁茂させるリシマキアは粒子状物質の除去作用が若干小さいが、ほぼ同等の浄化性能を示した。今までの調査結果を元に施設の運用計画案を作成した。

### 1. はじめに

近年、湖沼の水質保全を目的として河川から流入する汚濁負荷の削減が求められており、その対策方法の一つに植生および植物を含む生態系を利用した植生浄化手法がある。植生浄化手法は汚濁物質の沈殿除去、吸着や吸収、微生物による有機物の分解によるもので、これまでに数多くの研究や試験施工が行われ窒素やリンなどが除去できることが明らかになっている<sup>1, 2)</sup>が、水理条件や栽培管理方法による浄化能力の違いなどは明確になっていない。そこで本実験では琵琶湖流入河川への施設適用のための資料を得ることを目的として、平成 9 年度 (1997 年) より水理条件や維持管理方法と水質浄化並びに植物体の生長量との関係を調査するとともに、住民参加手法の検討を行ってきた。<sup>3, 4, 5)</sup>

<sup>6)</sup> この中から平成 11、12 年度に得られた結果を中心に発表する。

### 2. 実験手法

#### 2.1 実験施設諸元

本実験は滋賀県草津市の葉山川河口にある琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター (以下、実験センター) 内の浅池型植生浄化施設で行った。図 2-1' に示したように、本実験施設の水路勾配は 0.05%、0.5%、1.0%、1.5% と異なる 8 水路に分岐させるコンクリート張りの構造とした。流入水は葉山川河川水を 1 水路当たり 79.3m<sup>3</sup>/日通水した。また水路の平均水深は約 5cm、滞留時間は約 40 分である。本実験施設は特許第 1689108 号の有価植物栽培による浄水方法を利用した。

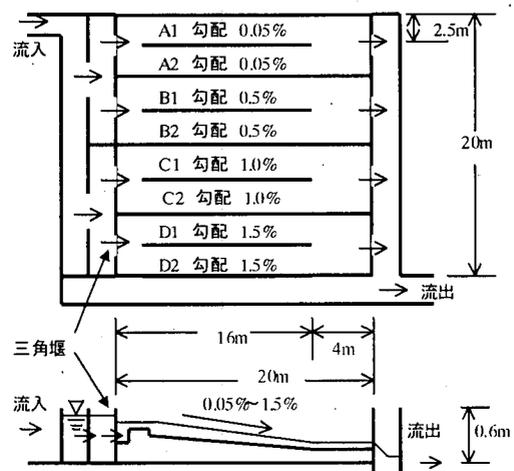


図2-1 浅池型植生浄化施設の概要図  
 (上：平面図、下：断面図)

#### 2.2 使用植物

本実験に使用した植物を表 2-1 に示した。

表2-1 浅池型植生浄化施設 植栽植物

植物名	科名	学名	花期	備考
クレソン	アブラナ科	<i>Nasturtium officinale</i>	5～6月	常緑で越冬する。繁殖力旺盛
リシマキア	サクラソウ科	<i>Lysimachia nummularia</i>	3～5月	黄色の花が咲く。繁殖力強い
ノハナショウブ	アヤメ科	<i>Iris ensata var. spontanea</i>	6～7月	ハナショウブの母品種

### 3. 実験内容

#### 3.1 クレソンの水質浄化性能・維持管理方法調査

浅池型植生浄化施設の実施設を運用する際の参考にするため、平成10年度までの調査結果を踏まえて、クレソンの維持管理面および水質浄化性能面で有利な間引き方法およびその後の植栽方法について調査した。水質浄化性能が最も良かった水理条件である水路勾配0.5%（B1水路とB2水路）において行うこととし、月1回の定期水質調査結果と日常調査での濁度測定結果において水質浄化性能が低下してきた時点で間引きを行うこととした。間引きにあたっては間引き量および再植栽方法を表3-1に示す方法とし、間引き頻度や間引き量が水質浄化特性に与える影響を検討した。表3-2に水質調査内容を示した。

表3-1 クレソンの間引き方法・頻度

水路・勾配	B1・0.5%	B2・0.5%
苗の間引き量	水路の1/2を除去	水路全面除去
苗の植栽方法	1/2残った苗を水路全面に広げる	水路1/2量の泥が付着していない苗を植栽する
苗の間引き頻度	水質調査の結果から	水質調査の結果から

表3-2 水質調査内容（平成11年6月～平成12年1月）

調査地点	分析項目	調査頻度
流入部	水温、SS、T-P、T-N、COD、BOD	月1回
B1流出部、B2流出部	水温、濁度	週2回

#### 3.2 観賞用植物の水質浄化性能調査

住民から浅池型植生浄化施設で栽培することの要望が強かった観賞用植物（花卉植物）において、平成11年度に実施した栽培候補種の選定調査結果から、浅池型植生浄化施設において生育が可能であったのはリシマキア、ノハナショウブ、ルイジアナアヤメ、カラー、ポンテデリア、ミズアオイ、ミントおよびワスレナグサであった。

本実験条件における窒素およびリンの除去は主にクレソン根圏への堆積およびろ過によって行われていると考えられるので、候補種の中で、根や株の広がり密度が密であり、根圏によるろ過作用が大きいと考えられるリシマキアと、根や株をクレソンの様に繁茂させないアヤメ科の植物（ノハナショウブ）の2種類について水質浄化性能、維持管理方法を調査した。

水質調査は植物を施設に定植した後、月1回の頻度で行った。また、補足的に日常調査時に多頻度で濁度などの簡易水質調査を行った。水質調査内容を表3-3に示した。

表3-3 観賞用植物水質調査内容（平成12年6月～平成13年2月）

調査地点	分析項目	調査頻度
流入部	水温、pH、SS、T-P、T-N、COD、BOD	月1回
B1流出部、B2流出部	水温、濁度	週2～3回

#### 3.3 住民参加手法調査

浅池型植生浄化施設が「住民参加型施設」としてより多くの住民が参加しやすくするためには、より多くの住民からの意見を参考にすることが望ましいと考えられた。

そこで、住民が自由にクレソンの摘み取りなどが出来るように本実験施設の一部を開放し、施設利用者を対象に住民参加手法に関するアンケート調査を行った。また、本実験施設の周辺の住民に対して、本浄化施設における住民参加方式について意識調査を行った。調査方法を表3-4に示した。

表3-4 住民参加調査方法

	調査時期	調査対象者	調査方法
郵送	～ H11.12	実験センター周辺自治会の常磐学区、笠縫学区の1599世帯（一部抜粋）	草津市経由で各自治会へ配布、郵送で回収
来場	H11.10～H13.3	実験センター施設来場者（任意） （施設横に案内看板等を表示した）	アンケート記入台を設置、随時回収

#### 4. 結果

##### 4.1 クレソンの水質浄化性能・維持管理方法調査結果

##### 4.1.1 クレソンの水質浄化性能調査結果

流入水と処理水の水質濃度の経時変化（定期調査）を図4-1に、（日常調査）を図4-2に示した。

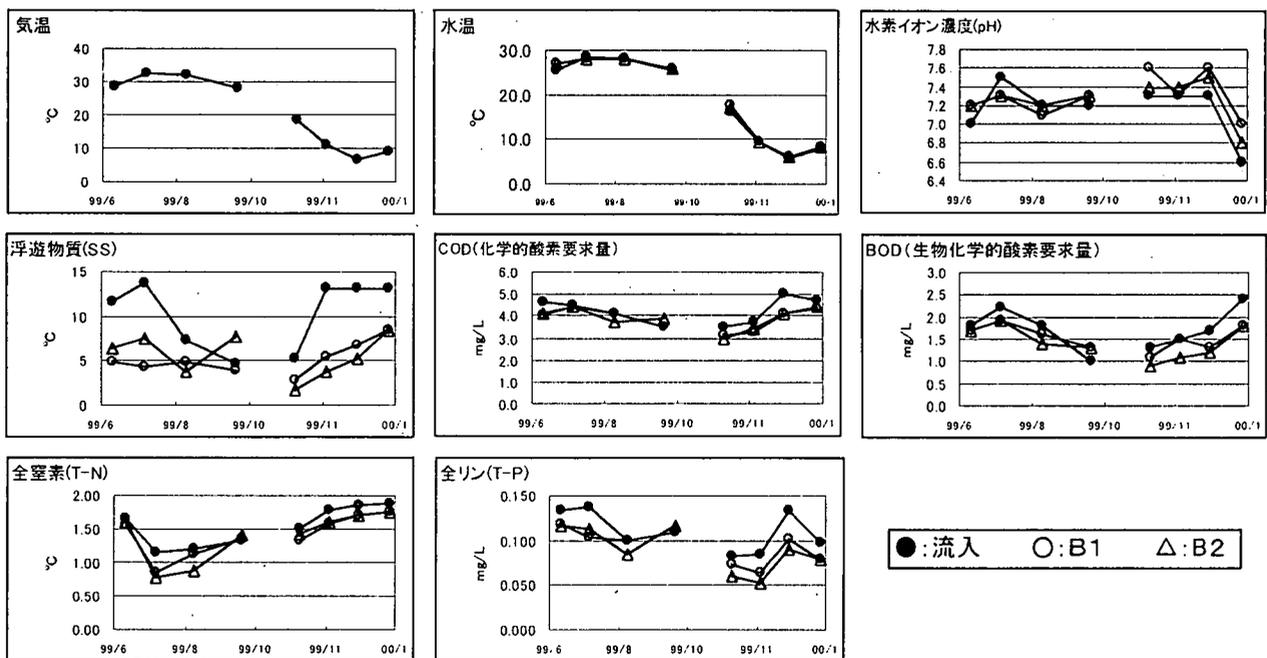


図4-1 水質濃度の経時変化（定期調査）

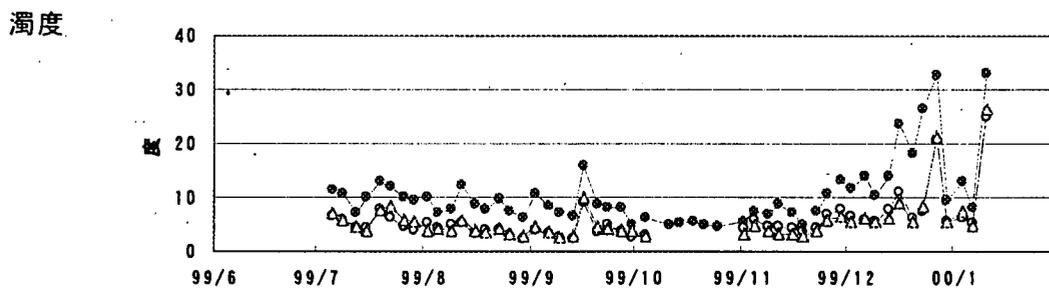


図4-2 水質濃度（濁度）の経時変化（日常調査）

#### 4.1.2 クレソンの間引き頻度

日常調査の濁度測定結果から求めた除去率と実験開始、再植栽の実施日を図 4-3 に示す。

#### 濁度

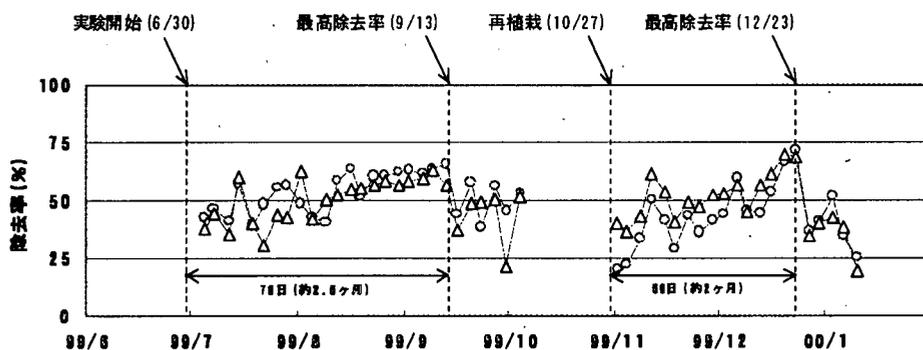


図4-3 濁度除去率の経時変化（日常調査）

定期調査の結果、実験開始（1999年6月29日）3ヶ月後の9月28日の調査ではB1水路の浮遊物質(SS)以外で負の除去率（流入水より処理水が高濃度）を示した。また、日常調査による濁度の除去率でも実験開始約2.5ヶ月後の9月16日以降には、それまで約65%程度であった除去率が大きく低下し35～58%となった。この結果より9月中旬には水質浄化性能が低下したと見なし、10月8日から浄化副産物の乾燥を行い、10月27日に再植栽を行った。

再植栽後の水質濃度変化では定期調査のSSでは、約2ヶ月後の12月20日の調査まではおおむね50～70%の除去率であったが、2.5ヶ月後の平成12年1月11日では約35%の除去率になった。濁度の除去率では、再植栽後約2ヶ月後の12月27日には約35%の除去率に低下した。この結果より12月下旬には水質浄化性能が低下したと見なし、1月14日に水路への給水を停止し、浄化副産物の乾燥を開始した。

以上より、本実験での運転条件では、勾配0.5%水路において水質浄化性能が維持されるのは植物の植栽後約2ヶ月間であることが考えられた。

#### 4.1.3 クレソンの再植栽方法

再植栽時にB1水路ではクレソンと堆積物を除去した後、水路に残った苗を堆積物ごと全面に広げた。これに対しB2水路では水路全面のクレソンを除去した後、クレソンの苗のみ（根圏の堆積物を洗ったもの）を水路面積の1/2量だけ栽培した。水質調査（除去率）結果を図4-4に示した。

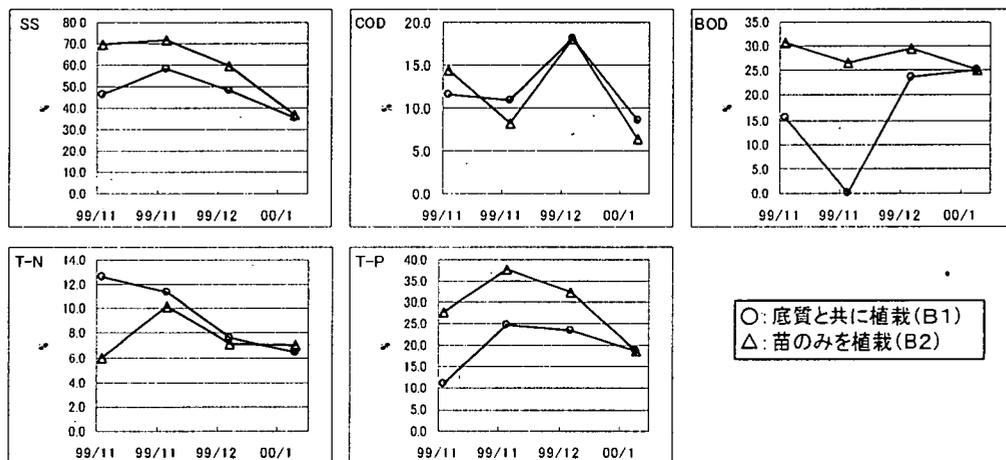


図4-4 再植栽方法の違いによる水質調査結果（除去率）

苗のみを植栽したB2水路の除去率がB1水路より高く、SSではB2水路が66.7%、B1水路が50.9%

の差が見られた。この結果より本施設において間引き後に植栽する方法としては苗のみを植栽するのが望ましいと考えられるが、苗のみを植栽する方法は苗から泥などを落とす作業に時間がかかるためコスト面で不利であり、また、作業中に発生する濁水にも配慮する必要がある。

#### 4.2 観賞用植物の水質浄化性能調査結果

流入水と処理水の水質濃度の経時変化（定期調査）を図4-5に、（日常調査）を図4-6に示した。

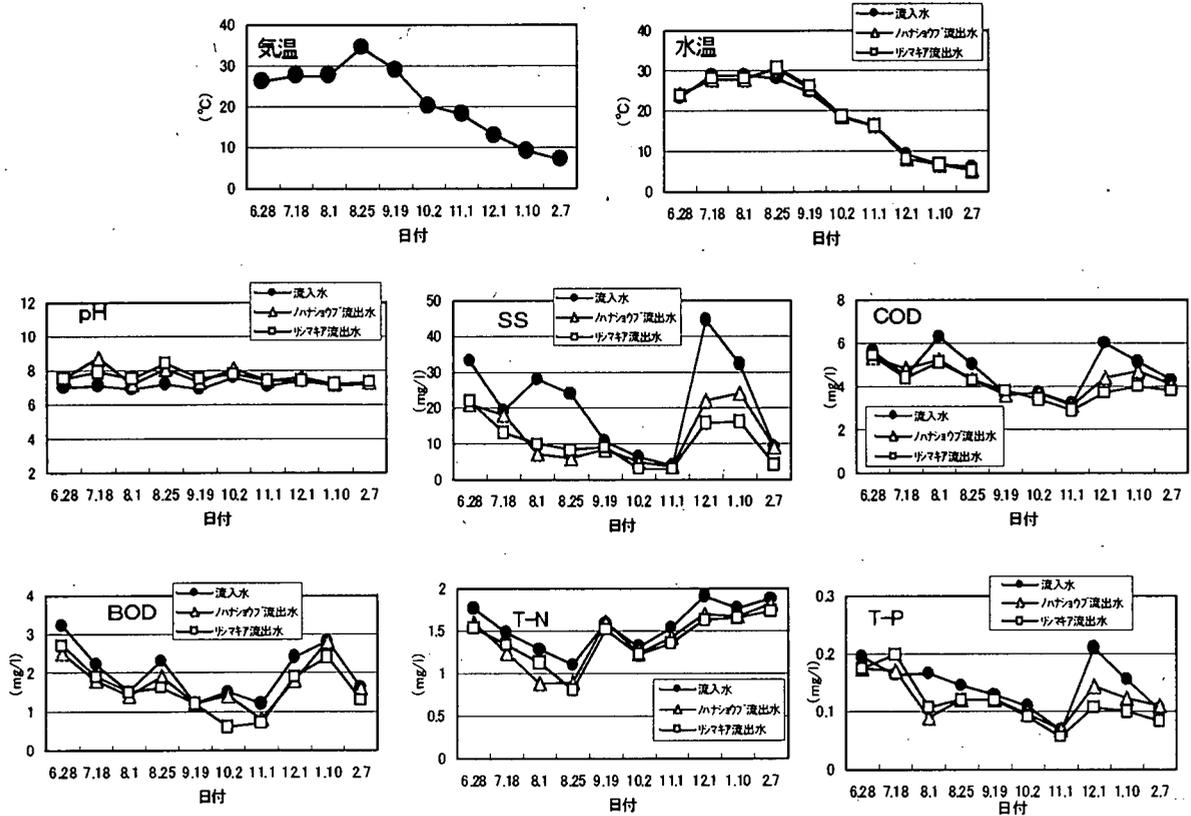


図4-5 水質濃度の経時変化（定期調査）

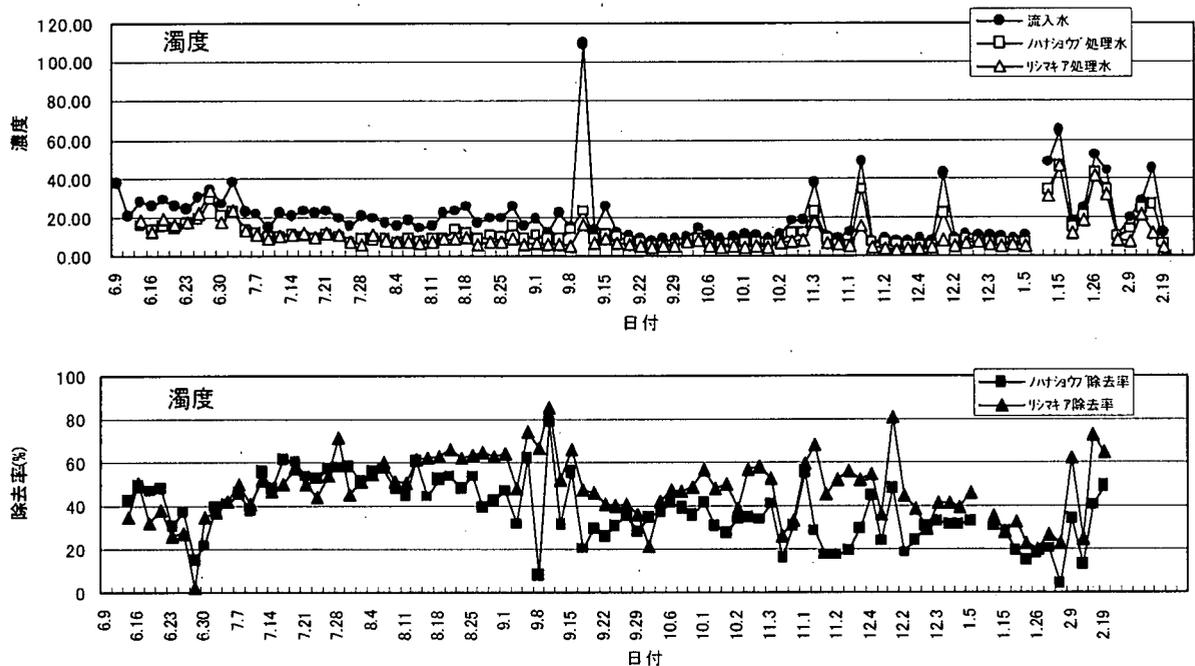


図4-6 水質濃度（上）および除去率（下）の経時変化（日常調査）

定期調査結果から、ノハナショウブ処理水濃度とリシマキア処理水濃度では、8月下旬までは明確な差が見られなかったが、それ以降になるとリシマキア処理水の方が低く、特にSSとT-Pにおいて明確な差が見られ、流入水に対してSSで25%程度、T-Pでは10%程度リシマキア処理水の方が低かった。日常調査の濁度結果からも同様の傾向が見られ、8月の下旬以降リシマキアの処理水濃度の方がノハナショウブ処理水よりも低く、浄化性能が上回っていた。

以上の結果から、8月下旬までは各植物とも植栽して間もないため根圏や株が貧弱であったり、かつ、施設内の堆積泥もほとんどない状態であったため、粒子状物質のろ過作用が一定していなかったと考えられた。8月下旬以降になると、リシマキアはクレソンと同様に根や株が密に広がり、クレソンのように根圏を繁茂させないノハナショウブより粒子状物質のろ過作用が大きかったと考えられた。

### 4.3 住民参加手法調査結果

1998年（平成10年）9月、10月に実施した「クレソン摘み取り体験会」のイベント参加者へのアンケート調査結果（H10年度）、施設解放後の来場者へのアンケート調査結果（来場）、施設周辺の住民対象として郵送で行ったアンケート調査結果（郵送）の比較を図4-7に示した。

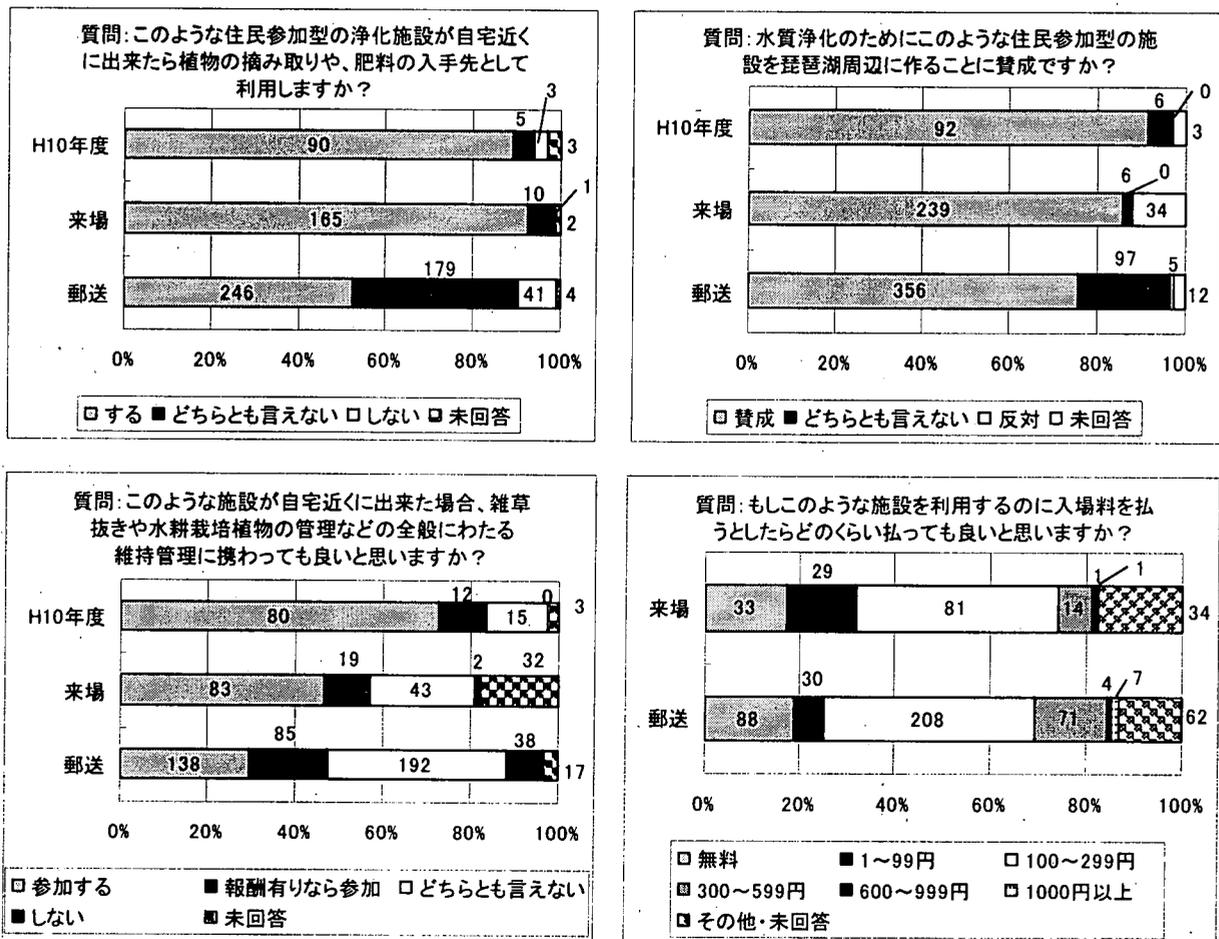


図4-7 対象者別のアンケート調査結果

回答傾向を見ると、「摘み取りや肥料の入手先として利用するか」との問いに対しては、刈り取り体験アンケートと来場者アンケートでは「する」と答えた人が約90%であったが、周辺住民へのアンケートでは52%であった。また、「水質浄化のためにこのような住民参加型の施設を琵琶湖周辺に作ることに賛成か」では、「賛成」と答えた人は、刈り取り体験アンケートでは91%、来場者

アンケートでは 86%、周辺住民へのアンケートでは 76%であった。また、「維持管理に携わってよいか」では、「参加する」と答えた人が、刈り取り体験アンケートでは 73%、来場者アンケートでは 46%、周辺住民へのアンケートでは 29%であった。

以上の結果では、施設の建設や利用に関して、積極的な意見が最も多かったのは刈り取り体験アンケートで、次いで来場者アンケート、周辺住民へのアンケートであった。これらの結果から、施設に関して多くの情報を持ち、体験があった人が施設に対して肯定的な意見を持つ傾向があると考えられた。さらに、本施設を住民参加型施設として定着させるためにはより多くの人への情報提供を行うことが重要であると考えられ、来場者アンケート結果からマスメディアによるものといわれる「クチコミ」によるものが有効であると考えられた。

施設に対する意見では、休憩所や水道の整備が多く、植物に対する意見では花ものや野菜類に対する希望が多く見られた。

本施設を住民参加型施設として利用する方法としては、平成 10 年度に行った生態系調査の結果、本施設に多くの生物が生息していたことから、学校行事や環境学習の場を提供する趣旨の呼びかけも可能であると考えられる。

## 5. 考察と実施への適用

### 5.1 運用方法

本実験結果より水質浄化性能および維持管理面で最も有利な運用方法（案）を考えた。調査結果において間引き頻度が 2～2.5 ヶ月に 1 回、乾燥に要する日数が降水による影響が少ない条件では約 20 日であったことから、実施設での間引き頻度を 2.25 ヶ月、乾燥に要する時間を 0.75 ヶ月（約 20 日）として以下の検討を行った。

本施設は水質浄化施設であるため、施設全体として安定した処理水量と処理能力を持つことが望ましいと考えられ、1 水路のみの運転では 3 ヶ月に 1 回の頻度で止水し間引きを行う必要があることから、実施設においては 4 本の水路を組み合わせた構造とし、同時に 3 本の水路に通水する運用が考えられた（図 5-1）。

また、このときに発生する浄化副産物量は、1 年に 4 回の間引きを行うことになることから、次式により 50%湿重量換算で  $16.8\text{kg}/\text{m}^2/\text{年}$  である。

$$\begin{aligned} \text{浄化副産物量 (kg} \cdot \text{wet}/\text{m}^2) &= 1 \text{ 回あたりの発生量 (kg} \cdot \text{wet}/\text{m}^2) \times \text{間引き回数} \\ &= 4.2 \times (12 / (2.25 + 0.75)) \end{aligned}$$

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
水路 1	----			——								
水路 2	——				----							
水路 3	——						----					
水路 4	——									----		

—— : 通水期間      ---- : 止水(乾燥)期間

図5-1 実施設での運用計画（案）

### 5.2 実際の施設の候補地

実際の施設を設置する場合の候補地を選定するにあたっては、①構造面から本浄化施設の設置が可能な場所、②本浄化施設の水質浄化性能（クレソン等は SS、T-P の粒子状物質の除去効果があり、これらの物質が高い（富栄養化）河川への適応が望ましい）から浄化が期待できる琵琶湖流入河川

を対象にする、③住民が利用しやすい立地条件（来場者アンケート調査では自宅からの所要時間1時間以内が90%を占める）、などが重要と考えられた。具体的には、

- ・汚濁が著しい琵琶湖南湖流入河川に近接する場所
- ・既存の公園や緑地帯に隣接する場所
- ・駐車場や駐輪場がある場所
- ・30分以内に居住地、1時間以内に大きな居住地（都市）がある場所

が考えられた。また、できれば公共交通機関の最寄りの駅が近いことが望ましいと考えられた。

## 6. まとめ

本実験により次の知見が得られた。

- 1) 勾配 0.05%水路（通水量 79.3m<sup>3</sup>/日）では、植栽後約2～2.5ヶ月後に水質浄化性能が低下した。
- 2) 水路全面除去後、クレソンの苗のみ水路の1/2量植栽の維持管理方法を行うことで、植栽後の浄化性能が安定している時期（H11.10～H11.12）の平均除去率は T-N7.7%、T-P32.6%、SS66.7%、COD13.5%、BOD28.9%であった。
- 3) リシマキアはクレソンに比べて、粒子状物質の除去作用が小さい以外はほぼ同様の水質浄化性能が得られた。H12.6～H13.1の平均除去率は T-N11.7%、T-P18.5%、SS44.0%、COD12.9%、BOD21.8%であった。
- 4) ノハナショウブはクレソンやリシマキアに比べてすべての項目において水質浄化性能が悪かった。H12.6～H13.1の平均除去率は T-N8.0%、T-P14.3%、SS34.0%、COD9.1%、BOD13.7%であった。リシマキアはクレソンと同様に根や株が密に広がり、クレソンのようには根圏を繁茂させないノハナショウブより粒子状物質のろ過作用が大きかったと考えられた。
- 5) 住民参加手法調査の結果、施設に関する情報について多くの情報を持ち、体験があった人が施設に対して肯定的な意見を持つ傾向があると考えた。さらに、本施設を住民参加型施設として定着させるためには、より多くの人への情報提供を行うことが重要であると考えられた。
- 6) 実験結果より水質浄化施設としての安定した処理能力を持つための運用計画（案）を考えた。4本の水路を組み合わせ、1水路あたり3ヶ月に1回の頻度で止水し間引きを行い、同時に3本の水路に通水する運用が考えられた。

現在も継続して、本浄化施設では発生する浄化副産物（クレソン植物体の堆積泥の混合物）をコンポストとして再利用する検討を行っている。これとあわせて、本施設のあり方、および全体の管理運用方法をまとめる予定である。

## 7. 引用文献

- 1) 相崎守弘、中里広幸(1995) 植物水耕栽培系における根圏生物の変化と栄養塩の除去、水環境学会誌、18(8)、624-627.
- 2) 中里広幸(1994) 水耕生物ろ過法による浄化親水施設「土浦バイオパーク」の浄化結果と影響、霞ヶ浦研究会年報、4-9.
- 3) 田中良典ら(1999) 浅池型植生浄化実験、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報、1、81-100.
- 4) 中川元男ら(2000) 浅池型植生浄化実験(その2)、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報、2、65-89.
- 5) 武井直子ら(2001) 浅池型植生（クレソン水耕栽培）浄化実験(1)、水、43-4(No.609)、16-24.
- 6) 武井直子ら(2001) 浅池型植生（クレソン水耕栽培）浄化実験(2)、水、43-6(No.611)、28-37.

## 5. 多自然型水路における生態系調査

近畿地方整備局琵琶湖工事事務所	○中村 超
近畿地方整備局琵琶湖工事事務所	春木二三男
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構	田井中善雄
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構	馬場 玲子

### 要 旨

実験センター内の人工的な水路およびその周辺において、水路形態（河床、護岸構造など）の違いによる水生生物の生息・生育状況を調査し、河川環境と生物相との関係などについて検討した。

平成 10～12 年度の調査において、植物確認種数が増え、量的にも増加した。多自然型水路という環境を反映して、確認種は湿地や水辺を好む種が半分近くを占めていた。魚介類、底生動物については、平地の池や沼、河川の中・下流域に生息する種が多くを占め、琵琶湖やその周辺の河川で一般的に見られる種であったが、環境庁のレッドリストで絶滅危機増大種に指定されているメダカも増加傾向をみせていた。

### 1. 目的

琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター内に設置された人工的な水路において、水路形態（河床、護岸構造など）の違いによる水生植物、水生動物の生息・生育状況や、水質などの現況を把握するとともに、河川環境と生物相との関係や多様性について考察し、今後の琵琶湖・淀川水系の水辺環境の創造に役立てることを目的とする。

### 2. 調査内容

#### 2.1 調査場所

1997年8月に開設された琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター（以下、実験センターと称す）は、湖岸緑地公園内に位置する総面積 25,000m<sup>2</sup> の造成地である。実験センターの中央部には各種の水質浄化施設が設置され、主要部には琵琶湖を模した実験池と淀川水系を模した実験水路を設け、南端の葉山川河口より取水し、センター内の水系を循環させ、琵琶湖に排水させている。（図 2-1）

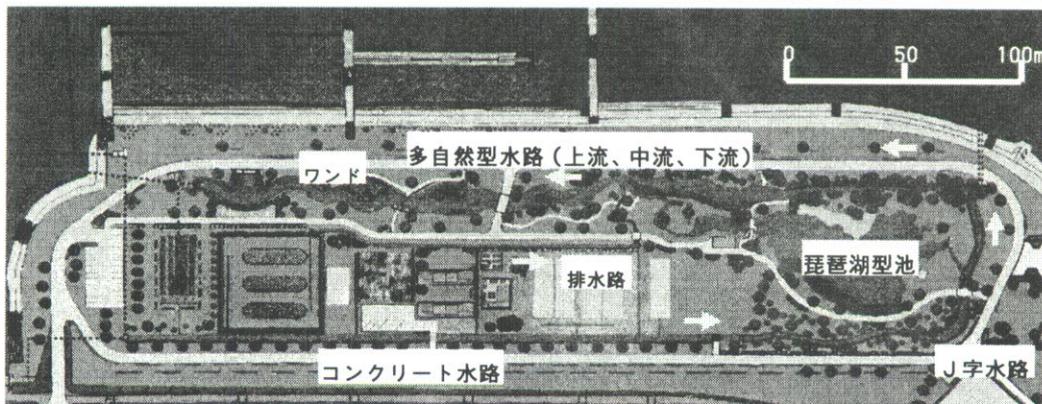


図 2-1 調査場所

また、水路設置当初に植物を一部植栽した以外は動物も含めて移植は避け、基本的に自然のままの推移に任せている。この実験センター内の実験水路（コンクリート水路、J字水路、多自然型水路）、琵琶湖型実験池、およびその水際 1m 部分において調査を行った。

実験水路の概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 実験水路の概要

名称	延長 (面積)	護岸構造	河床構造
コンクリート水路	約 240m	コンクリート	コンクリート
J字水路	約 160m	ヤシ繊維、ロール杭止め 等	土
多自然(上流)	約 50m	自然石	自然石
多自然(中流)	約 125m	丸太・ヤシ繊維マット	砂利
多自然(下流)	約 165m	土、丸太・ヤシ繊維マット	土
実験池	— (約 2000m <sup>2</sup> )	自然石、砂利 等	土

## 2.2 調査期間

現地調査は、魚類および底生動物、植物（水生植物）について実施した。また平成 10 年度から平成 12 年度において、季節ごとの比較のため魚類および底生動物については各四季（5 月・8 月・10 月・1 月）、植物は冬をのぞく三季に調査を行った。現地調査時期を表 2-2 に示す。

表 2-2 現地調査時期

	平成 10 年度	平成 11 年度	平成 12 年度
春季	5/18～19	5/18～19	5/29～30
夏季	8/27～28	8/27～28	8/28～29
秋季	10/12～13	10/12～13	10/11～12
冬季	1/13～14	1/13～14	1/18～19

## 2.3 調査方法

### 2.3.1 植物調査

植生および植物相は春季、夏季、秋季の 3 回現地調査を実施した。対象は湿性・水生を含むシダ植物以上の高等植物とした。

#### (1) 植生

水路内の植生を優占種によって捉え、調査結果を優占種の分布状況としてまとめた。同時に多自然型水路の上流部・中流部・下流部およびコンクリート水路の 4 地点における代表的な植生でコドラート（100×100cm）調査を行った。

#### (2) 植物相

調査場所全域において水路内および水際部に生育する植物を記録し、植物目録を作成した。現地での生育状況や植栽図から在来種・帰化種・植栽種を判断して記録した。

### 2.3.2 底生動物および魚介類調査

水生昆虫類や甲殻類などの底生動物、魚類、貝類などの生息状況を把握するため、四季各 1 回の現地調査を実施した。なお、貝類は底生動物の調査と同時に実施可能であるため、ここでは魚類と底生動物（貝類）に分けて整理した。

#### (1) 魚類

投網、タモ網を用いた捕獲調査により、生息する魚類相を把握した。捕獲した魚類は原則とし

また、水路設置当初に植物を一部植栽した以外は動物も含めて移植は避け、基本的に自然のままの推移に任せている。この実験センター内の実験水路（コンクリート水路、J字水路、多自然型水路）、琵琶湖型実験池、およびその水際 1m 部分において調査を行った。

実験水路の概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 実験水路の概要

名称	延長 (面積)	護岸構造	河床構造
コンクリート水路	約 240m	コンクリート	コンクリート
J字水路	約 160m	ヤシ繊維、ロール杭止め 等	土
多自然(上流)	約 50m	自然石	自然石
多自然(中流)	約 125m	丸太・ヤシ繊維マット	砂利
多自然(下流)	約 165m	土、丸太・ヤシ繊維マット	土
実験池	— (約 2000m <sup>2</sup> )	自然石、砂利 等	土

## 2.2 調査期間

現地調査は、魚類および底生動物、植物（水生植物）について実施した。また平成 10 年度から平成 12 年度において、季節ごとの比較のため魚類および底生動物については各四季（5 月・8 月・10 月・1 月）、植物は冬をのぞく三季に調査を行った。現地調査時期を表 2-2 に示す。

表 2-2 現地調査時期

	平成 10 年度	平成 11 年度	平成 12 年度
春季	5/18～19	5/18～19	5/29～30
夏季	8/27～28	8/27～28	8/28～29
秋季	10/12～13	10/12～13	10/11～12
冬季	1/13～14	1/13～14	1/18～19

## 2.3 調査方法

### 2.3.1 植物調査

植生および植物相は春季、夏季、秋季の 3 回現地調査を実施した。対象は湿性・水生を含むシダ植物以上の高等植物とした。

#### (1) 植生

水路内の植生を優占種によって捉え、調査結果を優占種の分布状況としてまとめた。同時に多自然型水路の上流部・中流部・下流部およびコンクリート水路の 4 地点における代表的な植生でコドラート（100×100cm）調査を行った。

#### (2) 植物相

調査場所全域において水路内および水際部に生育する植物を記録し、植物目録を作成した。現地での生育状況や植栽図から在来種・帰化種・植栽種を判断して記録した。

### 2.3.2 底生動物および魚介類調査

水生昆虫類や甲殻類などの底生動物、魚類、貝類などの生息状況を把握するため、四季各 1 回の現地調査を実施した。なお、貝類は底生動物の調査と同時に実施可能であるため、ここでは魚類と底生動物（貝類）に分けて整理した。

#### (1) 魚類

投網、タモ網を用いた捕獲調査により、生息する魚類相を把握した。捕獲した魚類は原則とし

て現地で同定し、個体数の計数、写真撮影などを行った後、速やかに放流した。なお、現地で同定困難な個体はホルマリン液(10%)で固定して持ち帰り、顕微鏡下で種の同定を行った。

また、多自然型水路内3地点(上流部・中流部・下流部)に一定の調査範囲を定め、セルピンを設置し定量調査を行った。

## (2) 底生動物

調査範囲を任意に踏査しながらタモ網を用いて岸辺や水性植物体などを中心に、トンボ類の幼虫や甲殻類、貝類などを対象に定性的な採集を行った。また、魚類と同じ3地点においてサーバーネットによる定量調査を行った。採集した底生動物はホルマリン液(10%)で固定して持ち帰り、顕微鏡下で種の同定および個体数の計数を行った。

## 3. 調査結果

### 3.1 植物調査結果

植物の生育面積は段階的に増加傾向がみられた。平成10年度は群落も少なく、低茎植物が比較的多く見られたのに対し、平成11年度以降、ヨシやウキヤガラのような高茎植物の群落が拡大していった。特に平成12年度でヨシ群落がJ字水路と多自然型水路上流部、下流部で発達したのが特徴的である。

平成10年度から平成12年度の水路内全域および水際部に生育する植物の調査結果を表3-1に示す。

表 3-1 植物確認種数

分類群			平成10年度		平成11年度		平成12年度	
			科	種	科	種	科	種
被子植物	双子葉植物	離弁花類	12	32	17	36	19	45
		合弁花類	6	24	6	26	8	24
	単子葉植物		11	43	12	47	12	61
合計			29	99	35	109	39	130

年月が経過するのに従って、植物確認種数が増え、量的にも増加している。実験施設の完成後、まだ日が浅いため安定期に入っていないと考えられ、種の入替わりが見られるのは一般的な傾向であると推測できる。確認種を植栽種と侵入種に分類し、さらに侵入種を在来種と帰化種に分類した表3-2を示す。帰化種の割合は27.3%→24.8%→20.8%と年度を追うに従って減少している。多くの河川の帰化率は20%前後である<sup>1)</sup>ことから、平均的なものといえる。

表 3-2 植物確認種数の分類

分類群	平成10年度			平成11年度			平成12年度		
	科	種	%	科	種	%	科	種	%
植栽種	9	11	11.1	7	10	9.2	9	10	7.7
在来種	22	61	61.6	28	72	66.0	31	93	71.5
帰化種	12	27	27.3	14	27	24.8	13	27	20.8
合計	29	99		35	109		39	130	

多自然型水路という環境を反映して、確認種はキシウスズメノヒエやヤナギタデ、ミゾソバなど湿地や水辺を好む種が半分近くを占めていた。水生植物のうち抽水植物は植栽種が多く、ヨシ・ガマ・ウキヤガラなどが確認された。沈水・浮葉植物はいずれも琵琶湖でも確認記録のある植物種であり、

施設水の供給源である葉山川から運ばれてきたものと思われる。その中で沈水植物のコカナダモ・クロモは琵琶湖において主要な種として知られている。<sup>2)</sup> そのほか、イヌタデなど畑や路傍を好む植物、琵琶湖岸の原野環境を象徴する<sup>3)</sup> サデクサもみられている。

確認種のうち特筆すべき種としては、「改訂版日本の絶滅のおそれのある野生生物 植物 I」(環境庁, 2000)<sup>4)</sup> に準絶滅危惧種と記載されている種として、カワヂシャが平成 11 年度に多自然型水路下流部にオオカワヂシャ(ヨーロッパ原産の帰化植物)の群落に混じって、平成 12 年度は琵琶湖型実験池の排水部に小規模な群落を形成していることが確認された。

### 3.2 魚類調査結果

平成 10 年度から平成 12 年度の魚類の調査結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 調査結果

目	科	種	平成 10 年度				平成 11 年度				平成 12 年度			
			5月	8月	10月	1月	5月	8月	10月	1月	5月	8月	10月	1月
コイ	コイ	コイ	1		1		2	3	○	1	2	2	○	1
		ゲンゴロウブナ						4	1		4	1		
		キンブナ	23	11	16	6	11	54	60	18	36	35	19	7
		ブナ属の一種	7				1							
		タイリクバラタナゴ	2	11	5	6	52	118	382	142	262	230	261	374
		ハス	1			2	2		1		2	1		
		オイカワ	28	26	22	28	58	73	39	100	67	50	57	52
		カラムツA型					1						1	
		モツゴ					1	13	6	9	24	24	13	4
		ヒワヒガイ						1					1	
		タモロコ						12	7	1	19	7	9	2
		カマツカ			2		2	20	14	2	6	4	4	
		ニコイ						2			1		1	
	スゴモロコ		1			1	22	4	3	2	10	7	5	
	トシヨウ	トシヨウ			1			6	1					
ナマス	ナマス	ナマス					1		1					
サケ	アユ	アユ		○	○		1	3	5		8	6	2	
ダツ	メダカ	メダカ	2	11	7	11	5	31	13	17	10	43	45	36
ススキ	サンフィッシュ	ブルーギル	2	1	3		4	26	11	53	4	10	3	18
		ブラックバス			1			2						
	ハゼ	ウキゴリ	1				1							
		トウヨシノボリ	28	159	68	76	29	93	88	92	14	57	96	34
	ヌマチチブ	5	34	19	16	17		4	8	10		9	2	
5 目	7 科	種数	10種	9種	12種	8種	15種	17種	16種	14種	16種	14種	16種	11種
		個体数	100	254	145	145	188	478	641	448	471	480	528	535

注 1) 確認個体数は、定量調査地点、定性調査地点の合計数である。○は目視または、はみ跡による確認である。

注 2) 平成 10 年度調査地点は多自然型水路(上・中・下流)、J 字水路のみ。平成 11、12 年度は琵琶湖型池とコンクリート水路が地点に追加された。

平成 10 年度から平成 12 年度までの合計で、5 目 7 科 22 種の魚類が確認された。平成 12 年度の各季における確認種数は 11~16 種、確認個体数は 471~535 匹と、平成 10 年度に比べ増加している。確認種は平地の池や沼、河川の中・下流域に生息する種であり、琵琶湖やその周辺の河川で一般的に見られる種であった。これは実験センターが開設されてから時間が経過し、水路内に泥の堆積が促進さ

れていることや、湿性植物が水際に繁茂するなど生息しやすい環境に変化しているためと考えられる。

この中でも、タイリクバラタナゴの捕獲個体数は大幅に増加しており、タイリクバラタナゴの産卵床となるタテボシガイが広域的に確認されていることや、稚魚が多く見られたことから、本種は実験センター内で繁殖している可能性が高い。他に「レッドリスト（環境庁、1999）」<sup>5)</sup>の絶滅危機増大種であるメダカも増加傾向を見せており、水路への定着だけでなく、繁殖の可能性もある。

### 3.3 底生動物調査結果

平成10年度から平成12年度の底生動物の調査結果を表3-4に示す。

表3-4 調査結果

目	科	種	H10	H11	H12	目	科	種	H10	H11	H12
蟬蛸	コカケロウ	フタバカケロウの一種			○	双翅	カガンボ	カガンボの一種	○	○	
		コカケロウの一種	○	○	○			ウスバヒメカガンボの一種	○	○	○
ヒメカケロウ	ヒメカケロウの一種	○	○	○	オビモンカガンボの一種					○	
蜻蛉	イトトンボ	アジアイトトンボ	○	○	○	ユスリカ	モンユスリカ亜科の一種	○	○	○	
		アオモンイトトンボ	○	○	○		エリユスリカ亜科の一種	○	○	○	
		クロイトトンボ	○	○	○		ユスリカ亜科の一種	○	○	○	
		セスジイトトンボ	○				ミスアブ	ミスアブ科の一種	○		
		イトトンボ科の一種	○	○	○	三岐腸	ブラナリア	ナミスムシ	○	○	
	カワトンボ	ハゲトンボ			○	貧毛	ミスミス	ミスミス科の一種	○	○	○
	サナエトンボ	メダネサナエ		○			イトミス	エラミスの一種	○	○	○
		ヤマサナエ		○	○		イトミス科の一種	○	○	○	
		ウチワヤンマ			○	新貧毛	ツリミス	ツリミス科の一種		○	○
		オオサカサナエ			○		フトミス	フトミス科の一種		○	
	ヤンマ	キンヤンマ	○			咽蛭	イシビル	ナマイシビル	○	○	○
	ヤマトトンボ	オオヤマトンボ			○			シマイシビル			○
	トンボ	シオカラトンボ	○	○	○				イシビル科の一種	○	
		ショウジョウトンボ	○			中腹足	カリニナ	カリニナ	○	○	○
コフキトンボ		○			チリメンカリニナ			○	○	○	
アキアカネ		○			イホカリニナ			○			
コシアキトンボ			○	○	カリニナの一種			○			
半翅	アメンボ	ヒメアメンボ	○	○	○		タニシ	オオタニシ	○		
		アメンボ	○	○	○	マルタニシ		○		○	
		ヒメアメンボの一種	○			ヒメタニシ		○	○	○	
	タイコウチ	タイコウチ	○	○	○	基眼	サカマキガイ	サカマキガイ	○	○	○
		ミスカマキリ	○					モノアラガイ	ヒメモノアラガイ	○	
毛翅	イトヒケラ	ムネカクヒケラ	○	○	○		モノアラガイ	○	○	○	
		シマトヒケラ	○	○	○	柄眼	オカモノアラガイ	ナガオカモノアラガイ		○	○
		ヒメトヒケラ	○	○	○		翼形	イシガイ	カワヒバリガイ	○	○
		エグリトヒケラ	○			マツカサガイ				○	
鞘翅	コツブケンゴロウ	○			タテボシガイ	○			○	○	
	ケンゴロウ	○	○		トンガリササノハガイ					○	
	ガムシ	キロヒラタガムシ		○		マルトブガイ			○	○	
ヒメガムシ		○	○	○	トブガイ	○	○	○			
	ガムシ科の一種	○			シジミガイ	マシジミ	○	○	○		
	ゾウムシ	イネミスゾウムシ	○			等脚	ミスムシ	ミスムシ	○	○	○
双翅	ヌカカ	ヌカカ科の一種	○			十脚	テナガエビ	スジエビ		○	○
		ミキワハエ	ミキワハエ科の一種		○				テナガエビ	○	○
							ザリガニ	アメリカザリガニ	○	○	○
17目	41科	70種	58	49	48						

確認種は平地の池や沼、水田、細流等の止水域～緩流水域に生息する種が大部分を占め、大半が琵琶湖やその周辺の河川で一般的にみられる種であったが、確認種の中には近年減少傾向を示し、レッドリスト（環境庁、2000）<sup>6)</sup>で準絶滅危惧種として掲載されているマルタニシ・モノアラガイ・ナガオカモノアラガイ・トンガリササノハガイ等もみられた。

#### 4. まとめ

魚類調査では、平成10年度～12年度までの合計で5目7科22種の魚類が確認され、その中でもギンブナ・タイリクバラタナゴ・オイカワ・メダカ・トウヨシノボリ等は確認回数、地点、個体数等も多く、実験水路の魚類相を代表する種と考えられる。

「近年、琵琶湖ではオオクチバス（いわゆるブラックバス）、ブルーギルなどの外来魚の増加が問題となっているが、この実験水路内では2種ともあまり増加しておらず、逆に琵琶湖内で減少していると言われているフナなどの在来魚が多数確認できたことは興味深い。これは護岸構造、底質、水深、水温、水の透明度（SS（浮遊物質量）、プランクトン量など）など様々な原因が考えられるが、いずれにしても積極的な移植を行わず、実験センター内に侵入できる条件は外来魚、在来魚とも同じである中で、このような結果が得られたのは特筆できる。」

植物相はコカナダモ・クロモ等の沈水・浮葉植物はいずれも琵琶湖でも確認記録のある種であり、施設水の供給源である葉山川から運ばれてきたものと思われる。そのほか、実験センター周囲の道路や畑から侵入したと思われるイヌタデなどの畑や路傍を好む植物もみられている。

これらの動植物の現況を見ると、人工的な水路とは思えないほど多様な生物相が見られ、河川の下流域～中流域の状況を概ね再現するほどの結果を示した。

#### 5. 参考文献

- 1) 星野義延，河川植生の評価－帰化植物率による評価－．河川環境と水辺植物．208-211，ワトサイエンス社，1996
- 2) 浜端悦治，琵琶湖の沈水植物群落に関する研究(2)－魚群探知機と船上からの採取による分布調査－．滋賀県自然誌，滋賀県自然誌編集委員会編，（財）滋賀県保護財団，1991
- 3) 藤井伸二，琵琶湖湖岸の「原野の植物」とその現状(1)．Nature Study，40(9)，99-104，1994
- 4) 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物（植物I）．環境庁，2000
- 5) レッドリスト 汽水・淡水魚類，環境庁，1999
- 6) レッドリスト 甲殻類・陸淡水産貝類，環境庁，2000

— 成果発表② —

## 6. 土壌浄化実験施設における土壌浸透浄化実験

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 ○和田 桂子  
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 田井中善雄  
国土交通省琵琶湖工事事務所 春木二三男  
国土交通省琵琶湖工事事務所 中村 超

### 要 旨

我々は、琵琶湖において問題となっている富栄養化対策として、流入河川水の土壌浸透による浄化実験を行い、実用化に向けた検討を行ってきた。吸着ろ材としての土壌の選定、処理槽の設計と運転方法、ろ材の寿命等に関する基礎データを踏まえ、高速通水処理と処理槽の閉塞対策に関する検討を進めたところ次の知見が得られ、流入河川水質の改善に対する有効性および実用化の可能性を高めることができた。① 赤玉土を土壌吸着ろ材とした場合、T-P は負荷条件による差はなく、高速通水 (5.0m/日) においても T-P 除去率は約 80%以上、処理水濃度 0.05mg/L 以下を維持できる、② 赤玉土は、流入水の SS 濃度 8mg/L 以下、通水速度 1.5m/日の条件で、1年間の連続通水が可能であり、閉塞時 (下向流) は上部碎石層の攪拌で通水性が回復できる、③ 土壌浸透浄化法は COD に対して約 70%の高い除去効果があり、負荷条件では低負荷の方が高い除去能を示す。

### 1. はじめに

近年、日本各地において湖沼の富栄養化が進み様々な問題を引き起こしている。琵琶湖では、アオコの発生や水道障害などが顕在化し、周辺の都市化の進展や生活様式の変化が原因と見られている。

このような富栄養化への対策として、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター(以下、「Biyo センター」とする)は天然素材である土壌の吸着能力に着眼し、実証規模の浄化実験施設を琵琶湖流入河川の葉山川右岸に設置して、実用化に向けた検討を5年間にわたって行い基礎データを収集してきた。

一連の検討結果のなかから、リン吸着ろ材に適する土壌の選定および処理槽の構造 (層構成、層厚)、運転方法 (通水速度、通水方向) やろ材の寿命については、第1回成果発表会<sup>1)</sup>において報告しており、次の結論に達している。

- ① 土壌吸着ろ材としては赤玉土のリン吸着能力が高い。
- ② 運転条件として下向流、通水速度 1.5m/日、土壌層厚 500mm の時、処理水の年間平均 T-P 濃度は 0.035mg/L (原水の T-P 濃度 0.138mg/L) で約1年間の連続通水が可能であった。
- ③ 赤玉土のリン吸着寿命は土壌層厚 500mm の場合で約2年であると推定された。

本報告では、処理性能の向上と省面積化を意図した高速ならびに長期連続通水処理にともなう、1) 処理効率、および2) 処理槽閉塞とその対策などについて述べる。これらの成果は土壌浄化実験施設の実用化に向けた設計指針の策定に反映される予定である。

### 2. 実験内容

#### 2.1 土壌浄化実験施設の概要

土壌浄化実験施設の処理槽は、幅 6m×長さ 20m×深さ 1.8m の規模である。

図1に示すように、通水抵抗が小さいと考えられる3種類 (5号碎石型、砂ろ過型、赤玉土型) の層構造を作製し、実験を行った。各々の層構成の特長は表1に示すとおりである。

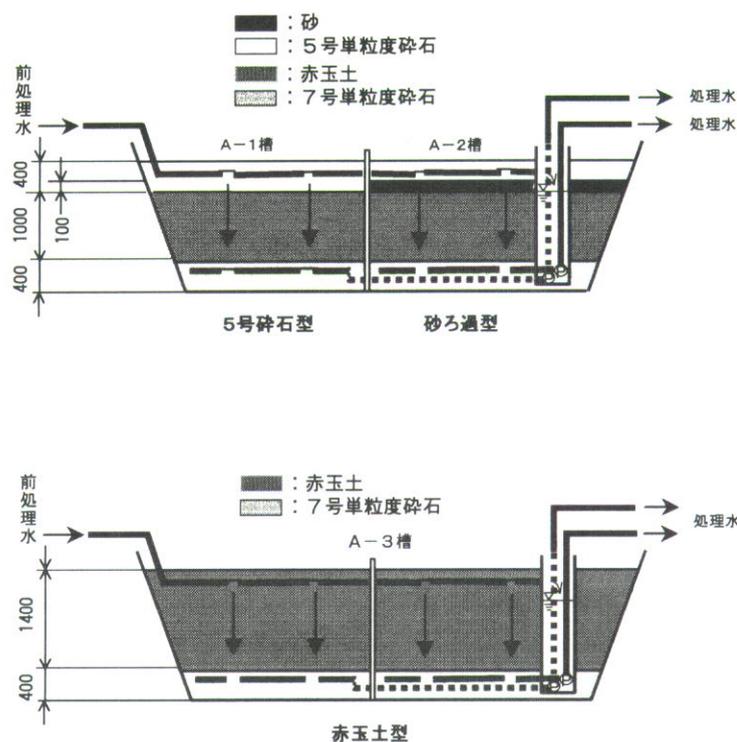


図1 土壤浄化実験の各土壤層断面図

表1 処理槽の構造および特長

タイプ	構造	特長
5号碎石型 (A-1槽)	上部碎石層：5号単粒度碎石(φ13~20mm) 土壌層：赤玉土、土壌層厚 1,000mm 下部碎石層：7号単粒度碎石(φ2.5~5.0mm)	・比較的粒径の大きい5号単粒度碎石で上部碎石層を構成し、給水孔での目詰まりを防止 ・土壌層全体で流入SSを捕捉
砂ろ過型 (A-2槽)	上部碎石層：なし 上部砂層：ろ過砂(φ0.4~0.8mm) 土壌層：赤玉土、土壌層厚 1,000mm 下部碎石層：7号単粒度碎石(φ2.5~5.0mm)	・給水配管を埋設せず、表層を冠水した状態にし、表層全体から水を浸透 ・上部碎石層の代わりに砂層を設け土壌層へのSSの流入を極力防止
赤玉土型 (A-3槽)	上部碎石層：なし 土壌層：赤玉土、土壌層厚 1,400mm 下部碎石層：7号単粒度碎石(φ2.5~5.0mm)	・土壌層全体で流入SSを捕捉する ・閉塞時における入替え作業の簡易化

## 2.2 運転条件

土壤吸着ろ材は赤玉土<sup>2)</sup>とし、処理槽に供した汚濁水は、葉山川からポンプでセンター内の流入水路に取水した河川水であり、土壤浄化施設へ流入させる前に目詰まりの原因となるSS成分を除去するため処理を行っている。通水した方向は下向流方式とした。なお、リンは総リン(T-P)として評価した。

それぞれの運転条件を表2に示す。

表2 処理槽の運転条件

タイプ	A-1槽 5号碎石型	A-2槽 砂ろ過型	A-3槽 赤玉土型
項目			
規模	W6.0m × L10.0m × D1.8m	W6.0m × L10.0m × D1.8m	W6.0m × L10.0m × D1.8m × 2池
前処理	ヨシ水路	ヨシ水路	ヨシ水路
通水量	150~300m <sup>3</sup> /日	150~300m <sup>3</sup> /日	600m <sup>3</sup> /日
水面積負荷	2.5~5.0m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・日	2.5~5.0m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・日	5.0m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・日
通水方式	下向流方式	下向流方式	下向流方式
実験期間	H11.8.23~H12.1.12	H11.8.23~H12.1.12	H12.7.25~H13.2.21

注) 但し、赤玉土型のデータは、2池の平均値について取り扱った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 高速通水による水質浄化特性

高速通水は、処理水量を増やすことにより目的物質の年間削減量を増大することができる。除去性能が維持できれば、施設面積の省スペース化が図れ、用地や維持管理の費用削減も期待されるなど、低速通水と比較して優位性が考えられる。

各々の処理槽について高速通水（2.5m/日～5.0m/日）を行い、通水可能速度の把握およびその処理水質を低速通水（1.5m/日）時のデータと比較、検討した。処理槽毎の主な水質項目（T-P, COD, SS 及び T-N）の浄化特性を図2に、また、通水速度5.0m/日における流入水質と除去率の関係を図3-(1),(2)に示した。

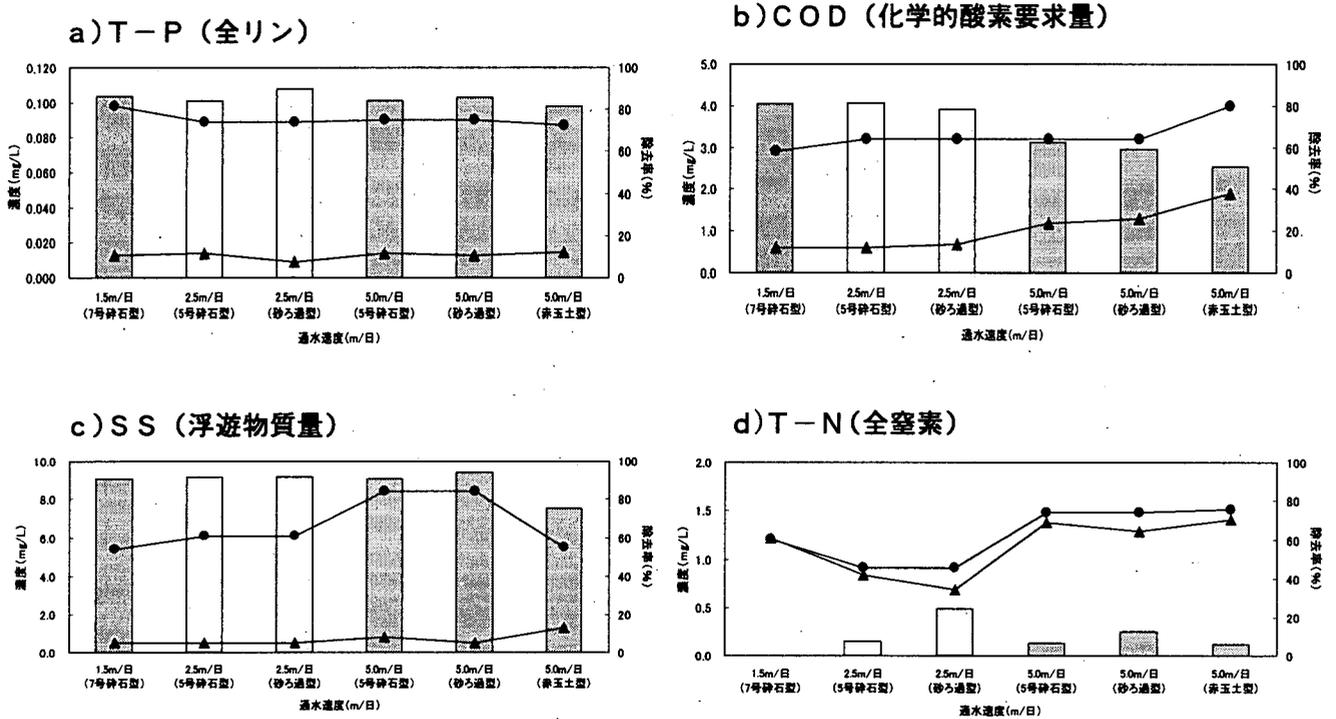


図2 通水速度別における各処理槽の水質浄化性能

■ : 除去率 (%)    ● : 流入濃度 (mg/L)    ▲ : 処理濃度 (mg/L)

注) 1.5m/日におけるデータは、H10.6.1～H10.8.10の5回測定平均値(A-2槽)である。  
 2.5m/日におけるデータは、H11.8.23～H11.9.21の4回測定平均値である。  
 5.0m/日の5号砕石型および砂ろ過型におけるデータは、H11.9.22～H12.1.12の12回測定平均値である。  
 5.0m/日の赤玉土型におけるデータは、H12.7.25～H13.2.21の19回測定の2池の平均値である。

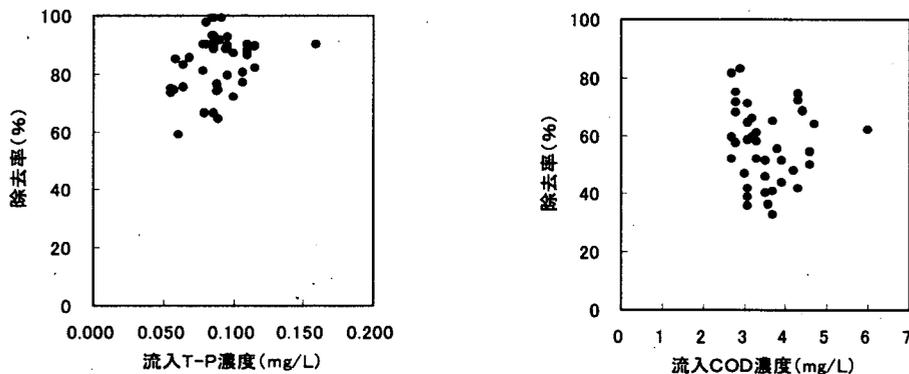


図3-(1) 5.0m/日における流入濃度と除去率

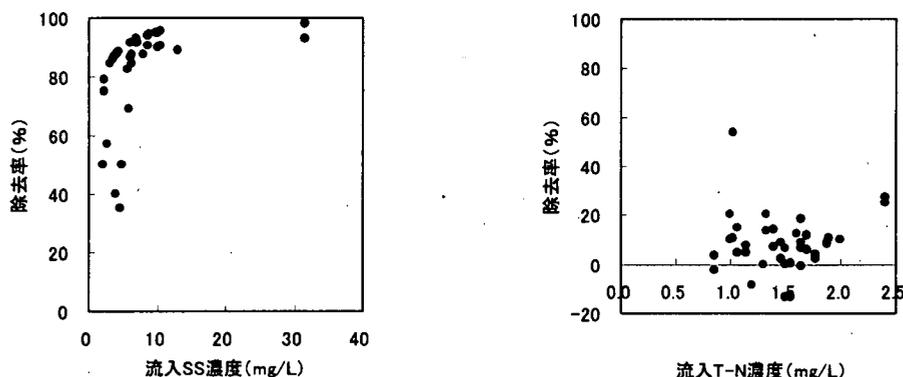


図3-(2) 5.0m/日における流入濃度と除去率

(1) T-P

T-P はどの処理槽、通水速度においても高い除去率であった。また、通水速度 5.0m/日では、流入水の平均 T-P 濃度 0.089mg/L (0.056~0.160mg/L : S.D.0.019mg/L) に対し、処理水の平均 T-P 濃度は 0.014mg/L (0.001~0.032mg/L : S.D.0.008mg/L) と非常に安定した良好な処理水質が得られた。したがって、T-P では通水速度 5.0m/日まで処理可能であることが確認できた。

(2) SS

SS も土壤浸透のろ過作用によって粒子物質が捕捉されるため高い除去率が得られた。なお、粒径の大きい SS はある程度前処理によって処理されるため<sup>3)</sup>、図3-(2)に示すような流入 SS 濃度が低い時に除去率が低くなったのは、処理槽へ流入する SS 中の粒径が、前処理によっても処理されない非常に小さい粒径の割合が大きかったことが原因と思われる。

(3) COD

土壤浸透による水質浄化法は、T-P に対して優れた除去効果を示すことが実証されてきたが、COD の除去にも効果的なことが分かってきた。前処理において懸濁態 COD は除去されているため、処理槽に流入する COD の約 90% が D-COD (溶存態 COD) となっており、COD の除去は土壤の物理的作用以外に土壤自体がフミン質などの有機物を吸着する作用によるものと考えられる。

今回の実験では、図4に示すように COD は高速通水による土壤との接触時間の短縮や赤玉土層厚による土壤層内の滞留時間の減少により除去率が低下することが確認された。しかし、57~74%に達する平均除去率が得られ、Biyo センター内で実施中の他の浄化方法と比べて明らかに高い値である<sup>3,4)</sup>。

したがって、土壤浸透による水質浄化法は、通水速度 (処理水量) と削減量を考慮しながら検討することによって COD が漸増傾向にある琵琶湖に対して有効な対策となりうることを示唆している。

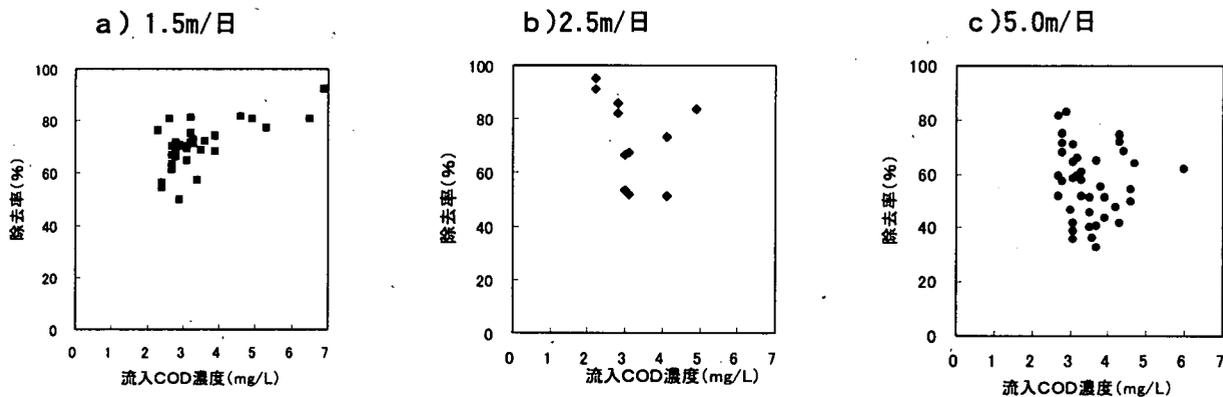


図4 通水速度別における流入COD濃度と除去率

(4) T-N

T-Nについては、前回の報告でも述べたとおりどの通水速度においても低い除去率となった。

したがって、土壌浸透浄化法では窒素分の除去は期待できないため、窒素の除去も同時に行う場合は他の方法との組み合わせ等が必要となる。

3.2 維持管理方法

土壌浄化施設を維持するにあたって最も問題となるのは土壌層の閉塞、つまり目詰まりである。この目詰まりの原因となる SS を流入河川水から除去するための前処理の方法についてこれまでの実験結果をとりまとめた。また、実際に目詰まりした処理槽において、上部表面構造から閉塞状況およびその回復方法を検討した。

(1)前処理方法の SS 処理性能および維持管理性

土壌浄化施設の SS 除去のための前処理として実験に試みた 4 種類のろ過および沈殿による処理方法について評価した (表 3)。

表 3 前処理方法とそれらの得失

前処理方法	平均SS濃度(mg/l)		平均SS 除去率(%)	水面積負荷 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /日)	備 考
	原水	処理水			
マット状繊維ろ材 を用いたろ過*1	17.4	8.6	50.6	950	維持管理が難しい (1ヶ月に数回程度のろ材交換必要)
礫を用いたろ過*2	23.0	13.6	41	950	維持管理が難しい (1週間に1回程度の礫交換必要)
球状繊維ろ材 を用いたろ過*3	16.7	8.5	49	500	増水時などSS負荷や濁度が高い場合は SS負荷調整用の対策が必要
ヨシによる 接触沈殿(H11)*4	16.2	7.5	54	4.5	維持管理が容易 メンテナンスフリーで約1年間運転可能
ヨシによる 接触沈殿(H12)*4	9.9	7.0	29.3	6.8	(高汚濁負荷時のデータが少ない)

- \*1 導水路にマット状繊維ろ材(500×500×50mm、空隙率93%)を敷き詰めたもの
- \*2 導水路に粒径2.5~5.0mm程度の砕石を敷き詰めたもの
- \*3 前処理ろ過器(W600×L600×H1,650mm)に球状繊維ろ材(φ30~35mm程度、空隙率90%以上)を敷き詰めたもの
- \*4 水路型浄化実験施設(W2,000×L24,000×H900mm)にマット工法によるヨシ(約150本/m<sup>2</sup>)を21m区間敷き詰めたもの

マット状および球状繊維ろ材を用いたろ過による方法は、処理後の SS 濃度が平均 8mg/L 程度となるが、1ヶ月に数回のろ材の洗浄・交換や SS の高負荷流入による閉塞の発生などが問題となった。

一方、ヨシによる接触沈殿は、実験期間中の処理水の平均 SS 濃度が 8mg/L 以下を維持することができ、また、目詰まりによる洗浄等の手間の必要がなく維持管理が容易な方法であることが確認できた。

(2)処理槽の閉塞に対する回復作業とその効果

これまでに実験した土壌浄化実験施設の下向流方式における処理槽の閉塞状況およびその回復方法について検討した (表 4)。

表 4 処理槽の閉塞状況および回復方法の比較

項 目	砂 (φ0.4~0.8mm) 通水速度5.0m/日	7号単粒度砕石 (φ2.5~5.0mm) 通水速度1.5m/日	5号単粒度砕石 (φ13~20mm) 通水速度5.0m/日	赤玉土 (中粒度φ8.0mm程度) 通水速度5.0m/日
	主な SS の 堆 積 部 分	砂層表面	砕石層内の 流入配管周辺部	砕石層および 土壌層の全体
閉塞時のメンテナンス性	◎	○	×	○
( 作 業 内 容 )	(表面の砂層の 掻き取り)	(流入配管周辺の 砕石層攪拌)	(槽内の砕石、 土壌の入替)	(上部掻き取り、 追加補充)
そ の 他	・1回/1~2ヶ月に砂 表面の掻き取り作 業が必要 ・夏場は緑藻が虫の 発生が懸念	・連続通水で1年間 の通水が可能 ・砂層と比較した場 合、回復作業量が 多い	・通水抵抗が低く、 高速通水が可能 ・閉塞までの槽内へ のSS堆積量が多い	・通水抵抗が低く、 高速通水が可能 ・流入部付近の赤玉土 崩壊を防ぐため、緩衝 材等の工夫が必要

平成8年度～平成10年度に実験に用いた7号砕石型（通水速度1.5m/日、上部砕石層：7号単粒度砕石φ2.5～5.0mm）の場合、約1年間通水後閉塞した原因は上部砕石層の給水孔周囲約20cmに局在して堆積しているSSによる目詰まりに起因することが推定された。そこで、上部砕石層を混合・攪拌することで給水孔周辺に捕捉されたSSを分散させる方法により回復作業後再び通水した結果、通水速度1.5m/日以上での通水が可能となった。また、閉塞時における赤玉土のリン吸収量の測定から、リン吸着は大部分が上層で行われており、土壌層全体としてリン吸着寿命に余裕があることが確認できた。

一方、高速通水（通水速度2.5m/日～5.0m/日）に用いた砂ろ過型の場合、閉塞時の目視観察では砂層の表面2～3mmが茶褐色に変色し、その上を緑藻が覆っていた。閉塞時の作業は、ろ過砂層の上部の厚さ10mm程度だけを掻き取るというメンテナンス性の容易な方法で回復ができるが、閉塞が起りやすく、その回復作業が1～2ヶ月に1回程度必要となり、その間は流入水を停止せざるを得なかった。

5号砕石型は通水抵抗が低く高速通水が可能であったが、閉塞までの処理槽内のSS堆積量が多く、赤玉土壌の入れ替えが必要と考えられた。

また、赤玉土型は、高速通水において流入配管周辺で流入水の勢いにより赤玉土が崩壊し、そのために閉塞が発生した。しかし、表層下20～30cmの通水性は良好であったため、流入部付近の赤玉土の崩壊を防ぐための流入配管の施工、緩衝材などの敷設など通水方法を改善することによって、維持管理の容易な高速通水が可能であることが示唆された<sup>5)</sup>。

#### 4. まとめ

Biyoセンターにおいて、土壌浸透による水質浄化法の実証実験を5年間にわたって行った。その結果、琵琶湖流入河川の水質改善に寄与することを確証させる基礎データが得られており、主な水質除去効率と施設の維持管理の観点からまとめた。

- ① 赤玉土を土壌吸着ろ材とした場合、T-Pは負荷条件による差はなく、高速通水（5.0m/日）においてもT-P除去率は約80%以上、処理水濃度0.05mg/L以下を維持できる。
- ② 赤玉土は、流入水のSS濃度8mg/L以下、通水速度1.5m/日の条件で、1年間の連続通水が可能であり、閉塞時（下向流）は上部砕石層の攪拌で通水性が回復できる。
- ③ 目詰まり防止のためのSS除去方法として、ヨシによる接触沈殿は処理水の平均SS濃度8mg/L以下を維持でき、維持管理の容易な前処理方法である。
- ④ 土壌浸透浄化法は、CODに対しても約70%の高い除去効果がある。

#### 5. 引用文献

- 1) 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター成果発表会講演集（1999）
- 2) 建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所；平成9年度水質浄化実験業務報告書（1998）
- 3) 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報；第1号（1999）
- 4) 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報；第2号（2000）
- 5) 国土交通省近畿地方整備局琵琶湖工事事務所；平成12年度水質浄化実験業務報告書（2001）

## 7. 自然循環方式浄化実験

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 ○三井 光彦  
 財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 田井中善雄  
 東洋電化工業株式会社 高尾 圭一  
 東洋電化工業株式会社 三宮 秀治

### 要 旨

本実験は琵琶湖に流入する葉山川河川水を対象として、比較的低濃度負荷を含んだ河川水の浄化実験を行い、適用性や実用化に対する問題点及び課題を検討した。本実験による汚濁負荷除去量は、150~200m<sup>3</sup>/日通水時において、SSで96%、BODで5%、CODで30%、T-Pで49%、T-Nで21%となり、特にSSの除去率が高く、懸濁態の汚濁負荷については非常に高い除去効果を得た。ただし、通水量150 m<sup>3</sup>/日以上では、現状の鉄系脱リン材ではPO<sub>4</sub>-Pの除去は難しいと考えられた。また、BOD、CODについては冬季の水温の下がる時期には、3~5割程度除去率が減少することが確認された。

#### 1. はじめに

自然循環方式は、水田等における自浄作用を手本とし、本来自然が持っている物質循環の自然浄化方式を活かした排水処理手法である<sup>1)</sup>。この浄化方式は、下水道の未普及地域において、河川に流入する前の生活雑排水路の浄化を対象として開発されているため、河川水と比較して高濃度の負荷を含んだ排水に対しては多数の実績がある。この環境を考慮した浄化方式を比較的低濃度に汚染された河川水等に適用することは有意義なことである。そこで、本実験は琵琶湖に流入する葉山川河川水を対象として、比較的低濃度負荷を含んだ河川水の浄化実験を行い、適用性や実用化に対する問題点及び課題を検討した。なお、本実験は、1999年4月から実施しており、現在も継続中である。ここでは、1999年5月から2001年2月までの実験結果を報告する。

#### 2. 自然循環方式浄化施設について

自然循環方式浄化施設は、ポンプアップ等によるエネルギー消費を抑えることや冬季における保温等を考慮し、地下埋没を基本とした自然流下型水処理装置として開発されている。また、充填するろ材は、なるべく自然素材や入手が容易な素材を加工して用いることとしている。本実験に使用した施設の断面図及びろ材構成を図2-1に示す。また、充填材の特徴<sup>2)</sup>を表2-1に示す。

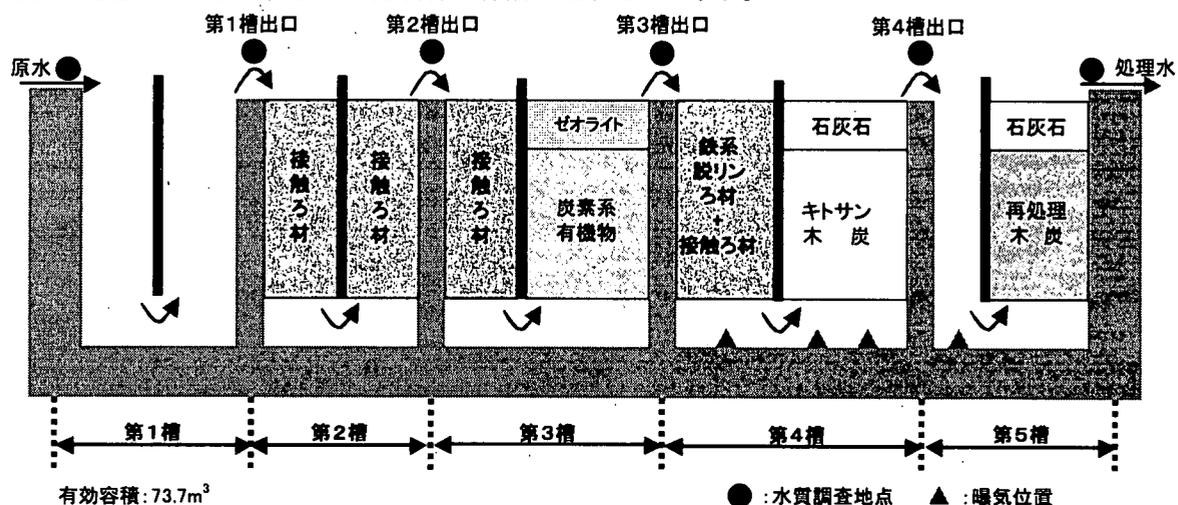


図2-1 施設の断面図及びろ材構成

表 2-1 充填材の特徴<sup>2)</sup>

名 称	材質・物性	特 徴
接 触 ろ 材	ポリプロピレン樹脂	構造特性により水中の浮遊物・ゴミ等を除去。また、ろ材に着生した微生物により水中の有機物の削減が期待できる。
ゼオライト系鉱物	陽イオン交換容量 150meq/100g 以上	大きい陽イオン交換性を持ち、アンモニア態窒素を吸着除去する。
炭素系有機物	しいたけホダ木等 C/N比 80 以上	C/N 比が大きく微生物にとって窒素が少ない環境のため、微生物が窒素を取り込みやすい状況をつくり出す。また微生物の繁殖にとって好ましい多孔構造をしており、脱窒の促進を促す。
脱 リ ン ろ 材	鉄系素材	リンを水中のリン酸と難溶性化合物を生成させることで除去。
キ ト サ ン 木 炭	木炭とキトサンの複合体	微生物が住みつきやすい条件を備えており、微生物の機能を発揮させ、BOD・COD を除去。
石 灰 石	鉱物	他のろ材のおもしとして槽最上部に用いる。硝化反応による pH 低下の防止など pH 調整機能あり。
再 処 理 木 炭	木炭 比表面積 100m <sup>2</sup> /g	再燃成処理が施された木炭で、物質を強く吸着する能力があり、脱色・脱臭を行う。合成有機物・浮遊物質の吸着濾過効果もある。

### 3. 実験方法

実験施設にろ材を充填し、葉山川河川水を使用して、連続通水実験を行った。実験スケジュールを表 3-1 に示す。実験期間中のモニタリングは、図 2-1 に示した水質調査地点（6 地点）において、月 1 回の頻度で実施した。なお、採水時に現地で pH・EC・DO・ORP・透視度の測定を行った。試料を実験室に持ち帰っての水質分析は、SS・COD・BOD・T-N・NH<sub>4</sub>-N・NO<sub>2</sub>-N・NO<sub>3</sub>-N・T-P・PO<sub>4</sub>-P・色度・濁度の計 11 項目について行った。なお、この施設では、実験期間を通じて、年に 2 回のメンテナンスを行っている。

表 3-1 実験スケジュール

通水量	運転期間
50m <sup>3</sup> /日	1999年5月6日～1999年8月18日
100m <sup>3</sup> /日	1999年8月19日～2000年3月29日
150m <sup>3</sup> /日	2000年3月30日～2000年8月17日
200m <sup>3</sup> /日	2000年8月18日～2001年2月28日

### 4. 結果と考察

#### 1) 通水量別除去率

表 4-1 に通水量別除去率（SS, COD, BOD, T-N, T-P）を示す。SS については、実験期間中を通じて非常に高い除去率を得ることができた。また、通水量の増大による影響も認められない。BOD、T-P については、平均除去率で 50% 以上の値を得ることができた。しかし、COD、T-N については低い除去率に留まった。以下に項目別に述べる。

表 4-1 通水量別除去率

項目	50m <sup>3</sup> /日 (春～夏)	100m <sup>3</sup> /日 (夏～冬)	150m <sup>3</sup> /日 (春～夏)	200m <sup>3</sup> /日 (夏～冬)	全通水量
SS	88.6%	84.7%	99.8%	93.5%	91.2%
COD	30.8%	14.9%	41.1%	20.8%	24.3%
BOD	30.0%	52.7%	74.3%	58.0%	57.2%
T-N	68.8%	32.1%	35.2%	9.4%	29.9%
T-P	80.9%	55.0%	60.9%	36.5%	53.6%

## 2) SSについて

図 4-1 に原水及び処理水の SS 濃度の経時変化を示す。

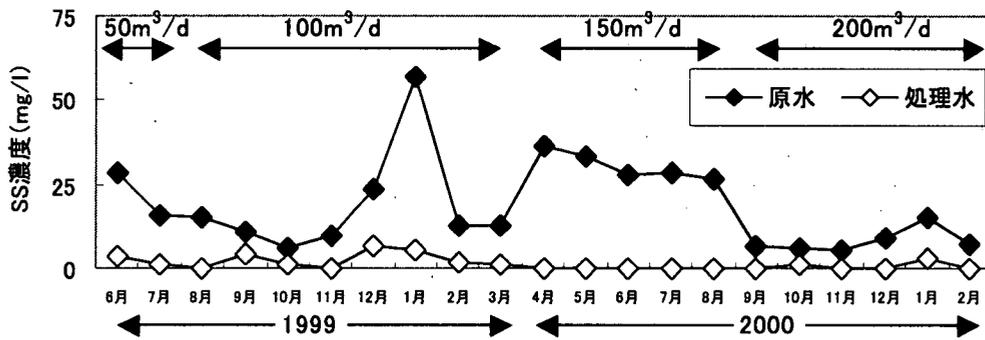


図 4-1 原水及び処理水の SS 濃度の経時変化

図 4-1 より、原水の SS 濃度は、5.9~56.9mg/l の間で大きくばらついているが、処理水は概ね 5 mg/l 以下（平均濃度：1.45mg/l）であり、原水濃度の変動にほとんど影響されていないことが確認できる。また、1999 年度よりも 2000 年度のほうが、処理水濃度が安定している傾向がみられ、通水量の増大による影響は受けておらず、2000 年度は通水開始後 1 年以上が経過し、装置的に安定してきたものと考えられる。図

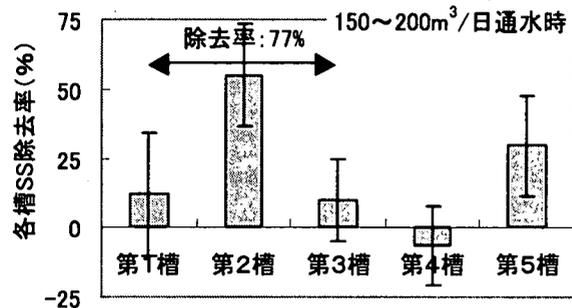


図 4-2 各槽別 SS 除去率の比較

4-2 は、2000 年度の 150~200m<sup>3</sup>/日通水時の測定値から各槽ごとの SS 平均除去率を示したものである。図 4-2 より、流入した SS の約 77% は、第 1~3 槽で除去されており、特に接触ろ材の充填されている第 2 槽で大きく除去されていることがわかる。しかし、第 4 槽において、キトサン木炭等が原因と考えられる SS 成分の流出が認められるが、それらは第 5 槽において取り除かれていると考えられる。本施設において、SS は 150~200m<sup>3</sup>/日通水時でも平均 97% の除去率を確保しており、更なる通水量の増大も可能と考えられる。

図 4-2 より、流入した SS の約 77% は、第 1~3 槽で除去されており、特に接触ろ材の充填されている第 2 槽で大きく除去されていることがわかる。しかし、第 4 槽において、キトサン木炭等が原因と考えられる SS 成分の流出が認められるが、それらは第 5 槽において取り除かれていると考えられる。本施設において、SS は 150~200m<sup>3</sup>/日通水時でも平均 97% の除去率を確保しており、更なる通水量の増大も可能と考えられる。

## 3) T-P について

図 4-3 に原水及び処理水の T-P 濃度の経時変化を示す。

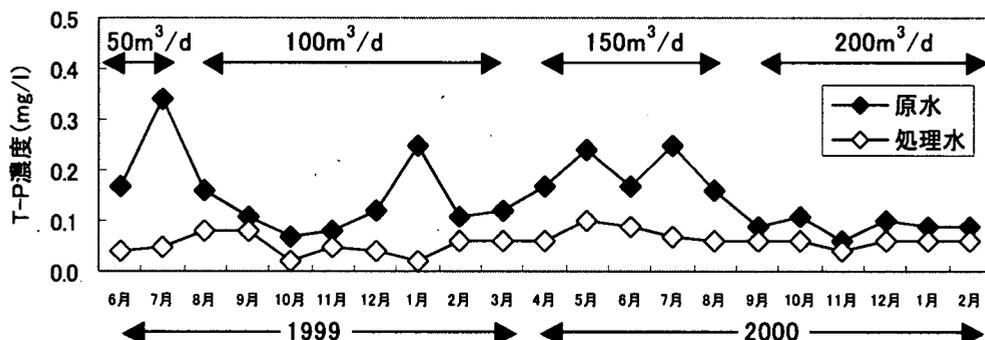


図 4-3 原水及び処理水の T-P 濃度の経時変化

図 4-3 より、SS と同じく原水濃度が大きく変動しているのに対し、流出水濃度は、0.05mg/l 前後で推移していることが確認できる。表 4-1 より、200m<sup>3</sup>/日通水時のリン除去率が低いのが、これは図 4-3 より、原水濃度が低く推移したために引き起こされたものであり、処理水濃度は 0.05 mg/l 程度で一定値であることから、除去効果が下がったとは判断できない。自然循環方式での T-P の除去は、懸濁態リンの沈降及びろ過、脱りん材へ吸着が考えられる。そこで脱りん材への吸着効果を見るために、図 4-4 に原水及び処理

水の  $PO_4\text{-P}$  濃度の経時変化を示す。

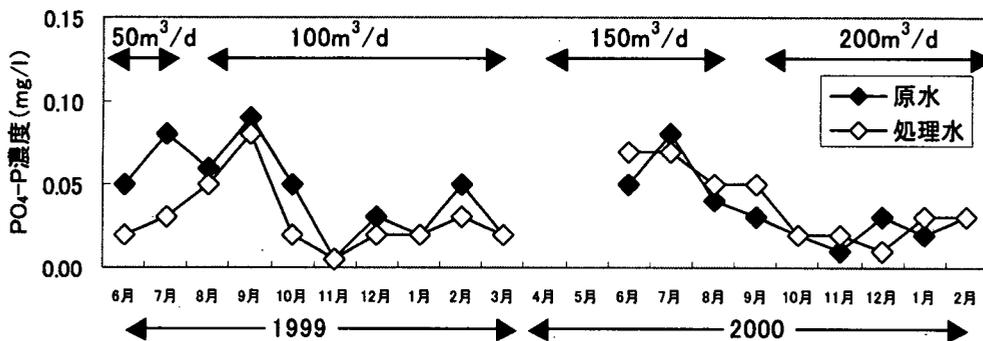


図 4-4 原水及び処理水の  $PO_4\text{-P}$  濃度の経時変化 (2000年4,5月については欠測。)

図 4-4 より、 $50\text{m}^3/\text{日}$  通水時以外は、 $PO_4\text{-P}$  の除去効果は認められないことがわかる。表 4-2 に通水量別の  $PO_4\text{-P}$  の除去率を示す。原水の  $PO_4\text{-P}$  平均濃度が  $0.04\text{mg/l}$  と低く、また原水と処理水の濃度差が非常に小さいため、正確とは言えないが、通水量の増大により除去率が減少していることが確認できる。さらに  $150\text{m}^3/\text{日}$  以上では  $PO_4\text{-P}$  の除去効果はほとんどないと考えられる。以上のことから少なくとも高通水時の場合は、 $PO_4\text{-P}$  の脱リン材への吸着はほとんどないと考えられる。

表 4-2 通水量別の  $PO_4\text{-P}$  の除去率

通水量	除去率	標準偏差
$50\text{m}^3/\text{日}$	61.3%	1.8
$100\text{m}^3/\text{日}$	20.1%	22.3
$150\text{m}^3/\text{日}$	-17.5%	27
$200\text{m}^3/\text{日}$	-25.0%	59.4

T-P については、懸濁態リンの除去が大部分を占めると考えられ、 $PO_4\text{-P}$  の除去については、 $50\sim 100\text{m}^3/\text{日}$  程度の低通水時ならば認められるが、 $150\text{m}^3/\text{日}$  以上ではほとんどないと考えられる。しかし、データ数は少ないが、 $50\text{m}^3/\text{日}$  通水時に除去効果が認められることから、高通水時でも脱リン材の充填領域を増やし、接触時間を長くすることで  $PO_4\text{-P}$  が除去できる可能性はあると思われる。

#### 4) BOD 及び COD について

原水及び処理水の経時変化を BOD 濃度については図 4-4 に、COD 濃度については図 4-5 に示す。

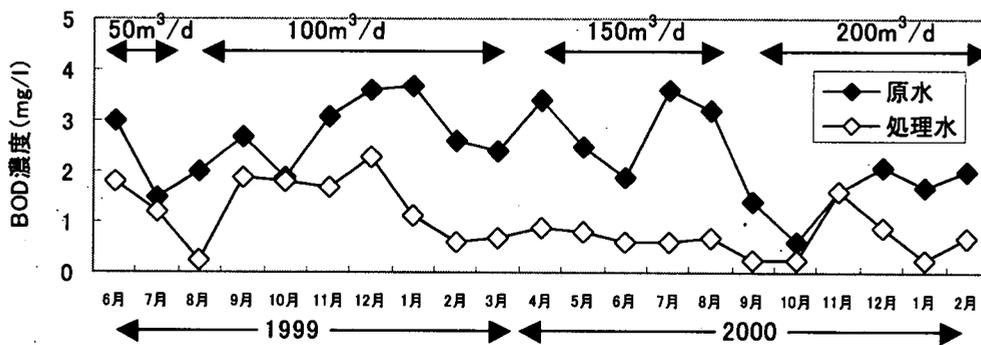


図 4-4 原水及び処理水の BOD 濃度の経時変化

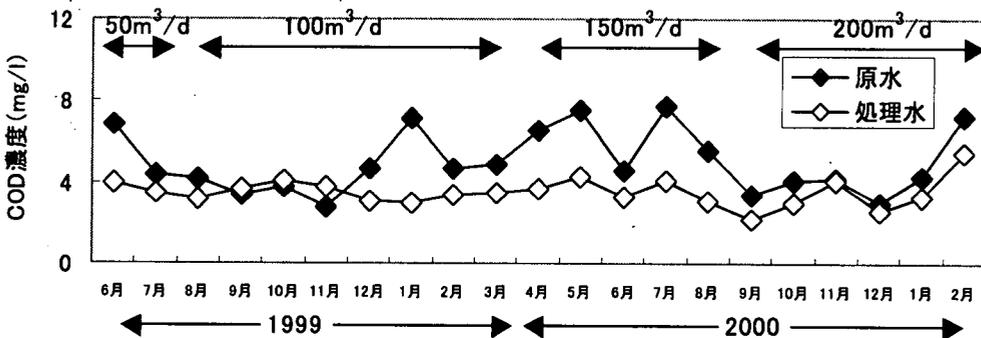


図 4-5 原水及び処理水の COD 濃度の経時変化

図4-4、4-5より、実験開始時から1999年11月ごろまでの約半年間の間、BODについては処理水のばらつきが大きく、CODについては除去効果がほとんど認められない。その後、BOD、COD共に処理水は安定した値を得ているが、200m<sup>3</sup>/日通水時はCODの除去率が下がる結果となった。まず、実験開始当初の傾向についてであるが、本実験施設では脱窒効果を促進させるために第3槽（脱窒槽）に炭素系有機物が充填しており、この充填材から必要量以上の有機物の初期溶出があったと考えられる。図4-6に実験期間を通じての第3槽の流入部と流出部のBOD及びCOD濃度から算出した値を第3槽（脱窒槽）の有機物余剰量として経時変化を示す。

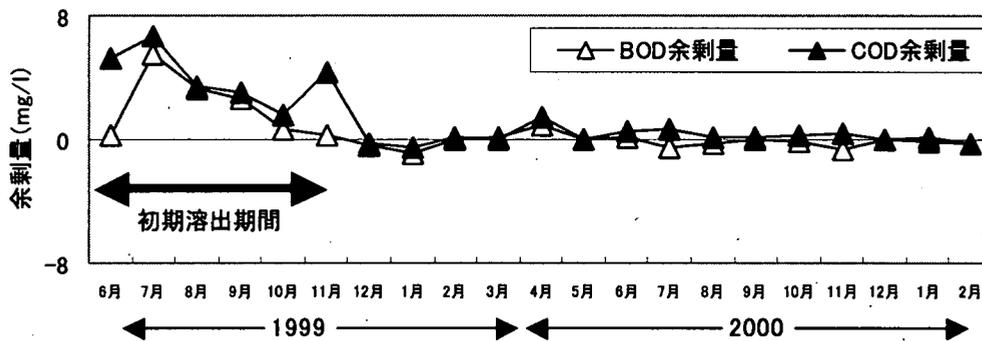


図4-6 第3槽（脱窒槽）の有機物余剰量の経時変化

図4-6より、実験開始時から1999年11月まで第3槽のBOD及びCOD余剰量は大きく正の値を観測しており、必要以上の有機物が溶出していることがわかる。その後、炭素系有機物はなじんできたと思われ、余剰量は0mg/l付近で一定となり、少なくとも有機物の供給過多の状態は逸し、安定したものと考えられる。微生物による水質浄化を期待する場合、水温の変動により、除去効果が左右される。そこで、水温の変化によるBODおよびCOD除去能力の違いを検討するために、200m<sup>3</sup>/日通水時の水温15℃以上と未満のときに分類し、表4-3に示す。表4-3より、BOD、CODともに原水平均濃度がほぼ同じなのに対し、水温が15℃未満の時のBOD除去率は77%→53%に、同じくCOD除去率で37%→17%の結果となり、特にCOD除去率の低下が大きい。次に、低水温下(15℃未満)での通水量の変化によるBODおよびCOD除去率の違いを検討するために、100m<sup>3</sup>/日と200m<sup>3</sup>/日で分類し、表4-4に示す。表4-4より、BODについては原水平均濃度に差があるものの同程度の除去率が得られたが、CODについては、通水量の増により除去率が低下(31%→17%)し、通水量を増大させても除去量は同程度という結果となった。

表4-3 水温別BOD・COD除去量(200m<sup>3</sup>/日通水時)

分類	項目	BOD	COD
水温15℃以上 (データ数3)	原水平均(mg/l)	1.7	4.4
	処理水平均(mg/l)	0.4	2.8
	除去率(%)	77	37
水温15℃未満 (データ数3)	原水平均(mg/l)	1.9	4.7
	処理水平均(mg/l)	0.9	3.9
	除去率(%)	53	17

表4-4 通水量別BOD・COD除去量(水温15℃未満)

分類	項目	BOD	COD
100 m <sup>3</sup> /日 通水時 (データ数5)	原水平均(mg/l)	3.1	4.8
	処理水平均(mg/l)	1.3	3.4
	除去率(%)	58	31
200 m <sup>3</sup> /日 通水時 (データ数4)	原水平均(mg/l)	1.9	4.7
	処理水平均(mg/l)	0.9	3.9
	除去率(%)	53	17

## 5) T-Nについて

図4-7に原水及び処理水のT-N濃度の経時変化を示す。

図4-7から50~150 m<sup>3</sup>/日通水時は除去効果が認められるが、200 m<sup>3</sup>/日通水時にはほとんど除去効果は認められない。自然循環方式においてT-Nの除去は、微生物の働きにより除去されるために、水温に左右

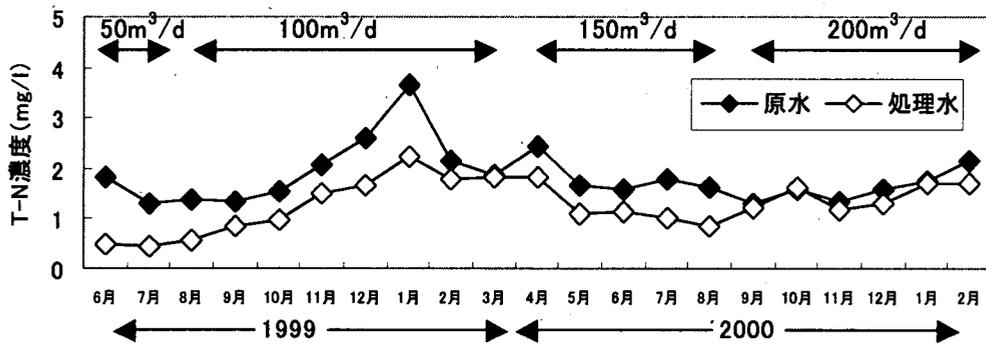


図 4-7 原水及び処理水の T-N 濃度の経時変化

されるが、200 m<sup>3</sup>/日通水時とほとんど同様の気候である 100m<sup>3</sup>/日通水時には浄化効果が認められていることから、200 m<sup>3</sup>/日通水時では、脱窒のために必要な反応時間が短くなり、脱窒が起こりにくい状態になったと考えられる。また、100m<sup>3</sup>/日通水時は実験施設設置 1 年以内ということで炭素系有機物からの有機物の供給は高かったが、200 m<sup>3</sup>/日通水時には脱窒に必要な有機物を供給しきれていなかった可能性も考えられる。

## 5. まとめ

本実験による汚濁負荷除去率は、150~200m<sup>3</sup>/日通水時において、SS で 96%、BOD で 65%、COD で 30%、T-P で 49%、T-N で 21% となり、特に SS の除去率が高く、懸濁態の汚濁負荷については非常に高い除去効果を得ることができた。リンについては、100m<sup>3</sup>/日程度の通水量ならば PO<sub>4</sub>-P の除去は認められるが、150 m<sup>3</sup>/日以上では、現状の鉄系脱リン材の量では難しいと考えられた。また、BOD については冬季の水温が下がる際には、除去率が低くなるものの、水温 15℃未滿で流入水の濃度が 2mg/l 以下と生物処理には不利な条件下においても除去効果が確認できた。COD については、分解に時間がかかると考えられ、200m<sup>3</sup>/日通水時には、除去率は 100m<sup>3</sup>/日通水時から半減した。T-N については、150m<sup>3</sup>/日通水時までなら除去効果が認められるが、200m<sup>3</sup>/日通水時にはほとんど除去効果が認められなかった。

## 6. 今後の展開

本年度は通水量を 150m<sup>3</sup>/日に下げ、年間を通じてモニタリングを行うこととし、新たに汚泥返送機能を加え、汚泥中の有機物を炭素系有機物の補助として利用し、窒素除去能を高める実験を行っている。

## 7. 参考文献

- 1) 自然循環方式浄化実験, 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報第 2 号, 125-138, 2000.
- 2) 四万十川方式 (自然循環方式) 最終報告書, 四万十川方式水処理技術研究会, 平成 12 年 3 月.
- 3) 松本聰, 排水処理への土壌機能の活用現状と展望-自然循環方式 (四万十川方式) による浄化方法を例として-, 環境技術, vol.28, No.11, pp24-28, 1999.

## 8. 琵琶湖型実験池におけるひも状繊維接触材方式浄化実験

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 ○馬場 玲子  
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 田井中善雄  
株式会社日立製作所 土浦工場 仲平 四郎  
株式会社日立製作所 機械研究所 田中 哲也

### 要 旨

貯水量約 1000m<sup>3</sup> の実験池に原水ポンプの動力源に商用電源とソーラー電源を併用し、接触材としてひも状繊維をもちいた浄化施設を設置して浄化特性を把握し、湖沼等の閉鎖性水域への適用性を検討した。主に生物処理による接触酸化浄化方式であるので、浄化性能に影響を及ぼすと考えられる曝気の有無、最適処理量などの検討を行った。

その結果、接触時間 1～3 時間で夏期のクロロフィル a 除去率は 50～80%程度が得られ、原水クロロフィル a が 20μg/L 以上の範囲で良好な性能を示した。また、本浄化施設の総処理量が約 350m<sup>3</sup>/日以上で最大のクロロフィル a 除去量が得られると予想された。

### 1. はじめに

琵琶湖水域は 20 数余りの内湖を有しており<sup>1)</sup>、その内湖や入り組んだ湖畔等の閉鎖的水域は滞留しやすく、植物プランクトンによる水質汚濁が進行しやすい<sup>2)</sup>。特に植物プランクトンが過剰に増殖すると、アオコ発生等の水質障害を引き起こす。このような汚濁水域には、高い浄化性能を有し保守性に優れ、かつ自然エネルギーを利用して省エネを図る等、経済的効果が高いシステムの適用が望まれる。浄化システムとしては、微生物の浄化エネルギーを利用し、有機汚濁物の減容化を図り、かつ添加剤等を使用しない環境に安全なシステムが適していると考えられる。

構造設計が柔軟性に富みかつ保守も容易な浄化装置には、軽量ろ材を採用することがキーポイントとなる。そのため、ここでは軽量ろ材（接触材）としてひも状繊維を選定した。生物処理による接触酸化浄化方式は、処理量、曝気の有無、水温等によって浄化性能が影響を受けることが考えられる。ここでは浄化施設の運転の最適化を図るために、それら因子に対する諸特性を調査した。

### 2. 実験施設および実験方法

#### 2.1 実験池概要

本研究は、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター（滋賀県草津市）の実験池内に浄化施設を設置して現地試験を行った。図 2-1 に実験池の概要を示す。

実験池は琵琶湖を 1/600 の縮尺で模擬した深さ 0.5m、貯水量約 1000m<sup>3</sup> の池で、葉山川の水が流入するようになっている。水は図中右側にある流入部から流入し、左端の流出部から日量約 50m<sup>3</sup> 流出する。従って池の滞留日数（池の貯水量を池への一日当たり通水量で除した量）は約 20 日となる。

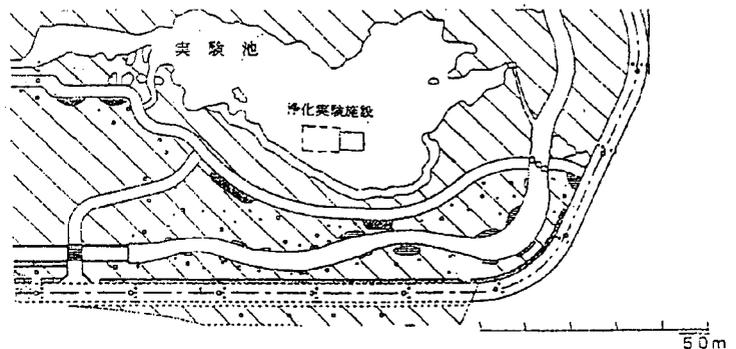


図 2-1 実験池の概要

## 2.2 実験施設概要

図 2-2 に浄化施設の構造を、写真 2-1、2-2 に施設の外観を示す。

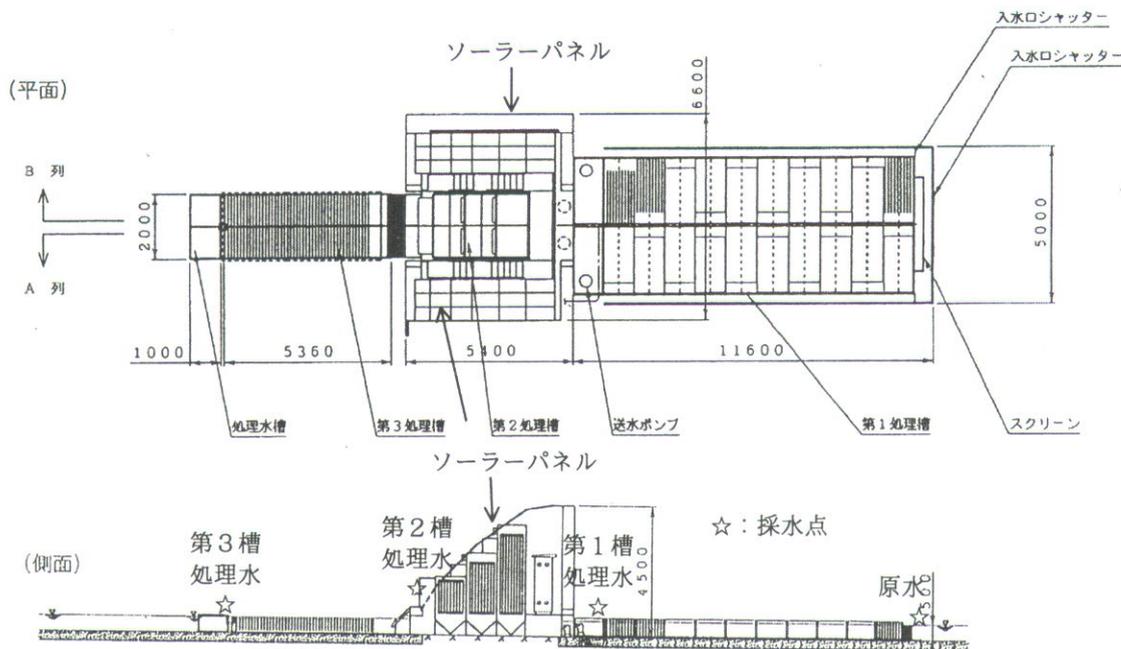


図 2-2 実験施設の構造

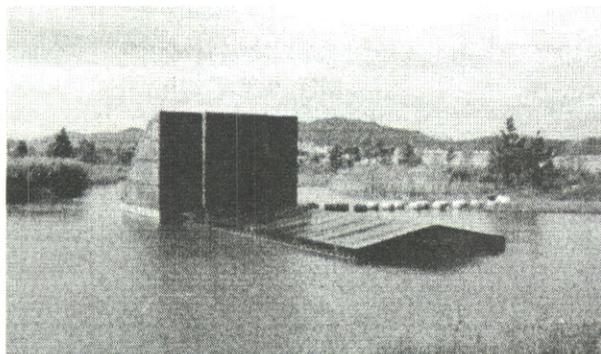


写真 2-1 実験施設第1槽外観

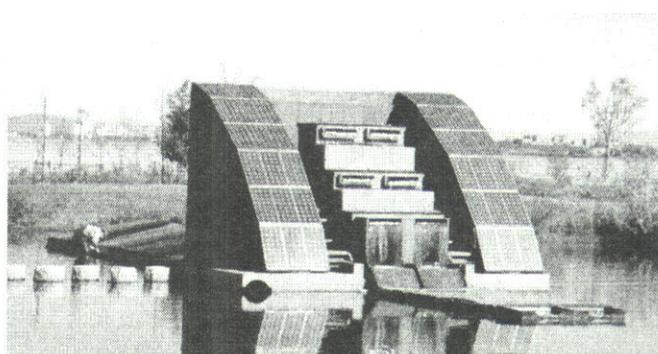
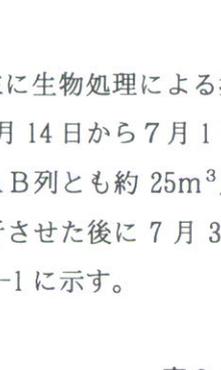


写真 2-2 実験施設第2、3槽外観

実験施設は、全体が3槽で構成され、第1槽の下流側端部に通水ポンプが設置されている。さらに全体を同一構成の2系列（A列とB列）に分割した。また、第1槽は浮上型構造を考慮して平面的に広い構造としたのに対し、第2槽は好気処理槽として常時曝気を行うため上下に高い槽とした。第3槽は沈降槽としての機能を持たせる槽（曝気無し）を設けた。各槽にはひも状繊維接触材が充填されており、その仕様を表 2-1 に示す。第1、3槽は無機物の付着性能が高いとされ、芯部が密に編まれた幅の狭いものを選定し、第2槽は全体にわたって好気作用が助長されやすいように幅の広いものを選定した。各槽の1列あたりの容積は、第1槽が $10\text{m}^3$ 、第2槽が $4.4\text{m}^3$ 、第3槽は $2.5\text{m}^3$ とした。

また、ポンプ動力として太陽エネルギーを使用することで経済性を図り、第1層の通水ポンプのA列にはソーラー電源（パネル36枚 $2.05\text{kW}$ ）で駆動され、電力の不足時は商用電源で賄われる。

表 2-1 ひも状繊維接触材の仕様

	仕 様	外観写真	
第1・3槽	サイズ	: 幅 40mm	
	材質	: ナイロン、ポリプロピレン、ポリエステル (芯部)	
	比重	: 1.7	
	耐引張力	: >300N/20cm	
	伸び	: >35%	
	比表面積	: 4m <sup>2</sup> /m	
	質量	: 15g/m	
	価格	: 780¥/m	
第2槽	サイズ	: 幅 70mm	
	材質	: 塩化ビニリデン、ポリエステル (芯部)	
	比重	: 1.7	
	耐引張力	: >600N/20cm	
	伸び	: >35%	
	比表面積	: 2m <sup>2</sup> /m	
	質量	: 25g/m	
	価格	: 800¥/m	

### 2.3 実験条件

浄化施設の処理水量は、平成 11 年度は A B 各列とも 150m<sup>3</sup>/日とし、平成 12 年度は A 列で 100m<sup>3</sup>/日、B 列で 200m<sup>3</sup>/日として運転を行った。試験中は、原水および各列各槽の処理水について植物プランクトン濃度を表すクロロフィル a をはじめとする様々な水質項目についての分析を適時実施した。

なお、採水点は図 2-2 に示した通りであり、採水時刻は 13 時から 15 時頃とした。

また、沈降槽としてもうけた第 3 槽だが、平成 11 年度の実験により第 3 槽は浄化処理にほとんど寄与していないことから、今回は第 3 槽を評価から除外した結果について報告する。

## 3. 実験結果

### 3.1 曝気の影響

平成 11 年度は、主に生物処理による接触酸化浄化方式で浄化性能の影響を受ける曝気の影響について検討した。平成 11 年 6 月 14 日から 7 月 1 日まで施設の試運転を行ったのに引き続いて、生物膜形成のための少流量での試運転 (A B 列とも約 25m<sup>3</sup>/日、合計 50m<sup>3</sup>/日) を開始した。夏期の温度上昇による池の藻類汚濁をある程度進行させた後に 7 月 31 日から定格流量での本運転を開始し、1 月末まで実験を行った。施設の運転条件を表 3-1 に示す。

表 3-1 平成 11 年度 施設運転条件

		A 列	B 列
通水量		150m <sup>3</sup> /日	150m <sup>3</sup> /日
第1槽	曝気	なし	あり
	滞留時間	1.6 時間	1.6 時間
第2槽	曝気	あり	あり
	滞留時間	0.7 時間	0.7 時間

各列とも原水と第2槽処理水のクロロフィルaの経日推移を図3-1に示し、クロロフィルa除去率(夏期)の推移を図3-2に示す。ここで、第1槽についてはA列では曝気を行わず、B列では曝気を行った条件で運転した。夏期(11/8/23~10/15)のクロロフィルa除去率の平均は、85%と良好な値が得られた。また、A列で性能の差はほとんど見られないことから、本実験条件では第1槽での曝気有無は性能への影響が小さいことがわかった。

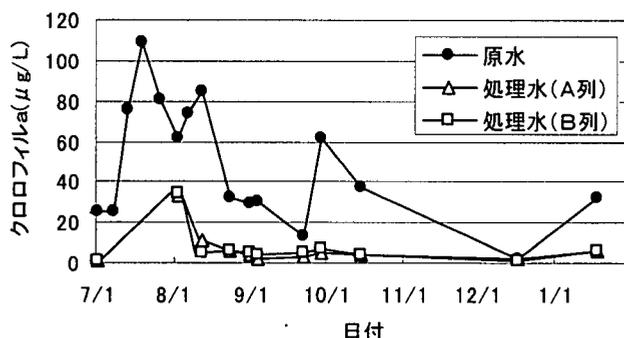


図3-1 原水・処理水(第2槽)のクロロフィルa濃度の経日推移

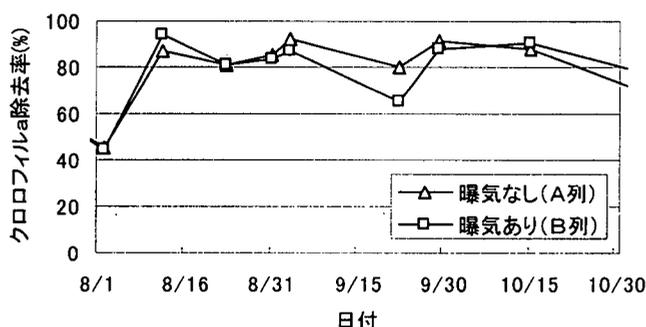


図3-2 クロロフィルa除去率の経日推移(夏期)

### 3.2 処理量の影響

上記の結果から、平成12年度はA、B系列ともに第1槽は曝気なしとし、ひも状繊維方式の特性(処理量の影響)について検討した。平成12年6月7日から10日に昨年度からの運転により槽内に蓄積した汚泥の排出およびひも状接触材の洗浄を行うとともに、6月10日より生物膜形成のための少流量での試運転(A、B列とも約25m<sup>3</sup>/日、合計50m<sup>3</sup>/日)を開始した。夏期の温度上昇による池の藻類汚濁をある程度進行させた後に8月7日から定格流量での本運転を開始し、1月末まで実験を行った。施設の運転条件を表3-2に示す。

表3-2 平成12年度 施設運転条件

		A列	B列
通水量		100m <sup>3</sup> /日	200m <sup>3</sup> /日
第1槽	曝気	なし	なし
	滞留時間	2.4時間	1.2時間
第2槽	曝気	あり	あり
	滞留時間	1.1時間	0.5時間

原水と第2槽処理水のクロロフィルaの経日推移を図3-3に示す。

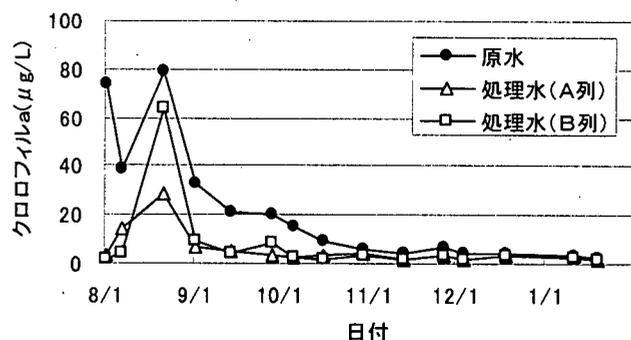


図 3-3 原水・処理水（第 2 槽）のクロロフィル a 濃度の経日推移

本運転開始から処理水のクロロフィル a 濃度は低下したが、A 列は 8 月 25 日以降（本運転開始から 18 日後）、B 列は 9 月 1 日以降（25 日後）には処理水のクロロフィル a は安定した低濃度で推移した。B 列の方が安定に要する期間が長い結果となったが、B 列の通水ポンプが電源計の不具合により停止することがあり、この影響も考えられるので A B 間の処理量の違いによる結果であるかは不明である。

夏期の性能が安定した期間（H12/9/1～10/16）のクロロフィル a 除去率の推移を図 3-4 に示す。この期間中の水温は常時 20℃ 以上であった。昨年度と同様にクロロフィル a に関しては A B 列とも 2 槽合計で 70% 以上の良好な浄化性能が得られた。

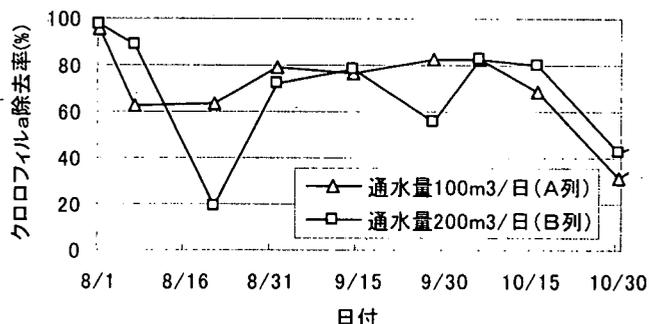


図 3-4 クロロフィル a 除去率の経日推移（夏期安定期）

#### 4. 考察

##### 4.1 温度

原水クロロフィル a 濃度と除去率との関係を整理すると図 4-1 が得られる。ここでは性能が安定した平成 12 年度 9 月 1 日以降のデータをプロットした。結果は原水クロロフィル a 20 μg/L 以上、水温 20℃ 以上の範囲では安定した除去率が得られており、約 70% 以上の高い除去率を示した。

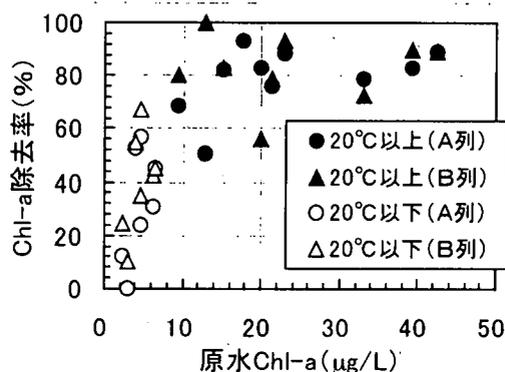


図 4-1 原水クロロフィル a 濃度と除去率の関係

##### 4.2 最適処理量

接触時間（槽容積／処理量）とクロロフィル a 除去率（夏期平均値）の関係を図 4-2 に示す。100m³/日では顕著な除去率向上が得られなかったが、150、200m³/日の結果から接触時間 2 時間程度までは除去率が直線的に比例して向上する傾向が得られた。この傾向から接触時間とクロロフィル a 除去率の関係が図 4-2 の破

線で与えられるものと仮定すると、本浄化施設の合計処理量に対するクロロフィル a 除去量（除去率×処理量）は図 4-3 となる。この結果から処理量は約 350m<sup>3</sup>/日（1 列あたり 175m<sup>3</sup>/日）以上で最大かつ一定の除去量となり、省エネルギーの観点から除去量が同じであれば、所用動力（処理量）は小さい方がよいので、本施設では所要動力の小さな 350m<sup>3</sup>/日程度が最適な運転条件であると推定された。

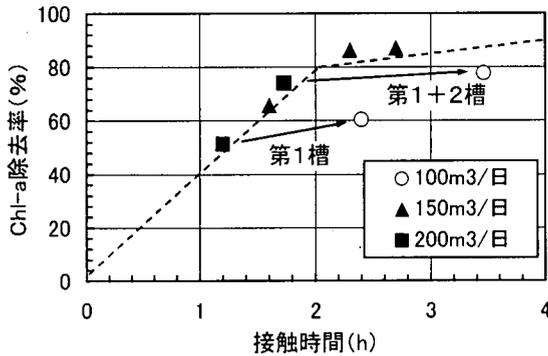


図 4-2 接触時間とクロロフィル a 除去率の関係

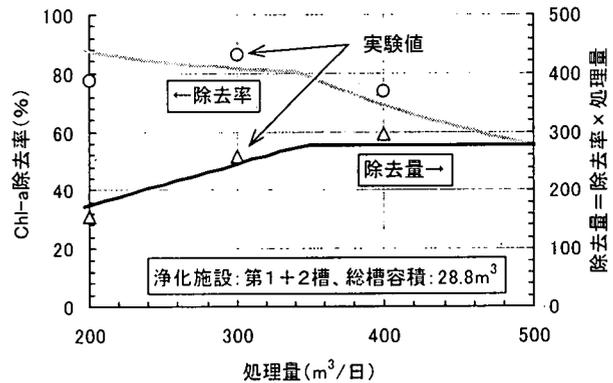


図 4-3 処理量とクロロフィル a 除去率・除去量の関係

### 4.3 本施設における省エネルギー効果

本実験施設は、動力源として太陽エネルギーと商用電源を併用している。年間運転での太陽エネルギー利用による省エネルギー効果は以下のように見積もることができる。

大阪の年間平均日射量は 4.09kWh/m<sup>2</sup>・日なので、ソーラー発電による 1 日あたりの発電電力は、

$$\begin{aligned} & (\text{太陽電池面積}) \times (\text{発電効率}) \times (\text{日射量}) \times (\text{直流から交流への変換効率}) \\ & = 15.8\text{m}^2 \times 0.13 \times 4.09\text{kWh/m}^2 \cdot \text{日} \times 0.65 = 5.46\text{kWh} \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

一方、実験施設の全消費電力は、

$$(\text{消費電力}) \times (\text{運転時間}) = 1.2\text{kW} \times 24\text{h} = 28.8\text{kWh} \quad \dots \textcircled{2}$$

従って省エネ効果は、 $\textcircled{1}/\textcircled{2} = 0.190$ 、すなわち約 19%の省エネとなる。また、今回の装置での実際の消費電力の記録では約 25%であり、ほぼ計算式と一致している。

## 5. まとめ

これまで 2 年間に渡って行われた実験結果から得られた代表的な成果は以下の通りである。

- 1) 接触時間 1～3 時間で夏期のクロロフィル a 除去率は 50～80%程度が得られ、原水クロロフィル a が 20 μg/L 以上の範囲で良好な性能を示した。
- 2) 本浄化施設の総処理量が約 350m<sup>3</sup>/日以上で最大のクロロフィル a 除去量が得られると予想され、省エネルギー運転の観点から、合計処理量 350m<sup>3</sup>/日程度が最適な運転条件であると考えられた。
- 3) 浄化施設の全消費電力 (1.2kW、24 時間連続運転) のうちソーラー発電 (2kW、バッテリーなし) で賄った電力は約 25%であった。

## 6. 引用文献

- 1) 滋賀県 (1997)、琵琶湖総合保全整備の在り方、資料-19
- 2) 山敷庸亮・熊谷道夫他 (1997)、気象変動に対する南湖水質形成特性に関する研究、琵琶湖研究所報、15、20-23

## 9. 水路型施設における不織布接触材方式浄化実験

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	○堀野 善司
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	田井中善雄
日本バイリーン株式会社	長谷川 進
日本バイリーン株式会社	山口 俊平

### 要 旨

開孔径の異なる不織布接触材及び異なる脱リン材を充填し、'98年度～'00年度の3年間、曝気運転・無曝気運転で水質浄化効果の検証を行ってきた。その結果、底部からの曝気で旋回流を起こさせる曝気運転が懸濁物質、全リン等の除去に効果的であった。特に、高濃度の濁水、リンが発生する農業排水において、SSが約64%、TPが約45%の除去率が得られた。長期間の施設運転では生物膜の成長により、懸濁物質の除去効果が低下するが、農業排水のような高濃度であるが短期間の出水には十分適用できると考えられる。脱リン材については、現在の所、リサイクル品であり、安価で脱リン効果の高い鉄繊維が有効的であると考えられる。また、実施への適用を考え、運転条件、維持管理方法、実施建設のための設計指針について取りまとめた。

#### 1. 目的

生活排水や面源汚濁負荷等に含まれる窒素・リン等が、河川水へ流入することにより湖沼等の富栄養化を生じさせる一因となることは知られており、これらの汚濁物質の河川への流入量を削減させる早急な対策を講じる必要がある。大きな接触面積と適当な空隙率を持つ不織布は、微生物の安定した生育環境を提供するとともに、短時間に効率良く懸濁物質を除去できる特徴を持つ。'98年度は曝気運転、'99年度は無曝気運転で浄化実験を行ったが、'00年度は再度曝気運転を行い、水質浄化効果を検証し、実施建設のための設計指針を作成することを目的とした。また、各年度における3種の脱リン材の比較検討も合わせて行った。

#### 2. 実験施設の諸元

##### 2.1 施設概要

図2-1に施設の構造図を示す。開孔径の異なる不織布接触材（菊花断面棒状不織布）a～cを接触材槽1、2及び放流槽に吊り下げるとともに、脱リン材として、'98年度は鉄繊維脱リン材（スチールラジアルタイヤのリサイクル品）、'99年度は鉍物系脱リン材、'00年度は粒径約5mmのハイドロタルサイト系脱リン材を脱リン槽へ配置した。また、1日1回各槽毎に午前0時から4分間の強曝気を行い、接触材の逆洗を行った。

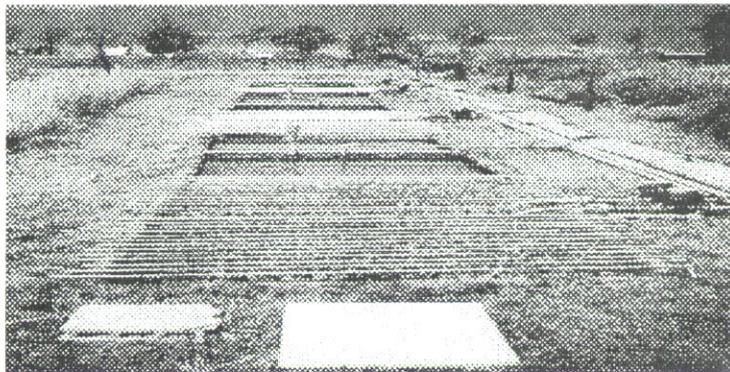
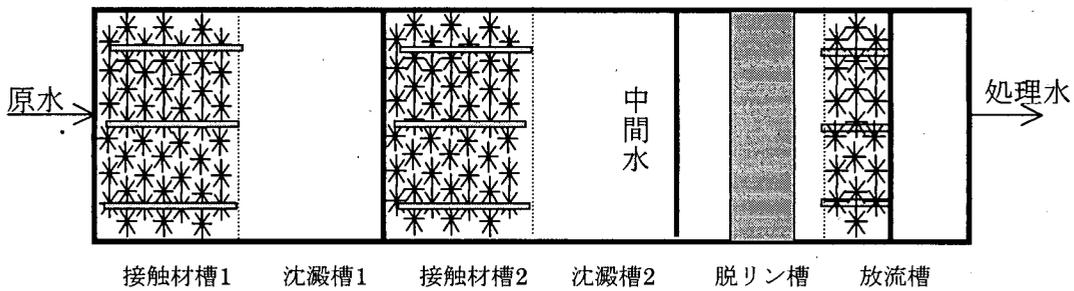
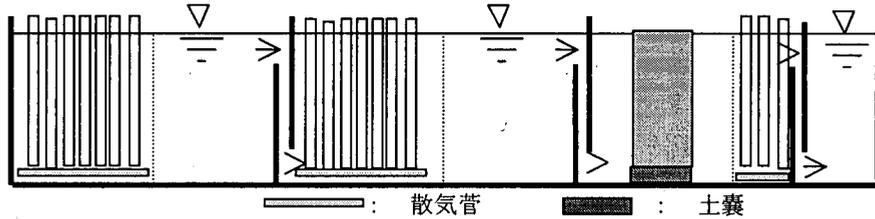


写真 水路型浄化実験施設

平面図



断面図



- 接触材槽1：接触材 a(開孔径620 $\mu$ m)BF (144本) + 接触材 b(開孔径500 $\mu$ m)BF (324本)
- 接触材槽2：接触材 b(開孔径500 $\mu$ m)BF (144本) + 接触材 c(開孔径250 $\mu$ m)BF (324本)
- 放流槽：接触材 b(開孔径500 $\mu$ m)BF (208本)
- 脱リン材：鉄繊維脱リン材、天然鉱物系脱リン材、ハイドロタルサイト系脱リン材

図2-1 施設構造図

3. 実験内容

3.1 調査期間：1998年4月21日～2001年1月15日

3.2 調査内容

3.2.1 水質

- (1) 測定項目：水温、pH、DO、SS、COD、BOD、T-N、T-P
- (2) 調査及び採水方法

図2-1の平面図に示す原水、処理水の地点で、滞留時間を考慮した時間の間隔にて採水を行なった。

4. 実験結果

4.1 水質調査

各調査項目について、'00年度の調査結果を'98年度及び'99年度の調査結果と比較検討を行った。

4.1.1 SS

'98年度～'00年度までのSS濃度と除去率の経時変化を図4-1に、各年度の平均除去率の比較を表4-1に示す。'00年度の平均原水濃度は31.7mg/lを示し、'98年度通常期の平均濃度19.6mg/l及び'99年度通常期の平均濃度13.0mg/lと比較して高い値を示した。

SS除去率は、8.7～79.7%と大きくバラツキ、平均除去率は52.9%'99年度無曝気運転より向上したが、'98年度曝気運転の通常期と比較して低下した。'00年度の実験では、10月及び11月の採水時に逆洗時間の狂い及びブローアの異常停止が認められた為、平均除去率の計算より除外した。以下の各水質項目についても平均除去率算出には、10月と11月の数値を除外した。

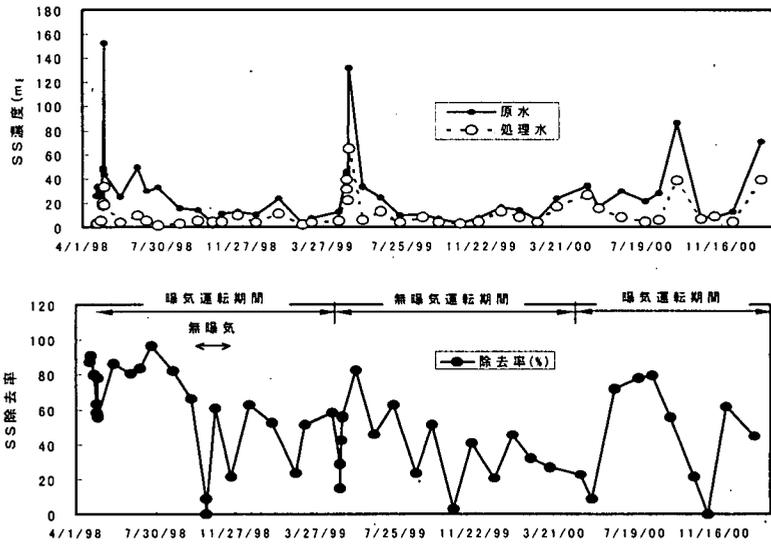


図4-1 SS濃度・除去率の経時変化

表4-1 SSの平均除去率

期間		平均除去率
'00年度	全期間	52.9%
'99年度	全期間	36.9%
	通常期	37.3%
'98年度	全期間	75.6%
	通常期	83.3%

#### 4.1.2 COD

'98年度～'00年度までのCOD濃度と除去率の経時変化を図4-2に示す。'00年度の平均原水濃度は6.2mg/lと、'98年度通常期の4.4mg/l及び'99年度通常期の5.0mg/lと比較して高い値を示した。CODの平均除去率は、'98年度曝気運転の通常期平均除去率と比較して低下したが、'99年度の無曝気運転と比較し約2倍向上した。

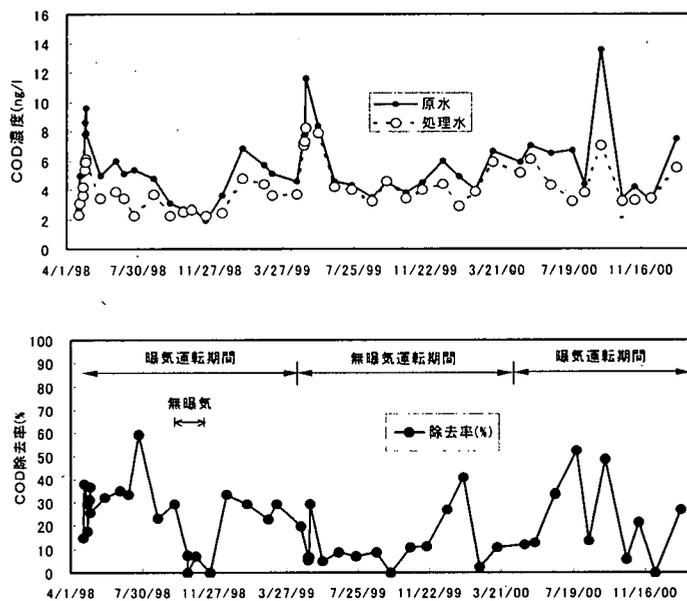
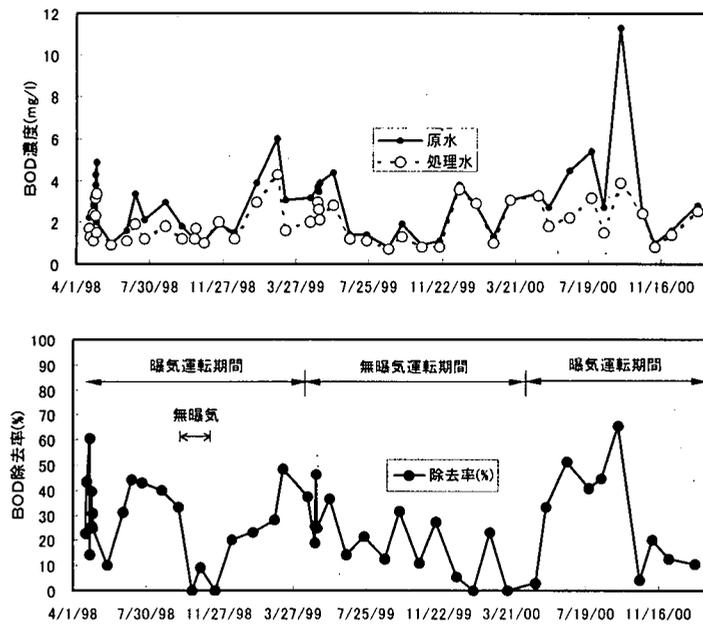


図4-2 COD濃度・除去率の経時変化

#### 4.1.3 BOD

'98年度～'00年度までのBOD濃度と除去率の経時変化を図4-3に示す。'00年度の平均原水濃度は3.8mg/lと'98年度通常期の2.4mg/l及び'99年度通常期の2.2mg/lと比較して高値を示した。BODの除去率は2.9%～65.5%と大きく変化し、平均除去率は32.7%と'98年度と同等であり、'99年度の無曝気運転と比較し向上した。

図4-3 BOD濃度・除去率の経時変化



#### 4.1.4 窒素

'98年度～'00年度までのT-N濃度と除去率の経時変化を図4-4に、各年度の平均除去率の比較を表4-2に示す。'00年度の平均原水濃度は1.51mg/lと'98年度通常期の1.51mg/l及び'99年度通常期の1.72mg/lと同等であった。窒素の除去率は、全期間で0.0～38.1%と変化し、平均除去率が10.4%と'98年度と同等であり、'99年度の無曝気運転と比較し向上した。

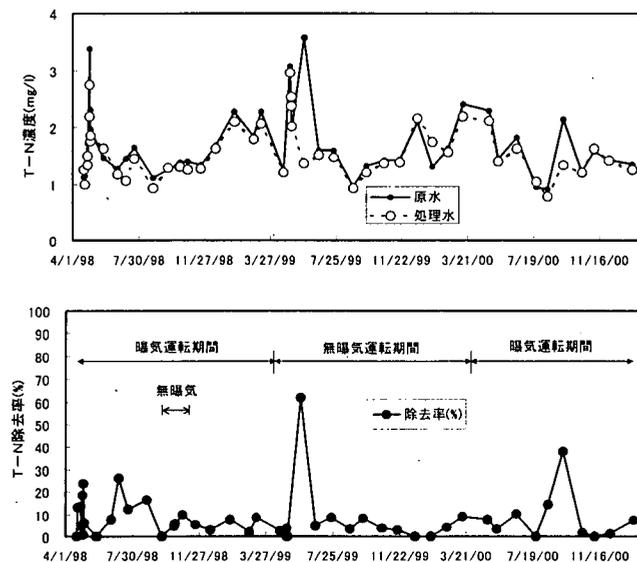


図4-4 T-N濃度・除去率の経時変化

#### 4.1.5 リン

'98年度～'00年度までのT-Pの濃度と除去率の経時変化を図4-5に、各年度の平均除去率の比較を表4-3に示す。なお、表4-3には、T-P、D-T-Pより算出した懸濁態リン(P-T-P)の平均除去率も合わせて示した。'00年度の平均原水濃度は0.188mg/lと'98年度通常期の0.145mg/l及び'99年度通常期の0.141mg/lに対し30%高い値を示した。リンの平均除去率は36.3%を示し、'98年度通常期の約20%減、'99年度通常期の約1.8倍増であった。リンの除去率はSSの除去率と連動して変化を示した。

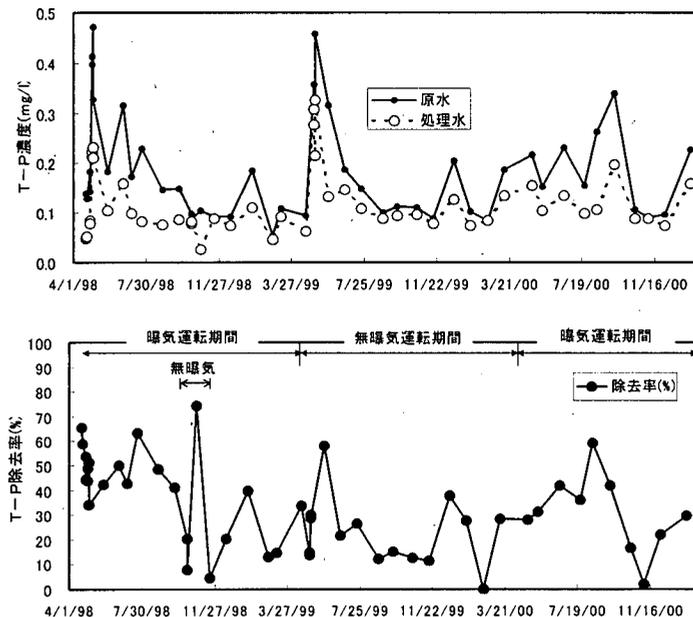


図4-5 T-P濃度・除去率の経時変化

表4-3 T-P、D-T-P、P-T-Pの平均除去率

期 間	T-P	D-T-P	P-T-P <sup>*1</sup>
'00年度 全期間	36.3%	7.0%	50.5%
'99年度	全期間	17.5%	25.7%
	通常期	20.6%	15.0%
'98年度	全期間	19.0%	66.4%
	通常期	44.8%	17.7%

\*1 T-P、D-T-P値より計算

### 5. 考察

#### 5.1 曝気が除去性能に与える影響

'98年度～'00年度における、全実験期間及び運転条件（曝気・無曝気）別の平均除去率を、図5-1に示す。

懸濁物質（SS）に起因するSS・COD・BOD及びP-T-Pの除去率は、無曝気運転と比較し曝気運転時には約2倍の除去率向上が見られた。さらにCOD除去率は、平均COD濃度が6mg/l以下の低濃度にもかかわらず、曝気運転により除去率が2.6倍向上した。これは、曝気による旋回流にて懸濁物質同士の衝突及び接触材への衝突回数増加効果による効率向上と推察される。

また堆積汚泥調査から、SSの沈降は曝気運転時に接触材槽の次に配置した沈澱槽に多量のSSが堆積していた。これらから曝気運転を行うことにより、除去効率の向上が得られ、浄化施設の規模を小さくすることが可能であり、さらに曝気槽の後に沈澱槽を組合せることにより、汚泥排出の維持管理性の向上に寄与できると考える。

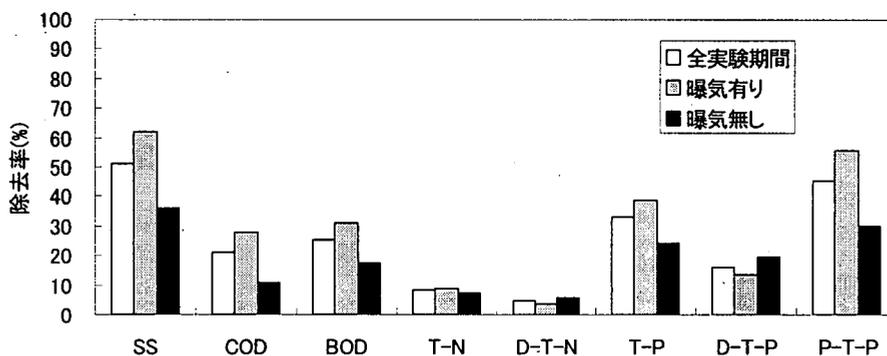


図5-1 運転条件別の平均除去率

## 5.2 脱リン材の処理性能

'00年度使用したハイドロタルサイト系脱リン材は、実験室での実河川水（ $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度0.11~1.75mg/l）を用いた連続カラム実験では、'99年度に用いた天然土壌系脱リン材と同等以上の性能を示していた。しかし、'00年度の葉山川河川水ではD-T-P除去効果が認められなかった。原因として、河川水のD-T-P濃度が低い（平均0.034mg/l）ことが考えられる。

各年度に使用した脱リン材の性能比較を表5-1に示す。ハイドロタルサイト系は、実験室にては良い結果であったが、実河川にてはリン除去性能が得られなかった。天然土壌系は、鉄繊維に比べて、リン除去性能は同等であるが、コストが高く、詰め方に工夫がいる。一方鉄繊維は、リサイクル品かつ安価であり、設置及び洗浄も容易であることから、3種類の内では実用上最も適すと考えられる。

表5-1 脱リン材性能比較

	鉄繊維	天然土壌系	ハイドロタルサイト系
リン除去機構	電気化学的	吸着	イオン交換
形状	繊維状	顆粒状	顆粒状
リン除去性能	○	○	×
コスト	○	△	△
脱リン材の再生	△	△	○
取扱い性	○	○	○

## 5.3 実施設への適用

### 5.3.1 運転条件

本実験より、浄化施設の運転に関して以下の知見が得られた。

- ①接触材槽に散気装置を設け、曝気旋回流を発生させることにより、懸濁物質の除去効率の向上を図ることが出来る。
- ②浄化施設の規模を、曝気を行うことにより無曝気と比較しコンパクトに出来る。
- ③曝気付接触材槽の後段に沈殿槽を設けることにより、懸濁物質を沈殿槽へ集中的に沈降させ、維持管理を容易にすることが出来る。
- ④接触材の余剰汚泥を除去するため、強曝気による1回/日、4分間程度の曝気洗浄を行うことにより、接触材の目詰まり防止を行うことが出来る。
- ⑤水路への転落防止等の安全対策上、さらに接触材へ草花等の種子が飛来し繁殖を防止するために、浄化施設に密閉式の蓋を設けることが望ましい。

### 5.3.2 維持管理方法

本実験より、浄化施設の維持管理方法に関して以下の知見がえられた。

- ①施設（曝気運転等）の点検及び水質調査を1回/月の頻度で行う。
- ②脱リン材の交換頻度は、鉄繊維の場合1～2回/年が望ましい。
- ③堆積汚泥の排出を1回/年程度行う。

### 5.3.3 実施設建設のための設計指針

本実験施設の調査結果を踏まえて、草津市葉山川の河川水の水質を前提に、処理水量150m<sup>3</sup>/日の浄化施設のコスト試算を行った。なお脱リン材は、鉄繊維を用いる仕様とした。

実施設の施設設計諸元を表5-2、3に示す。施設設計諸元を検討し、建設費を算出したところ、施設の建設費は30,350,000円であった。

表5-2 実施設の施設設計諸元

項目	諸元	備考
処理水量	150m <sup>3</sup> /日	
水路規模	幅1.5m×長さ16m×水深1m	曝気付接触材槽
滞留時間	4時間	
水質浄化性能	目標除去率	通常期の曝気運転期間における実績値より
SS	60%	
COD	25%	
BOD	30%	
全リン(T-P)	35%	
全窒素(T-N)	8%	
維持管理	頻度	
日常点検	1回/月	0.5日/回、水質検査助手
水質調査	1回/月	
脱リン材交換	2回/年	
汚泥引抜	1回/年	バキュームによる引抜

表5-3 実施設の槽別設計諸元及び運転条件

	接触材槽1	沈澱槽1	接触材槽2	沈澱槽2	脱リン槽	放流槽1	放流槽2	合計
長さ	2.34m	3.00m	2.34m	3.00m	2.00m	2.00m	1.32m	16.0m
施設容積	3.65m <sup>3</sup>	4.68m <sup>3</sup>	3.65m <sup>3</sup>	4.68m <sup>3</sup>	3.12m <sup>3</sup>	3.12m <sup>3</sup>	2.06m <sup>3</sup>	24.96m <sup>3</sup>
施設面積	3.51m <sup>2</sup>	4.50m <sup>2</sup>	3.51m <sup>2</sup>	4.50m <sup>2</sup>	3.00m <sup>2</sup>	3.00m <sup>2</sup>	1.98m <sup>2</sup>	24.00m <sup>2</sup>
通水量	150m <sup>3</sup> /日							
滞留時間	0.58hr	0.75hr	0.58hr	0.75hr	0.50hr	0.50hr	0.33hr	4.0hr
充填材	BF210本	—	BF210本	—	鉄繊維系	—	BF68本	—
充填率 *1	47%	—	47%	—	8%	—	27%	—
曝気量(常時)	138l/分	—	136l/分	—	—	—	—	276l/分
(逆洗時) *2	276l/分	—	276l/分	—	—	—	276l/分	276l/分

\*1 充填率は、接触材を円筒状、脱リン材の見掛け比重より算出した。

2 逆洗の曝気は、1槽毎に1日1回行った。

施設耐用年数を15年としたときの減価償却費（処理水量1m<sup>3</sup>当たり）を表5-4に示した。

本施設の建設費は、1 m<sup>3</sup>の水を処理するのに当たり37.0円の建設費が必要となる。しかし、大規模な水量を処理する際には水路幅と水深比等の検討により、処理水量1m<sup>3</sup>当たりの建設費を低減することが可能である。

本浄化施設を365日連続稼働させたときのランニングコストを表5-5に示した。

試算の結果、1 m<sup>3</sup>の水を処理するのに当たり34.8円のランニングコストであった。

また、ランニングコストについても、施設規模が大きくなれば低減できるが、本施設の100倍規模で試算すると1/10程度に低減できると試算された。

表5-4 建設費用の減価償却費

不織布浄化施設建設コスト	30,350,000円
施設耐用年数	15年
年間処理水量	54,750m <sup>3</sup> (150m <sup>3</sup> /日)
減価償却費	37.0円/m <sup>3</sup>

表5-5 概算ランニングコスト

項目	頻度	金額(円/日)	備考
電力料	毎日	328.3	
日常点検	1回/月	345.2	0.5日/回、水質検査助手
脱リン材交換	2回/年	1,541.4	材工込み
汚泥引抜	1回/年	1,167.1	産廃処分
水質分析	1回/月	1,841.1	SS、BOD、COD、T-N、T-P
合計		5,223.1 34.8円/m <sup>3</sup>	処理水量 150m <sup>3</sup> /日

## 6. 参考文献

- 1) (財)琵琶湖・淀川水質保全機構、平成12年3月、BYQ水環境レポート、第VI章
- 2) 堀野ら(1999)不織布接触材方式浄化実験、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター成果発表会、p125
- 3) 堀野ら(1999~2001)不織布接触材方式浄化実験、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報第1号、第2号、第3号

**第2回琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター  
成果発表会講演集**

発 行 平成 13 年 9 月  
実験センター 〒525-0005 滋賀県草津市志那町地先  
TEL 077 (568) 2032  
FAX 077 (568) 2052  
問い合わせ先 財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構  
〒541-0041 大阪市中央区北浜 1 丁目 1 番 30 号  
TEL 06 (6202) 1267  
FAX 06 (6202) 1317