

琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター

年報第12号

目 次

【論文要旨】 (1) ~ (4)

【論文】

1. 水草繁茂及び水温上昇による影響検討実験.....
2. 沈水植物群落の水質浄化機能の評価実験.....
3. 珪藻増殖を目的とした湖沼・河川における
窒素・ケイ酸濃度制御方法に関する実験.....
4. ヨシ帯を用いた水質浄化パイロット実験.....
5. 土壌浄化実験（その10）.....
6. タナゴ類の増殖実験.....
7. 富栄養化防止のための新規アルミニウム系化合物による
リン酸イオンの回収実験.....

【その他実験の概要】

実施中および継続している実験の概要.....

【啓発活動】

平成21年度実験センター見学者実績.....

平成21年度自然観察会.....

【データ】

葉山川の水質・底質および農業排水路の水質データ.....

論 文 要 旨

1. 水草繁茂および水温上昇による影響検討実験

実施機関：国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所、
八千代エンジニアリング（株）大阪支店環境部

掲載ページ：pp.1～8

（目的）地球温暖化に伴う水温上昇、ならびに、水草除去・湖底耕耘などの人的行為が、琵琶湖の水環境（水質や底泥の性状、動植物プランクトン類の種構成など）に及ぼす影響を把握することを目的とする。

（実験内容）深池型浄化実験施設を4条件に分割し、A槽（比較対照槽）、B槽（水草刈取槽）、C槽（水温上昇槽）、D槽（底泥耕耘槽）にそれぞれ設定した。実験条件を整備したのち7/13より通常運転監視を開始した。採水・採泥は7/31、8/28、9/17、10/6、10/22、11/5、11/19の計7回実施し、水質、底泥、植物プランクトンを調査した。

（結果）

- ① 水温上昇により底泥のCOD、T-Nが上昇した。水質はD-P、D-N、POCが低下した。
- ② 水草の刈り取りは底泥に大きな影響を与えなかった。D-P、D-Nが小さく、POCが上昇したため植物プランクトンに取り込まれたことによるものと考えられた。
- ③ 底泥耕耘により、底質は浮泥の還元状態がやや好氣的な環境に変化した。また、水質濃度の変化については植物プランクトンや水草に窒素・リンが取り込まれたことによるものと考えられた。

2. 沈水植物群落の水質浄化機能の評価実験

実施機関：財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構、滋賀県立大学環境科学部

掲載ページ：pp.9～19

（目的）

南湖におけるこの水質改善の原因として水草帯の回復が考えられているが、その改善機構について説明はされていない。本実験では小型の隔離水塊に、水草の植栽区と非植栽区、魚類の投入区と非投入区をそれぞれ設け、沈水植物群落の水質浄化機能を明らかにすることを目的とする。

（平成20年度）

（実験内容）

実験センター水路に、植栽と魚投入の有無の条件の4とおり2組ずつ、計8区画の隔離水界を設けた。植栽した水草および投入した魚は、コカナダモとキンギョである。また、別にコカナダモの刈り取り区を設定し、期間中に計4回刈り取り、水草の成長量算出に用いた。調査日に水質と動物プランクトンの測定を行った。

（結果）

実験結果から、隔離水塊内に水草が存在することにより水質の改善効果が示され、さらに一定量なら魚がいても水草による水質改善効果が期待できることがわかった。植栽区・非植栽区ともに大型の動物プランクトンの増加が抑えられていた。そのため、沈水植物が大型の動物プランクトンの退避地としての役割を果たすという説は、支持することができない結果となった。

3. 珪藻増殖を目的とした湖沼・河川における窒素・ケイ酸濃度制御方法に関する

野外水槽実験（2）

実施機関：財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構、株式会社ニュージェック

掲載ページ： pp. 20 ~ 34

（目的）

実験は、アオコ等の競争相手である珪藻類を増殖させることによって、水質を浄化することを目的とし、湖沼や河川において水質中の過剰な窒素を除去し、不足しがちな溶存態ケイ酸を補給することにより栄養塩のバランスをコントロールし、珪藻等の増殖効果を確認するものである。

湖沼や河川において水質中の過剰な窒素を除去し、不足しがちな溶存態ケイ酸を補給することにより、珪藻の増殖を促進し、結果的に藍藻の異常増殖を抑制する。これらの現象を屋外水槽実験により確認する。

（実験内容）

深池型浄化実験施設を使い、実験原水を沈木、シラスチップに浸透、通過させ、窒素除去・ケイ酸を溶出させた実験区と対照区で実験を行った。処理プラントのケイ酸溶出量・窒素除去能、さらに実験区と対照区の水質、底質、プランクトン、および底生生物を観察した。両区での違いから珪藻増殖や生態系への影響を評価した。

（結果）

- ① ケイ酸を添加することによる珪藻類の増殖、藍藻類の抑制が実験結果によって確認された。
- ② 実験区は植物プランクトンの増殖により窒素、リン濃度はいずれも低下した。一方、底質には枯死したプランクトンが堆積することにより、底泥の窒素、リン、ケイ酸量は増加した。
- ③ ケイ酸を対象水域に添加することにより、増殖速度の大きい珪藻類の増殖が促進され、相対的に藍藻類・緑藻類の増殖が抑制された。一部の藍藻類はアオコとして有毒性、有害性があることからより有害性プランクトンの増殖抑制の効果が期待できる。

4. ヨシ帯を用いた水質浄化パイロット実験（ヨシ表面バイオフィルムの水浄化への応用）

実施機関：財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構、立命館大学生命科学部界面微生物学研究室

掲載ページ： pp. 35 ~ 57

（目的）2007年～2008年の研究により、ヨシ表面バイオフィルム（BF）が水質浄化に役立っている可能性が示唆された。そこで、本研究では琵琶湖の湖水環境においてヨシ群落が果たしている水浄化能を調べることで、またその際にヨシBFがどのように水浄化に関わっているのかを調べることを目的とした。

（実験内容）浅池型浄化実験施設で、葉山川から導水した水をヨシ植栽水路に流し、以下の実験を行った。また上流部、中流部、下流部で採水、水質分析を行った。

実験1：ヨシ生長期とヨシの生長停止期のヨシBFの水浄化能測定

実験2：ヨシ枯れ期および新芽成長期にヨシBFと不織布BFの水浄化能測定

（結果）

- ① 実験1では、窒素関連イオンが水路流下過程で除去されていたが、各水路でアオミドロ等の現存量が異なるため、ヨシBFまたはヨシ群落のどちらの要因が大きいのか、判断できなかった。またリン、CODは増加する傾向がみられた。

- ② 実験2では、ヨシBFの接触面積は、不織布BFの接触面積の1/10以下であるにも関わらず、同程度の栄養塩除去量を示し、ヨシBFの栄養塩除去能が大きいことが示唆された。今後、さらに分析が必要である。

5. 土壌浄化実験（その10）

委託機関：国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所（～H17）

受託機関：財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構（H18～実施機関）

掲載ページ：pp. 58～63

（目的）

水質浄化法の1つである土壌浸透浄化手法について、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センターの土壌浄化実験施設を用いて、水環境中におけるリンの吸着寿命を把握するための水質調査等を実施することを目的とする。

（実験内容）

優れた水質浄化性能を持つ土壌浸透浄化法を実用化し長期運用するために、容易な維持管理方法や実際の施設用地を考慮した処理効率の向上の視点から検討を行った。本実験では以下に示す3項目の実験を実施した。

- ① 浄化施設B槽（前処理施設）およびC槽（通水速度1.5 m/日、上向流方式）、D1槽（通水速度5.0 m/日、下向流方式）について引き続き連続通水を実施し、土壌浄化施設の浄化性能および維持管理について調査・試験を行った。
- ② 赤玉土を用いたカラム連続通水試験を行い、リン除去性能及びリン吸着寿命について検討した。
- ③ 赤玉土の通水速度10 m/日の高負荷で通水した場合の水質浄化性能を検討した。前処理施設は透水性コンクリートを用いた上向流方式にて原水を前処理した。目詰まりに対処するため、適宜維持管理を実施した。

6. タナゴ類の増殖実験（3）

実施機関：財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構、ぼてじゃこトラスト

掲載ページ：pp. 64～69

（目的）

2007年度にタナゴ類を増やす方法や増殖に適した2枚貝の特性を明らかにするために「タナゴ類の増殖実験」を行った。その結果イチモンジタナゴは、沼がいを産卵母貝として利用し、Biyoセンターのような野外環境においても増殖可能であることがわかった。2008年度以降は、イチモンジタナゴの増殖実験を行うとともに、タナゴ類がより繁殖しやすい野外の生育環境を改善・創出する技術の確立を目指した。

（実験内容）

琵琶湖型池に外来魚の駆除を実施後、イチモンジタナゴおよびヌマガイを放流し、魚類は四季ごとに、貝類は春と夏のみ調査を行った。

（結果）

イチモンジタナゴは1000個体放流したが、春調査で2個体が確認された以外採取されなかった。ヌマガイは放流個体のうち死亡が確認されたのは45%だった。貝には縁がかじられた跡がありザリガニによるものと推測された。

7. 富栄養化防止のための新規アルミニウム系化合物によるリン酸イオンの回収実験（2）

実施機関：財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構、近畿大学薬学部医療薬学科

掲載ページ：pp. 70～80

（目的）

リンは、富栄養化の原因物質の一つとして広く知られており、富栄養化によってアオコや赤潮、水生生物への影響など多くの問題を引き起こす。また、リンは枯渇資源としても非常に注目されており、再資源化が望まれている物質である。

アルミニウムは再生可能な物質であり、研究によりアルミニウム系化合物であるペーマナイト（BE）およびギブサイト（GB）にリンの吸着能を保持していることを明らかにしている。

フィールドで環境水中のリン酸の吸着能についての基礎的検討を行うことを目的とする。

（実験内容）

Biyoセンター内水路からくみ上げポンプを用いて、原水を引き上げ、カラム内の吸着剤に対する微生物や藻の発生を抑制するためにSS除去を目的に前処理（砂利とアンストラサイト通水）した。カラム内へ送液ポンプを用い前処理した水を通水した。吸着剤には、結合剤を用いアルミニウム系化合物を造粒した G-GB（使用期間：2007～2008年）および G-BE（使用期間：2009年）を使用した。

（結果）

G-GBを用いた実験ではアルミニウムの溶出が明らかになり、さらにリン酸吸着は確認できなかった。G-BEを用いた実験ではアルミニウムの溶出は認められず、さらにリン酸の吸着が確認された。しかしながらSSの完全除去には至らず前処理のさらなる改善の必要性が示唆された。

論 文

1. 水草繁茂および水温上昇による影響検討実験

1. 目的

本実験は、地球温暖化に伴う水温上昇、ならびに、水草除去・湖底耕耘などの人的行為により、琵琶湖の水環境（水質や底泥の性状、動植物プランクトン類の種構成など）がどのように変化するか把握することを目的に実施した。

2. 実験概要および方法

2.1 実験条件の整備

深池槽を4分割して（図 2-1 のA～D槽）それぞれに実験条件を設定し、各槽で水質や底泥の調査を行って水環境の変化を把握した。

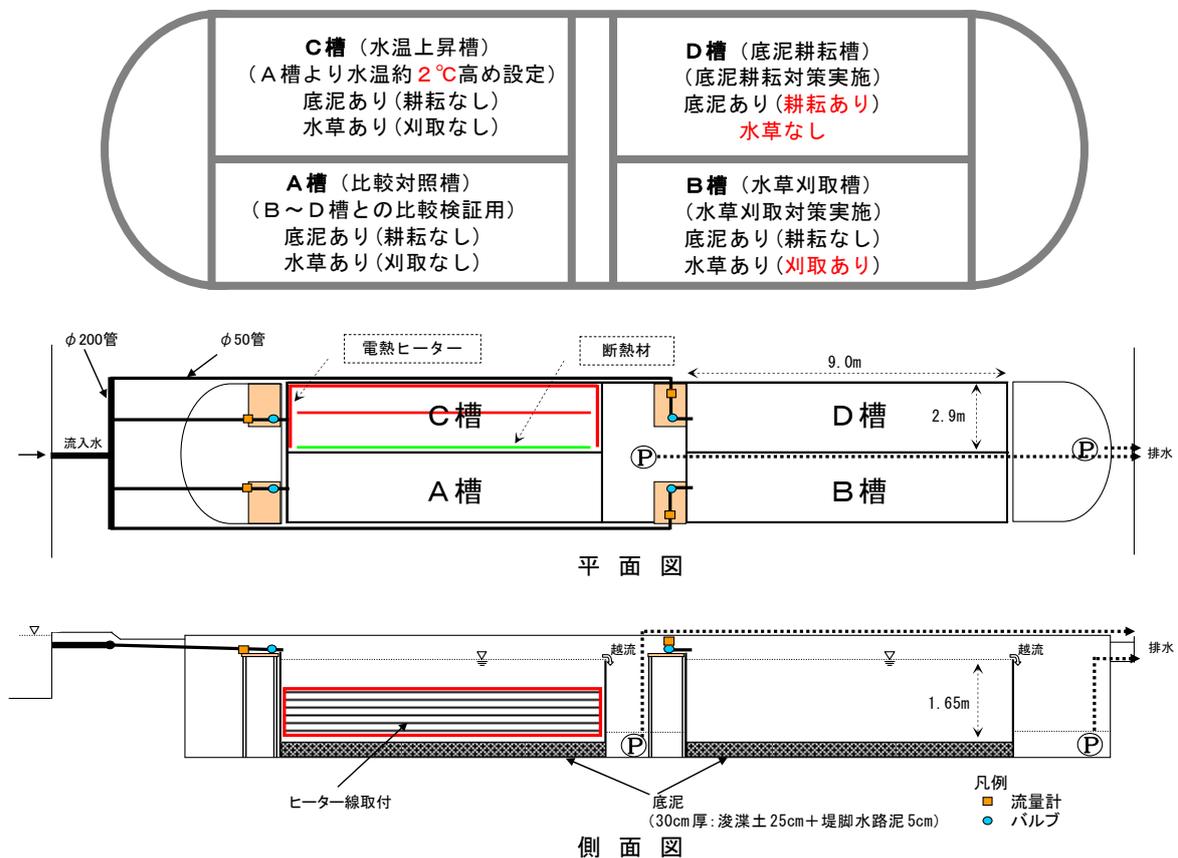


図 2-1 実験槽の分割と実験条件

- ①給水：水源は河川水（葉山川）、滞留時間は琵琶湖南湖の滞留時間を想定して15日とした。流出はオーバーフローした水をポンプで排水する方式とした。
- ②水温調整：C槽に熱線式ヒーターを設置して調整を行った。また、A槽とC槽との隔壁には断熱材を設置した。
- ③底泥：大同川揚陸施設に仮置きされていた琵琶湖浚渫土を25cm厚で実験槽に敷きならし

た。また、表層土として志那地区堤脚水路の堆積泥を 5cm 厚で上乘せした。

④水草：C 槽では底泥から発生・成長し繁茂した。他の槽では 9/4 に琵琶湖南湖で採取したオオカナダモ、センニンモ、マツモなどを含む水草の植え付けを行った。

2.2 実験の工程

実験水槽の工事等が完了した 7/13 より通常運転監視を開始した。採水・採泥は 7/31、8/28、9/17、10/6、10/22、11/5、11/19 の計 7 回実施した。水質等の分析項目を表 2-1 に示す。なお、データの比較や評価においては、表 2-2 に示すように実験条件が揃った後のデータを用いて行った（比較対照槽と水温上昇槽は第 3 回目以降、水草刈取槽と底泥耕耘槽は第 5 回以降のデータを使用し、分析結果の比較・評価を行った）。

表 2-1 水質の分析項目

調査区分	分析項目
底泥	含水比、COD、T-N、T-P、強熱減量、硫化物、酸化還元電位 (ORP)、全鉄、マンガン、亜鉛、シリカ、粒度組成、従属栄養細菌
水質	水温、電気伝導度、濁度、pH、DO、クロロフィル a、COD、D・COD、TOC、DOC、SS、T-N、T-P、NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -N、PO ₄ -P、難分解性有機物
プランクトン	植物プランクトン、動物プランクトン

表 2-2 比較検証作業に使用した調査データ（調査期間）

		期間 1	期間 2	期間 3
採泥、採水回		第 1 回、第 2 回	第 3 回～第 4 回	第 5 回～第 7 回
概 況		・水温上昇槽の水温条件が未達成 ・アオコの発生が見られる	・水温上昇槽の水温条件が整う ・全ての槽に水草を投入し、水草の繁茂が見られる	・水草刈取槽の水草刈取実施後である ・底泥耕耘槽の底泥耕耘実施後である
比較検証作業に使用するデータの期間 (矢印で表示)	比較対照槽 (A 槽)	実験条件が揃っていないため比較検証には使用しない	←—————※B 槽、D 槽と比較するときは期間 3 のみのデータとした。—————→	
	水草刈取槽 (B 槽)	実験条件が揃っていないため比較検証には使用しない	実験条件が揃っていないため比較検証には使用しない	←—————→
	水温上昇槽 (C 槽)	実験条件が揃っていないため比較検証には使用しない	←—————→	
	底泥耕耘槽 (D 槽)	実験条件が揃っていないため比較検証には使用しない	実験条件が揃っていないため比較検証には使用しない	←—————→

3. 水環境の事象

湖沼の水質、水草繁茂、水温上昇等に関する既往の知見を以下のように整理した。また、水圏および底泥における生態系モデルを基に、水温上昇・水草刈取・底泥耕耘を行った場合に活発になると考えられる反応を図 3-1 のように整理した。

- ①系内への流入水および内部生産（プランクトン等の増殖・死滅）による沈降成分の変化により水質・底質は変化する。
- ②有機物の沈降量が増加すると、底泥の含水比、COD、強熱減量が増加する。
- ③沈降した有機物の分解が進行すると、底泥は嫌気化し、硫化物が増加、ORP は低下す

- る。底泥が嫌気状態になると、鉄・マンガンの溶出量は増加する。
- ④溶存態の栄養塩類（窒素・リン）の濃度が高い水域では植物プランクトンが増殖しやすい。
 - ⑤植物プランクトンが増殖するとクロロフィルaが増加し、光合成作用によってpHがあがり（アルカリ側に傾く）、DOが増加する。また、濁度、SSも増加する。
 - ⑥植物プランクトンが増殖すると粒子性成分としてのCOD、TOC、T-N、T-Pも増加する。
 - ⑦植物プランクトンが増殖すると、溶存態の窒素・リンは消費されて減少する。
 - ⑦水温が上昇すると水草やプランクトンの活性は高まる。
 - ⑧水草が繁茂すると植物プランクトンの増殖は抑制される。

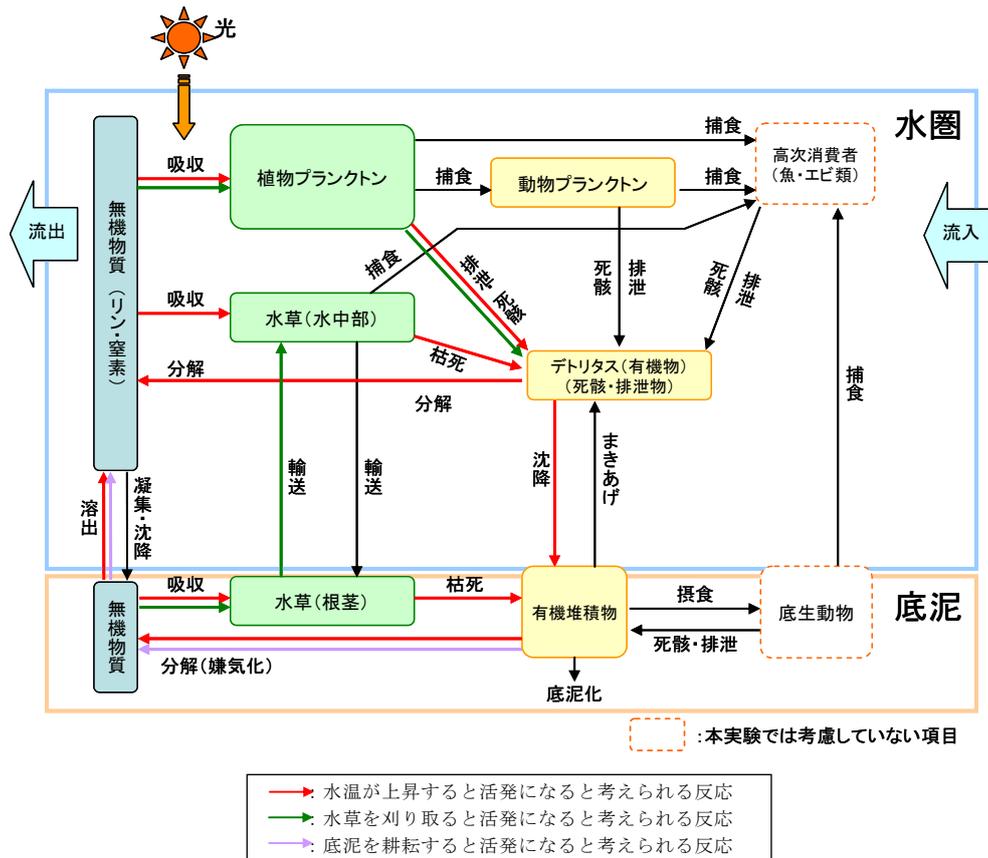


図 3-1 水温上昇・水草刈取・底泥耕耘を行った場合に活発になると考えられる反応

4. 実験結果の整理

4.1 水温上昇による影響

水温上昇槽の底泥は比較対照槽よりも ORP（マイナス値）が若干ではあるが高く、水温上昇により底質はごくわずかに好酸化していた。COD、T-N は水温上昇槽で高い傾向であり、有機物や栄養塩は増加していることが伺えた。

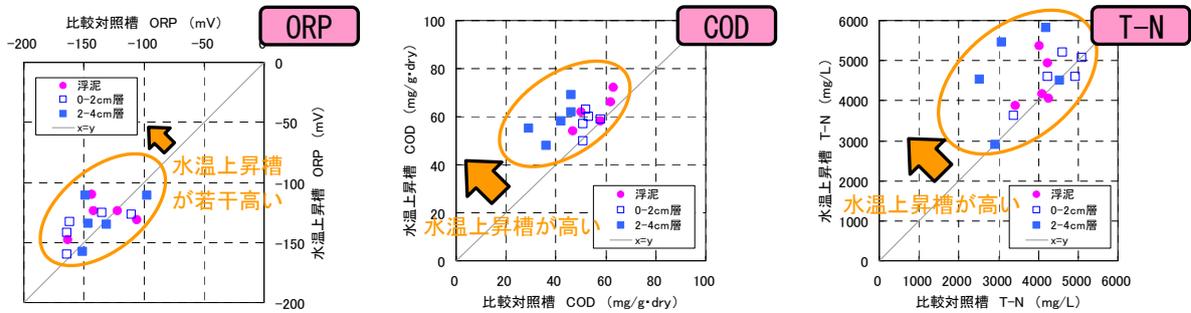


図 4-1(1) 水温上昇層と比較対照槽との比較【底泥】

水温上昇槽の水質は比較対照槽よりも溶存態の窒素・リンが低く、窒素・リンが枯渇傾向である。また、懸濁態炭素も同様に低いことから、窒素・リンは水温上昇槽で早期から繁茂した水草に取り込まれたと考えられた。

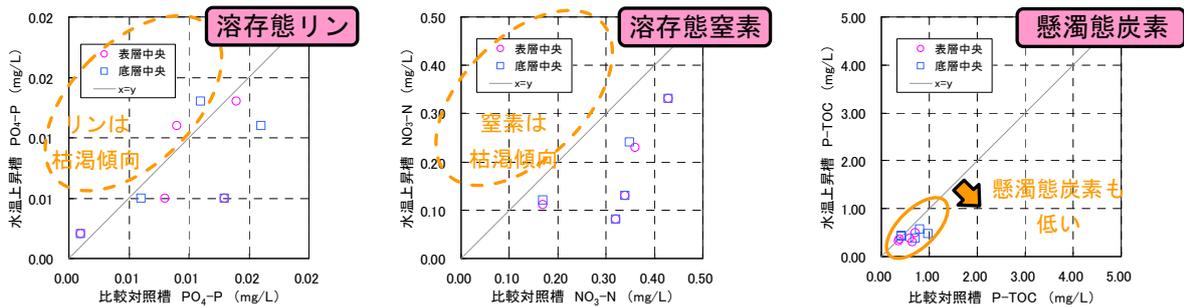


図 4-1(2) 水温上昇層と比較対照槽との比較【水質】

4.2 水草刈取りによる影響

水草刈取槽の底泥は嫌気化の程度を示す ORP（マイナス値）のバラツキが大きく、明確な傾向はみられなかった。COD、T-N についてもほぼ直線上に分布し、大きな違いは見られなかった。

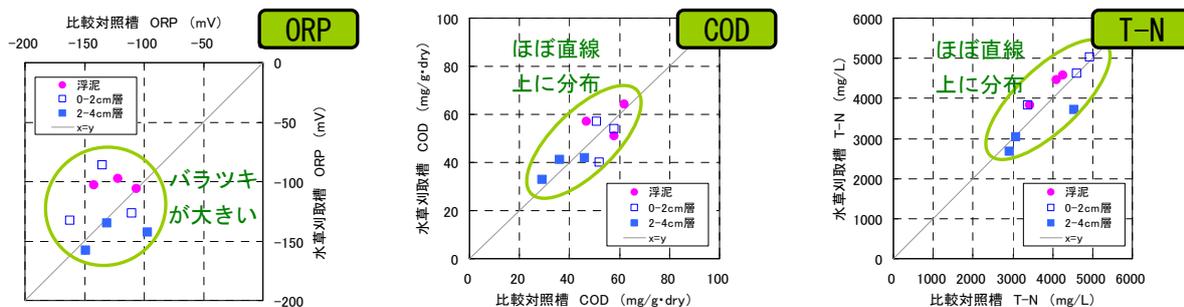


図 4-2(1) 水草刈取層と比較対照槽との比較【底泥】

水草刈取槽の水質は比較対照槽よりも無機態の窒素・リンが低く、窒素・リンが枯渇傾向である。また、粒子態の TOC は高いことから、窒素・リンが粒子態 (=プランクトン) に取り込まれていると考えられた。

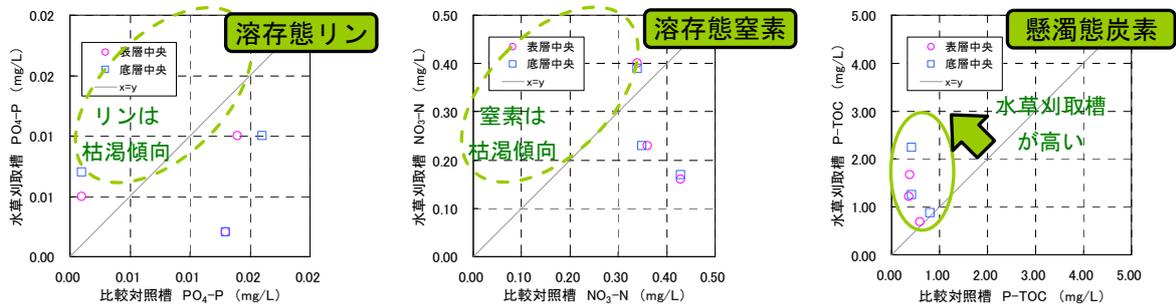


図 4-2 (2) 水草刈取層と比較対照槽との比較【水質】

4.3 底泥耕耘による影響

底泥耕耘槽の底泥は比較対照槽よりも ORP (マイナス値) が高く、耕耘により還元状態がやや好気的な環境に変化したことが伺えたが、COD、T-N については大きな違いは見られなかった。

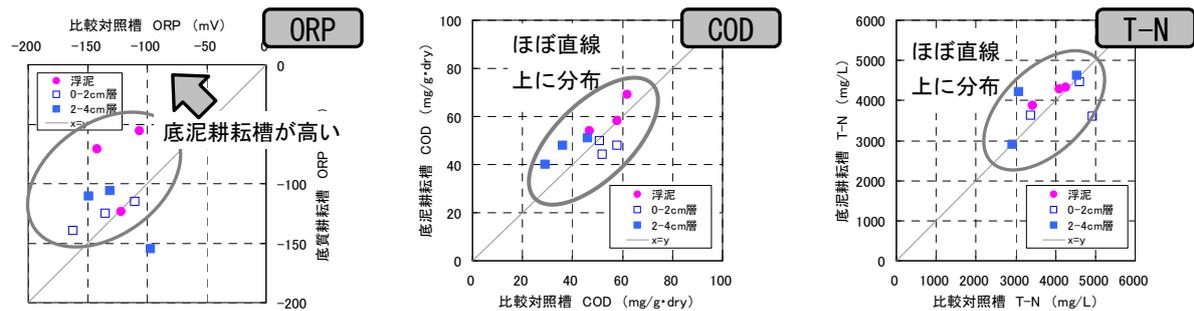


図 4-3 (1) 底泥耕耘層と比較対照槽との比較【底泥】

底泥耕耘槽の水質は比較対照槽よりも無機態の窒素・リンが低く、窒素・リンが枯渇傾向である。また、粒子態の TOC は高いことから、窒素・リンが粒子態 (=プランクトン) に取り込まれていると考えられた。

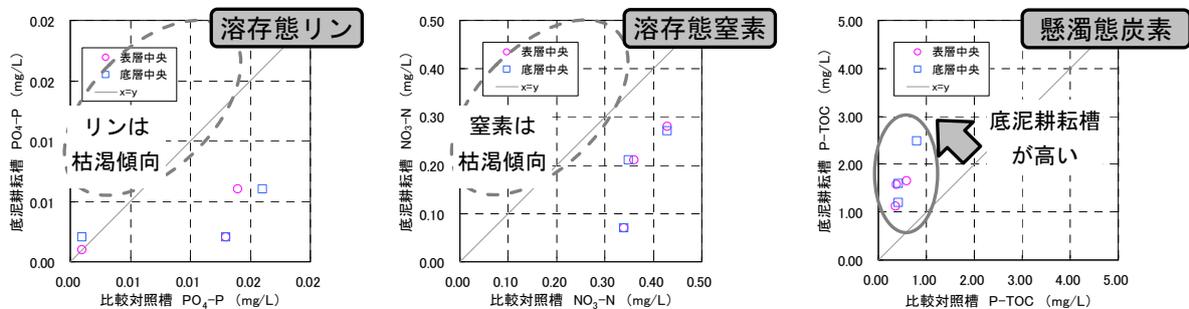


図 4-3 (2) 底泥耕耘層と比較対照槽との比較【水質】

5. 調査結果のまとめ

実験槽の水温上昇、水草刈取あるいは底泥耕耘の実施が各実験槽の水環境に及ぼした影響を表 5-1 に整理する。

表 5-1 調査結果のまとめ

水温上昇による影響	水草刈取による影響	底泥耕耘による影響
<p>水温上昇により、底質の有機物や栄養塩濃度が上昇した。また、水質濃度の変化については水草に窒素・リンが水草に取り込まれた事によるものと考えられた。</p>	<p>水草刈取により、底質はほとんど変化しなかった。また、水質濃度の変化については植物プランクトンや水草に窒素・リンが取り込まれたことによるものと考えられた。</p>	<p>底泥耕耘により、底質は浮泥の還元状態がやや好気的な環境に変化した。また、水質濃度の変化については植物プランクトンや水草に窒素・リンが取り込まれたことによるものと考えられた。</p>
<p style="text-align: center;"></p> <p>底泥の変化という点において、今回の実験の中では水温上昇のインパクトが、水草刈取や底泥耕耘よりも大きい事が示唆された。</p>	<p style="text-align: center;"></p> <p>今回の実験では、水草刈取のインパクトがプランクトン相に大きな変化をおよぼしたという点において、水温上昇や底泥耕耘よりも影響が大きいことが示唆された。</p>	<p style="text-align: center;"></p> <p>耕耘実施は底泥の変化という点において、今回の実験の中で最もインパクトがあると予想されたが、結果的には浮泥の性状のわずかな変化に留まり、与えたインパクトとしては小さかった。</p>
<p>ただし、水温変化が直接底泥の反応等に影響を与えているのか、水草の成長を介して間接的に影響を与えているかについては不明であった。</p>	<p style="text-align: center;"></p> <p>今回の実験では、プランクトン相の変化が確認され、それに伴う水質の変化までは確認できた。今後、プランクトンの遺骸等による底泥の変化も考えられることから、継続的な調査が望まれる。また、その際は可能な限り早い段階から水草を繁茂させることが重要である。</p>	<p style="text-align: center;"></p> <p>実環境において底泥は時間をかけてゆっくりと層状に堆積すると考えられるが、実験槽においては一回で敷き均したものである。そのため、比較対照槽においても表層と底層の嫌気状態の違いがあまりなく、耕耘による変化が明らかとならなかった可能性が考えられる。今後の実験において、比較対照槽の底泥に変化が認められた後に比較を行うことが重要であると考えられる。</p>
<p style="text-align: center;"></p> <p>今回の実験では、初期の水草繁茂状況やプランクトン発生状況に違いがあり、各槽の初期条件に差異が生じてしまったが、今後の実験では初期条件の差異を極力排し、特に底泥に注目して水温上昇の影響を把握することが重要である。</p>		

6. 湖沼および河川の管理面での対応

本実験で得られた結果から、湖沼および河川における今後の管理面での対応方針について整理し、表 6-1 に示す。

表 6-1 湖沼および河川の管理面での今後の対応

温暖化に伴う水温上昇による影響		水草対策（刈取・耕耘）による影響	
湖沼		流入河川	
底質の変化	水草・プランクトン相の変化	水草の繁茂	湖沼・河川（水草管理）
<p>【対応方針】 実験では底泥中の有機物、栄養塩濃度が上昇した。そのため、底泥からの栄養塩類の溶出量が将来増加することが考えられる。その場合には、琵琶湖全体の総負荷量の変化も大きくなることから、浄化対策、流域負荷対策の再検討などの対策を講ずることが望まれる。</p> <p style="text-align: center;"></p> <p>【将来施策】 底質改善が必要であることから、現在行われている底泥対策（底泥浚渫や覆砂等）を着実に推進することが望ましい。</p>	<p>【対応方針】 水草と植物プランクトンとは競合関係にある。実験では水草が優占したが、条件によっては植物プランクトンが優占することも考えられる。水草・プランクトンの両者に対して流域負荷削減対策は有効であるが、湖底への光量のコントロールにより水草の生育量を制御する観点から、「水位を高く維持して水草を抑制する/水位を低く維持して水草を繁茂させる対策」の検討が望まれる。</p> <p style="text-align: center;"></p> <p>【将来施策】 水位操作については治水、利水、環境の面から様々なリスクがあり議論もなされているが、今後より多くの知見を集め、「地球温暖化による水草の成長への影響を踏まえた水草の成長と水深の関係」について明らかにすることが重要であり、その検討結果は適切な琵琶湖水位操作の検討資料ともなると考える。</p>	<p>【対応方針】 琵琶湖への流入河川の河口部は、流速低下、粒子性物質の沈降堆積、河川からの栄養塩類の供給等により、水草が繁茂しやすい環境である一方、流れがあるために植物プランクトンは少ない環境であると考えられる。そのため、地球温暖化に伴い河口部での水草繁茂量が増大した場合には、湖沼にとっての水草供給源となる他、水交換の低下やゴミの集積など環境の悪化も懸念される。</p> <p style="text-align: center;"></p> <p>【将来施策】 流域負荷量削減に加え、水草の繁茂抑制に配慮して、流入河川河口部の縦断形状の検討、流入河川河口域について優先的に水草刈取を行った場合の効果を検討することは将来施策として重要であると考え。</p>	<p>【対応方針】 水草対策（水草刈取り、湖底耕耘）は、水草繁茂量の大幅な削減に効果があり、また、湖底耕耘には底質改善効果も見込まれるが、短期間に大面積の改変を行うと、「沈水植物が優先して透明な状態」から「植物プランクトンが優先して濁った状態」へ急変する可能性があるため、この点に留意する必要がある。</p> <p style="text-align: center;"></p> <p>【将来施策】 水草対策の施工範囲、施工時期等に留意し、過剰な繁茂がみられる水域について徐々に水草刈取や湖底耕耘を実施する。水草の全てをなくすのではなく、過去の情報等から適正な繁茂面積に戻すことを目標に掲げて対策を実施する。</p>

7. 参考文献

- ①湖沼底質環境・調査手引き（案）、国交省東北地方整備局、平成 21 年 3 月
 - ②地球温暖化と湖のプランクトン群集、花里孝幸(信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所)、
陸水学雑誌 Vol. 61, No. 1 (2000)
 - ③琵琶湖における夏の濁水と湖岸植生面積の変化、浜端悦治、琵琶湖研究所所報第 20 号
(2001)
-

実験担当者

国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所	河川環境課課長	藤井 節生
	建設専門官	廣谷 真司
	水質調査係長	粕渕 幸夫
八千代エンジニアリング(株)大阪支店環境部		魚留 卓
		渡辺 肇

2. 沈水植物群落の水質浄化機能の評価実験

1. 目的

琵琶湖南湖では 1994 年の大渇水以後、沈水植物群落は年ごとに回復し、現在では南湖面積の 80%以上の地域で群落が見られるようになっている。時期を同じくして南湖水質（透明度、クロロフィル-a、TP、TN）にも改善が見られるようになった（Hamabata&Kobayashi,2002）。南湖におけるこの水質改善の原因として水草帯の回復が考えられている（浜端, 2003）が、その改善機構については、まだ解明されていない。しかし、Scheffer *et al.* (2001) は沈水植物が存在することによって濁りが低下することを説明するモデルを提示している。その機構として彼らは、沈水植物が一定密度以上（PVI (percentage volume infestation) > 15-20 %: (Schriver *et al.*, 1995)) になると魚の感受性が低下し、動物プランクトンの被食圧が低下し、その結果増加した動物プランクトンが植物プランクトンを採食し、植物プランクトンが減少し、濁度が低下するといった生物間の相互作用を想定している。

本研究では、小型の隔離水塊を用い、水草の植栽区と非植栽区、さらにそれぞれの区に対して魚の投入区と非投入区とを設け、水質の変化、水草の成長量、動物プランクトン等の組成等を経時的に測定することによって、沈水植物群落の水質浄化機能を明らかにすることを目的としている。

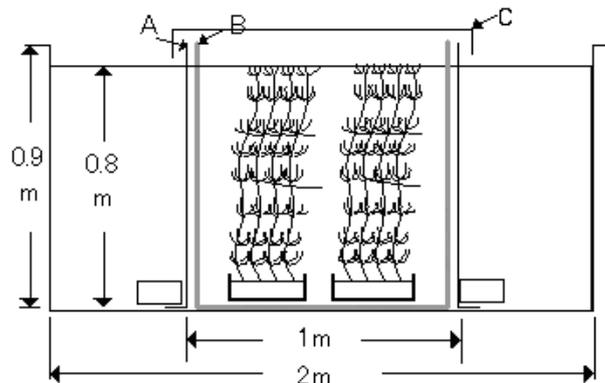


図1-1 実験区の断面図

A:水遮断用ビニールシート B:魚類侵入防止用ネット（目合い 1mm） C:上面覆い用ネット（目合い 1cm）

2. 方法

2.1 実験区設定

実験水路に底面と上面が開いたビニールシート（縦横 1 m × 1 m, A）を沈め、実験区画内と水路とを遮断した。その内側に底面と側面を覆い上面が開いたネット（目合い 1 mm, B）を沈め水生生物の侵入を、木枠に打ち付けたネット（目合い 1 cm, C）を上面に被せ上方からの生物の侵入を防いだ（図. 1）。そして、全ての実験区にコンテナ（縦：30 cm, 横：30 cm, 深さ：10 cm, 土の厚さ：6 cm）を沈め、水草を植栽する区画（植栽区・水草あり）と、植栽しない区画（非植栽区・水草なし）を設けた。

また、コンテナに入れる土は畑土を用いた。さらに植栽区と非植栽区について、魚を投入する区画（投入区・魚あり）と投入しない区画（非投入区・魚なし）を設け、全部で4種類の区画を設置した（図2-1）。これを2つの繰り返しで計8区画設置した。

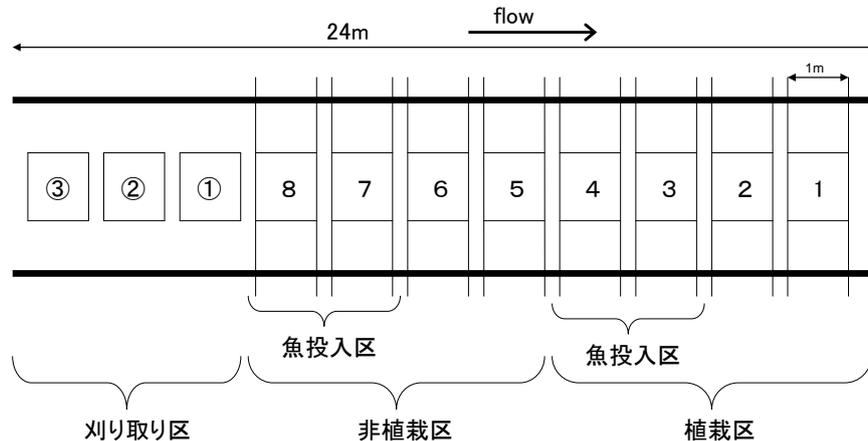


図2-1 水路での実験区設置図

各実験区（1～8）及び刈り取り区（①～③）には、コンテナを4個ずつ沈めた。

また、1区画あたりコンテナを4つ沈めた。さらに、水路での水草の成長量を見るため、植栽区に沈めたのと同様のコンテナを水路に12個沈めた（刈り取り区）（図2-1）。実験は、2008年7月6日から2008年9月5日の2ヶ月間行った。このうち、7月6日に水草の植栽を、8月4日に魚の投入を、また、8月18日に各区画で水面及び側面を覆っていた糸状藻類の除去を行った。

2.2 実験材料（水草及び魚）

水草は、7/5に滋賀県米原市丹生川の醒ヶ井養鱒場下流部で採集したコカナダモ（*Elodea nuttallii*）を用いた。コカナダモを用いた理由として、群落を形成し易いこと、材料が容易かつ大量に採集できたためである。コカナダモは流水中に生えている株から先端から20cmの長さに切りとり、ナイロン袋に入れ、保冷剤を入れたクーラーボックスで保存し大学に持ち帰った。それを、25cm×25cmの金属製ネット2枚で30本ずつ（ 2.7 ± 0.5 g dry wt）を挟み、結束バンドを用いて金属製ネットが開かないように固定した（図2-1）。これを計28ネット作成した。そして7月6日に16ネットを植栽区に、12ネットを刈り取り区のコンテナ土壌上に置いた。

投入する魚はキンギョ（*Carassius auratus auratus*）（和金）とし、体長約4～6cmのものを用いた。キンギョを用いた理由は、水草が繁茂した状態で魚を掬いとる際に、容易に発見できること、均一な個体が一度に大量に入手可能であったためである。購入後、1週間程度水路の水に慣らしておき、8月4日に投入した。胃の内容物を調べるために各採水後に5匹ずつサンプリングしたが、実験期間中は、水路内に飼育のための方形区を設けておき、そこから補充し常に約15匹が区画内にいるように設定した。

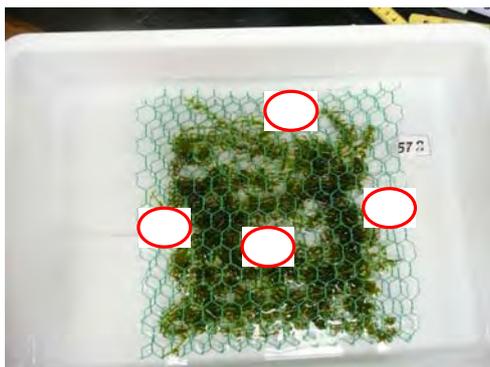


図2-2 植栽用ネット

赤丸の位置で、結束バンドを用いてネットを固定した。

2.3 環境測定及び水質分析

2.3.1 環境測定及び分析用試水のサンプリング

調査は、7月9日、7月25日、7月31日、8月7日、8月18日、8月28日、9月5日の計7回行った。各調査日において、11:00頃から各区画と水路で多項目水質計（HORIBA, U-10）を用いてpH、DO、濁度、電気伝導度、水温を、DOメーター（IIJIMA, ID-100）を用いてDO、水温を測定した。次にクロロフィル-a、T-N、T-Pの濃度測定のために300ccの水を採水した。環境測定と採水が終わった後に、円筒型のネットを沈め、その日の日没後にネットを引き上げ、水体中の動物プランクトンの採取を行った。

また、7月20日に区画3および区画7の表層（水深：10cm）と底層（水深：70cm）にデータロガー（onset, HOB0）を設置し、水温を一時間毎に9月5日まで連続測定した。

2.3.2 クロロフィル-aの分析

採水したサンプル100mlを、手動式吸引ろ過器（ケニス株式会社製）を用いて濾過した。ろ紙はワットマンガラス繊維ろ紙GF/F（25mm）を用いた。濾過したろ紙は、4つ折りにしてアルミホイルで包み、冷凍庫（-20℃）にて保管した。

測定は、滋賀県大津市にある滋賀県琵琶湖環境科学センターにて行った。試験管（13×100mm）にろ紙を入れ、アセトン：DMSO=1：1に混合した溶媒を5ml加えた。パラフィルムで蓋をした後、試験管ミキサー（AS ONE, TRIO）を用いてよく混ぜ合わせた。暗所で一時間ほど放置した後、クロロフィル-aが抽出された溶媒を別の試験管に移し替えた。試験管を蛍光光度計（TURNER DESIGNS, 10-AU Fluorometer）に差し込み、測定（F0）を行った。次に、測定し終わった試験管に1N HClを2滴加えよく攪拌した。その後、二回目の測定（Fa）を行い、下記の式を用いてクロロフィル-aの濃度を求めた。廃液は廃液入れに、ろ紙はガラスゴミとして捨て、試験管は軽く水洗いした後、洗浄液に入れてつけおきした。

$$\text{クロロフィル-a } (\mu\text{g/l}) = (F0 - Fa) \times Fc \times v / V$$

v：抽出液の体積（ml） V：濾過した水の体積（ml） Fc = 2.2608271

2.3.3 N、Pの分析

採水したサンプルは、冷凍庫（-20℃）で保管し、分析直前に自然解凍した。濾過を行っていないサンプルを用いて全窒素（T-N）、全リン（T-P）の分析を行った。クロロ

フィル-a の分析を行うために濾過したサンプルを用いて溶存態窒素(D-N)、溶存態リン(D-P)の分析を行った。T-N・D-Nの分析には、ペルオキシ二硫酸カリウム分解-紫外線吸光度法(JIS法)を用いた。T-P・D-Pの分析には、ペルオキシ二硫酸カリウム分解-モリブデン青・アスコルビン酸還元法(JIS法)を用いた。

2.3.4 コカナダモの生長量測定及びPVIの計算

現存量の測定のために、方形区外の水路に設けた刈り取り用のコンテナ3個づつを7月25日、8月5日、8月18日、9月5日の計4回刈り取りとった。刈り取ったコカナダモは20cmごとに層別刈り取りを行い、層ごとにナイロン袋に入れ冷蔵庫(4~6℃)にて保管した。ネットには含まれた部位以下を地下部とし、地下部は、茎、根の湿重、乾重を、地上部は、各層ごとに根の湿重、乾重と芽茎の湿重、乾重それに芽の数、茎数を計測した。ただし、葉は茎から分離せず茎の中を含めた。さらに10本をランダムに選び節の数、葉の枚数、茎の直径、茎長の測定を行った。また植栽区のエンクロージャーについても9月6日に全てを刈り取り、同様の作業を行った。

植栽した実験区のPVIは、区画毎の平均群落高を用いて下記の式を使って計算した。群落高の測定は、水のサンプリングと同じ日に行った。ただし、実測値のない7月19日と7月25日については、7月11日~7月31日までの日成長量を求めて推定した。

$$PVI(\%) = h / V \times 100$$

h : 平均群落高 (cm) V : 隔離水界の体積 (0.8 m³)

2.3.5 動物プランクトン数の計測

採取した動物プランクトンは、ポリ瓶にいれ、すぐにホルマリン固定を行った。大学に持ち帰り、顕微鏡を使い、1mmメッシュの罫線スライドガラスを用いて計測を行った。一つのポリ瓶につき5回(5ml)計測した。これを、50mlに換算した後、ネットを引き上げた体積(51L)から、1L当たりの個体数密度を推定した。このとき、動物プランクトンを大型(1mm以上)、中型(0.2~1mm)、小型(0.2mm以下)の3種類に分類した。

3. 結果

3.1 各条件区及び水路における環境条件

水温の連続測定の結果を図 2-3 に示す。1日の最高水温は、表層で午後 3 時から 4 時の間、底層で午後 5 時から 6 時の間に、そして1日の最低水温は、表層で午前 6 時から 7 時の間、底層で午前 7 時前後に記録された。また、日中の表層と底層の温度差は、水草植栽区の区画 3 で 2 °C から 3 °C、非植栽区の区画 7 で 2 °C となり、区画 7の方が温度差は若干小さかった。夜間の温度差は、どちらも 0 °C から 1 °C であった。上層の水温は、植栽区の方が非植栽区よりも有意に高く推移した ($P < 0.05$, U 検定)。しかし、底層の水温については、有意な差が現れなかった。

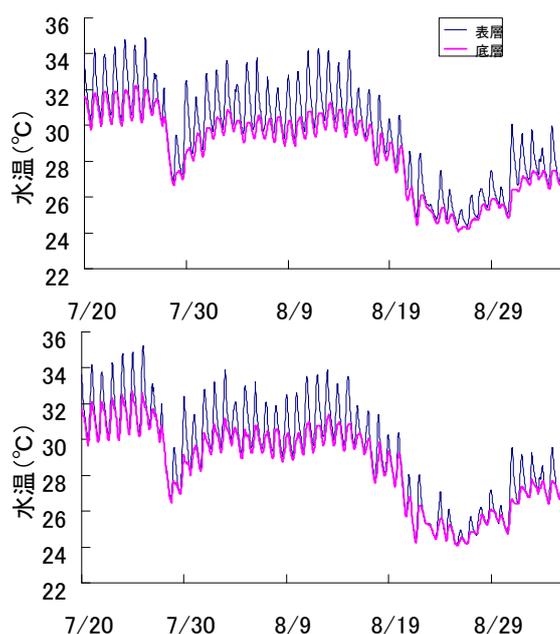


図2-3 実験区に設置したデータロガーによる、実験期間中の水温分布

上：区画3（水草あり魚あり）

下：区画7（水草なし魚あり）

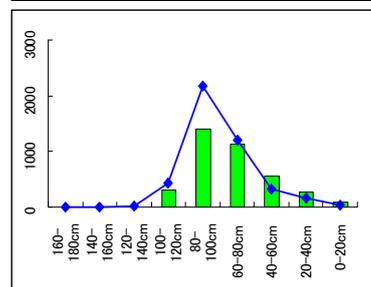
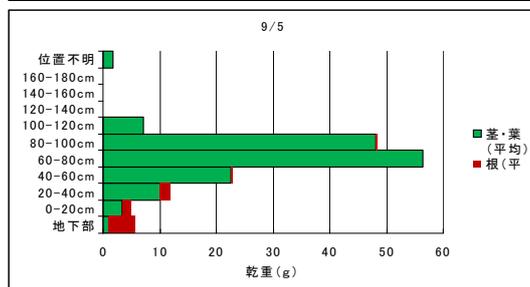
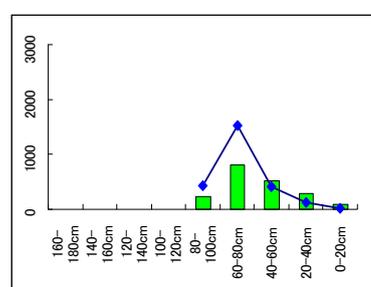
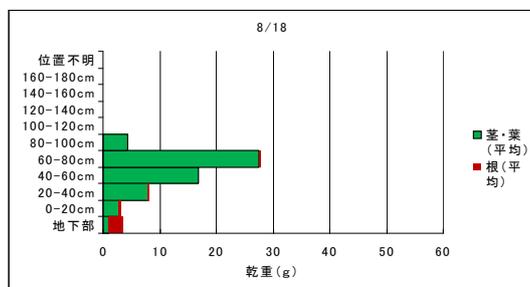
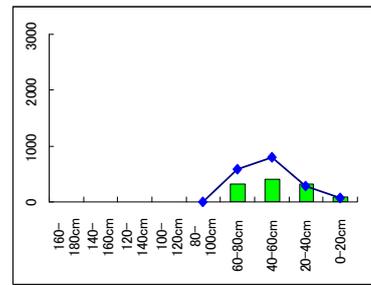
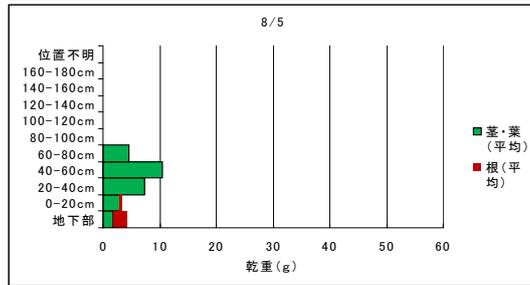
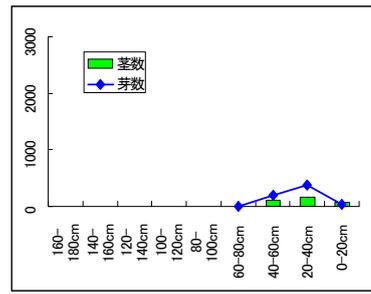
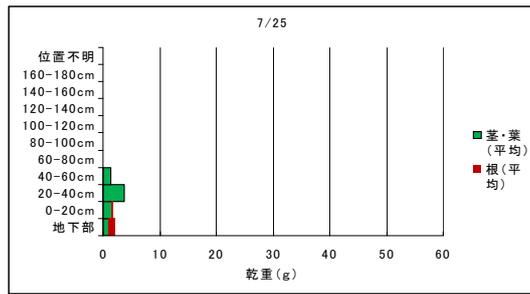


図 3-1 コカナダモの層別刈り取りの結果

図 3-2 層ごとの茎と芽数の変化

3.2 コカナダモの成長量

水路の刈り取り区のコカナダモの平均群落高は9月5日まで伸び続け、9月5日には最大176 cm、平均107 cmに達した。刈り取った全層を合わせた平均の乾重は、7月25日に7.8、8月5日に27.1、8月18日に60.3、9月5日に150.6 g dry weightとなった(図3-1、図3-2)。乾重が最大になった層は、7月25日に20-40 cm、8月5日に40-60 cm、8月18日に60-80 cm、9月5日に60-80 cm、次いで80-100 cmと、時間とともに徐々に上部に移動した。また、乾重が最大になった層が、芽及び茎数も一番多くなった。

エンクロージャーの植栽区では、区画2を除き最終的に約65 g dry weight / m²となった。平均群落高は区画2を除き約60 cmで頭打ちとなった(図3-3)。PVIは、植え付け日から8月5日まで増加し続け70%前後となり、その後はゆるやかに増加し80%ほどになった(図3-4)。ただし、区画2については60%ほどとなった。区画2では特に極端であったが、エンクロージャー内では、水路での植栽に比べてのコカナダモの成長が総じて悪かった。

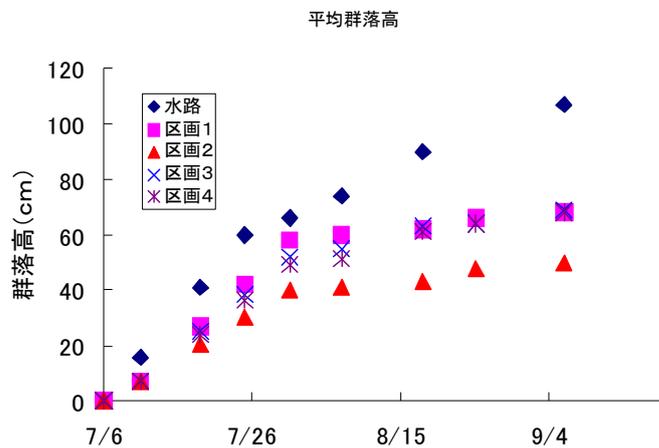


図3-3 植栽区と水路における平均群落高の変化

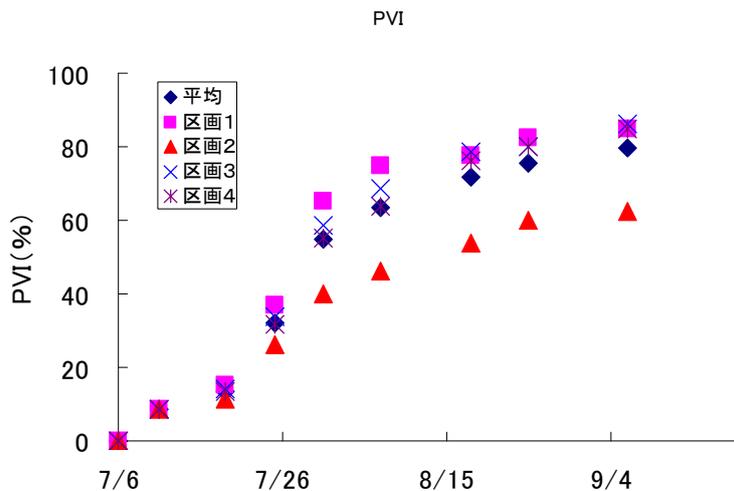


図3-4 植栽区と水路におけるPVIの変化

3.3 水路の水質（図 3-5）

リン：7月31日に TP、DP ともに増加が見られたが、どちらの濃度も実験期間中おおむね減少傾向が続いた。また、TP と DP の差は日を追うごとに小さくなった。

窒素：TN、DN ともに、7月19日から7月25日に急激な減少が見られ、7月31日はまた増加した。しかし、その後は減少したまま 0.5 mg/l 前後で大きな変化は見られず、TN、DN ともに同じような動きを示した。

Chl. a：実験期間中は高く $7 \mu\text{g/l}$ 前後であったが、増減の波が続いた。一時期を除き、全体的に実験区より高い濃度であった。

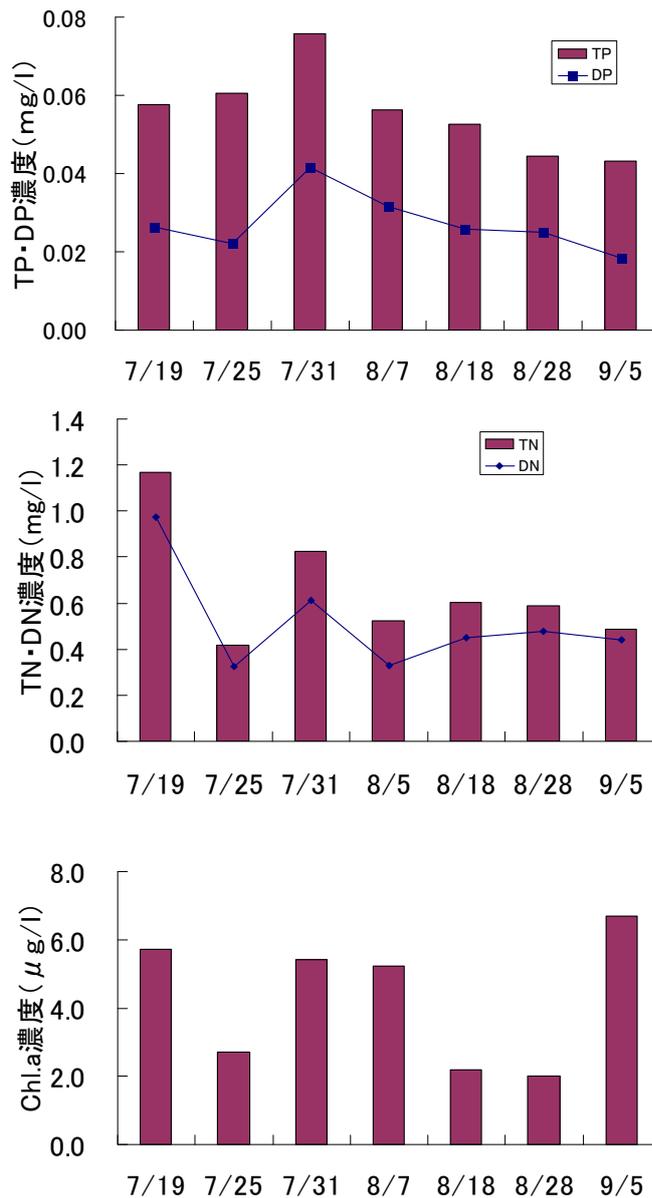


図 3-5 水路における TP、DP、TN、DN、Chl. a 濃度の変化

3.4 実験区ごとの水質変化

リンの経時変化を図 3-6 に示す。水草非植栽区では植栽区に比べて明らかに濃度が高く推移した。また魚投入区（8月4日以降）では非投入区に比べ、水草の有無にかかわらず、高く水位した。同様の傾向は窒素についても見られた（図 3-7）。Chl. a についても同様の傾向が見られたが、8月28日、9月5日では、非植栽区で魚投入区で極端に高い濃度となった（図 3-8）。

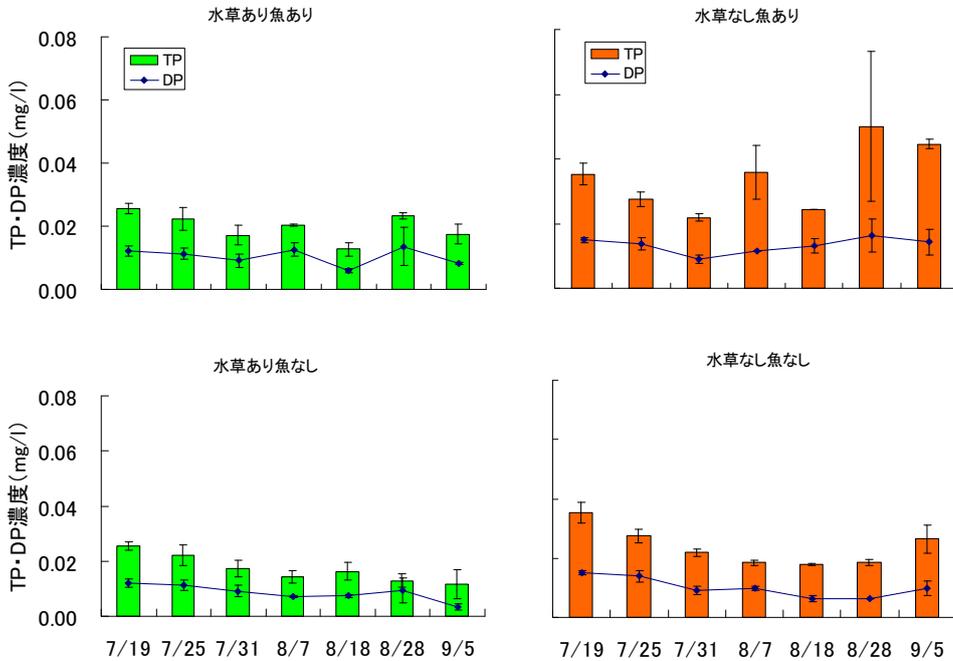


図 3-6 実験区ごとの TP、DP 濃度（平均値）の変化 * キンギョは 8/4 にした。

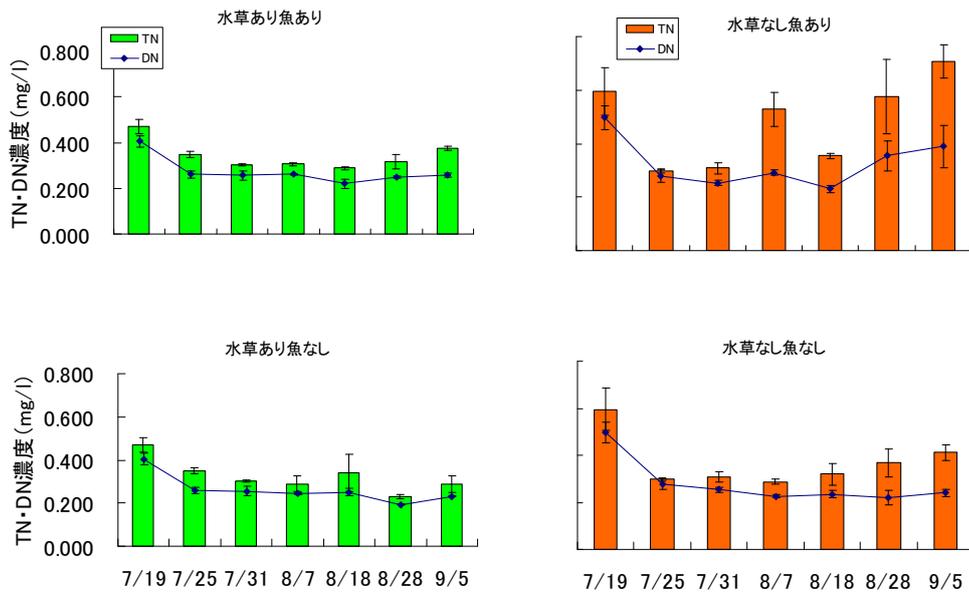


図3-7 実験区ごとの TN、DN濃度（平均値）の変化 * キンギョは8/4に投入した。

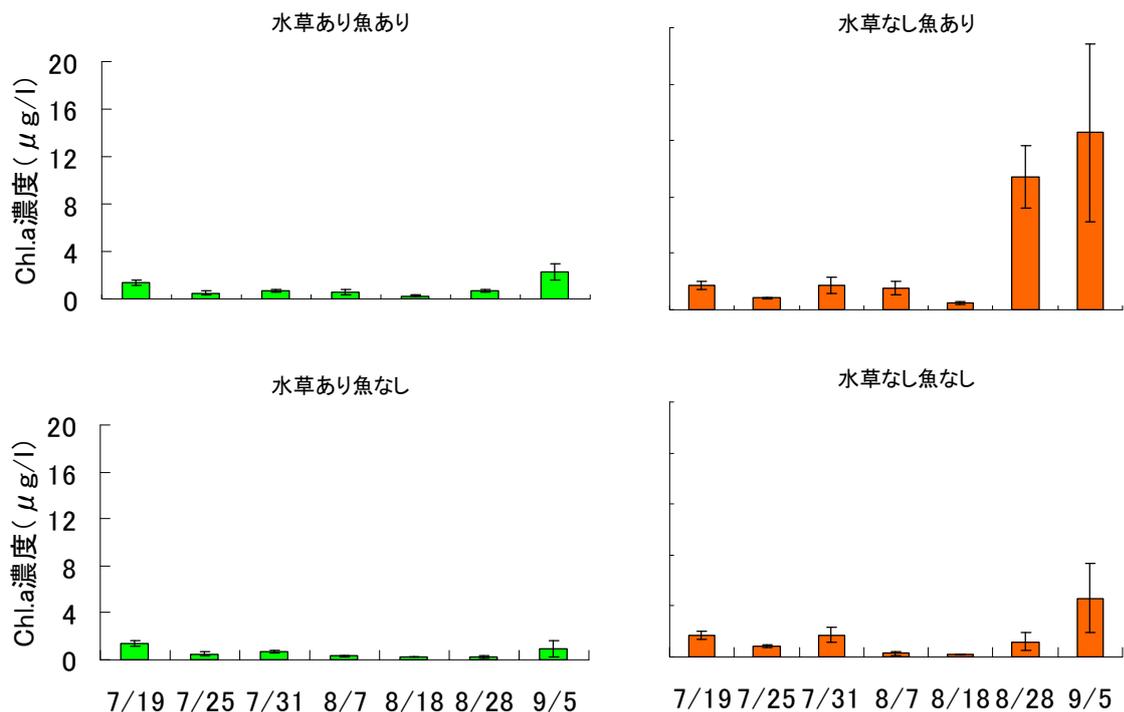


図3-8 実験区ごとのChl. a濃度（平均値）の変化 * キンギョは8/4に投入した.

4. 考察

今回の実験結果から、隔離水界内に水草が存在することによる水質の改善効果が示された。魚がない場合に Nakamura *et al.* (2007)の結果と同じように、PVIの増加とともに栄養塩濃度が減少するという結果が得られ、沈水植物群落が水質を改善している可能性が示唆された。その効果は、一定量ならば魚が存在していても期待できることが分かった。さらに、豊富な水草群落が存在していれば、環境に変化が加えられても水質が安定した状態で維持されることが示された。

また、動物プランクトンと植物プランクトンの増減に相関は見られなかった。さらに、植栽区・非植栽区ともに大型の動物プランクトンの増加が抑えられていたことで、沈水植物が退避地としての役割を果たすという説は今回の実験結果からは支持することはできなかった。

特に、今回用いた方形区が水路幅との関係から面積が $1 \times 1 \text{ m}^2$ といった小さなものを用いたが、壁面に付着した糸状藻類の繁茂が著しく、動物プランクトンのサンプリング上、途中の8月18日に除去を行わざるを得なかった。藻類除去後の8月28日、9月5日に非植栽区で特にN、PやChl. aに増加が見られたが、これが除去による影響なのかどうか確認できなかった。糸状藻類による栄養塩の除去効果が今回の実験では算定できていないので、水界生態系全体としての十分な解析にまでは至っていない。

これらの問題を克服するためには、壁面の効果が出ないように、エンクロージャーのサイズを大きくする必要があると考えられるが、それにしても水草群落に付着する藻類の影響は除去できない。藻類の成長を抑制する何らかの方法を見いだす必要があると考えられる。

5. 引用文献

浜端悦治 (2003) 琵琶湖における夏の渇水と湖岸植生面積の変化—2000年の渇水調査から—,

琵琶湖研究所所報 20, 134–145.

Hamabata, E. & Kobayashi, Y. (2002) Present status of submerged macrophyte growth in Lake Biwa: Recent recovery following a summer decline in the water level. *Lakes & Reservoirs: Research and management* 7, 331–338.

Nakamura, K., Kayaba, Y., Nishihiro, J. & Takamura, N. (2007) Effects of submerged plants on water quality and biota in large-scale experimental ponds. *Landscape Ecol. Eng.* 4(1), 1–9.

Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C. & Walker, B. (2001) Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413, 591–596.

Schriver, P., Bogestrand, J., Jeppesen, E. & Sondergaard, M. (1995) Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton-phytoplankton interactions: large-scale enclosure experiments in a shallow eutrophic lake. *Freshwater Biology* 33, 255–270.

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

実験センター所長

武田 篤

実験センター主任研究員

和田 桂子

滋賀県立大学 環境科学部 環境生態学科 准教授

浜端 悦治

滋賀県立大学 環境科学部 環境生態学科

鈴木 寛之

3. 珪藻等の増殖を目的とした河川・湖沼における窒素・ケイ酸濃度制御方法に関する野外水槽実験（2）

1. はじめに

（1）目的

本実験は、アオコ等の競争相手である珪藻類を増殖させることによって、水質を浄化することを目的とし、湖沼や河川において水質中の過剰な窒素を除去し、不足しがちな溶存態ケイ酸を補給することにより栄養塩のバランスをコントロールし、珪藻等の増殖効果を確認するものである。

（2）概要

実験は深池型浄化実験施設（2連水槽）を用い、実験水槽においては窒素分の除去、ケイ酸供給材料を通過した処理水を流入、ブランク水槽には原水を流入させ、水質、付着藻類、植物プランクトン等の計測、分析を行い水質浄化の効果等を確認した。

本報告は平成20年度及び平成21年度に行った実験の報告である。

2. 実験の背景

（1）ケイ酸供給による水環境改善

湖沼における水質保全は、富栄養化の観点から窒素・リンに環境基準が定められ各種排水対策などが行われてきたが、アオコなどの有害植物プランクトンの異常増殖は必ずしも解決されていない。

近年、生態系（植物プランクトンの構成種バランス）の修復には、これまでの窒素・リンに加え、珪藻の生産と密接な関係のあるケイ酸（シリカ）成分が着目されている。ケイ酸は珪藻がその骨格を形成するのに不可欠な成分であり、窒素・リンが豊富な場合、珪藻の増殖にはケイ酸が制限元素となることがわかってきた。また、ケイ酸濃度が十分高い水域では、藍藻類（アオコ）、渦鞭毛藻類（赤潮）よりも珪藻が優先し、他の藻類の異常増殖を抑制できることも次第に明らかになってきた。このことは窒素・リンに比べ相対的にケイ酸が不足した水域に人為的にケイ酸を供給することにより珪藻の増殖を促し、アオコや赤潮などの有害植物プランクトンの異常増殖を抑制できることを示すものである。

藻類の元素構成比(重量比)

Si:P:N

珪藻 ¹⁾	100	: 1	: 12
藍藻 ²⁾	—	: 1	: 15
緑藻 ³⁾	30	: 1	: 6

1)琵琶湖の珪藻 Nagai,2001 2)ミクロステイス Gerloff 3)Biyo センターの糸状藻類

例えば平成 15 年には東北地方整備局が主催した「海の生態系を支える河川システム研究会」により、海域への鉄やケイ素、フミン質等の供給の観点から河川の栄養塩類の供給システムの検討が行われており、海域における水産生物の増殖に河川からのケイ酸供給が非常に重要な役割を果たしていることが明らかになっている。

また、河川におけるケイ酸の挙動については平成 19 年 11 月（財）河川環境管理財団より「河川におけるケイ酸などの無機溶存物質の流出機構に関する研究」において、陸域

でのケイ酸の溶出機構、珪藻などプランクトンへの摂取に関する研究がとりまとめられている。

本研究はダム湖等におけるアオコの発生などの水質障害に対して、「沈木+シラスチップ」を使用し、窒素分の除去並びにケイ酸の供給等によりダム湖等の植物プランクトン種を制御し、有害植物プランクトンであるアオコや淡水赤潮の発生を抑制し、水域の環境保全を図るための環境保全技術を開発研究するものである。

例えば水資源機構が管理する 47 のダム等の施設のうち、植物プランクトンの異常増殖（アオコ、淡水赤潮等）が発生している施設は平成 18 年には 22 施設で計 43 件に達しており、近畿圏に限っても、琵琶湖、青蓮寺ダム、室生ダム、布目ダム、一庫ダム、日吉ダムで毎年のように植物プランクトンの異常増殖が発生している。このようなダム湖に加え、湖沼、ため池、公園等の修景池、養殖施設、お堀など、本技術が適応可能な淡水域は多岐にわたる。

またダム湖内（湛水域）の環境保全だけでなく、ダム下流においてはケイ酸濃度の高い放流水が供給されるため、アユ等の有用魚種の餌となる珪藻の増殖が期待できる。

加えて、本技術は淡水域だけでなく、沿岸域、河口や港湾、広くは大阪湾における植物プランクトンの異常増殖（赤潮、他）や生産性向上についても応用可能である。

表-2.1 主な淡水植物プランクトンとその特徴

	主な水質障害と代表種	特徴	評価
 <p>藍藻類</p>	<p>「アオコ」</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ミクロキスティス(有毒) ・アナベナ(有毒・カビ臭) ・フォルミディウム(カビ臭) 	<p>異常増殖すると、ペンキを流したような緑色となるほか、カビ臭や有毒物質を生成し、水質障害が著しい。</p>	<p>いずれの藻類も異常増殖した場合には水質障害を引き起こすが、珪藻類の場合は有害性が小さく、1次生産として上位の生物のエネルギーとなりやすい。</p> <p>珪藻の増殖にはケイ酸が不可欠であるが、湛水域では珪藻遺骸として沈降堆積しやすく、不足しやすい条件にある。</p> <p>リンなどの栄養塩を除去するだけでは栄養塩バランスが崩れ「淡水赤潮」などが発生する。</p>  <p>珪藻類の増殖は藻類バランスを回復させ、藍藻等の単一藻類の異常増殖を抑制するとともに、生物多様性の向上が期待できる。</p>
 <p>珪藻類</p>	<p>「水の華」</p> <ul style="list-style-type: none"> ・キクロテア(ろ過障害) ・ニッチア(ろ過障害) 	<p>動物プランクトンや底生生物、魚類の餌となる。</p> <p>二酸化ケイ素でできた殻をもっており、枯死すると速やかに水底に沈降・堆積する。</p>	
 <p>緑藻類</p>	<p>「水の華」</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ミドロ(ろ過障害) 	<p>糸状藻類の代表種(アオミドロ等)</p>	
<p>その他</p>	<p>「淡水赤潮」</p> <p>黄色鞭毛藻類 渦鞭毛藻類</p>	<p>富栄養でなくとも淡水赤潮が発生、水質障害を引き起こすことがある。</p>	

(2) 珪藻の増殖と水環境改善

植物プランクトンは生態系ピラミッドの一次生産者として、我々人類をはじめ、鳥や魚など生態系全体を支える貴重な役割を担っている。しかし富栄養化した水域にみられるアオコや水の華等、特定の植物プランクトンの異常な増殖は、有毒性や忌避、溶存酸素の低下など水域の環境を悪化させ、上位の生態系を貧弱なものにしてしまっている。

この状況を変えるために、水域へ流入する窒素分を除去し、かつケイ酸を供給することにより、動物プランクトンや魚類等の餌としても有用な珪藻を増殖させることは、生態系ピラミッドの底辺だけでなくより上位の生物相を豊かにし、健全な水環境の再生につながり、水産生物の増殖にも有効である。また上位の生物相への栄養塩供給は、水域内の栄養塩類の系外への移出にもなり、水質改善効果も期待できる。

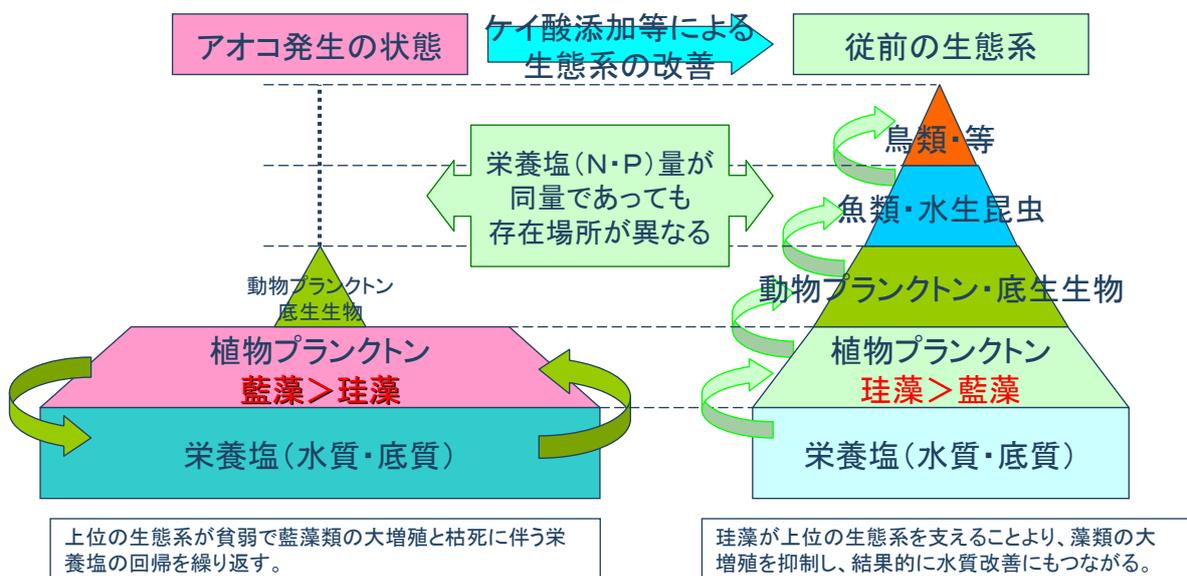


図-2.1 珪藻の増殖と水質改善・水環境改善

3. 実験方法

(1) 実験概要

野外水槽実験は平成20年度、平成21年度の2年間実施し、ケイ酸供給により、珪藻類の増殖、藍藻類の抑制、動物プランクトン等の増殖の確認。沈木による窒素・リンの除去、シラスチップによるケイ酸の供給、処理プラントにおける効果的な配置、運転方法の確認を実施した。

表-3.1 実験概要

実験課題	①ケイ酸添加によるアオコ抑制(水質浄化)効果の検証	②効果的なケイ酸溶出、水質制御技術の開発
目標	ケイ酸供給により、珪藻類の増殖、藍藻類の抑制、動物プランクトン等の増殖を確認する。	沈木による窒素・リンの除去、シラスチップによるケイ酸の供給を、処理プラントにおける効果的な配置、運転方法を確認する。
H20年度 実験内容	野外水槽実験 (1年次) H20.7~H21.3	室内予備実験 ↓ 処理プラントの設計
H21年度 実験内容	野外水槽実験 (2年次) H21.7~H22.1	処理プラントの製作 ↓ 処理プラントの運転

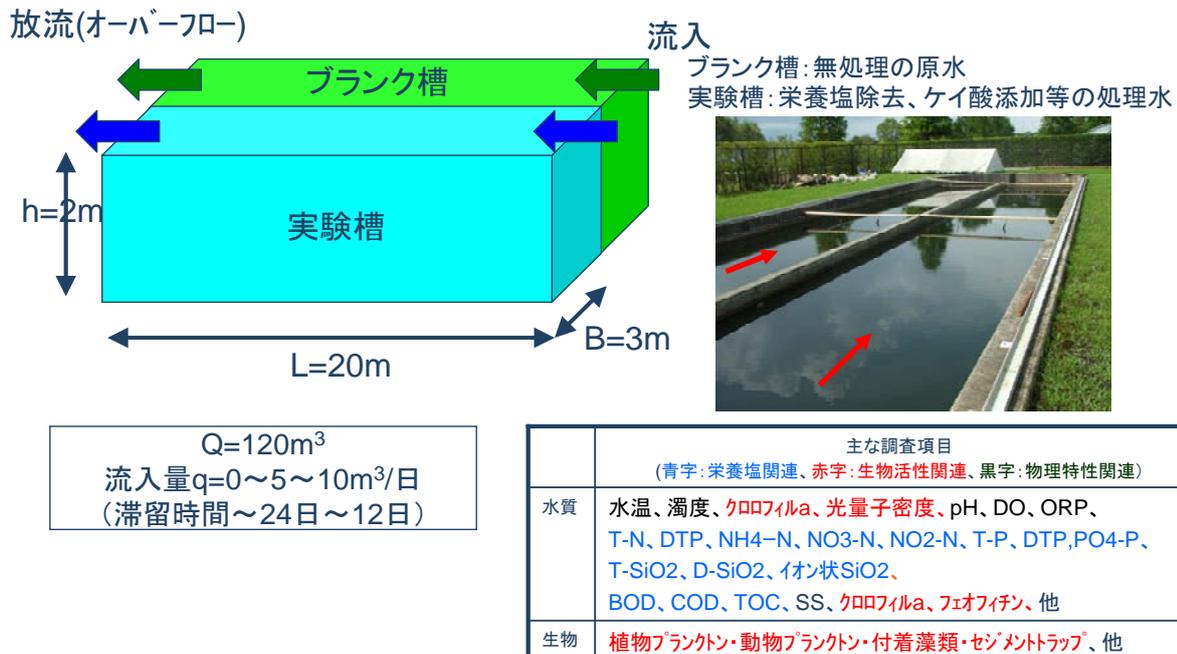


図-3.1 実験概要

(2) 窒素除去・ケイ酸添加の方法

栄養塩コントロールとしての窒素除去は沈木層に原水を通過させることにより行う。沈木はダム湖等の流木を使用し、数十cm大の大きさに切りそろえたものである。

平成20年度は受水槽に、平成21年度は別途処理槽を設けて実験した。

ケイ酸添加の方法は九州産のシラスと流木チップ（おが粉）を混合した「シラスチップ」に原水を通過（浸潤）させることにより行った。



写真-3.1 シラスチップの例

(3) 実験方法

主な実験条件を表-3.2に、原水・処理水の流れ等を図-3.1に示す。

表-3.2 主な実験条件

		H20年度	H21年度		
		実証実験	実証実験Ⅰ	実証実験Ⅱ	実証実験Ⅲ
実験期間		H20.7.16 ～H21.2.26	H21.7.1 ～H21.8.31	H20.9.2 ～H21.11.11	H20.11.12 ～H22.1.12
概要	栄養塩除去	横流式沈木層	上向流式沈木槽 (処理プラント)	なし (沈木槽:単独実験)	上向流式沈木槽 (処理プラント)
	ケイ酸添加	シラスチップ層 夏:土のう垂下 秋冬:濾過式	浸潤型シラスチップ槽 (処理プラント)	同左	同左
	流量	約5m ³ /日	約5m ³ /日	流入なし(実験槽約 6m ³ /日の循環)	流入なし(実験槽約 10m ³ /日の循環)
原水 (初期) 水質	T-N(mg/L)	0.6～1.1	(実:2.8 プ:2.8)	(実:4.2 プ:5.3)	(実:2.4 プ:3.4)
	T-P(mg/L)	0.05～0.13	(実:0.10 プ:0.13)	(実:0.28 プ:0.33)	(実:0.07 プ:0.19)
	D-SiO ₂ (mg/L)	10～16	(実:2.4 プ:2.2)	(実:4.1 プ:5.1)	(実:2.1 プ:3.2)
計測頻度		概ね月1回	同左	同左	同左

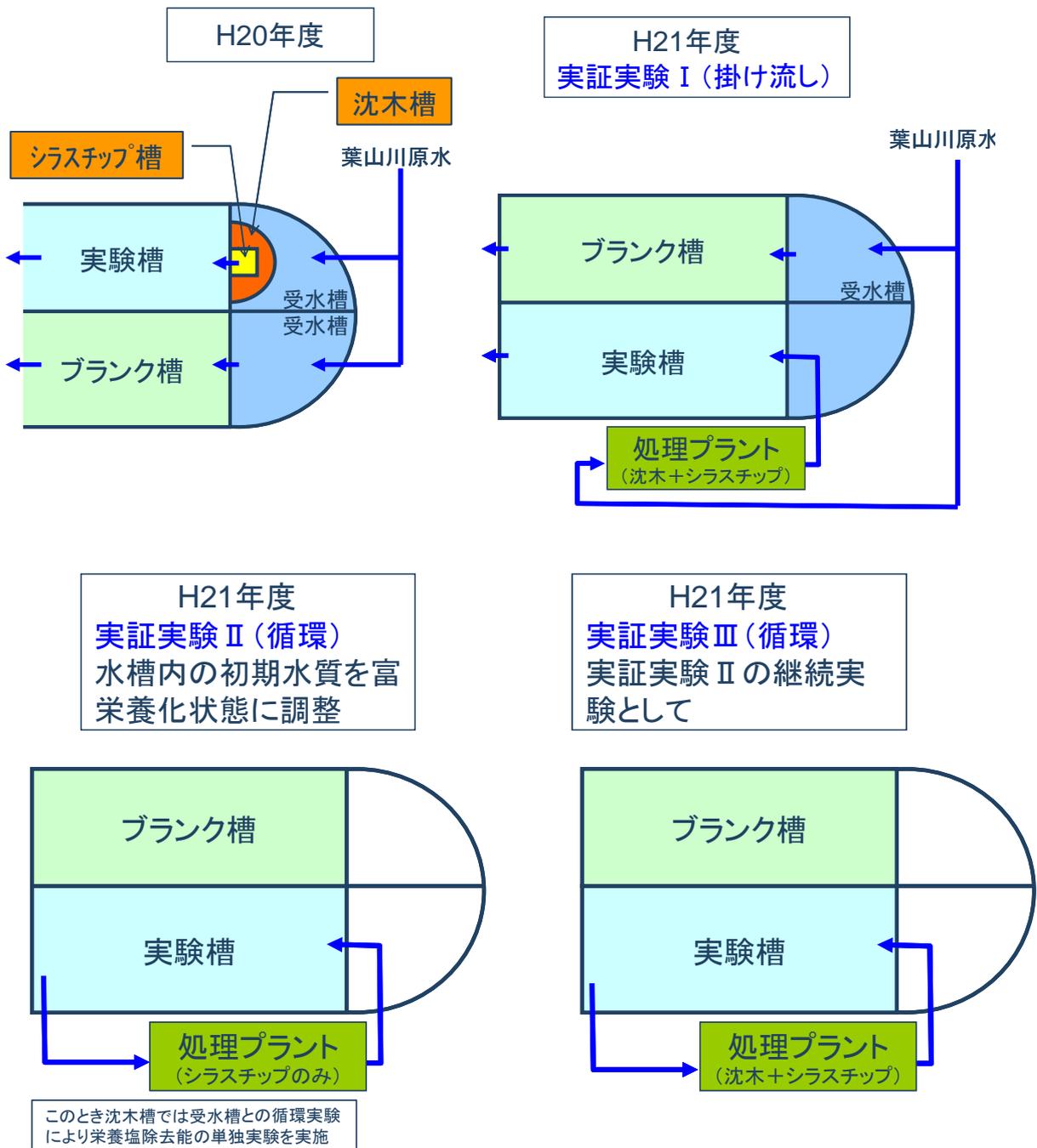


図-3.2 原水・処理水の流れ

(4) 計測、分析方法

現場計測及び採水分析の手法を表-3.3、表-3.4に示す。

なお、実験槽、ブランク槽での採水分析の位置は特に断らない限り、中央部の中層とする。機器計測の位置等は図-3.3のとおり。

表-3.3 現場計測時の使用機器

項目	試料の採取方法	2009/7/2~9/30		2009/11/11~2/16	
		分析方法	備考	分析方法	備考
水温	多項目水質計	AAQ	JFEアレック	AAQ1183	JFEアレック
DO	DOメータ	クオンタ	ハイドロラボ	AAQ1183	JFEアレック
pH	pHメータ	pHメータ	YSI	AAQ1183	JFEアレック
濁度	多項目水質計	AAQ	JFEアレック	AAQ1183	JFEアレック
クロロフィルa	多項目水質計	AAQ	JFEアレック	AAQ1183	JFEアレック
光量子密度	多項目水質計	AAQ	JFEアレック	LI-1400	メイワフォーシス株式会社
電気伝導度	多項目水質計	AAQ	JFEアレック	AAQ1183	JFEアレック

表-3.4 分析方法、前処理等

項目	試料の採取方法	前処理等	分析方法
SiO ₂	採水分析	-	ICP法発光分光分析法
D-SiO ₂	採水分析	1μmメンブランフィルターによるろ過	ICP法発光分光分析法
イオン状SiO ₂	採水分析	1μmメンブランフィルターによるろ過	モリブデン青吸光光度法
SS	採水分析	-	ガラス繊維ろ紙法
VSS	採水分析	-	重量法+600°Cによる燃焼
BOD	採水分析	-	隔膜電極法
D-BOD	採水分析	1μmメンブランフィルターによるろ過	隔膜電極法
T-N	採水分析	ペルオキシニ硫酸カリウム分解法	220nm(紫外線による測定)
DTN	採水分析	0.45μmメンブランフィルターによるろ過	220nm(紫外線による測定)
NH ₄ -N	採水分析	蒸留もしくは0.45μmメンブランフィルターによるろ過	インドフェノール青吸光光度法
NO ₂ -N	採水分析	0.45μmメンブランフィルターによるろ過	ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
NO ₃ -N	採水分析	0.45μmメンブランフィルターによるろ過	イオンクロマトグラフ法
T-P	採水分析	ペルオキシニ硫酸カリウム分解法	吸光光度法
DTP	採水分析	ペルオキシニ硫酸カリウム分解法	吸光光度法
PO ₄ -P	採水分析	0.45μmメンブランフィルターによるろ過	モリブデン青吸光光度法
TOC	採水分析	TC-IC	燃焼酸化-赤外線法
フィオフィチン	採水分析	ろ紙+アセトン抽出+酸添加	2波長吸光光度測定法
クロロフィルa	採水分析	ろ紙+アセトン抽出+酸添加	4波長吸光光度測定法
フミン酸	採水分析	0.45μmメンブランフィルターによるろ過	450nmによる吸光光度測定法
濁度	採水分析	-	積分球式光度法
植物プランクトン	採水分析	静置による沈殿、濃縮	顕微鏡下にて一定量の同定・計数
動物プランクトン	採水分析	静置による沈殿、濃縮	顕微鏡下にて一定量の同定・計数
付着藻類	-	-	顕微鏡下にて一定量の同定・計数
T-N	セディメントトラップ	加熱分解+蒸留	総和法
T-P	セディメントトラップ	硝酸-過塩素酸分解	吸光光度法
T-Si	セディメントトラップ	硝酸-過塩素酸分解	重量法
フィオフィチン	セディメントトラップ	ろ紙+アセトン抽出+酸添加	2波長吸光光度測定法
クロロフィルa	セディメントトラップ	ろ紙+アセトン抽出+酸添加	4波長吸光光度測定法

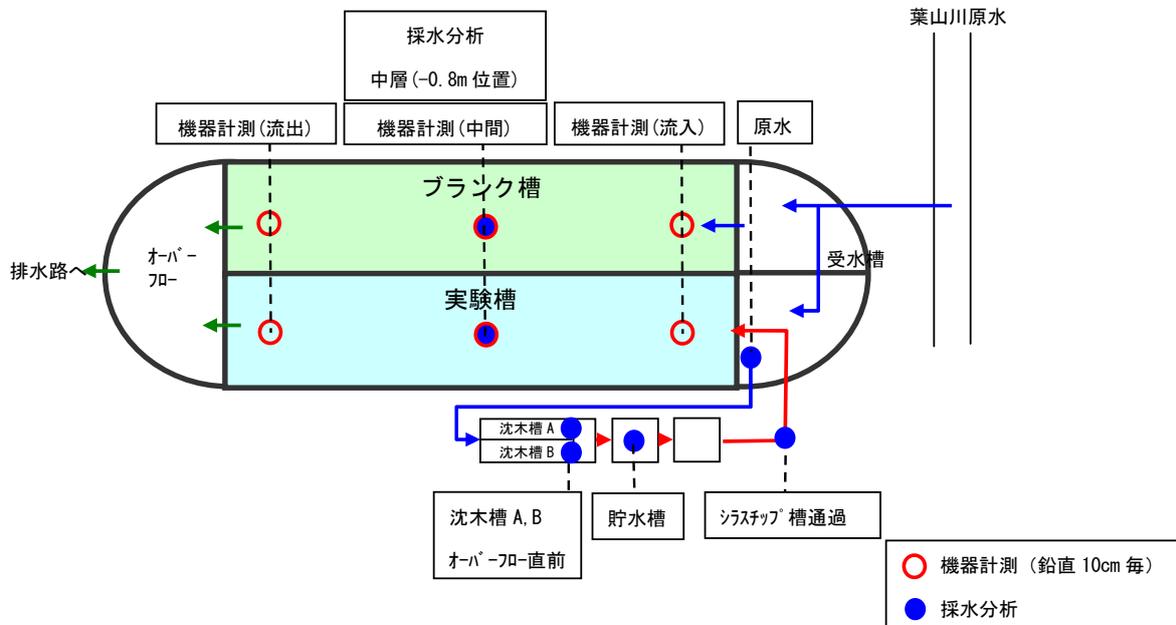


図-3.3 調査位置図の例 (H21 実証実験 I)



平成20年度 (H20. 7. 24)



平成21年度 処理プラント据付 (H21. 6. 26)



平成21年度 (H21. 8. 8)



平成21年度 (H21. 8. 8)

写真-3.2 実験状況

4. 実験結果

4. 1 平成 20 年度実験結果

(1) 沈木+シラスチップによる水環境の改善効果

①藻類の異常増殖の抑制

盛夏の7月～8月において、ブランク槽では水面を覆うほどの緑藻類が異常増殖をしたが、実験槽では藻類の異常増殖は生じなかった。

②藍藻類の抑制

アオコの異常増殖は実験期間中みとめられなかったが、藍藻類はブランク槽に比較して細胞数で約30%に抑制されていた。



写真-4.1 実験状況 (7月撮影)

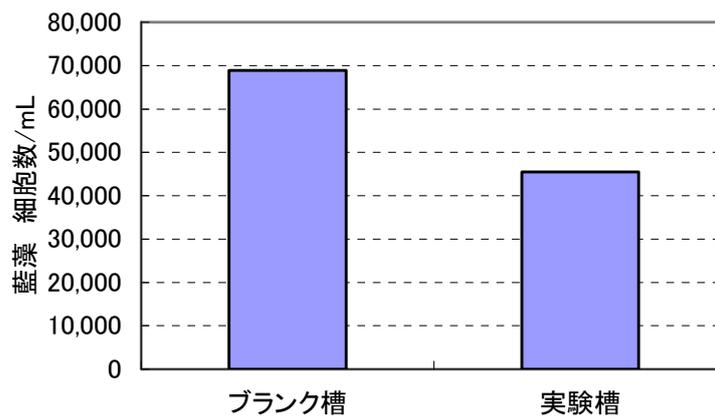


図-4.1 藍藻の細胞数 (9月測定)

③健全な生態系の構築

植物プランクトンの量はブランク槽で大きかったが、以下のような動物プランクトン等の食餌圧を受けていることをみると、実際にはより多くの珪藻を中心とした植物プランクトンが発生し、高次の生態系を支えているものと推察される。

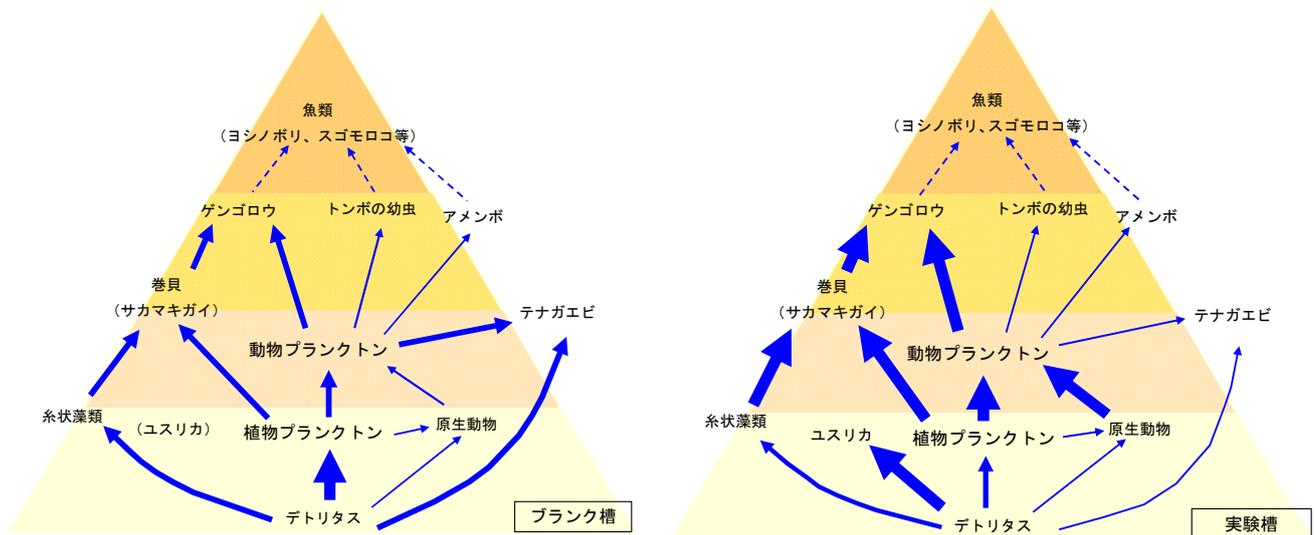
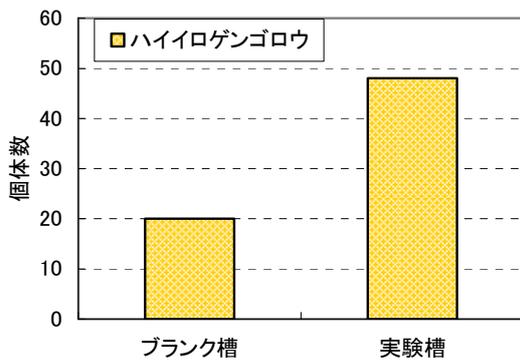


図-4.2 ブランク槽と実験槽の生態系ピラミッドの相違（矢印の太さは出現数に比例）

・生態系ピラミッドの上位に位置するゲンゴロウの増殖

ハイロゲンゴロウは両水槽に見られたが、実験槽にはブランク槽の3倍ほどのゲンゴロウが生息していた。また付着藻類を餌とするサカマキガイは25倍の生息量であった。



ハイロゲンゴロウ

図-4.3 ハイロゲンゴロウの観測数（9月測定）

・種類や量の豊富な動物プランクトン

ゲンゴロウの食餌圧を受けていながら、実験槽ではblank槽と比べて、動物プランクトンの種類数・個体数とも上回っている。

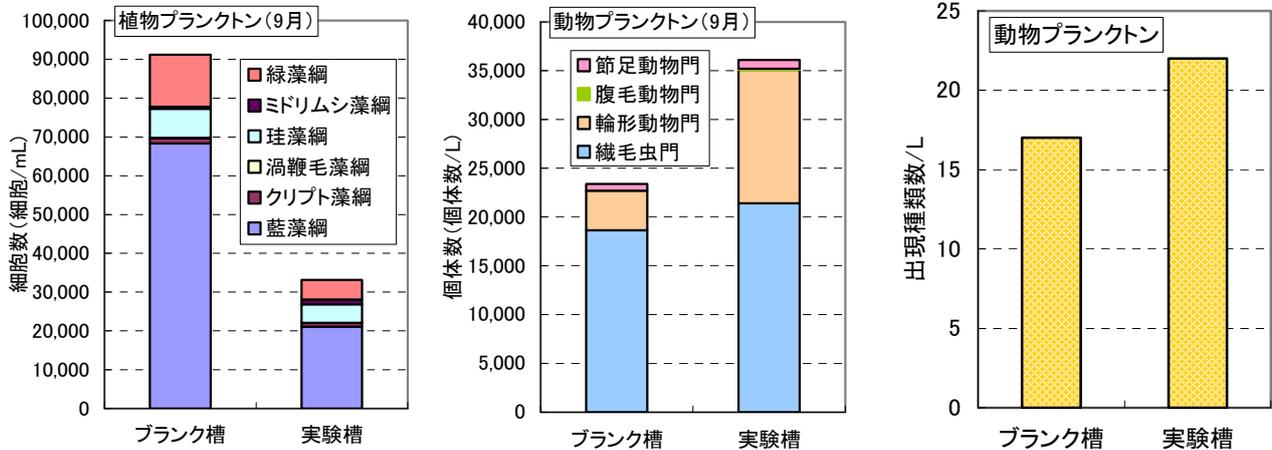


図-4.4 プランクトンの出現状況

④低濃度域においても発揮された、窒素・リン除去能力

沈木+シラスチップにおいては、8月には若干異なる結果が出たが、1mg/L以下のDTNにおいても75%以上、0.05mg/LのPO₄-Pにおいても50%程度の除去能力を有しており、低濃度域においても窒素・リンの除去能力を有していた。

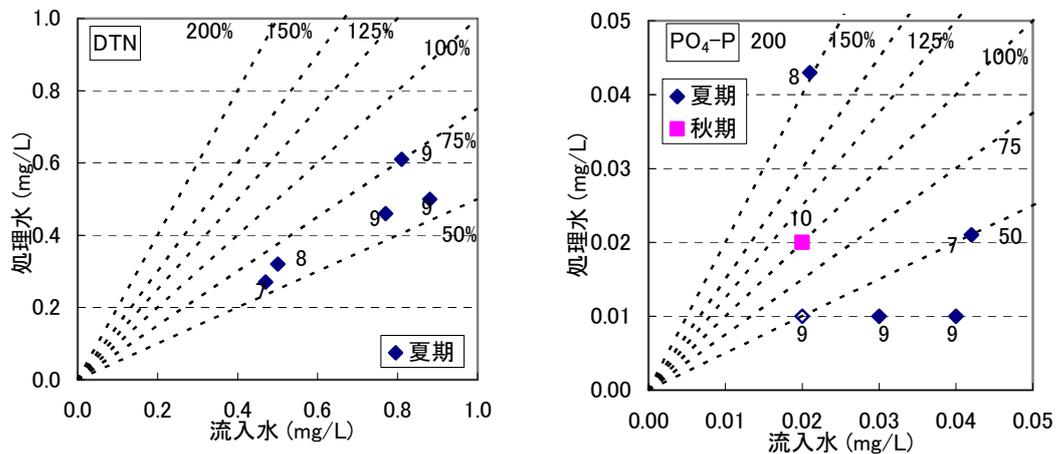


図-4.5 DTN、PO₄-Pの流入水/処理水比

4. 2 平成21年度実験結果

(1) 処理プラントのケイ酸溶出量

処理プラントの稼動初期には+3mg/Lの溶出量があったが、時間が経過するに従い溶出能力は低下、最終的には+0.1mg/L程度となった。これはシラスチップ槽においてシラスチップが固結、循環水との接触が悪くなったこと、実験初期の夏季に比べ秋季、冬季と水温が低下するに従い溶出量が低下したものと考えられる。

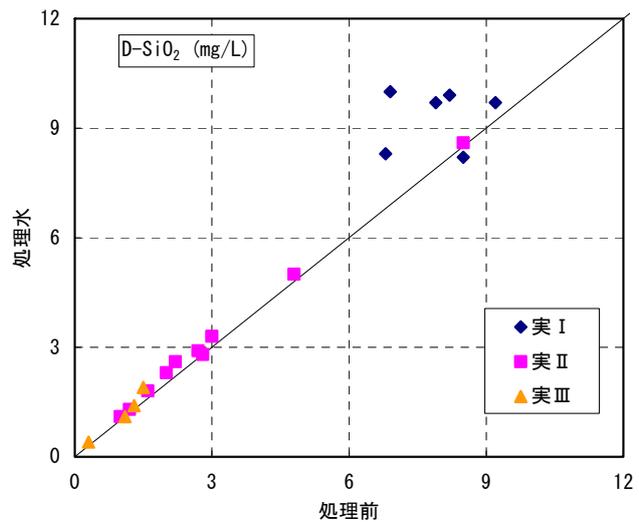


図-4.6 D-SiO₂ の溶出濃度の変化

(2) 処理プラントの窒素除去能力

処理プラントの窒素分の除去能力は一時的に 35%以上に達する場合あるものの、平均的には 10%~25%であった。除去能力が落ちた時は濁質を人為的に投入した時や水温が低い秋~冬期である。

除去能力が 20%前後とはいえ低水温時（冬期間）に発現する窒素除去など、これまでの水処理では不可能だった浄化作用は、沈木浄化システムの適切なコントロールで十分可能な技術に展開出来る見通しがついた。沈木浄化槽への過度の洗浄は、全体としての浄化機能を減少させる可能性が極めて大きい。

沈木浄化槽の浄化機能には、1) 沈木表面の働き、通水時間に伴い、2) 沈木上面に付着していく「バイオフィーム等付着物」の働きの二つが共生している可能性が示された。

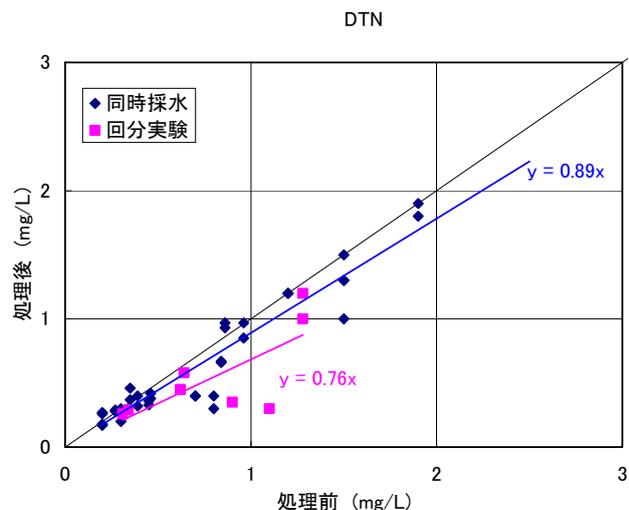


図-4.7 DTN の除去能力

(3) 実験槽とブランク槽の水質・底質

実験槽においては、ブランク槽に比較して透明度が向上、底まで目視できる状況であった。

水質は実験槽で窒素・リン等の栄養塩濃度が低下した。底質は実験槽でより多くの栄養塩類の堆積が確認された。

実験槽でより多くの水中の栄養塩が植物・動物プランクトンに取り込まれ、その結果、水質が向上したものと考えられる。生物遺骸の沈降・堆積量も実験槽で多いが、大型生物のいない実験水域での結果であり、実水域では水生昆虫や魚類等のより上位の生物相の餌として消費されることが期待できる。



写真-4.2 実験槽とブランク槽の状況

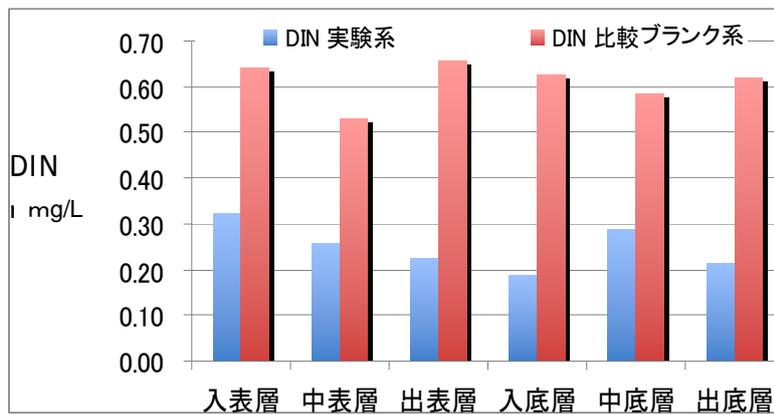


図-4.8 水槽内の DIN

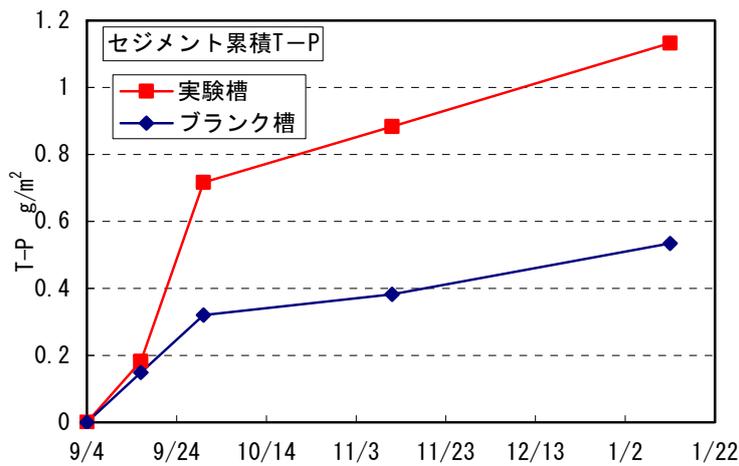


図-4.9 底泥中の T-P

(3) 栄養塩制御に伴う珪藻の優先、アオコの駆逐状況

珪藻の優先については、7月の実験開始後1ヶ月後、2ヶ月後の計測において実験槽において有意に珪藻が増殖しており、藍藻類も実験槽でその出現量が少なく、ケイ酸供給に伴う珪藻の優先、藍藻類の抑制の効果を確認できた。

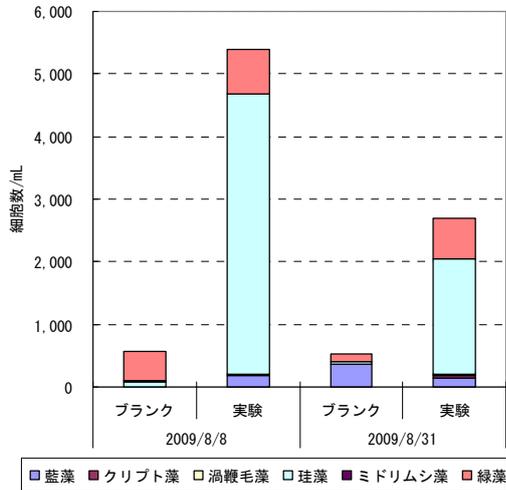


図-4.10 植物プランクトン分析結果

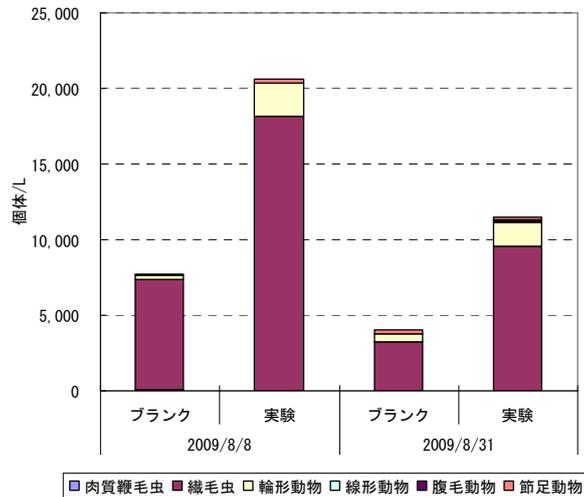


図-4.11 動物プランクトンの出現状況

表-4.1 実験終了時の水槽内の大型生物

採取日:2010/2/16

試料名	種類	個体数	質量 (g)	備考
実験水路	テナガエビ属	2	2.6	20~14mm
	ハイロゲンゴロウ	215	69.2	10~13mm
	サカマキガイ	12	0.9	3mm程度
	トンボ科 幼虫	62	28.5	20mm程度
	ヨシノボリ属	2	5.7	27~31mm
	ホンモロコ	1	2.1	62mm
ブランク水路	テナガエビ属	5	11.6	70~25mm
	ハイロゲンゴロウ	57	15.3	10~13mm
	サカマキガイ	23	2.1	3~4mm
	トンボ科 幼虫	2	1.1	20mm程度

※個体数が少なくかつ幼虫などで軽量の場合は計量から省い

また、今年度の実験においても、終了時の生物調査の結果、水槽内に生息するゲンゴロウの数をカウントすると、ブランク槽 57 匹に対して、実験槽 215 匹と昨年の実験と同様に実験水槽でゲンゴロウの生息数が多かった。

以上より、本システムによる水質浄化機能は、ケイ酸供給により珪藻を中心とした藻類の増殖に伴う水質の改善と、増殖した珪藻類を餌としてより豊かな生態系の再生が可能であることを明確に示すものである。

5. まとめ

ケイ酸を添加することによる珪藻類の増殖、藍藻類の抑制が実験結果によって確認された。

水質の変化は特に流入水のない条件（閉鎖性水域）で顕著であり、植物プランクトンの増殖により窒素、リン濃度はいずれも低下する。一方底質には枯死したプランクトンが堆積することにより、底泥の窒素、リン、ケイ酸量は増加する。

ケイ酸を対象水域に添加することにより、増殖速度の大きい珪藻類の増殖が促進され、相対的に藍藻類・緑藻類の増殖が抑制される。一部の藍藻類はアオコとして有毒性、有害性があることからより有害性プランクトンの増殖抑制の効果が期待できる。

また、珪藻類はアユなどの淡水魚類の餌になるなどより生態系ピラミッドのより高次の生物相への転換が期待できる。実証実験ではケイ酸を添加した実験槽においてケイ酸を加えないブランク槽に比較して、動物プランクトンの種類・量ともに増加したことやより高次の生物であるゲンゴロウの生息数が多いことが実証された。

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構	水質浄化研究所次長	久納 誠
	水質浄化研究所統括研究員	和田 桂子
	実験センター所長	今井 崇
	企画開発部研究員	岡田 裕毅
株式会社ニュージェック	地圏グループ 理事	押尾 重雄
	港湾・海岸グループ チームマネージャー	山下 剛史
	港湾・海岸グループ	竹内 麻衣子

【付記】

本実験は株式会社ニュージェックとの共同実験であり、関西電力(株)が(株)ニュージェックに発注した委託研究の一部として実施されたものである。

また、石巻専修大学理工学部高碓みつる教授に技術指導を受けて実施したものである。

4. ヨシ帯を用いた水質浄化パイロット実験 (ヨシ表面バイオフィルムの水浄化への応用)

1. 目的

バイオフィルム(以下 BF)は、水と接する各種固体表面に普遍的に見られる微生物共同体で、主に微生物、細胞外ポリマー、ポリマー間の間隙水で構成されている。

2007年～2008年の研究により、ヨシ表面バイオフィルム(以下 BF とする)の形成は約2～3週間と早く、特に形成初期(7日目)ですでに、BF中の栄養塩濃度、細菌密度、細菌の活性が周辺湖水中よりも高くなっていることがわかった。この急激なBF形成の要因として、次のように考えられた。即ち、BFポリマーが正負の両荷電を持ち、これらの荷電により反対符号の栄養塩イオンがBF内に静電的に引き寄せられ、濃縮される結果、微生物の増殖が促進される。以上の事より、BF(特に形成過程初期)が琵琶湖湖水環境において水浄化に役立っている可能性が示唆された。

そこで、本研究では、従来あまり考慮されてこなかった「微生物の棲み家(habitat)としてのヨシ群落」という新しい視点を加え、琵琶湖の湖水環境においてヨシ群落が果たしている水浄化能を調べることに、またその際にヨシBFがどのように水浄化に関わっているのかを調べることを目的に琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センターにおいて実験を行った。

実験の概略を以下に示す。

本研究では、ヨシ生長期とヨシの生長が止まった時期のヨシBFの水浄化能、およびヨシが枯れた時期にヨシBFと他のBFの水浄化能を比較した。そのため、次に示す5つの時期に浅池型浄化水路を用いた実験を行った。

○第一フェーズ(パルス実験)：2009年7/3および7/10(ヨシ生長期)

高濃度の栄養塩を水路上流に一時的に加え、経時的に水を採取し、各水路の水浄化能を解析した。

○第一フェーズ(通常実験)：2009年7/2、4、11、15(ヨシ生長期)

葉山川から取水した水をそのまま各水路に流し、各実験日ごとに同時刻に一度だけ水を採取し、各水路の水浄化能を解析した。

○第二フェーズ：2009年9/24(ヨシ生長停止期)

葉山川から取水した水をそのまま各水路に流し、経時的に水を採取し、各水路の水浄化能を解析した。

○第三、四、五フェーズ：2010年1/18(ヨシ枯れ期)および3/5、4/27(新芽生長期)

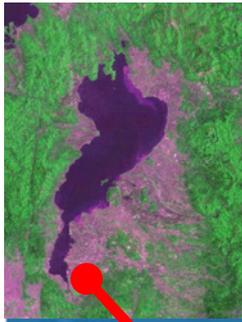
葉山川から取水した水をそのまま各水路に流し、経時的に水を採取し、ヨシBFと不織布BFの水浄化能を解析、比較した。

2. 実験概要

2.1 実験実施場所

2.1.1 サンプルング場所

滋賀県草津市Biyoセンター(琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター)浅池型実験施設(図2-1および図2-2)



Biyo センター



図 2-1 サンプルング場所

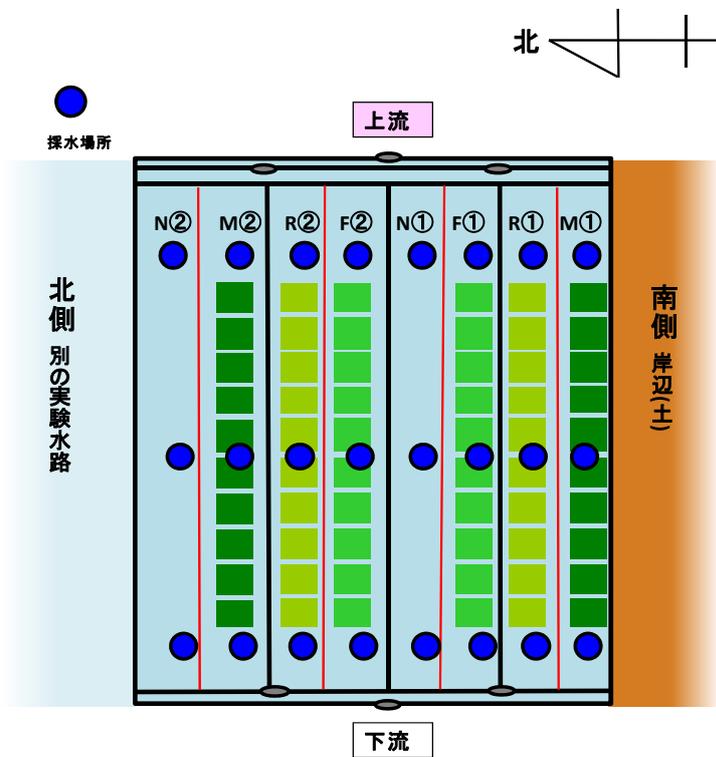


図 2-2 浅池型浄化実験施設 拡大

【水路の種類】4種類の水路を2連(水路①、水路②)で作った。

水路 M(Mature):成熟した BF がついたままのヨシが入った水路

水路 R(Rhizome):ヨシの水中部分茎を刈り取った根のみが入った水路

水路 F(Forming):形成過程の BF がついたヨシが入った水路(実験日の二日前にすべてのヨシ BF を軍手で拭き取り、BF が付いていない状態にした)

水路 N(Negative Control):何も植えていない水路

※すべての水路にヨシ苗床マット 15 枚と砂が入っている。

※各水路は同一規格で長さ 18m、幅 1.2m、水深 0.3mであり、滞留時間は 6 時間に設定した。

※各水路は葉山川から取水した水がそのまま流れている。

2.2 実験方法

2.2.1(1) 各フェーズの実験方法

第一フェーズから第五フェーズまでの実験方法を以下に示す。なお栄養塩はオートアナライザー (BLTEC 製) を用い、比色定量法で測定した。

①第一フェーズ(パルス実験)

各水路の上流に栄養塩(KNO_3 : 460mmol KH_2PO_4 : 121mmol)を加え、よく攪拌した。栄養塩を加えた直後(9:00)を 0h とし、0h~6h まで 1 時間ごとに各水路の上流、中流、下流から水を採取し、栄養塩濃度(NO_3^- 、 PO_4^{3-})を測定した。

②第一フェーズ(通常実験)

葉山川から取水した水がそのまま流れている通常の日、各水路の上流、中流、下流から同時刻(7/2、4、11 は 9:30、7/15 は 13:00)に一度だけ水を採取し、栄養塩濃度(NO_3^- 、 PO_4^{3-})を測定した。

③第二フェーズ

葉山川から取水した水がそのまま流れている通常の日 6:00~15:00 の間 3 時間ごと(6:00、9:00、13:00、15:00)に、各水路の上流、中流、下流から水を採取し、栄養塩濃度(NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 、 NO_2^-)を測定した。

- ・ 気温

実験施設の岸辺での気温をアルコール温度計で測定した。

- ・ 水温

各水路の下流に設置した水温計で、10 分おきに経時的に測定した。

- ・ PH、DO

PH/DO メーター (D55、HORIBA、JAPAN) を用い、各水路の上流、中流、下流の水面下 10cm 地点を測定した。実験日当日の 10 時と 16 時に一連で測定した。

- ・ 光量

光量計(L1250、L1-COR,USA)を用い、実験施設の中央 1 地点(水路 N1 と水路 F2 の間: 空気中、2 連)を 6~15 時まで経時的に測定した。

- ・ 水路水

各水路の上流、中流、下流から、6~15 時まで 3 時間毎(6 時、9 時、12 時、15 時)に採水した。1 N 塩酸で洗浄したペットボトル(500mL,容)を水路水で共洗いしてから、ペットボトルを水路水で満たした。

- ・ ヨシ

BF の形成されたヨシの水中部分をハサミで切り取り、水路水で共洗いした滅菌済み

プラスチック容器に入れた。9時と15時の水路水採取時に、水路MとFからそれぞれ約6本ずつ採取した。

・水路水濾過液作製

採取直後の水路水を、孔径 $0.2\mu\text{m}$ の Membrane filter (ADVANTEC 製) で濾過した。その後、冷凍保存した。

・BF 懸濁液作製

懸濁液作製時にはゴム手袋を着用し、70%エタノールで滅菌しておいた。また、使用する器具は、すべて70%エタノールで滅菌してから使用した。

採取直後のヨシをオートクレーブ滅菌(121度、20分間)した蒸留水50mLを入れたプラスチック容器に移し、ヨシ表面を歯ブラシ(G・U・M デンタル歯ブラシ#191 超コンパクトヘッド ふつう、サンスター)で擦り、6本すべて懸濁した。その後、Membrane filter (ADVANTEC 製) で濾過し、冷凍保存した。

④第三、四、五フェーズ

第三、四、五フェーズでは、水路M②および水路N②のみを用いて実験を行った(図2-3)。

・《水路の種類》

1)水路ヨシ(水路M②)：ヨシを植えた1本の水路で、上流から中流を形成過程のヨシBF(BFを実験2日前に拭き取った)、中流から下流を成熟したヨシBF(BFが付いたまま何もしていない)に分けた。

2)水路不織布(水路N②)：ヨシを植えていない1本の水路で、上流から中流を形成過程の不織布BF(実験2日前に不織布を取り付けた)、中流から下流を成熟した不織布BF(3週間以上前から不織布を取り付けて、成熟BFを形成させた)に分けた。

葉山川から取水した水がそのまま流れている通常の日(7:00~16:00の間)、各水路から水を経時的(水路ヨシは3時間、水路不織布は2時間ごと)に採取し、栄養塩濃度(NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 、 NO_2^-)を測定した。

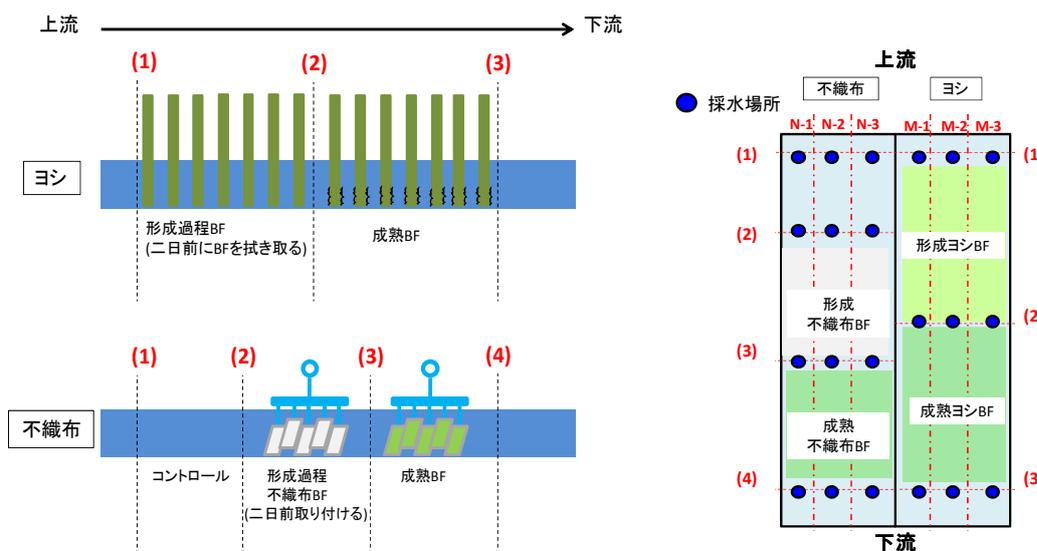


図 2-3 水路図(ヨシ、不織布)

2.2.1(2)各フェーズの栄養塩の除去量、除去率の算出方法

各水路の滞留時間は6時間であり、水は上流から下流まで淀むことなく均等に流れ

ると仮定した。採取した水の栄養塩(NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 、 NO_2^-)濃度を測定し、除去量と除去率を以下の方法で算出した。計算式は、第一フェーズ(パルス実験)、第一フェーズ(通常実験)、第二フェーズ、第三～五フェーズでそれぞれ異なる。

①第一フェーズ(パルス実験)

各水路の上流に栄養塩(KNO_3 : 460mmol KH_2PO_4 : 121mmol)を加えた直後(9:00)を0hとし、0h～6hまでの水路の各ポイント(上流、中流、下流)の栄養塩濃度の経時変化から(図 2-4-a)、以下の方法で除去量、除去率を算出した。ここでは、加えた栄養塩濃度のピークがきれいに見られた中流のデータを用いた。

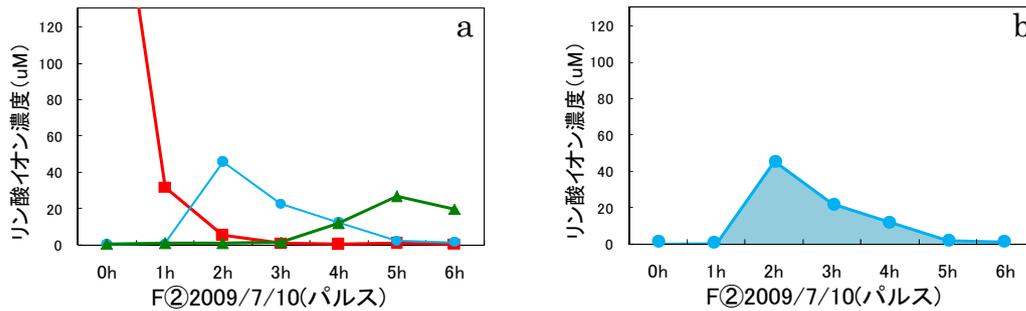


図 2-4-a リン酸イオン濃度の経時変化 図 2-4 -b リン酸イオン濃度の経時変化(中流)

栄養塩を外部から加えていないとき、水路の栄養塩濃度は時間が経過しても変化しないと仮定し、0hの時の濃度より増加した分は全て上流で加えた栄養塩によるものであると考えた。

中流で採取した水中のリン酸イオン濃度は、図 2-4-b のように 6 時間の間変化した。6 時間の中にこの採水地点を通過する水の総量は 6480L である(滞留時間 6 時間なので、水路一本分の水の総量に等しくなる)。この水の総量に、図 2-4-b 中の青色部分より求めた 6 時間の平均濃度をかけると、採水地点中流を通過したリン酸イオンの総量 $M(\text{PO}_4^{3-})_{\text{中流}}$ が算出できる。上流で加えたリン酸イオンの総量 $M(\text{PO}_4^{3-})_{\text{上流}}$ から $M(\text{PO}_4^{3-})_{\text{中流}}$ を差し引けば、上流から中流にかけて除去されたリン酸イオンの総量 $R(\text{PO}_4^{3-})_{\text{上流} \sim \text{中流}}$ を算出できる。式で表すと次のようになる(式(i))。

除去量が $M(\text{PO}_4^{3-})_{\text{上流}}$ の時を除去率 100%とし、除去率を算出した(式(ii))。

$$[\text{除去量}] \quad R(\text{PO}_4^{3-})_{\text{上流} \sim \text{中流}} = M(\text{PO}_4^{3-})_{\text{上流}} - M(\text{PO}_4^{3-})_{\text{中流}} \quad (\text{i})$$

$$[\text{除去率}] \quad \frac{R(\text{PO}_4^{3-})_{\text{上流} \sim \text{中流}}}{M(\text{PO}_4^{3-})_{\text{上流}}} \times 100 = \text{除去率}(\%) \quad (\text{ii})$$

②第一フェーズ(通常実験)

栄養塩を外部から加えていないとき水路の栄養塩濃度は時間が経過しても変化しないと仮定した。同時刻にサンプリングした上流と下流の水の栄養塩濃度を基に、下記の式から各水路の栄養塩の除去量と除去率を算出した。

[除去量]

$$\{(\text{上流の栄養塩濃度}) - (\text{下流の栄養塩濃度})\} \times (\text{水路 1 本分の体積}) = \text{除去量}(\text{mmol})$$

[除去率]

$$\frac{\{(\text{上流の栄養塩濃度}) - (\text{下流の栄養塩濃度})\}}{(\text{上流の栄養塩濃度})} \times 100 = \text{除去率}(\%)$$

③第二フェーズ

水路のリテンションタイムは6時間であり、水は上流から下流まで淀むことなく均等に流れると仮定する。ある時刻の中流の水は3時間前の上流、下流の水は6時間前の上流の水に相当する。従って、ある時刻の上流の水の栄養塩濃度と3時間後の中流、6時間後の下流の水の栄養塩濃度を比較すれば、上流から中流さらに下流まで流れる間にどれだけの栄養塩が除去(あるいは生産)されたかが解ると考えられる。水が上流から下流を流れる間に栄養塩が全く除去(あるいは生産)されなかった場合を100%とし、除去量から除去率を求めた。このように、各水路の6時間分の除去量、除去率を算出した。

④第三、四、五フェーズ

図2-5に示すように、上流で濃度が経時的に変化していたため(第一フェーズ(通常実験)ではこの点を確認していない)、同時刻の上流と下流を比較することができないと判断した。そこで、以下の方法で除去量、除去率を算出した。

第三、四、五フェーズでは、水路の上流から中流を形成BF、中流から下流を成熟BFの二区画に分け、それぞれの区画ごとの除去量を求めた。

滞留時間は6時間なので、ある時刻の上流の水は3時間後に中流に達する(図2-6)。従って、ある時刻の上流の水の栄養塩濃度と3時間後の中流の水の栄養塩濃度を比較すれば、上流から中流まで流れる間(形成BF区画の間)にどれだけの栄養塩が除去されたかが解ると考えられる(図2-6中の赤矢印部分)。各地点(上流、3時間後の中流)の栄養塩濃度からそれぞれの地点の6時間の平均濃度を算出し、6時間の間に各地点を通過する水の総量6480Lをかけると、各地点を通過した栄養塩量の総量が算出できる。上流を通過した栄養塩の総量から3時間後の中流を通過した栄養塩の総量を差し引き、上流から中流(形成BF区画の間)にかけて除去された栄養塩の総量を算出した。同様に、ある時刻の中流の水の栄養塩濃度と3時間後の下流の栄養塩濃度を比較し、中流から下流(成熟BF区画)にかけて除去された栄養塩の総量を算出した。

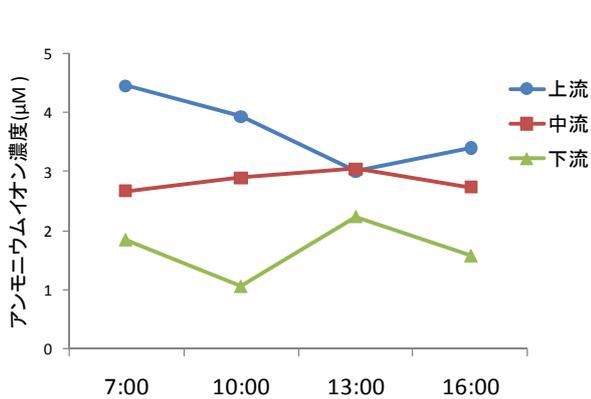


図 2-5 アンモニウムイオン濃度の経時変化

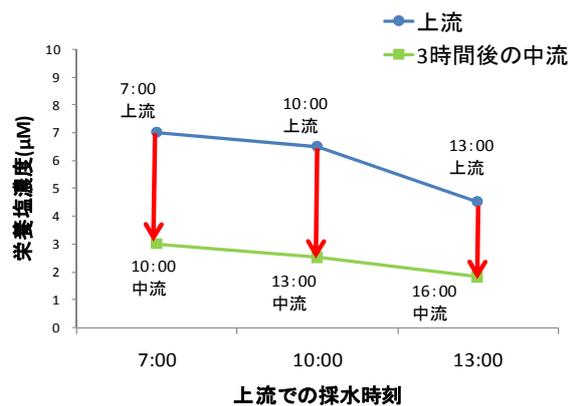


図 2-6 各地点の栄養塩濃度の経時変化

3. 実験結果、考察

第一フェーズから第五フェーズの結果を以下に示す。

3.1.1 第一フェーズ(パルス実験)

第一フェーズ(パルス実験)は、2009年の7/3および7/10に実験を行った。実験日の天気は、7/3は、晴れ時々曇りであり、光量は多かった(約 $900 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)。水温は、実験開始(午前9:00、約 24°C)から経時的に上昇し、昼(14:00、 28°C)に最も高くなった。その後、実験終了(17:00、 26°C)まで徐々に低下していった。一方、7/10は雨であり、光量は少なかった(約 $120 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)。水温は、実験開始(午前9:00)から終了(17:00)まで約 $26\sim 27^\circ\text{C}$ と一定であった。

図3-1に実験日ごとの各水路の栄養塩の除去量、除去率を示した。水路Nでの NO_3^- 、 PO_4^{3-} の除去量は、7/10と比較して7/3の方が多かった。一方、ヨシ(地下茎も含む)が植わっている水路(M、R、F)での NO_3^- 、 PO_4^{3-} の除去量は、7/10と比較して7/3の方が少ない傾向が見られた。日当たりの良いNの水路には藻類(アオミドロが主)が多く繁茂しており、7/3は7/10と比較して光量が多かったため、藻類の光合成が促進され水路Nでの栄養塩の除去量が多くなったと考えられた。一方、7/3と比較して7/10は、一日を通して水温が高かった。そのため、ヨシ群落(地下茎を含む)およびヨシBFに棲息する従属栄養細菌などの活性が上がり、M、R、Fの除去能が良かったのかもしれない(特にM)。

以上の結果より、実験日の光量、温度が水路の栄養塩除去に影響する可能性が考えられた。ただし、水路には藻類(アオミドロが主)が繁茂しており(特に水路Nに多かったが、その他の水路でも藻類が見られた)、ヨシおよびヨシBFの栄養塩除去能を正確にみることはできなかった。以後の実験では、藻類の除去が必要であると考えられた。

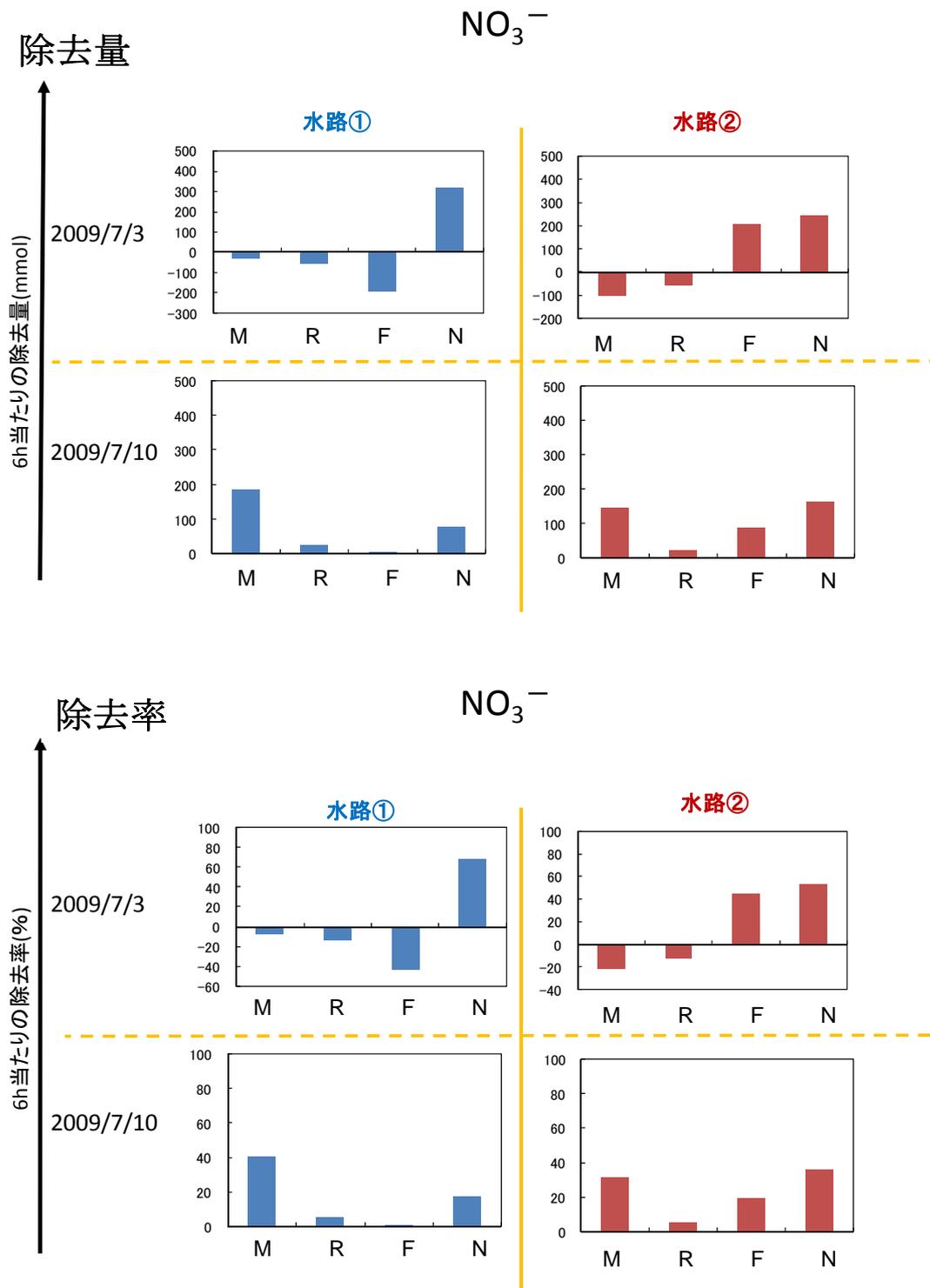
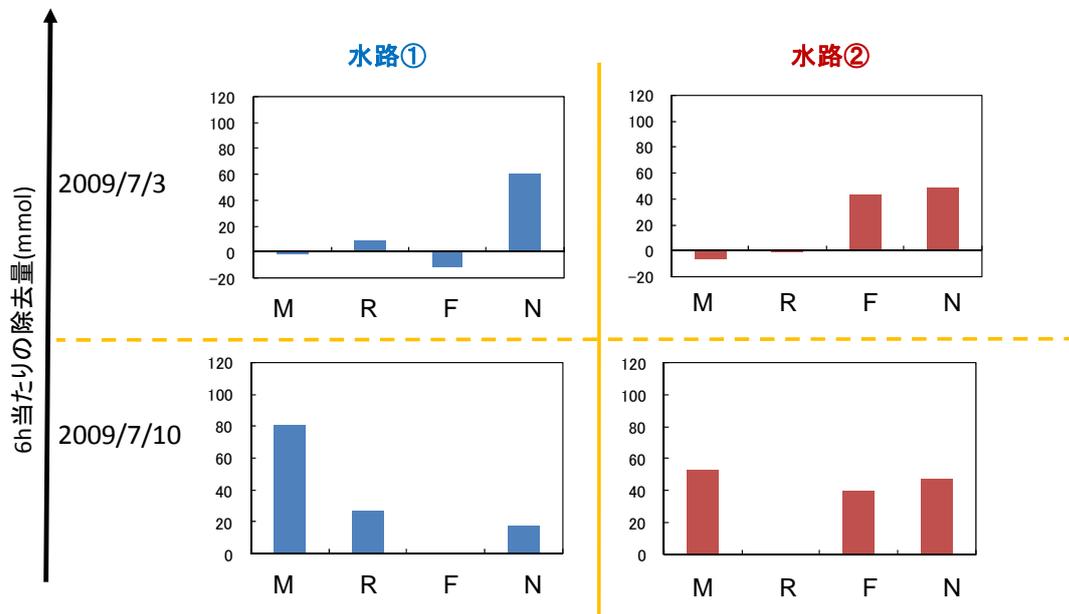
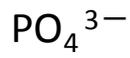


図 3-1-a 各水路の除去量、除去率 (NO_3^-)
 ※マイナス値は増加量を示す。

除去量



除去率

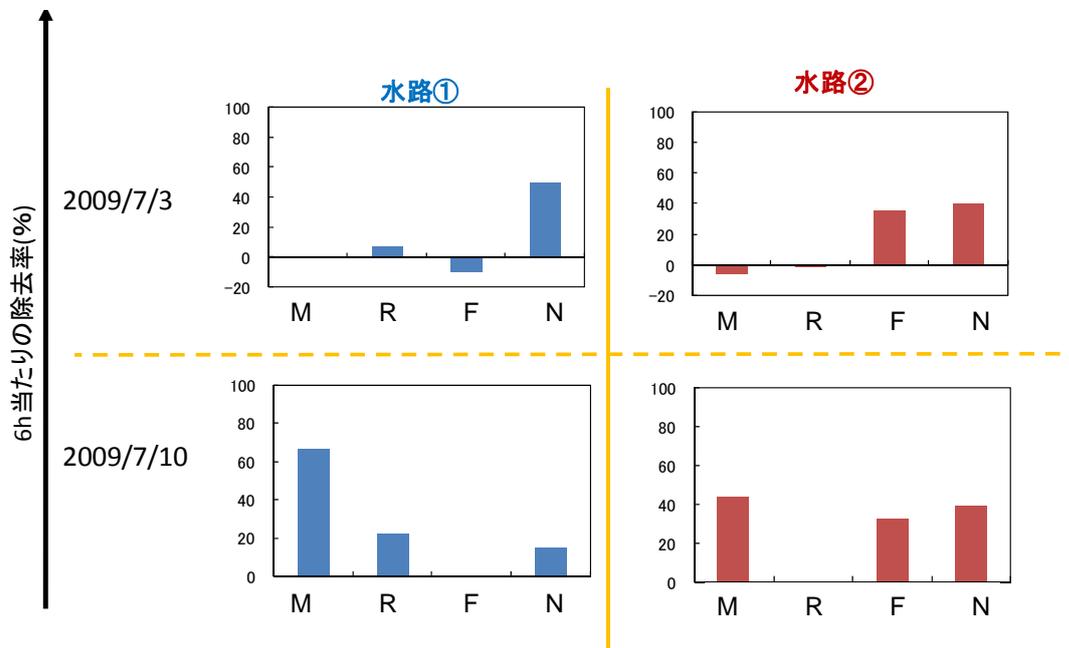
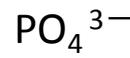


図 3-1-b 各水路の除去量、除去率 (PO_4^{3-})

※マイナス値は増加量を示す。

3.1.2 第一フェーズ(通常実験)

第一フェーズ(通常実験)は、2009年7/2、4、11、15に行った(環境データの測定は行っていない)。図3-2に各実験日の除去量、除去率を水路別に平均した値を示す。葉山川から取水した水がそのまま流れている場合、 NO_3^- は水路Mや水路R、 PO_4^{3-} は水路Mで除去量・除去率が高い傾向が見られた。日当たりの良いRやNの水路には藻類(アオミドロが主)が繁茂しており(できるだけ取り除いたが)、これらが栄養塩を取り込んだため、除去量・除去率が上がったのかもしれない。

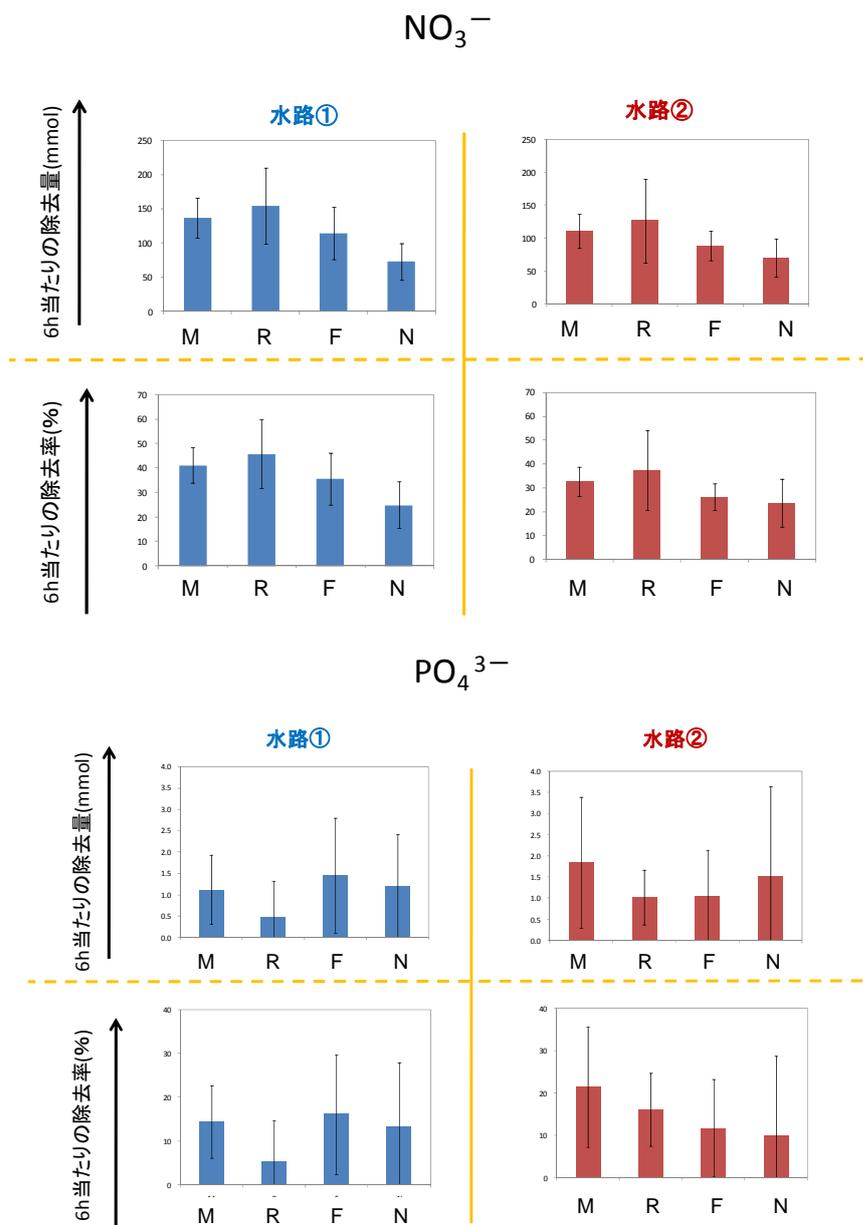


図3-2 各水路の除去量、除去率(NO_3^- 、 PO_4^{3-})

3.2 第2フェーズ

3.2.1 実験日(2009/9/24)の環境データ

・天気および気温

実験当日の天気は、日中(6～18時)を通して晴れで、雲もほぼなかった。気温は、実験開始時刻の午前6時(18.2℃)から経時的に上昇し、実験終了時刻の午後3時に29.9℃に達した。

・水温

水温は、水路間での大きな違いは見られず、どの水路でも実験開始時刻の午前6時から午前8時までほぼ変化せず(21.5～22.0℃)、その後少しずつ上昇し午後3時に27.7℃に達した。

・光量

経時変化

実験当日の光量(水路中央1地点で経時的に測定)は、実験開始時刻の午前6時(79.01MJ/m²)から経時的に上昇し、昼の12時(2103.00MJ/m²)に最も高くなった。その後、実験終了時刻の15時(494.05MJ/m²)まで徐々に低下していった。

光量の水路間の比較

実験当日(2009/9/24)の各水路の光量は測定しなかったが、第一フェーズの各水路(空气中)の測定値(7/3、10、15の平均値)を元に、水路N(コントロール)の光量に対する各水路の光量の割合(%)を算出した：第一フェーズと第二フェーズ(2009/9/24)では、ヨシおよび水路の状態が似ていたため、この割合を当てはめると考えられる。

中流では、水路R、Nの光量と比較して、水路M、Fの光量が低かった。上流(水路①を除く)および下流では、どの水路も水路Nと同程度の光量であった。水路M、Fの中流はヨシ群落内、上流および下流はヨシ群落外であり、生長した(ヨシの密度が増した、葉が茂った)ヨシ群落により、中流は光が届きにくい環境であったと考えられる。一方、水路R、Nは水路全体に光がまんべんなく当たる環境であったと考えられる。

水路①の上流では、水路Nと比較して、水路M、R、Fの光量が低かった。水路①(特にM①)は岸辺の日陰になる部分が多く、それらが影響したと考えられる。

以後、これら光量の違いを前提にして考察を進める。

・D.O. および pH

実験当日の各水路水のpHは、水路Nではどの時刻、水路の位置(上、中、下流)でもpH8前後で同じ値を示した。その他の水路(M①を除く)では上流(平均pH8.5)から下流(平均pH9.0)にかけて少し上昇した(特に水路R)。

D.O.は、水路M①を除く全ての水路で、上流(平均10.79mg/L)から下流(平均14.63mg/L)にかけて上昇する傾向が見られた(水路Nの変化は小さかった：10.5～11.5mg/L程度)。また、常に飽和溶存酸素濃度(25℃：約8mg/L)より大きく過飽和な状態であった。水路間で比べると、水路R(下流：約18mg/L)で比較的高い傾向が見られた。

水路(特に下流)には藻類(アオミドロや浮草)が見られ(実験前にできるだけ取り除いたが)、これら藻類の光合成により二酸化炭素が消費、酸素が生産されたため、pHおよびD.O.が高くなった可能性がある(特に水路R)。また、水路M、Fでは、ヨシ自体の光合成も藻類と同様にpHおよびD.O.の増加に影響したのかもしれない。水路M①

は、岸辺に接しており日影になる部分が多かったため、藻類やヨシの光合成が抑制された可能性がある。

3.2.2 まとめ

実験当日は、一日を通して快晴で、日陰になる部分はほぼなかった。気温、水温は実験開始時刻の午前6時(気温 18.2℃、水温 21.6℃)から経時的に上昇し、実験終了時刻の午後3時で気温 29.9℃、水温 27.7℃に達した。

実験当日の光量は、実験開始時刻の午前6時から経時的に上昇し、昼12時で最も高くなった。第一フェーズの測定値を元にして推定すると、水路 M、F のヨシ群落内は光が遮られやすく、一方、水路 R、N は水路全体に光がよく当たる環境であったと推測された(水路①上流を除く)。

pH および D.O. は上流から下流にかけて、水路 N ではほぼ変化せず、その他の水路(水路 M①を除く)では上流から下流にかけて高くなる傾向がみられた(特に水路 R)。水路(特に下流)には藻類がみられ、これら藻類の光合成により二酸化炭素が消費、酸素が生産された可能性がある(水路 M、F では、ヨシ自体の光合成も同様に影響したのかもしれない)。また、光量、pH および D.O. に共通して、水路①(pH および D.O. では特に M①)は低い傾向が見られた。水路①(特に M①)は、岸辺の日陰になる部分が多く、それらが影響したと考えられる。

3.2.3 各水路の栄養塩(NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 、 NO_2^-)除去能

実験施設の南側の水路を①、北側の水路を②と番号をつけた(図 3-3)。

水路①は、南側(M①)が岸辺(土)に接しており土や草などが混入する可能性がある(実際に刈られた雑草などが浮いていた)。M①では岸辺の日陰になる部分が多く、水路②と比べて魚などの生物も少なかった。また、N①、R①では藻類が多くみられた。このように、水路①は水路間(M、R、F、N)で水路内の様子が大きく異なっていた。

一方、水路②は両隣に水路があり日陰になる部分が少なかった。また、N②では藻類がほとんど見られなかったため、コントロールとして利用できると考えられた。よって、水路②の方が水路間(M、R、F、N)での比較ができると考えられた。

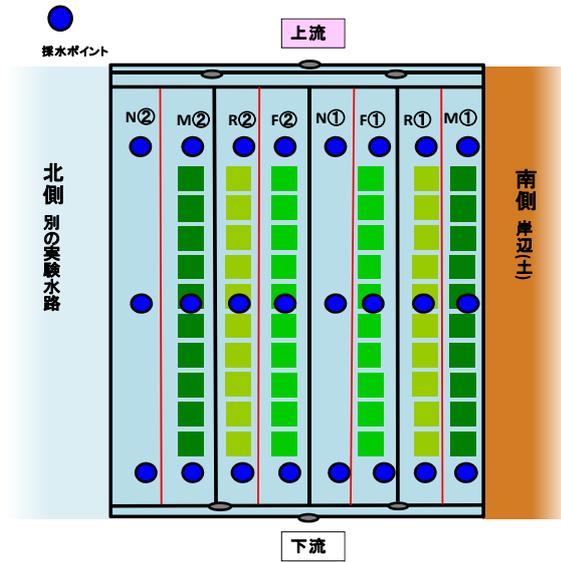
そこで水路②の結果を見てみると(図 3-4-a~c)、 NO_3^- 、 NH_4^+ に関しては、コントロールの水路 N②(除去率:約 10%)と比較して M②、R②、F②の各水路の除去率(約 30%)が高かった。また、 NO_2^- に関しては、全体的に除去率は低かったが、水路 M②、R②、N②(一部除去率がマイナスであった(除去されずに増加した)、除去率:約-8~+2%)と比較して、水路 F②(除去率:約 6%)の除去率が高かった。これらの結果から、以下に示す四つのことが考えられた。

- 1) ヨシ群落(ヨシ地下茎を含む)は、窒素関連のイオンを除去する効果がある。
- 2) 水路 R ではヨシ地下茎から新芽が出てきており、新芽の茎には新たに BF が形成されていた。水路 M、F でもヨシ茎には BF があったため、BF が栄養塩除去に関わっている可能性が考えられる。
- 3) ヨシの生長期(新芽の生長期)に除去量が多い(水路 R)のかもしれない。
- 4) 環境データでも述べたように、水路(特に R)には多くの藻類が見られ、これら藻類の光合成も栄養塩除去に関わっているのかもしれない。

一方、 PO_4^{3-} (NO_2^- も一部)に関しては、全ての水路で除去されず増加する傾向にあったが、水路 R②、N②(除去率:約-10~-20%=約 10~20%増加)と比較して、水路

M②、F②（除去率：約-3~-10%=約 3~10%増加）の増加量が少なかった（水路 F では一部除去されていた（除去率：13%））（図 3-4-d）。よって、ヨシ BF がこれらのイオンの増加を抑制（除去）する働きを担っている可能性が考えられた。

図 3-3 実験施設見取り図



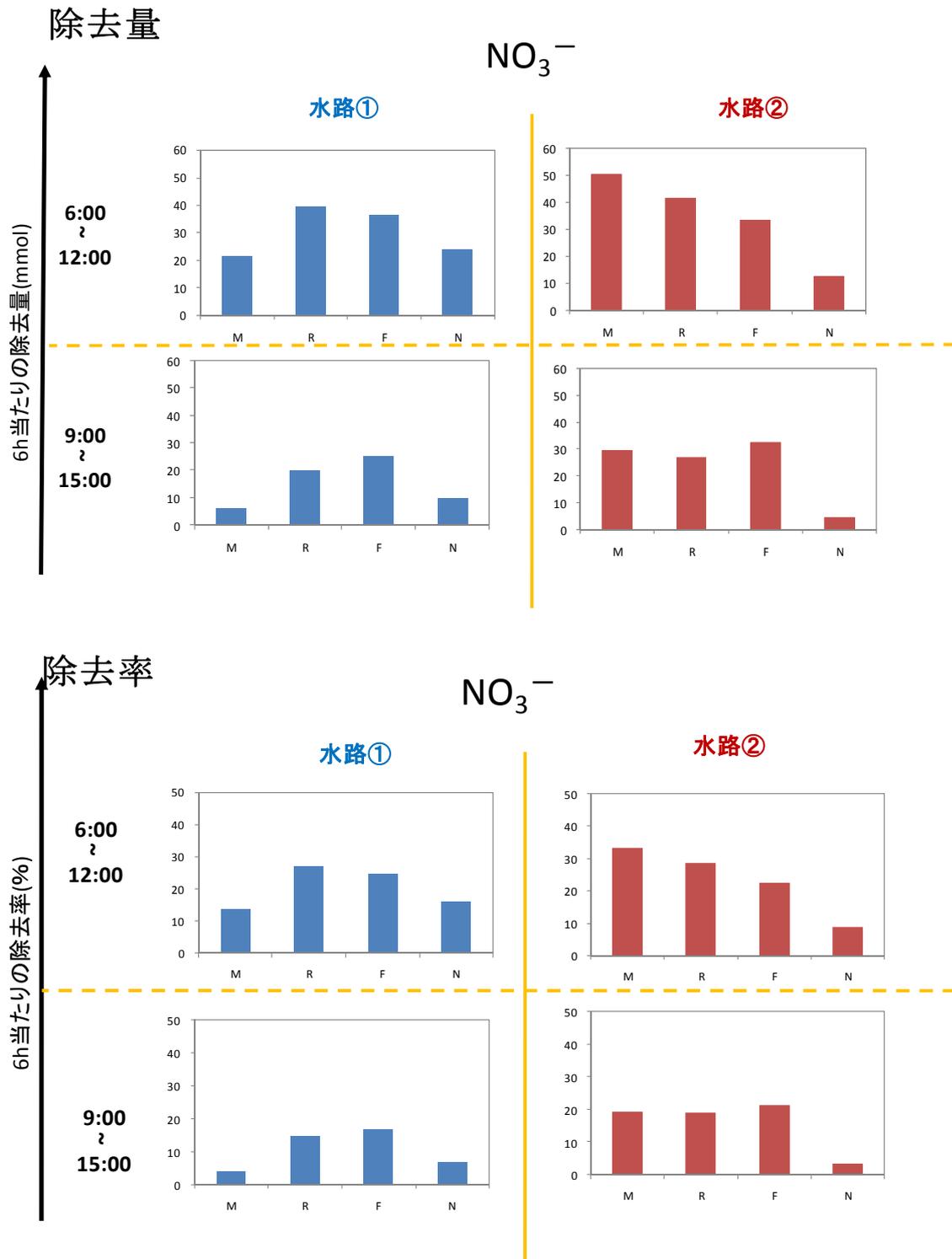
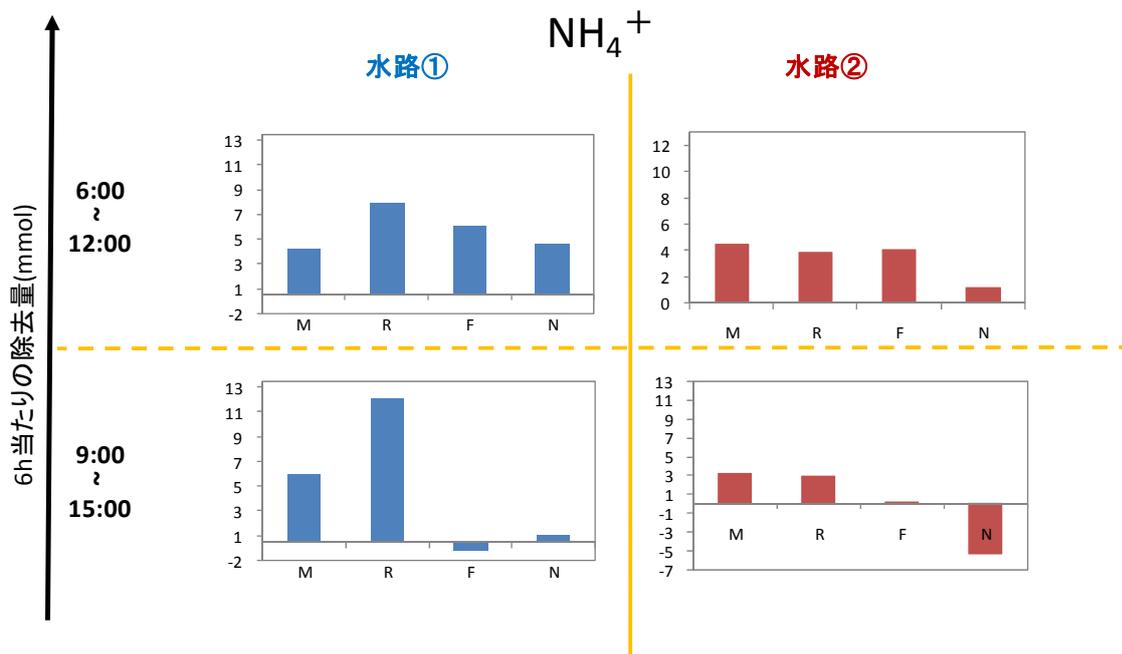


図 3-4-a 各水路の除去量、除去率(NO₃⁻)
 ※マイナス値(赤字)は増加量を示す。

除去量



除去率

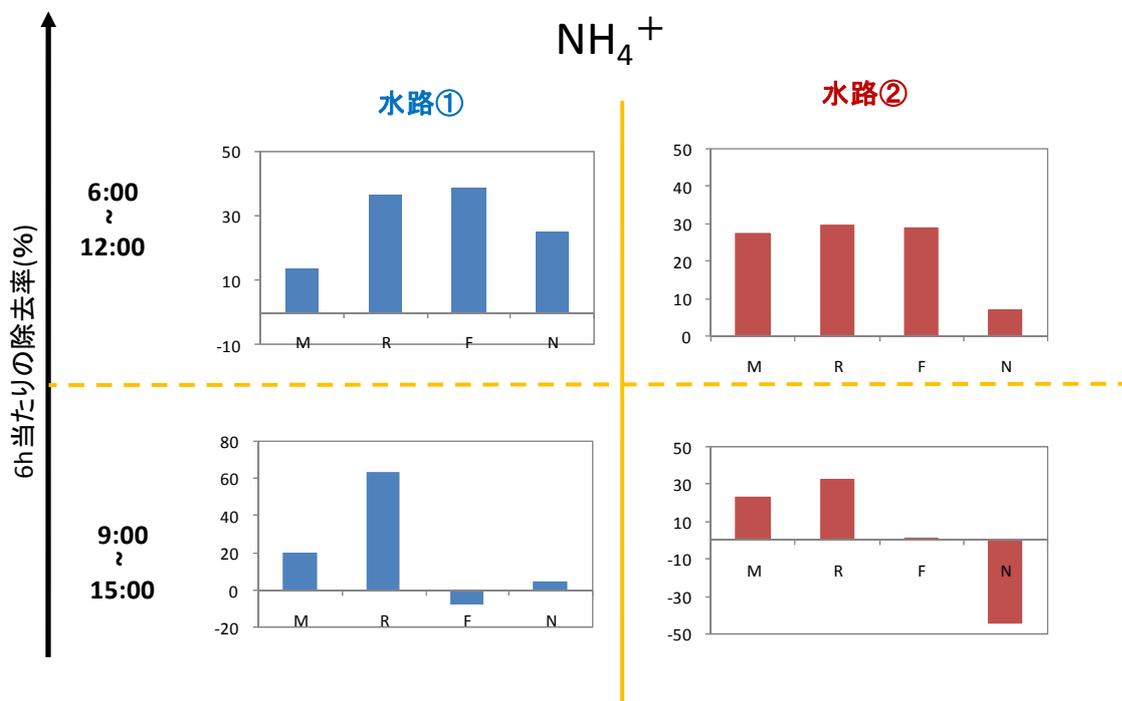


図 3-4-b 各水路の除去量、除去率(NH_4^+)
 ※マイナス値(赤字)は増加量を示す。

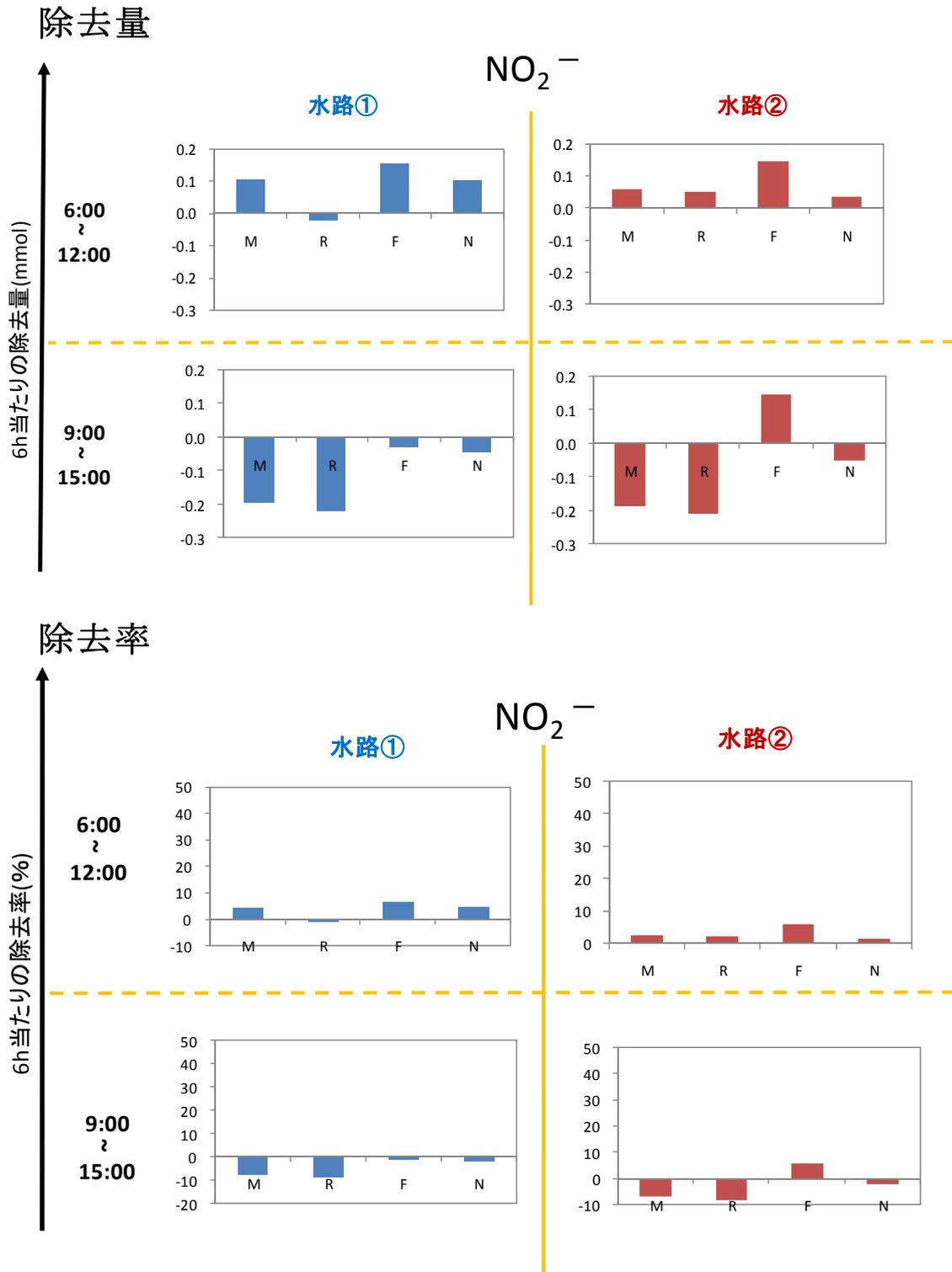
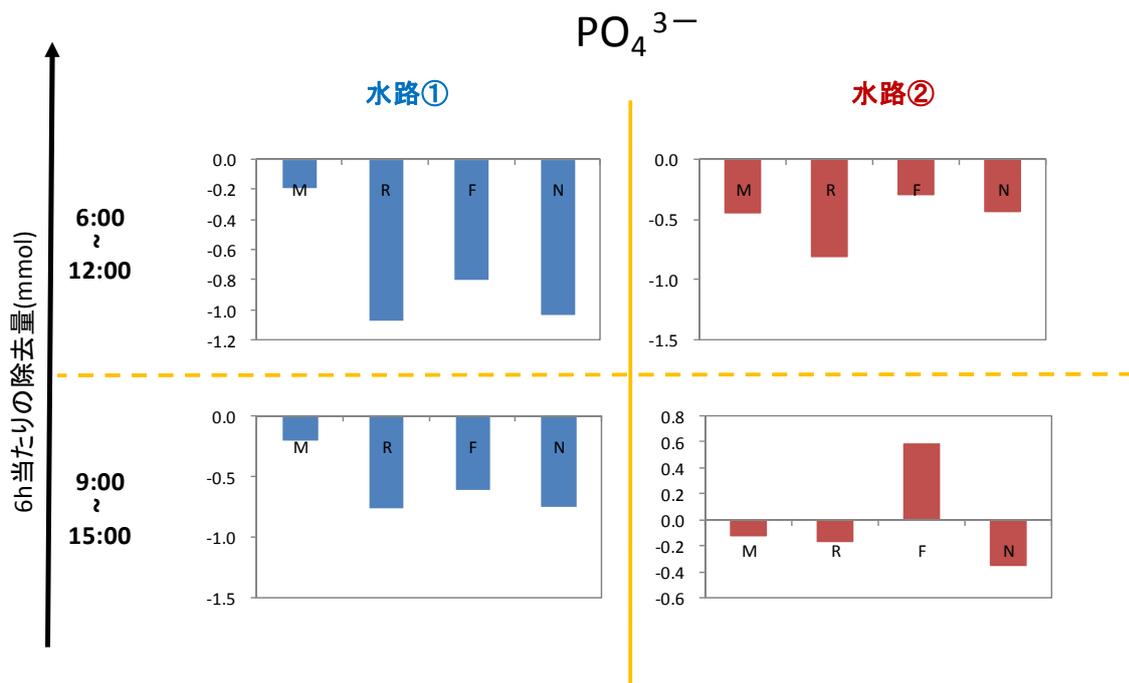


図 3-4-c 各水路の除去量、除去率(NO_2^-)
 ※マイナス値(赤字)は増加量を示す。

除去量



除去率

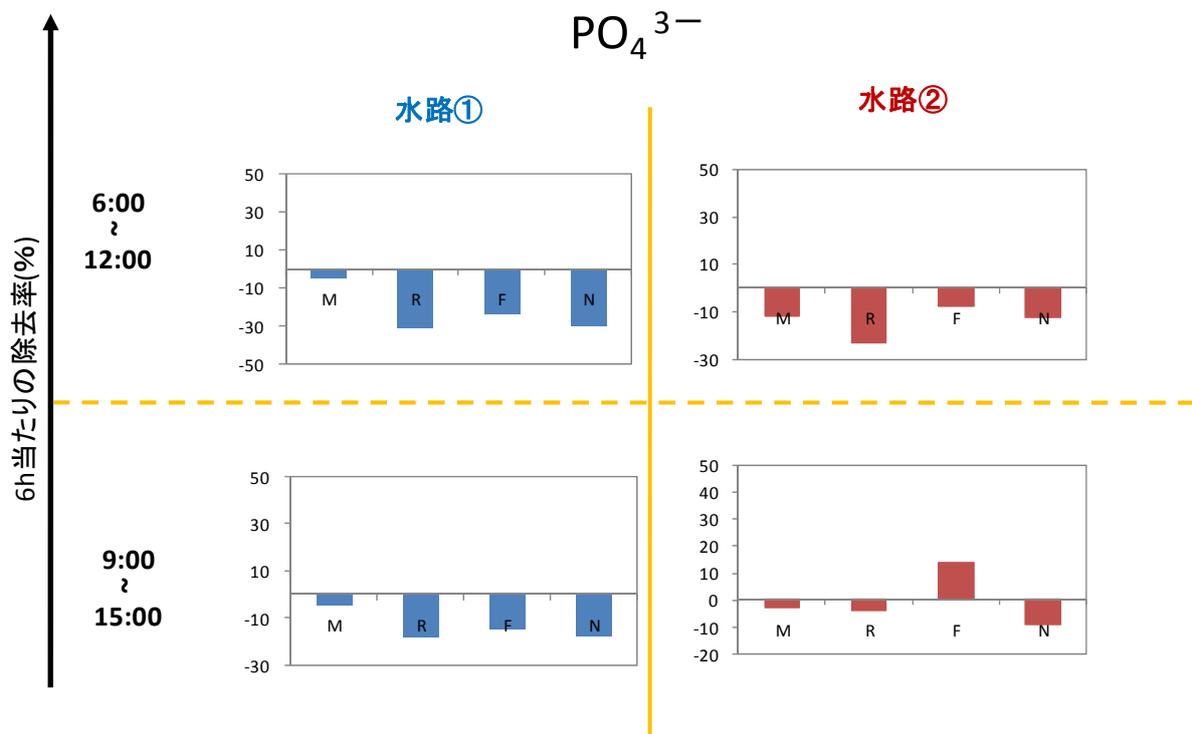


図 3-4-d 各水路の除去量、除去率(PO_4^{3-})

※ マイナス値(赤字)は増加量を示す。

3.2.4 栄養塩除去とヨシ BF の関連について

水路 M では平均 $11.8 \times 10^{-3} \text{wet-g/cm}^2$ 、水路 F では平均 $1.20 \times 10^{-3} \text{wet-g/cm}^2$ の BF がヨシ茎表面に形成されていた(図 3-5)。

ここで、水路 M②と F②の栄養塩除去効果を比較すると、 NO_3^- 、 NH_4^+ に関しては両者とも同程度の除去効果であり(NH_4^+ の 9~15 時を除く)、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} に関しては水路 M②より水路 F②の除去(増加抑制)効果の方が大きかった。水路 M よりも水路 F の方が BF 湿重量は少なかったにも関わらず、水路 F②は水路 M②と同程度、もしくはそれ以上の栄養塩除去効果であった。ヨシ BF は、形成初期に微生物の活性(増殖活性、EPS の生産等)が高いことがわかっており、そのため水路 F②ではより多くの栄養塩がヨシ BF に濃縮(除去)されたと考えられた。

また、 NO_3^- 、 NH_4^+ では、水路 R②も水路 M②、F②と同程度の除去効果であった。水路 R ではヨシ地下茎から出てきた新芽に新たに BF が形成されており、それらも NO_3^- 、 NH_4^+ の除去に関わっているのかもしれない。

以上、ヨシ BF の栄養塩除去効果について考察してきたが、水路 M②、R②、F②の実際の除去効果は、ヨシ BF およびヨシ群落(ヨシ地下茎を含む)自身の栄養塩除去能を総合したものである。本研究結果からは、ヨシ BF およびヨシ群落(ヨシ地下茎を含む)の栄養塩除去能を別々に評価することは難しかった。よって今後、ヨシ BF 単体として栄養塩除去にどれくらい寄与しているのかを調べる必要がある。

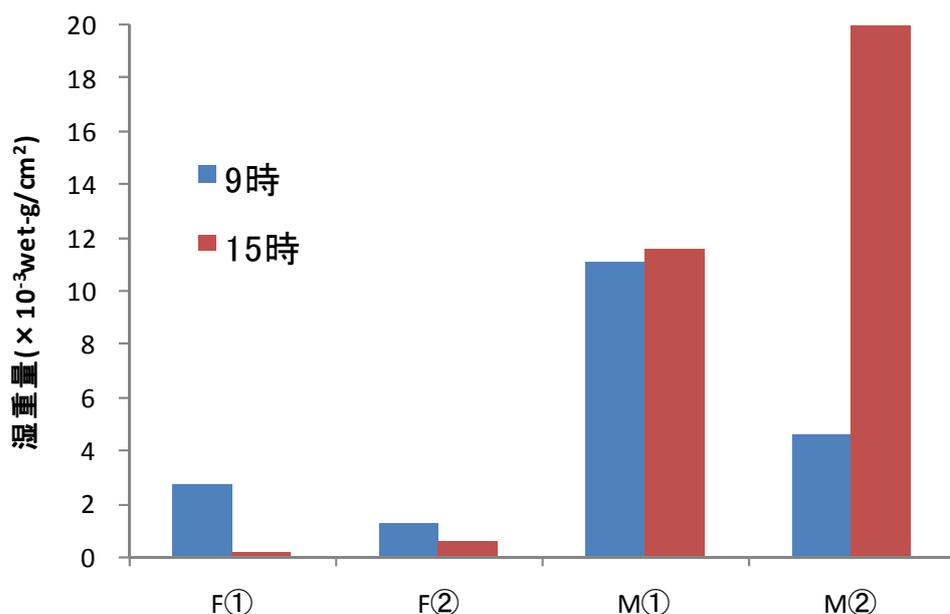


図 3-5 ヨシ BF の単位面積当たりの湿重量(9 時と 15 時に採取した)

3.2.5 各水路の COD(溶存態、水路②の 4 本の水路)

水路の水が 6 時間かけて上流から下流まで流れる間に、COD がどれだけ増減したかを調べるため、昼 12 時の下流の水の COD 値から朝 6 時の上流の水の COD 値を差し引いた(図 3-6-a の青色のバー)。同様に、夕方 15 時の下流から朝 9 時の上流を差し引いた(図 3-6-a の赤いバー)。また、6 時間後の下流の COD に対する上流の COD の割合を求めた(図 3-6-b)。

図 3-6-a、b で、縦軸の値がプラスの場合は下流の方が上流より COD が高く、マイナスの場合は下流の方が上流より COD が低いことを意味する。水路 N②では上流から下流

に水が流れる間に COD はほとんど増減しなかった。これに対し、水路 M②、R②、F②では全体的に COD が増加する傾向が見られた（水路 R②6 時～12 時を除く）。水路に多く見られた藻類（特に水路 R②）やヨシ BF 中の微生物（水路 M②、F②のみ）の光合成により、COD が増加したと考えられる。水路 R②の 6 時～12 時の COD は減少したが、なぜかは不明である。

これらの結果より、BF が付いたヨシ群落（ヨシ根茎を含む）があると、COD が増加する傾向にあると言える。ここで、各水路の COD の絶対値を見てみると、どの時刻、水路でも 9mg/L 以下（平均約 6mg/L）であった（図 3-7）。琵琶湖および葉山川の COD は約 3.5mg/L（国土交通省、水資源機構、滋賀県データ）であり、水路水の COD の方が少し高い程度である。生物多様性の維持には適度な有機物の供給が必要であり、9mg/L 程度の値は特に問題とは言えない。

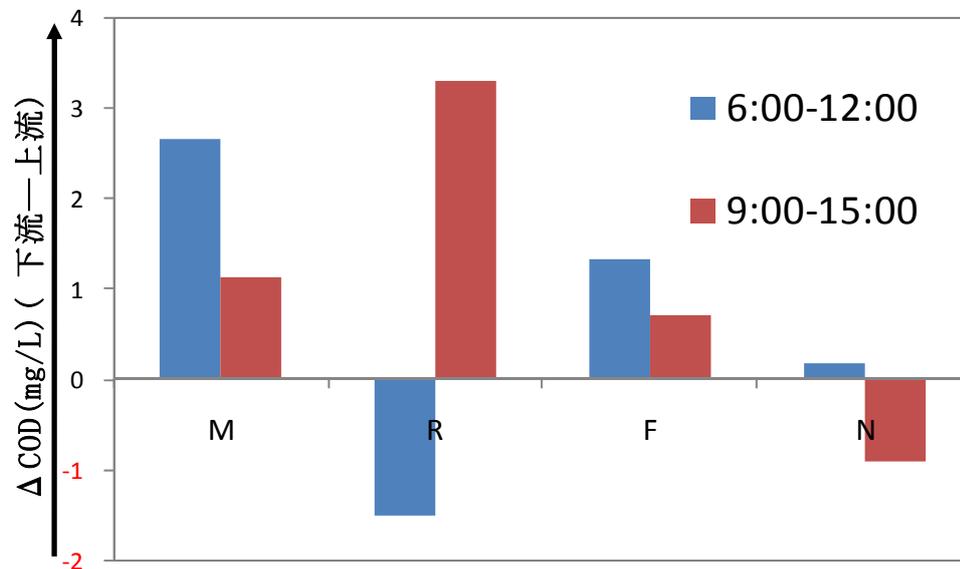


図 3-6-a 各水路の上流から下流にかけて水が流れる間の COD の増加（または減少）量

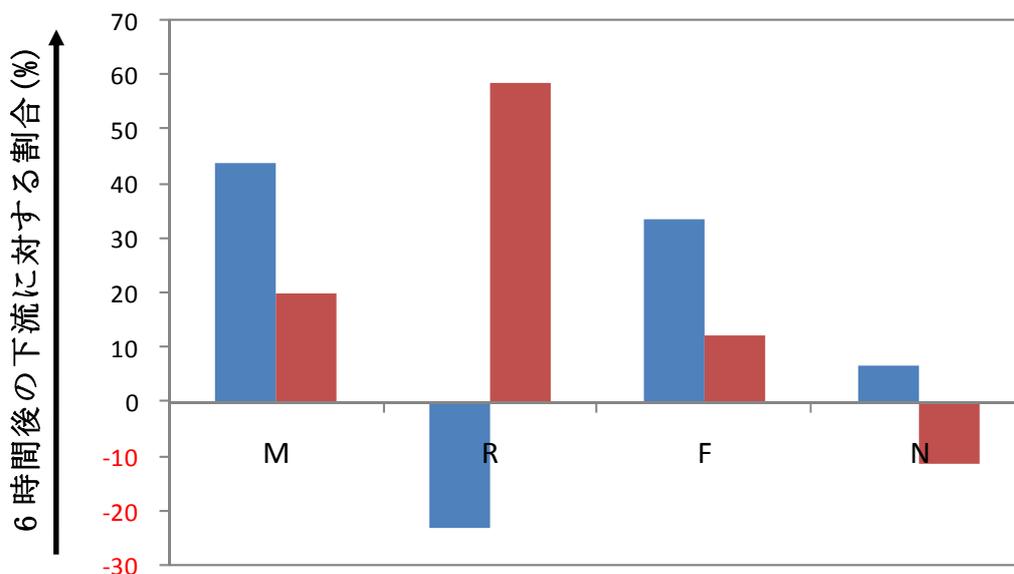


図 3-6-b 各水路の COD に対する 6 時間後の下流の COD の割合

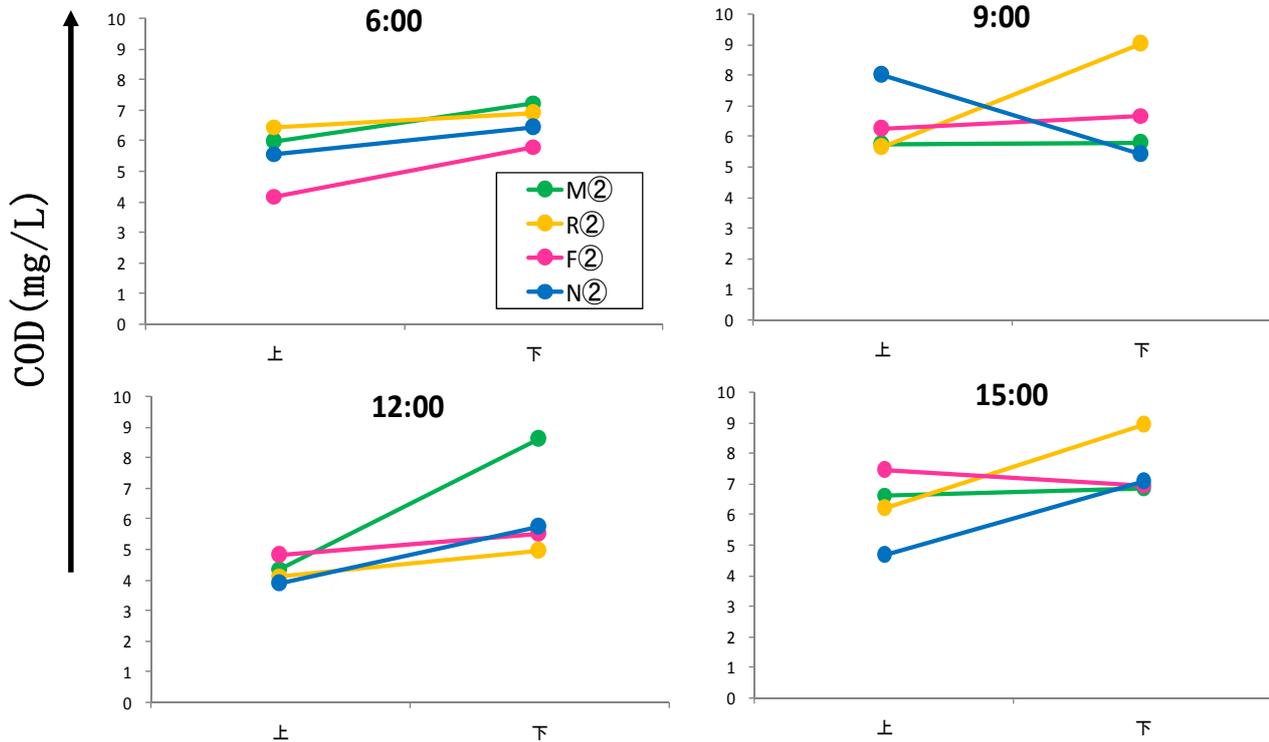


図 3-7 各水路の各時刻(6、9、12、15 時)での COD

3.3 第三、四、五フェーズ

第一、第二フェーズの結果からは、ヨシ BF およびヨシ群落(ヨシ地下茎を含む)の栄養塩除去能を比較することは難しかった(各水路でアオミドロ等の現存量が異なるため)。そこで、第三、四、五フェーズでは、同一の水路を上流部分と下流部分に分け、上流側を形成過程 BF が存在する区画(BF はほとんどついていない)、下流側を成熟した BF が存在する区画とし、比較検討した。なお、BF の種類としては、ヨシ茎表面のヨシ BF、不織布上の不織布 BF の 2 種類を用いて、各々比較した。

第三、四、五フェーズ実験は、各々 2010 年 1/18、3/5、4/27 に実施した。実験日の天気は、1/18 は快晴であり、気温および水温は低く(気温: 5°C、水温: 4°C)、光量は多かった(平均 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)。3/5 は快晴であり、気温および水温は高く(気温、水温ともに 12°C)、光量は平均 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ であった。4/27 は曇り時々雨であり、気温(13.5°C)および水温(14°C)は 3/5 とほぼ変わらなかったが、光量は少なかった(平均 $150 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)。

各実験日のヨシ BF による栄養塩除去に関しては現在データを解析中であり、大まかな様子を次に示す。どの実験日でも形成 BF に比べ、成熟 BF の栄養塩除去能が高い傾向にあった。1/18、3/5 および 4/27 の結果より、水路の栄養塩除去には成熟 BF が大きく貢献しており、その除去能には、水温および光量が影響していると考えられた。水温が高く光量が多いと、BF 中の細菌や藻類が活性化し、栄養塩除去が促進されることが考えられた。

各実験日の不織布 BF による栄養塩除去についても現在詳細なデータを解析中である。

ヨシの場合 3.2m^2 （各区画にあるヨシは 900 本でヨシ 1 本あたりの水との接触面積 35cm^2 ）、不織布の場合 45m^2 （各区画に設置した不織布は 720 枚で不織布 1 枚あたりの水との接触面積は 624cm^2 ）とヨシ BF の方が不織布 BF の $1/10$ 以下の接触面積しか持たなかった。それにも関わらず、ヨシ BF によって除去された栄養塩量は不織布 BF とあまり変わらないようである（詳細なデータは現在解析中）。ヨシ BF が高い栄養塩除去能を持っていると思われる。

上流の濃度が元々低い NO_2^- および PO_4^{3-} は、ヨシ BF および不織布 BF どちらでもほぼ除去されなかった。水中の濃度が高い方が、栄養塩はよく除去されるのかもしれない。

4. 結論および今後の展開

以下は、第二フェーズの結果等から取りまとめたものである。

4.1 結論

・ヨシ群落の活用

窒素関連のイオン (NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+) については、ヨシ群落(地下茎を含む)およびヨシ BF (NO_2^- では特に形成過程 BF) によって効率的に除去されたと考えられた(藻類の光合成も除去に関わっていたかもしれない)。一方、 PO_4^{3-} は全体的に増加する傾向が見られたが、形成過程 BF が増加を抑制する可能性が考えられた。

COD は、ヨシ群落(ヨシ地下茎を含む)があると増加する傾向が見られたが、適度な有機物の供給は生物の多様性を維持するために重要であると考えられる。

以上の結果より、これまで知られてきたヨシ自身の水浄化能も含め(ヨシの生態おぼえがき、吉良竜夫、1991)、ヨシ群落(ヨシ BF を含む) が琵琶湖の水浄化に果たす役割として以下のように考えることができる(図 4-1)。

- ①ヨシ水中茎の BF に、周辺の湖水中の有機・無機物質(環境汚染物質、栄養塩)が吸着・蓄積する。
- ②吸着・蓄積した有機・無機物質を利用して BF を構成する微生物が増殖する。
- ③増殖した BF は高次の生物に利用され、ヨシ群落の豊かな生物群集の構築・維持に寄与する。
- ④BF に蓄積した周辺湖水由来の有機・無機物質は、BF 内の微生物群集に利用・再利用される過程でさまざまな形態に変換される。その中で炭素は炭酸ガスとして、細菌によって窒素ガスとして水圏から気圏へ完全に除去される。
- ⑤BF 内には、アオコ殺藻、抑制細菌が扶育・蓄積され、周辺湖水中のアオコを除去する。
- ⑥BF 内の微細藻類、細菌は

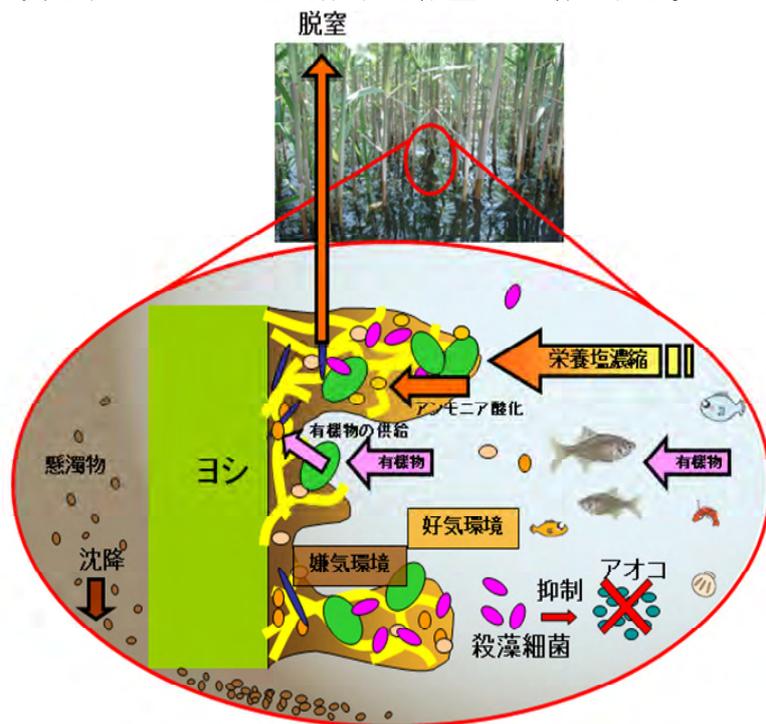


図 4-1 ヨシ群落の水浄化イメージ

BF ポリマー生産による微視的環境形成に寄与している。

⑦BF 内の微細藻類は光合成により種々の有機基質、酸素を BF 内に共存する微生物に供給している。この間、アンモニアの酸化が促進される可能性がある。

⑧BF 内の微細藻類は夜間呼吸により酸素を消費し嫌気的環境を BF 内に形成し、脱窒を促進している可能性がある。

⑨密集したヨシ群落は水中の懸濁物の沈殿を促進し、一方で、微小生物の生活の場を供給することで琵琶湖の豊かな生態系を保つ役割を持つ。

・ヨシ群落による水質改善

現在の琵琶湖南湖は、全リン濃度が減少傾向にあるのに対し、全窒素濃度は微減にとどまっている（滋賀県琵琶湖環境部環境政策課、2009）。これは、リンに比べて窒素は非点原負荷の占める割合が多く、負荷抑制が難しかったことの反映でもある。そのため、琵琶湖南湖における全窒素：全リンのモル比（以下 N/P 比とする）は、たいへん高くなっている（N/P 比 37～48、琵琶湖環境科学研究センターの公表値より計算）。この値は Redfield 比 16 よりもずっと大きい。本研究室の過去の結果でも、2004 年から 2008 年の間、北湖（針江浜）、南湖（木浜）の湖水の N/P 比は 16 を超えていた（Tsuchiya et al. 2009）。一方、ヨシ BF 中の N/P 比は 16 よりかなり小さかった（Tsuchiya et al. 2009）。ヨシ BF は周囲からイオンを選択的に濃縮するか、あるいは濃縮されたイオンの一部を選択的に消費、除去することにより（脱窒等により）、イオンバランスを変化させる機能を持つと推測される。

ここで水路水の N/P 比を見てみると、どの水路も（水路 M①を除く）上流（N/P 比平均 54）から下流（N/P 比平均 29）にかけて減少する傾向が見られた（図 4-2）。水路間で比べると、水路 N の N/P 比の変化（上流 54～下流 32）より、水路 M、R、F の N/P 比の変化（平均上流 53、下流 28）の方が大きかった（特に水路 R：上流 56、下流 22）。

これらの結果より、ヨシ BF が形成されたヨシ群落（ヨシ地下茎も含む）により、N/P 比が Redfield 比 16 に近づくように水質が改善されると考えられる。

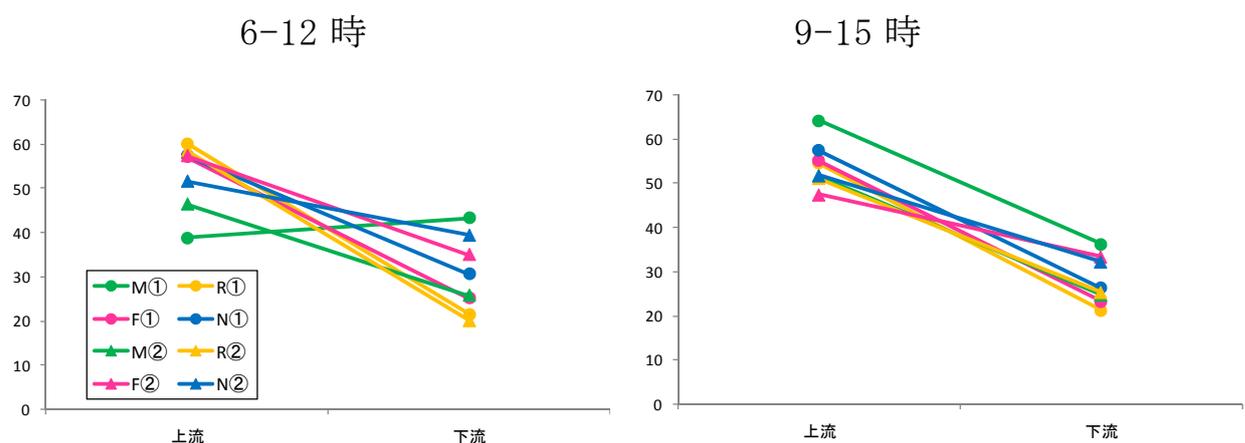


図 4.2 各水路の N/P 比(上流から 6h 後の下流への推移)

参考文献

Koichiro Murasawa, Kazumi Osamura, Hisao Morisaki, Akemi Sano, Takeshi Terada, and Yukio Tainaka. 2002. Direct denitrification of canal using fatty acid compounds as hydrogen donors. J. Japan Society on Water Environment, **25**:737-742.

Ayami HIRAKI, Y. Tsuchiya, Y. Fukuda, T. Yamamoto, A. Kuruniawan, H. Morisaki (2009). Analysis of How a Biofilm Forms on the Surface of the Aquatic Macrophyte *Phragmites australis*. Microbes Environ., 24, 265-272.

吉良竜夫(1991)、「ヨシ生態覚えがき(特集；水辺の保全のあり方を探る)」、琵琶湖研究所所報、29-37

滋賀県琵琶湖環境部環境政策課 編 (2009). 滋賀の環境 2009(平成 21 年版環境白書). 滋賀県琵琶湖環境部環境政策課.

Yuki TSUCHIYA, M. Ikenaga, A. Kuruniawan, A. Hiraki, T. Arakawa, R. Kusakabe, H. Morisaki (2009). Nutrient-rich Microhabitats within Biofilms Are Synchronized with the External Environment. Microbes Environ., 24, 43-51.

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構	水質浄化研究所統括研究員	和田 桂子
	実験センター所長	今井 崇
立命館大学生命科学部界面微生物学研究室	教授	森崎 久雄
		大嶋紫、桐山智帆、土屋雄揮

5. 土壌浄化実験（その10）

1. 目的

本業務は、水質浄化法の1つである土壌浸透浄化手法について、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センターの土壌浄化実験施設を用いて、水環境中におけるリンの吸着寿命を把握するための水質調査等を実施することを目的とする。

2. 実験内容および施設諸元

本実験は、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター内に設置されている「土壌浄化実験施設」、「カラム実験装置」、「浸透ろ過装置」を用いて行った。

また、栄養塩類や金属類等の底質からの溶出挙動を把握するための実験を室内で実施した。

2.1 土壌浄化実験（土壌浄化実験施設 B、C、D1の各槽）

土壌浄化施設B槽（前処理施設）およびC槽（通水速度 1.5 m/日、上向流方式）、D1槽（通水速度 5.0 m/日、下向流方式）について引き続き連続通水を実施し、土壌浄化施設の浄化性能および維持管理についての調査・試験を行った。

2.2 カラム連続通水試験

赤玉土を用いたカラム連続通水試験を行い、リン除去性能及びリン吸着寿命について検討した。

2.3 浸透ろ過実験装置を用いた土壌浄化実験

赤玉土の通水速度 10m/日の高負荷で通水した場合の水質浄化性能を検討した。前処理施設は透水性コンクリートを用いた上向流方式にて原水を前処理した。目詰まりに対処するため、適宜維持管理を実施した。

施設諸元

土壌浄化実験施設および各実験水槽における実験諸元を表 2-1～表 2-3に、各施設構造の概念図および施設全体の配置図を図 2-1～図 2-5に示す。

表 2-1 土壌浄化実験施設諸元

実験施設	B 槽	C 槽	D 槽
施設概要	○前処理施設 ・沈砂池を配置（ろ過膜2枚） ・他の層への送水配管を整備	○赤玉土壌槽による河川水浄化 ○上向流方式	○赤玉土壌槽による河川水浄化 ○下向流方式
規模	幅6m×長さ20m×深さ1.8m	幅6m×長さ20m×深さ1.8m	幅6m×長さ20m×深さ1.8m
浄化水量	780m ³ /日	180m ³ /日	600m ³ /日
水面積負荷	6.5m ³ /m ² ・日	1.5m ³ /m ² ・日	5.0m ³ /m ² ・日
通水方法	横流方式	上向流方式	下向流散水方式
実験設定	前処理 (沈砂池、ろ過膜2枚(粗、中目))	実施設想定型	実施設想定型
充填材	ろ過膜：不織布 ※B槽改修後撤去 (通水断面全面：長さ6m×幅1.5m) 規格：粗目一厚さ約50mm、目付量50kg/m ³ 中目一厚さ約20mm、目付量60kg/m ³	赤玉土 (0.8m厚)	赤玉土 (D-1槽=1m厚)
実験期間	H14. 7. 4 (通水開始) ~ H22. 3. 31 ※平成22年1月29日～平成22年2月26日 補修工事により通水を停止(29日間)	H12. 7. 25～H13. 2. 21 (211日間) H13. 9. 20～H14. 3. 4 (165日間) H14. 5. 13～H15. 3. 31 (内314日間) H15. 4. 1～H16. 3. 31 (366日間) H16. 4. 1～H17. 3. 31 (365日間) H17. 4. 1～H18. 3. 31 (365日間) H18. 4. 1～H19. 3. 31 (内339日間) H19. 4. 1～H20. 3. 31 (366日間) H20. 4. 1 ~ H21. 3. 31(内350日間) H21. 4. 1 ~ H22. 3. 31(内336日間)	【D-1槽】 H15. 9. 30(通水開始)～H16. 3. 31(182日間) H16. 4. 1 ~ H17. 3. 31(365日間) H17. 4. 1 ~ H18. 3. 31(内326日間) H18. 4. 1 ~ H19. 3. 31(365日間) H19. 4. 1 ~ H20. 3. 31(366日間) H20. 4. 1 ~ H21. 3. 31(365日間) H21. 4. 1 ~ H22. 3. 31(内336日間)

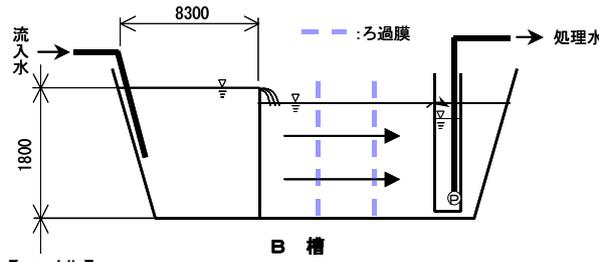
表 2-2 カラム実験装置諸元

項目	諸元
寸法	内径100mm×長さ1.0m
水面積負荷	5m ³ /m ² ・日
通水方法	下向流、飽和流
充填土壌厚	1.0m
設置数	1基
実験期間	【0.1mg/L原水】 H15. 12. 1 ~ H22. 3. 31 (2,312日間)

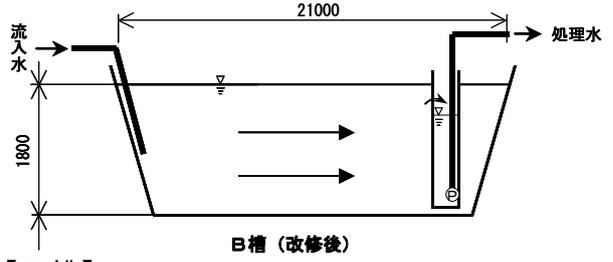
表 2-3 浸透ろ過実験装置諸元

実験施設	浸透ろ過実験装置	
施設概要	○前処理として透水性コンクリートを用いた上向流方式の原水前処理機構 ○土壌浄化施設として、赤玉土の土壌層を設置 ○土壌層への物理的負荷軽減のため、上部構造と土壌層を分離する形状を採用 ○過年度実験結果における最高の処理通水可能速度10m/日での通水を試みる	
槽	前処理槽	赤玉土層
規模	幅1m×長さ3m×深さ1.35m	幅1m×長さ3m×深さ1.35m
浄化水量	30m ³ /日	30m ³ /日
水面積負荷	10m ³ /m ² ・日	10m ³ /m ² ・日
通水方法	上向流方式	下向流散水方式
実験設定	—	上部構造（7号単粒度碎石）と土壌層（赤玉土層）の間にパンチングメタルを敷設し、物理的負荷を軽減
充填材	透水性コンクリート (幅1m×長さ2m×厚み0.1m ※槽下部より高さ0.65mに設置 ※導水部幅0.5m、放流部幅0.5m)	赤玉土 (0.75m)
実験期間	H18. 6. 15～H22. 3. 31(内1,385日間)	H18. 6. 15～H22. 3. 31(内1,382日間)

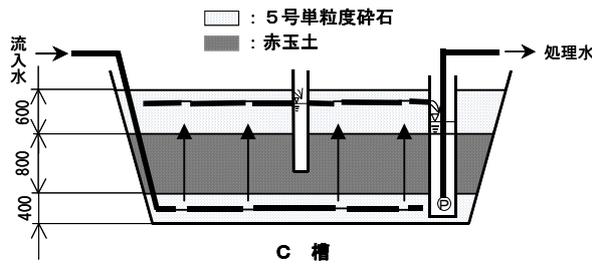
【B槽：前処理施設 ※改修前】



【B槽：前処理施設 ※改修後】



【C槽】



【D槽】

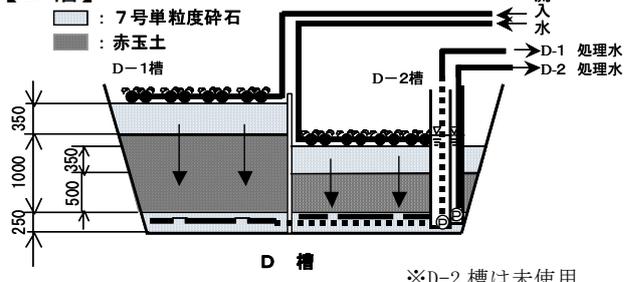


図 2-1 土壌浄化実験施設概念図

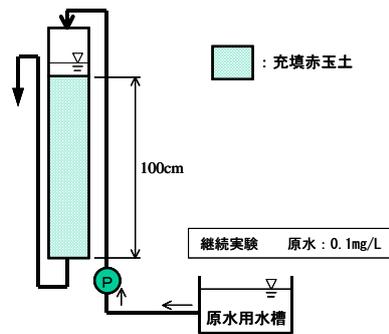


図 2-2 カラム実験装置概念図

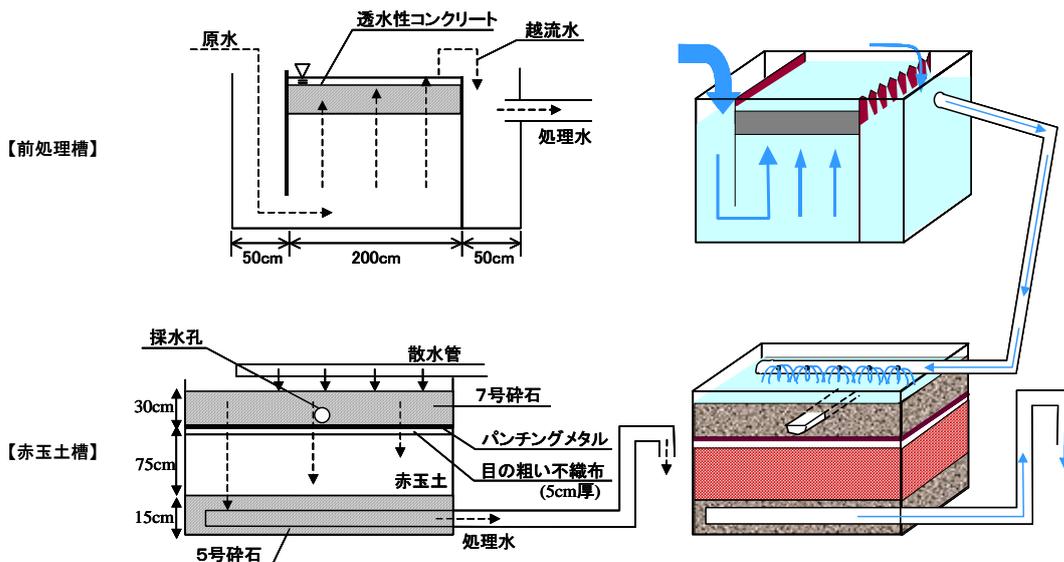


図 2-3 浸透ろ過装置概略図

3. 実験結果

本年度の土壌浄化実験の詳しい解析を現在行っている。そのため本報告では、得られた結果の概要を報告する。

3.1 前処理施設の検討（土壌浄化施設B槽）

土壌浄化施設B槽において、沈砂池による沈殿を行っている。過年度に引き続き、流入水と流出水のSSをモニタリングした。

3.2 土壌浄化施設（C槽）の検討

土壌浄化施設C槽(上向流方式、通水速度 1.5m/日)は、延べ通水期間が 3,177 日(約 8.7年)である。C槽の流入水および流出水を対象に水質モニタリングを行った。測定項目はBOD、COD、D-COD、TOC、DOC、DO、SS、T-N、D-TN、T-P、D-TP、PO₄-P、濁度である。

また平成12年度～平成21年度における通水履歴とリン除去濃度の積から年度ごとのリン除去量を求めた。

3.3 長期連続通水による実証実験（D槽）の検討

平成15年9月30日より通水を開始したD1槽では、通水速度を5.0m/日として通水を継続した。

また、土壌浄化実験施設D1槽において、連続通水による赤玉土のリンの吸着量を確認するため、D1槽中央部付近にて赤玉土の柱状採取を行い、層別(約4.5cmピッチ)の含有量測定を実施した。

採取用具はアクリルパイプ(φ10cm)を用い、赤玉層厚さ90cmを柱状採取し20等分したものを供試した。前処理として風乾を実施し、T-Pの含有量測定を実施した。



図 3-1 試料採取

土壌浄化実験施設D1槽に充填されている赤玉土の初期含有量は、過年度実験結果より255mg/kgである。

採取した赤玉土の層別リン含有量を図示したものが図3-2である。

D1槽は下向流散水方式での通水であるため、赤玉土層の上端より順にリンの吸着が起きていることが示唆される。いずれの層もリンの吸着破過には至っておらず、特に下位層においては余裕のある状態と推察される。

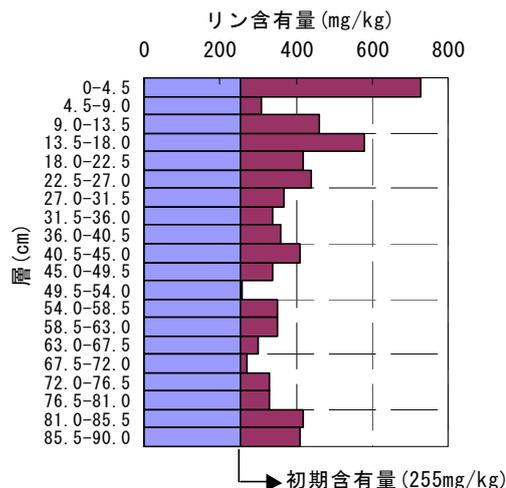


図 3.3-2 層別リン含有量

3.4 カラム連続通水試験の検討

3.4.1 継続実験の水質浄化性能

平成15年12月1日から通水を開始したG社製赤玉土を用いたカラム連続通水試験（通水速度5m/日）では、平成22年3月31日時点で2,312日間（約6.3年）通水を継続している。本実験では PO_4-P のモニタリングを行い、リンの吸着性能について評価した。その結果、吸着破過に達していないものの、リン平均流出濃度は徐々に増加しており、赤玉土によるリン吸着性能の低下が進んでいることが示唆された。

3.5 浸透ろ過実験施設による浄化性能および維持管理性の検討

3.5.1 水質浄化性能

浸透ろ過実験では、上向流方式による透水性コンクリートを用いた前処理を実施している。透水性コンクリートは目詰まりが約3ヶ月おきに発生するため、曝気洗浄による回復作業を都度実施した。

前処理槽と土壌槽の各流出水を対象に水質分析を行った。測定項目はSS、透視度、COD、D-COD、DOC、T-N、T-P、D-T-P、 PO_4-P である。土壌槽による除去効果では、T-Pの平均除去率は昨年と同等程度（46.7%）の除去性能が見られた。

4. まとめ

過年度に引き続き琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センターの土壌浄化実験施設を用いて、水環境中におけるリンの吸着寿命を把握するための水質調査等を実施した。今後、各実験施設でのリンの吸着寿命の解析を行う予定である。また継続して浄化能力の推移を観察し、土壌浸透浄化法による水質浄化の知見収集を継続していくことが望ましいものと考えられる。

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 水質浄化研究所統括研究員 和田 桂子
 実験センター所長 今井 崇
 調査研究部研究員 井上 健彦

6. タナゴ類の増殖実験（3）

1. はじめに

近年、琵琶湖では侵略的外来魚の分布域の拡大や内湖の減少等の要因により、これまで内湖及びその周辺水域を主な生息場所としてきた在来魚類が大幅に減少している。中には局所的な絶滅に至った種もみられており、その例としてイチモンジタナゴが挙げられる。イチモンジタナゴは生きたドブガイ等イシガイ科の二枚貝の鰓に産卵するタナゴ亜科の在来魚で、かつては琵琶湖やその周辺水域に多数生息していたが、現在では環境省レッドリスト（2007）で「絶滅危惧種 IA 類」（イタセンパラやアユモドキなどと同様）、滋賀県のレッドデータブック（滋賀県で大切にすべき野生生物：滋賀県 RDB2005）で「絶滅危惧種」（アユモドキ、ハリヨ、スジシマドジョウ類などと同様）に指定されるほど、ほとんど見かけることができなくなった魚類である。このような現状を鑑みて早急な保全活動が望まれるが、既に個体数が激減している上、二枚貝類に託卵するという産卵生態の特殊性にも阻まれ、本種を含めた希少タナゴ類の増殖・保全技術は確立されていない。

そこで、滋賀県立琵琶湖博物館で系統保存されていた本種の個体群を 2007 年より借り受け、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター（Biyo センター）において、増殖・再放流を将来的な目標とした増殖実験を開始した（借り受けた個体群は平安神宮に生息していた京都疎水付近を起源とするもので、その由来は南湖に生息していた個体群であると考えられる）。実験の結果、イチモンジタナゴは特にヌマガイを産卵母貝として利用して繁殖すること、系統保存された個体群が Biyo センターのような野外環境においても増殖可能であることが確認された。2008 年は、2007 年に引き続きイチモンジタナゴの増殖実験を実施するとともに、タナゴ類が繁殖しやすいように野外の生息環境を改善・創出する技術の確立を目指し、琵琶湖型池において外来魚の駆除を実施し、その効果の検証を行った。2009 年度は、琵琶湖への再放流に向け、より自然に近い琵琶湖型池を利用し実験を継続した。

なお、再放流については日本魚類学会において放流ガイドラインが作成されており、学術的な合意形成が必要となるが、今回のイチモンジタナゴはその由来から合意形成可能と考えられ、取り組みがガイドラインに沿った再導入の先駆的事例となることが期待される。

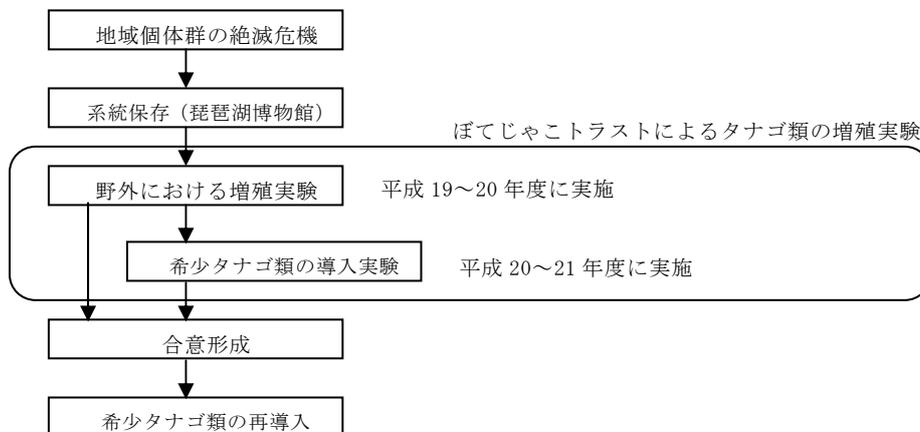


図1 希少タナゴ類（イチモンジタナゴ）再導入までの流れ

2. 目的

Biyo センターの琵琶湖型池が①イチモンジタナゴの導入実験に適した状況にあるか(外来魚は繁殖していないか、二枚貝が生息・繁殖しているか)、②導入実験においてイチモンジタナゴが繁殖しているか、などを把握することを目的に魚類モニタリング調査を実施した。

3. 方法

モニタリング調査は平成 21 年度中に四季で実施した。なお、これまで琵琶湖河川事務所が実施してきたモニタリング調査と方法を一致させて、経年変化と比較可能なデータを取得することとした。

導入したイチモンジタナゴと導入貝

実験場所 Biyo センター琵琶湖型池

放流日① 09 年 3 月 15 日(日)

放流魚・貝 イチモンジタナゴ 300 匹(オス、メス各 150 匹)、
ヌマガイ 111、
タガイ 9 計 120

放流日② 09 年 4 月 23 日 前年度実験終了

放流魚・貝 イチモンジタナゴ 700 匹 琵琶湖型池へ放流、合計 1000 匹放流

流入・流出口 J 字水路から維持用水の流入口に
外来魚侵入防止のために防護ネット等を設置した。(写真 3.1)
出口も同様の対策を行った。



写真 3-1 流入口の状況

魚類調査

【魚類調査項目】

- ・ 孵化仔魚の確認(目視、同定(イチモンジタナゴ or タイリクバラタナゴ))
- ・ タモ網(目合い 3mm) 2 人×20 分
- ・ セルビン(口径 45mm) 2 個×30 分

【調査頻度】

- ・ 春、夏、秋、冬の四季

【測定項目】

- ・ イチモンジタナゴの個体数(成魚、稚魚別)、全長
- ・ 魚種別個体数(アメリカザリガニ等の魚類以外の生物は種類のみ確認)

貝類調査

【貝類調査項目】(春季・夏季のみ)

- ・ 貝のサンプル調査(ドブガイ、タテボシガイの個体数、タナゴ類産卵の有無)

【調査頻度】

・春、夏、秋、冬の四季

【その他】

・二枚貝の生息・繁殖状況、ブルーギルの産卵床の有無

4. 結果

調査結果を以下に示す。

魚類調査

◆2009年5月20日（第1回調査）

目視・・・稚魚見つからず

◆2009年6月10日 春調査（第2回調査）

ビン付け・・・8個×60分、アメリカザリガニ

タモ網・・・2人×15分、イチモンジタナゴ2個体（稚魚）

投網・・・5回、アメリカザリガニ・ツチフキ

その他・・・ツチフキ・ウキゴリ・メダカ・ヌマエビ・アメリカザリガニ・ウシガエル



写真 4-1 調査状況



写真 4-2 調査状況

◆2009年7月19日 夏調査（任意調査）

タモ網・・・3人×20分、イチモンジタナゴ2個体

◆2009年8月26日 夏調査（第3回調査）

ビン付け・・・1回目 11個×60分、アメリカザリガニ

2回目 8個×60分、ツチフキ・アメリカザリガニ（多数）

タモ網・・・4人×15分、タイリクバラタナゴ・ツチフキ・メダカ

投網・・・5回、アメリカザリガニ・ツチフキ

稚魚すくい・・・タイリクバラタナゴ



写真 4-3 調査状況



写真 4-4 調査状況（アメリカザリガニ）

◆2009年11月26日 秋調査第(第4回調査)

ビン付け・・・11個×60分、ヌマムツ

タモ網・・・2人×20分、タイリクバラタナゴ・ツチフキ・メダカ

投網・・・5回、ツチフキ

◆2010年2月23日 冬調査(第5回調査)

ビン付け・・・11個×60分、採集生物なし

タモ網・・・3人×15分、タイリクバラタナゴ・ツチフキ・メダカ・ヌマエビ・スジエビ・テナガエビ

投網・・・2人×20分、採集生物なし

貝類調査

◆2009年6月10日 春調査(第2回調査)

貝のサンプル調査・・・1m²コドラート×5マス

×5地点、ヌマガイ1個体・タテ

ボシガイ3個体、ナンバーリング

貝15個体死亡確認

泥の深さ計測・・・5地点×5回

泥の埋没深0～10cm

水深 28～43cm



写真4-5 調査状況

◆2009年7月19日 夏調査(任意調査)

貝のサンプル調査・・・1m²コドラート×5マス×5地点、ヌマガイ1個体・タテボシガイ

13個体・オトコタテボシガイ1個体、ナンバーリング貝13個体死亡

確認

貝内の卵・仔魚調査・・・タイリクバラタナゴ仔魚

◆2009年8月26日 夏調査(第3回調査)

貝のサンプル調査・・・1m²コドラート×15マス、

ヌマガイ3個体(67.98～

92.34mm)・タテボシガイ15個体

(42.39～65.50mm)、死亡確認ヌマ

ガイ8個体・タテボシガイ22個体、

うちナンバーリング貝7個体

貝内の卵・仔魚調査・・・タイリクバラタナゴ仔

魚



写真4-6 調査状況

◆2009年11月26日 秋調査第(第4回調査)

貝のサンプル調査・・・1m²コドラート×5マス×6地点+ランダム採集、ヌマガイ5

個体(67.25～115.00mm)・タテボシガイ8個体(45.65～64.95mm)・オト

コタテボシガイ4個体(34.60～64.05mm)、死亡確認ヌマガイ5個体・タ

テボシガイ 8 個体、うちナンバーリング貝 5 個体
貝内の卵・仔魚調査…卵・仔魚なし

◆2010 年 2 月 23 日…冬調査（第 5 回調査）

貝のサンプル調査…1m²コドラート×5 マス×6 地点+ランダム採集、ヌマガイ 19 個体（61.88～113.42mm）・タテボシガイ 11 個体（44.18～62.63mm）、死亡確認ヌマガイ 11 個体・タテボシガイ 8 個体、うちナンバーリング貝 10 個体
貝内の卵・仔魚調査…卵・仔魚なし

5 考察

イチモンジタナゴの産卵状況

イチモンジタナゴは、春夏秋冬 4 回の調査中、春調査で 2 個体（稚魚）が確認された以外採集されなかった。7 月 19 日の予備調査でも 2 個体確認されたが、1000 個体放流したことを考えると、予想外に少なかった。稚魚すくい、貝内の卵・仔魚調査でも確認できず、あまり産卵した形跡はなかった。

一方、タイリクバラタナゴは、夏調査で稚魚すくいとタモ網で採集、秋調査、冬調査でもタモ網で採集された。また、貝内の卵・仔魚調査でも 7 月予備調査、夏調査で仔魚が確認され、イチモンジタナゴより確実に産卵していた。

貝類

死亡が確認されたヌマガイは、合計 52 個体、うち放流したナンバーリング貝は 50 個体あり、当初 111 個体放流していることから、45.0%が死亡したと考えられた。部分的な調査にしても、回収した貝 81 個体中、52 個体（64.2%）が死亡しており、非常に死亡率が高かった。回収した貝の縁が、かじられたあとがあり、ザリガニの被害にあったと推測された。

なお、回収した貝の中に放流していない貝が 2 個体確認されており、もともと琵琶湖型池にヌマガイが多少生息していたことが推測された。

表 5-1 回収した貝の一覧

貝の種類	春調査	夏調査 (任意)	夏調査	秋調査	冬調査	合計
ヌマガイ	1	1	3	5	19	29
ヌマガイ(死亡)	15	13	8	5	11	52
うちナンバー表示貝	15	13	7	5	10	50
タテボシガイ	3	13	15	8	11	50
タテボシガイ(死亡)	0	1	22	8	8	39
オトコタテボシガイ	0	1	0	0	0	1
オトコタテボシガイ(死亡)	0	0	0	0	0	0

その他採集された生物

ツチフキ、メダカ、タイリクバラタナゴ、ウキゴリ、ヌマムツ、ヌマエビ、スジエビ、テナガエビが採集され、中でもツチフキとメダカは多く採集され、琵琶湖型池で確実に産

卵していると考えられた。

外来魚のブルーギル、ブラックバスについては、調査の中では採集されず、入水口の防御ネットの効果と考えられた。しかし、ツチフキ、タイリクバラタナゴなどの侵入経路は不明であり、調査が必要であると考えられた。

魚類以外では、アメリカザリガニが大量に捕獲された。回収した貝が大量に死んでいたことから、アメリカザリガニの被害は深刻であると考えられた。

6. まとめ

今年度はイチモンジタナゴを計 1000 匹放流したが、予想に反し、産卵、増殖した形跡が少なく、個体数が増えていないと推定された。イチモンジタナゴは、春夏秋冬 4 回の調査中、春調査で 2 個体の稚魚が確認された以外は採集されなかった。7 月 19 日の予備調査でも 2 個体が確認されたが、1000 個体放流したことを考慮すると非常に少ない結果であると考えられた。稚魚すくい、貝内の卵・仔魚調査でも確認できず、イチモンジタナゴが産卵した形跡はみられなかった。

ただ、琵琶湖型池の面積が大きく、調査に限界があるため、確定するより、調査方法を変更するなど原因解明が必要である。

一方、タイリクバラタナゴは、夏調査で稚魚すくいとタモ網で採集、秋調査、冬調査でもタモ網で採集された。また、貝内の卵・仔魚調査でも 7 月予備調査、夏調査で仔魚が確認され、イチモンジタナゴより確実に産卵していることが明らかとなった。

放流したヌマガイの約 45% の死亡が確認された。ザリガニが大量に採集されたこと、死亡貝がかじられた形跡があり、ザリガニによる被害が要因と考えられた。

今後の課題として、以下の項目が挙げられた。

- ① ザリガニの駆除を実施する。カニ網を購入し随時捕獲する。
- ② 6 月の春調査結果を見た上で、調査方法を検討する。大量にセル瓶を使用した調査等、定例調査以外に大規模な調査を実施することでより確実にイチモンジタナゴの動向を把握することが必要と考えられる。
- ③ 6 月調査の後、必要に応じてヌマガイやイチモンジタナゴの追加放流することが必要と考えられる。

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

実験センター所長
調査研究部研究員

今井 崇
井上 健彦
武田 繁
遠藤 真樹
北島 淳也

ぼてじゃこトラスト

名古屋大学

7. 富栄養化防止のための新規アルミニウム系化合物 によるリン酸イオンの回収実験（2）

1. 目的

現在、環境問題は非常に重要な問題となり、解決のために世界規模の協力体制が整えられている。生物が存在するために必要不可欠な水環境分野でも富栄養化などの問題が多発している。富栄養化は、閉鎖性の海域や湖沼で起こりやすく、流入栄養塩濃度の増大や水域内での栄養物の蓄積により、水域の栄養塩濃度が高くなり藻類が異常発生する現象である。これは、リンや窒素が原因物質と考えられており、アオコや赤潮状態を引き起こし、水生生物への影響など多くの問題を引き起こす。また、リンは枯渇資源としても非常に注目されており、再資源化が望まれている物質である。さらに、アメリカ合衆国ではリンを戦略物質としており、輸出規制が設けられ日本においてもリンの価格高騰が懸念されている。

一方、アルミニウム系化合物は、アニオンとのイオン交換能を有すると同時に汎用性に優れている。また、アルミニウムは再利用可能な物質であり、非循環型社会から循環型社会への転換が進められている現在、社会のニーズに適した吸着剤であると考えられる。

これまでに近畿大学薬学部公衆衛生学研究室（以下、近大研究室）では、アルミニウム系化合物であるベーマイト(BE)およびギブサイト(GB)を使用し、リン酸の吸着能について検討し、優れたリン酸の吸着能を保持していることを明らかとしている。

本研究においては、フィールドでのアルミニウム系化合物の適用を考慮し、結合剤を用いて造粒を行い、環境水中でのリン酸の吸着能について基礎的検討を行った。なお、フィールドでの実験結果から、アルミニウム系化合物へのリン酸の基礎的回収能力に関するデータを算出し、同時に種々の物質および環境条件を測定することにより、河川や湖沼への適用を総合的に判断することで富栄養化の防止に寄与できると考えられる。さらに、リンの回収により富栄養化防止による水環境負荷低減や回収したリン酸の再資源化が可能となり、経済面でも高いメリットが期待できる。

以上を背景に、今回、琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター（以下、Biyoセンター）においてフィールドでの実証実験を行った。

2. 実験概要

2.1. 実験施設

Biyo センター内(図 2-1)における、水路型浄化実験施設近くの水路に実験装置を設置した。



図 2-1 実験装置設置場所

2.2. 実験期間

2007 年 4 月 1 日～2010 年 3 月 31 日 (3 年間)

2.3. 吸着剤

吸着剤には、結合剤を用いアルミニウム系化合物を造粒した G-GB(使用期間:2007～2008 年) および G-BE (使用期間:2009 年) を使用した。(図 2.2) また、各吸着剤は、直径 3mm × 高さ 5mm の円柱状である。カラムへの吸着剤の充填は、近大研究室において十分な洗浄を行い、カラム充填後も十分な通水を行った。



図 2-2 G-GB (左) および G-BE (右)

G-GB および G-BE の諸物性は、比表面積，表面水酸基量，表面 pH，電子顕微鏡写真およ

び示差熱分析を測定し、それぞれ Flow Sorb II 2300 (Micromeritics 社製)、フッ化物イオン吸着量法 6, 7)、デジタル pH メーター計 (メトラートレド社製)、JSM-5200LV (日本電子社製) および自動示差熱・熱重量同時測定装置 DTG-60AH (島津製作所社製) を用いて行った。

2.4. 実験室レベルにおけるG-GBおよびG-BEへのリン酸吸着能

実験室レベルにおいて、リン酸吸着能を明らかとするため、吸着等温線、吸着速度、飽和吸着量、吸着時における pH および温度による影響について検討した。吸着等温線は、初濃度の異なるリン酸溶液 50mL に吸着剤 0.05g を加え、25℃において約 100rpm で 20~24 時間振とう後、0.45 μm メンブランフィルター (ADVANTEC 社製) を用い吸引ろ過し、ろ液中のリン酸の濃度を HACH PHOSPHATE TEST KIT (HACH 社製) を用い測定した。また、ろ液中のリン酸の濃度を平衡濃度とし、初濃度と平衡濃度を用い、式[1]から吸着量を算出した。

$$V = \frac{(C_o - C_e) \cdot 50}{1000 \cdot W} \dots\dots [1]$$

- V: リン酸の吸着量 (mg/g)
- Co: 初濃度 (mg/L)
- Ce: 平衡濃度 (mg/L)
- W: 吸着剤の重量 (g)

なお、飽和吸着量は、初濃度を 1000mg/L とし、溶液 100mL に吸着剤 1.0mg を添加し、先と同様の方法で求めた。吸着速度は、時間経過における平衡濃度と初濃度との差から先と同様の方法で算出した。また、吸着時における温度の影響は、試験温度を 15 および 35℃ とした。さらに、吸着時における pH の影響は、0.01mol/L 塩酸および水酸化ナトリウム水溶液を用いて吸着前の pH を 2~7 に調整し、先と同様の方法で求めた。カラムを用いた流通法での通水条件を表 2-1 に示す。

表 2-1 通水条件

	G-GB		G-BE
	リン酸初濃度 (mg/L)	5.3	4.2
線速度 (m/hr)	1.0	2.0	0.4
空間速度 (1/hr)	10.0	10.0	7.4
充填高 (m)	0.1	0.2	0.06
重量 (g)	35.0	67.4	8.5
流速 (mL/min)	5.3	10.2	1.3

2.5. Biyoセンターにおける吸着システムの構築

実験には、アクリル製内径 0.1m×高さ 1.0m のカラムを使用した。まず、Biyo センター内水路から、くみ上げポンプを用いて、原水を引き上げる。次に、カラム内の吸着剤に対する微生物や藻の発生を抑制するために、浮遊物質 (SS) の除去を目的に前処理を行った。処理方法は、分子ふるいの原理を用いた物理的処理法を用いた。今回は、原水を砂利、その後アンストラサイトに通水させた後、カラムにおける吸着実験を行った。(図 2-3)



図 2-3 前処理に用いた砂利およびアンストラサイト

実験装置の模式図および実験場所を図 2-4 および 2-5 に示す。カラム 1 では、原水を通水させ、破過に達した後、脱着を行う。カラム 2 (2008 年のみ稼働) では、リン酸濃度を 1~10mg/L に調整し、吸・脱着実験を行う。また、試料は、Biyo センター内水路からくみ上げた原水 (ori), SS 処理後でカラム通水前 (in), カラム通水後 (out) の 3 地点で採取した。

また、吸着剤に対する日光および気温などの影響を防ぐために、実験装置の周りは、ビニールシートで覆った。さらに、実験条件を表 2-2 に示した。

2009 年 7 月以降は、浮遊物質によるカラム上部の閉塞を防ぐためカラム上部にガラス繊維を設置した。(図 2-4)

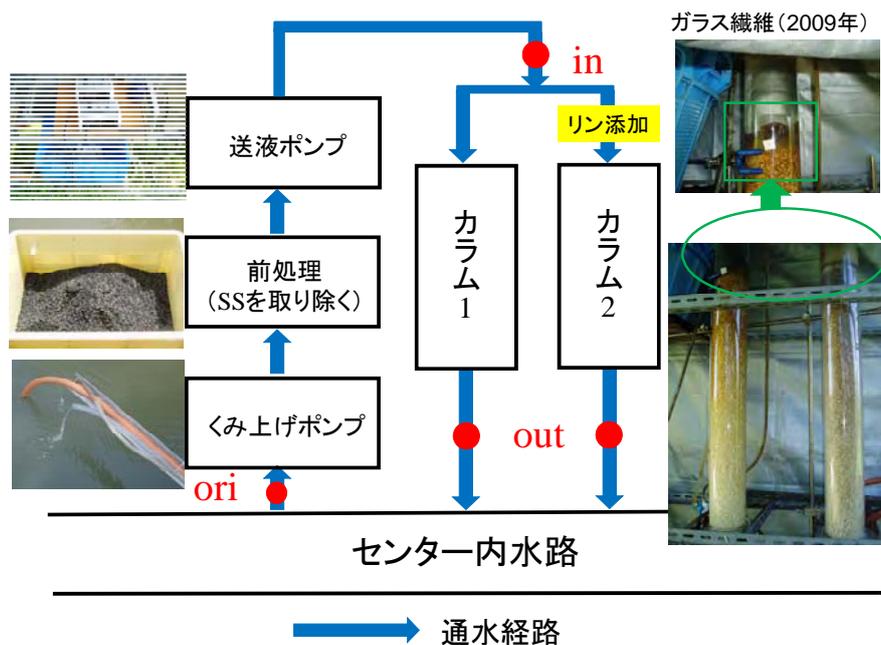


図 2-4 実験装置の模式図



図 2-5 Biyo センター内実験場所

表 2-2 実験条件

項目	諸元			
	2007/9/10- 2008/4/13 (I)	2008/4/14- 2009/2/2 (II)	2009/4/7- 2009/6/30 (III)	2009/7/27- 2010/1/14 (IV)
吸着剤	G-GB		G-BE	
吸着剤重量 (kg)	2.23		3.91	4.48
充填高 (m)	0.3		0.75	
密度 (kg/m ³)	945		664	761
流速 (mL/min)	220	100	54	
空間速度 (1/hr)	5.5	2.5	0.55	
線速度 (m/hr)	1.65	0.75	0.41	
通水方法	下向流		飽和流	

2.6. 測定項目および測定方法

表 2-3 に測定項目を示す。

表 2-3 各種測定項目および測定方法

測定項目	測定方法	実施年度		
		2007	2008	2009
水温, pH	pHメーター計(SANYO)	○	○	○
温度, 湿度	温湿度計(A&D)	○	○	○
溶存酸素	吸光度法(HACH)	○	○	○
濁度	吸光度法(HACH)	○	○	○
浮遊物質	ガラス繊維ろ紙によるろ過法(JIS法)	○	○	○
化学的酸素要求量	酸性高温過マンガン酸法(JIS法)	○	○	○
溶存態有機炭素量	燃烧酸化法(TOC-500)	×	×	○
溶存態リン酸	アスコルビン酸法(HACH)	○	○	○
金属元素	ICP-AES, ICP-MS(Shimadzu)	○*1	○*2	○*3
アンモニア態窒素	サリチル酸法(HACH)	○	○	×
硝酸態窒素	カドミウム還元法(HACH)	○	○	×
亜硝酸態窒素	ジアゾ化法(HACH)	○	○	×
総窒素, 溶存態および懸濁態窒素	TNT過硫酸法(HACH)	○	×	×
総リン, 溶存態および懸濁態リン	過硫酸法(HACH)	○	×	×
F	SPANS法(HACH)	○	○	×
Br, Cl	DPD法(HACH)	○	○	×
17β-エストラジオール	HPLC法(Shimadzu)	○	×	×

*1: B, Na, Mg, Al, Ca, Mn, Fe, Zn, Cd, Ba, Cu, P, Ni, Se, Pb

*2: B, Al, Mn, Fe, Zn, Ba, Ni, Pb

*3: B, Al, Mn, Fe, Zn, Cd, Ba, Cu, Ni, Se, Pb, As

(本研究で用いた HACH 社製の測定方法は、USEPA において承認された方法である。)

17β-エストラジオールは、Biyo センター内の原水 10L をエバポレーター (IWAKI 社製) にて減圧濃縮後、試験溶液とし以下の方法により定量した。試験溶液は高速液体クロマトグラフ LC10A(島津製作所社製)にて測定した。測定条件は、カラム:4.6mm×250mm の CAPCELL PAK C18 SG120 S5 (資生堂社製), 移動相:アセトニトリル/超純水=55/45, 流量 0.8mL/min, カラム温度:40℃, 波長:210nm で行った。

また、SS は、ガラス繊維ろ紙によるろ過法 (JIS 法) によって測定した。試料 1L を 1.0 μm のガラス繊維ろ紙(Whatman)を用いて吸引ろ過を行い、ろ紙上の SS を数回、蒸留水で吸引ろ過し、約 100℃で 2 時間乾燥後、デシケーター内で放冷し秤量した。

なお、各種溶存態物質の測定は、1.0 μm のガラス繊維ろ紙(Whatman)を用いたろ液を試験溶液とした。

3. 実験結果

以下に、装置周辺の気温と湿度ならびに原水の水温、pH、DOの測定結果を図3-1～3-5に示す。その結果、気温が1.2～29.5℃、水温が4.4～30.6℃、湿度が11.0～90.0%の範囲となり、夏に高く、冬に低くなり、季節変動が認められた。「生活環境の保全に関する環境基準」は、生活環境を守ることを目的とし、公共用水域を河川、湖沼、海域の三つに分け、各水域の利用目的によって、それぞれ類型を設け、生活項目に対する基準値が決められている。河川では類型AA、A、B、C、D、Eの6種類に分類され、AAが最もきれいである。葉山川の類型は「生活環境の保全に関する環境基準」においてA類型に属することがわかった。また、pHは一年を通じて6.4～8.3前後とほぼ一定の値を示した。DOは、5.8～13.2となった。過飽和状態となっている測定日もあり、実験装置などを考慮するとこれらは微生物ではなく測定誤差であると考えられる。なお、水温等の測定時間は、午前11時から午後1時の時間帯であり、気温および湿度は、ビニールシートで覆った実験装置内での測定結果である。

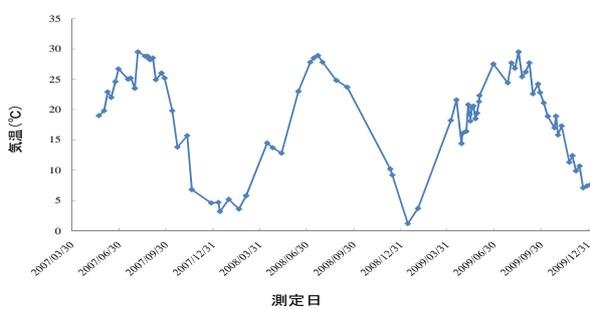


図 3-1 実験装置付近の気温

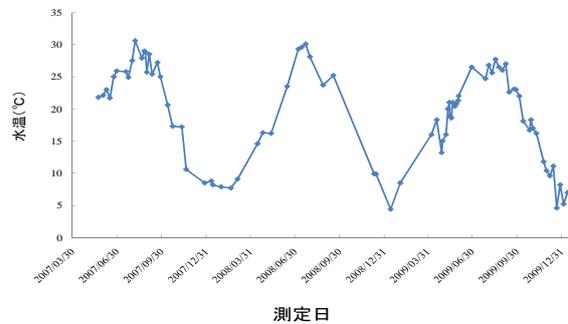


図 3-2 原水の水温

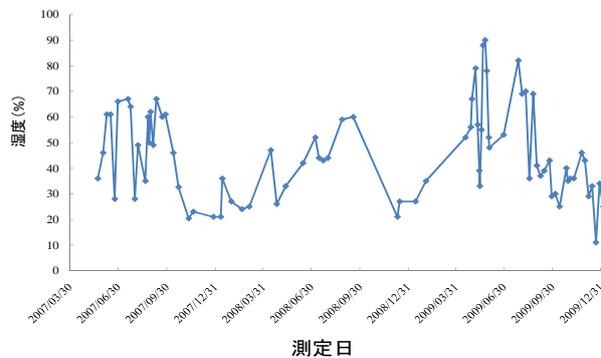


図 3-3 実験装置付近の湿度

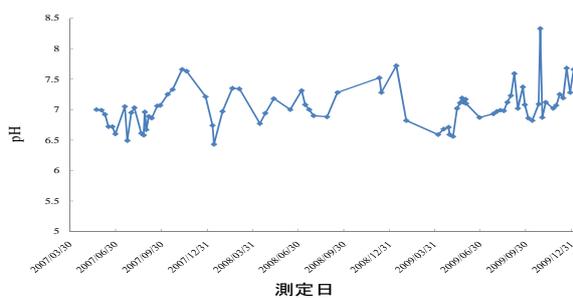


図 3-4 原水の pH

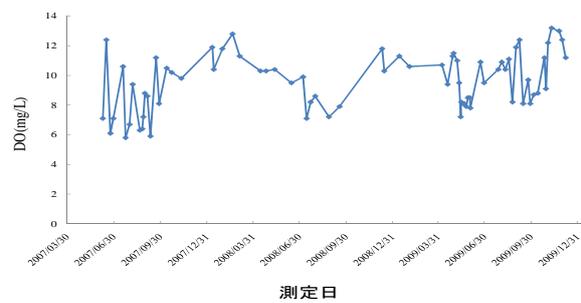


図 3-5 原水の DO

SSは水中に浮遊する粒径2mm以下の不溶解性物質であり、濁度は水の濁りを表す水質の指標となる。これらはカラム内において藻の発生やカラム閉塞を引き起こす原因となり、吸着剤に付着することで吸着能を阻害する可能性もある。そこで、カラム内における藻の発生やカラム閉塞の防止を目的に、SSおよび濁度の除去を行った。濁度およびSSの測定結果を図3-6および3-7に示す。I～II期では、SSの除去を目的に行った前処理は、原水自体のSS量が非常に微量であったために十分に機能せず、全測定日において完全にSSを除去することはできなかった。また、測定期間を通じて、SSは約40mg/L、濁度は約50FAU以下であった。「生活環境の保全に関する環境基準」においてSSは40mg/L以下でC類型に属す。今回の測定では、すべての測定日でC類型の基準値以下となった。また、前処理により、SSの除去はある程度可能であることが明らかとなったが、採水時に除去されたSSが流出する可能性も認められた。すなわち、今回の通水条件は下向流であり、実験装置であるカラムの下部から採水を行った。この採水はコック式であるチューブを介し行っているが、採水時に空気が流入することで、これまでに貯留していた水が一気に流出することがあり、このときにSSなども同時に流出したとも考えられる。よって、III期からは、飽和流による処理を行っている。III期では、濁度の前処理およびカラムでの平均除去率は18および57%、SSの前処理およびカラムでの平均除去率は32および90%となり、前処理およびカラムで除去出来ていることが明らかとなった。特にカラムによる除去率が非常に高く、今回、約3カ月間で閉塞を起こした原因であると考えられる。すなわち、前処理が適切でなく不十分な可能性が示唆された。IV期からは、カラム内の吸着剤上部にガラス繊維を設置し、閉塞における対策を施している。次に、濁度とSSの相関関係を図3-8および3-9に示す。その結果、濁度算出時に用いる水量が100mLの場合(図3-8)、oriの相関係数は0.546となった。これは水量が100mLと非常に少量であったためと考えられる。そこで、2007年9月以降は、水量を1L(図3-9)とした。その結果、oriの相関係数は0.937となり、非常に良好な直線式となった。さらに、以上の結果をふまえ、ここでは前処理およびカラムによる除去システムとしての処理能力ではなく、カラムの吸着剤による処理能力を主として検討を行う。

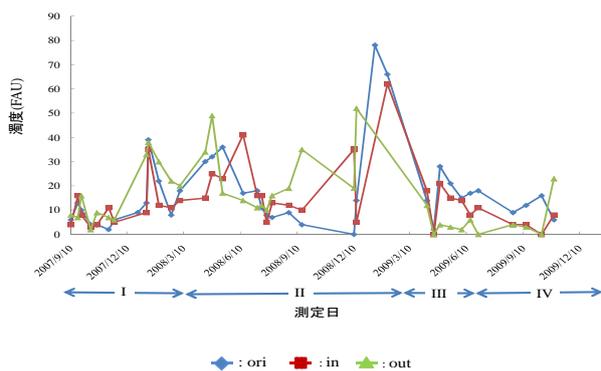


図 3-6 濁度の濃度

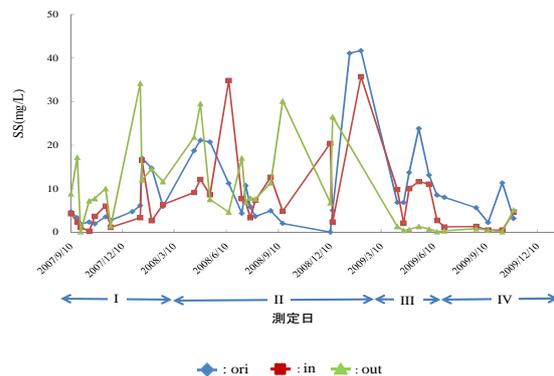


図 3-7 SSの濃度

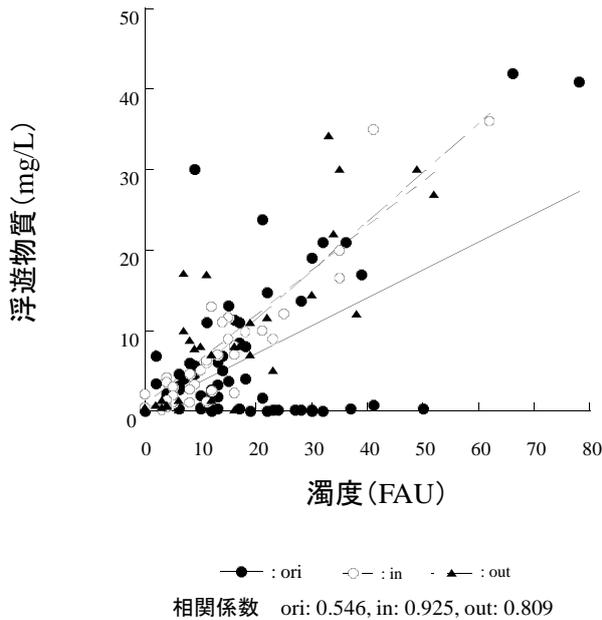


図 3-8 濁度と浮遊物質の相関関係

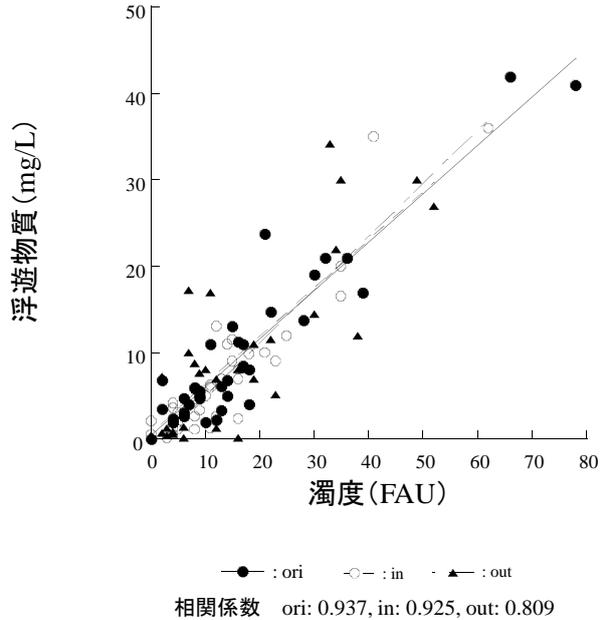


図 3-9 濁度と浮遊物質の相関関係

COD_{Mn}は水中の有機物量の指標となる。環境水中には、リン酸以外にも様々な物質が存在する。その中でも有機物は必ず含有されている物質の一つである。したがって、G-GBおよびG-BEにより有機物が除去される場合、環境水への適用が広がると考えられる。今回、G-GBおよびG-BEによる有機物の吸着量について検討し、その結果を図3-10に示す。その結果、測定期間を通じてCOD_{Mn}は約2.0~8.0mg/Lの範囲で変動し、季節による大きな変化は認められなかった。「生活環境の保全に関する環境基準」では湖沼におけるCODの基準値は、AA類型(<1mg/L)、A類型(<3mg/L)、B類型(<5mg/L)、C類型(<8mg/L)である。今回の測定結果よりoriの類型はCOD_{Mn}平均値よりC類型に属していることがわかった。しかし、G-GBおよびG-BEによるCOD_{Mn}の除去能は認められず、環境水中においてCOD_{Mn}低減化には寄与できないことが明らかになった。Ⅲ期では、CODの前処理およびカラムでの平均除去率は8および38%となり、カラムによる除去能が認められた。これらは、吸着剤による純粋な除去ではなく、物理的方法で除去されている可能性が示唆された。これにより、約3カ月間という極めて短い期間でカラムが閉塞してしまい、本来のG-BEのイオン交換能が低下する可能性も考えられ、前処理の重要性が改めて示唆された。さらに、G-BEにすることにより、結合剤である有機系物質の溶出が認められ、改良の必要性が認められた。

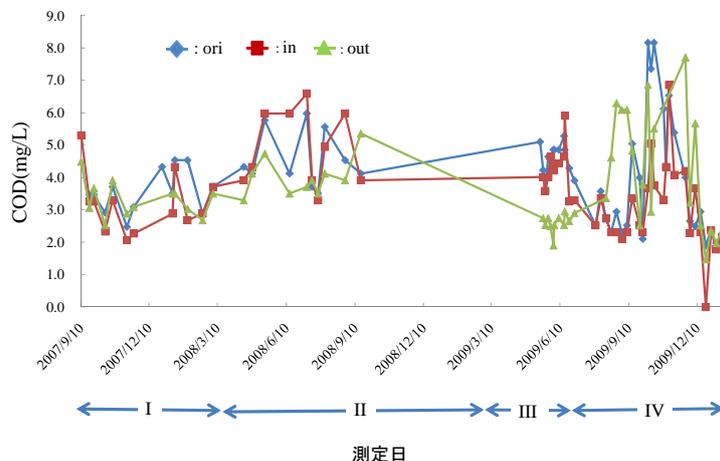


図 3-10 COD

リンは富栄養化の原因物質として注目されている。リン酸の連続回収を指向して創製した G-GB は、I～II 期では、測定日により吸着能が変動した(図 3-11)。しかし、カラム通水前後におけるリン酸の濃度に有意な減少は認められず、環境水中におけるリン酸の吸着剤として改良の必要性が示唆された。また、吸着量に関しても、これまでに得られた結果(飽和吸着量 33.5mg/g)に比べ著しく低い値を示した。このことは、工業的に大量生産することで、製造時に圧力がかかり、イオン交換できる水酸基量の減少、造粒時に結合剤を加えることによる比表面積の減少、また、処理対象水中に存在するリン酸が極めて低濃度であることなどが考えられる。Biyo センター内におけるリン酸の濃度は約 0.10mg/L 以下と低く、一年を通じて大きな濃度変化は認められなかった。また、リン酸の吸着量低下の原因として、前処理が不十分であったため原水中に含有されている他の物質による影響も考えられる。さらに、実験の経過にともない G-GB の表面は茶色を呈し(図 3-12)、原水中の SS や鉄が付着している可能性もあり、十分なリン酸吸着能を示さなかったことも考えられる。また、前処理において SS を完全に除去できなかったことも一つの要因と考えられる。すなわち、未処理 GB を焼成することで高いリン酸の吸着能を保持していたが、環境水中においては十分な効果を示さなかった。これは今後のフィールドへの適用を考慮する場合、他の物質の共存などによる影響について特に考慮しなければならないことがわかった。III 期では、G-BE によるリン酸の前処理およびカラムでの平均除去率は 4 および 74% となり、カラムによる除去能が認められた。吸着剤 1g 当たりでは 0.133mg と非常に微量の吸着量であり、先に述べた SS による閉塞がなければさらに継続してリン酸を除去出来たと考えられる。しかし、I～II 期と同様にリン酸を完全に除去することは出来なかった。また、G-BE のリン酸吸着係数は、0.69g/kg-P205 となり、吸着能の約 88% が使用されていることが示唆された。リン酸吸着係数がこのような低い値を示したのは、吸着平衡に達した場合の水溶液 pH が影響していると考えられる。IV 期では、前処理およびカラムで平均約 22% および 68% の除去率を示し、高い除去能を示し、G-BE はフィールドにおいてリン酸の除去が可能であることがわかった。今回は、通常の前処理を行った後、カラム上部にガラス繊維を設置しており、この方法をより改良する必要性が示唆された。

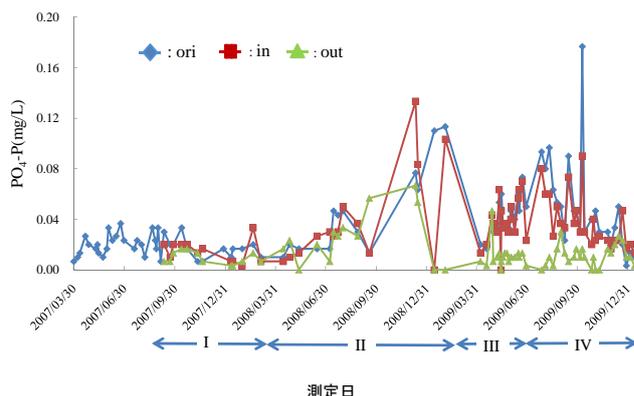


図 3-11 PO₄-P

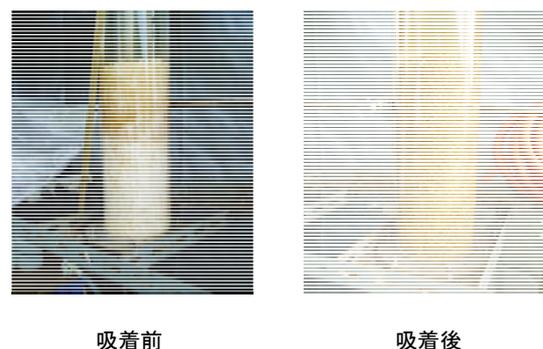


図 3-12 吸着前後における G-GB の様子

I～II 期では、G-GB によるアルミニウムの除去能は認められず、out においてアルミニウムの濃度が ori および in の濃度に比べ高い値となり、実験中にアルミニウムが溶出する可能性が示唆された。G-GB はアルミニウム系化合物であるため、アルミニウムの溶出は吸着能低下につながる可能性が考えられる。また、G-GB は構造中にアルミニウムを含有していることから、金属の交換反応についても今後検討していく必要がある。III 期では、アルミニ

ウムは吸着開始直後にカラムにおいて除去されていることがわかった。この吸着機構については現在、検討中である。さらに、G-GB ではアルミニウムの溶出が認められたが、今回使用している G-BE では、アルミニウムの溶出が認められず、改良が認められた。(図 3-13)

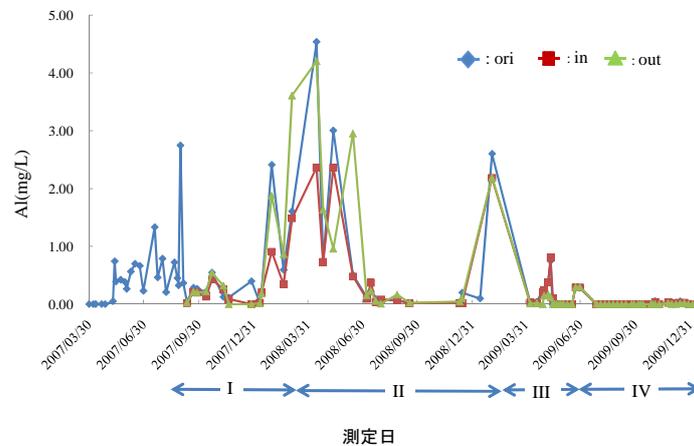


図 3-13 アルミニウム

4. まとめ

本実験では、結合剤を用いアルミニウム系化合物を造粒し(G-GB および G-BE)、フィールドへの検討を行った。G-GB を用いた場合 (I ~ II 期), G-GB の基材であるアルミニウムが実験中に溶出することが明らかとなった。さらに、カラムを用いた流通法においてはカラム通水前後におけるリン酸の除去に有意な差は認められなかった。これは、先の吸着剤からのアルミニウムの溶出や G-GB が工場規模で創製される時、過剰な圧力がかかり、イオン交換できる粒子間隙や比表面積の低下が原因と考えられる。さらに、流通システムとして前処理が十分に機能しなかったこともリン酸吸着能低下につながった原因の一つと考えられる。そこで、さらなる結合剤の選定により G-BE を創製し、環境水中の SS のカラム内への混入を防ぐために前処理に加え、カラム上部にガラス繊維を設置した。

次に G-BE の場合 (III ~ IV 期), 吸着剤からのアルミニウムの溶出は認められなかった。さらに、カラム前後において有意なリン酸濃度の低下が認められた。しかし、環境水中のリン酸を完全に除去することはできなかった。また、流通システムとして新たに設置したカラム上部のガラス繊維は一定の効果を示したものの完全に SS を除去することはできず、前処理のさらなる改善の必要性が示唆された。

以上のことから、流通システムとしての前処理などの処置は改良の必要性が示唆されたが、環境水中のリン酸吸着に関しては、フィールドで適用できる可能性が示唆された。今後は、環境水適用時における前処理を含めた総合的な評価を行う必要があると考えられる。

実験担当者

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

水質浄化研究所統括研究員

和田 桂子

技術開発部研究員

熊谷 好哉

近畿大学薬学部医療薬学科 教授

川崎 直人

近畿大学薬学部 医療薬学科 助教

緒方 文彦

その他実験の概要

平成22年度：琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センターにおいて実施中および継続している実験の概要

平成22年11月現在

	実験名	実験区分	実施年度	実験施設 調査場所	実験内容
1	浚渫土のヨシ生育試験	(独)水資源機構	H18～H22	深池型浄化実験施設	本実験は、ヨシ植栽の基盤として、琵琶湖にて実際に浚渫した土壌を敷設し、ヨシ生育試験を行うことにより、浚渫土の有効利用の基礎資料を得ることを目的とする。別紙参照
2	土壌浄化実験	自主実験	H8～H21	浸透ろ過型実験施設 土壌浄化実験施設	本実験は、土壌浄化実験施設等を用いて水質調査等を実施し、水質浄化法の1つである土壌浸透浄化手法の水質浄化性能やリンの吸着寿命を把握することを目的とする。
3	植栽沈水植物種の生育特性実験	共同実験 滋賀県立大学	H19～H22	水路型浄化実験施設	本実験は、どのように管理していくかが問題となっている沈水植物種の種特性を把握することを目的に、栽培実験を行う。特に沈水植物の分布に対して重要な意味を持つ光環境、底質環境に焦点をあて、主要水草種を栽培し、各環境条件下での成長量・再生産器官の生産量等を測定し、種特性の把握を行う。
4	植栽沈水植物群落の混植実験	共同実験 滋賀県立大学	H21～H22	水路型浄化実験施設	本実験は、どのように管理していくかが問題となっている沈水植物群落について、群落の遷移方向などの把握を目的として、栽培実験を行う。特に沈水植物の中でも競争関係にあると考えられる、クロモとセンニンモの2種間に焦点をあてて植栽実験を行う。それぞれの密度を変えた混植実験を行い、種間関係等の把握を目的とする。
5	新規アルミニウム系化合物によるリン連続回収実験	共同実験 近畿大学	H19～H22	その他敷地	富栄養化防止を指向し、新規アルミニウム系化合物を用いて、リン連続回収実験を行う。平成19～21年度は吸着剤として、結合材を用いた造粒物を使用した。本年度は、結合剤を使用せず吸着剤を創製し、その諸物性およびリン吸着能などの基礎的検討を行い、フィールドにおける実証実験に向けての評価・検討を行う。さらに水質調査を並行して実施する。
6	タナゴ類の増殖実験	共同実験 ぼてじゃこトラスト	H19～H22	H19: 深池型浄化実験施設 H20: 琵琶湖型実験池 水路型浄化実験施設 H21～22: 琵琶湖型実験池	琵琶湖周辺では、圃場整備や内湖の埋め立てによる生息環境の悪化外来魚(オオクチバス・ブルーギル)の侵入などにより、タナゴ類が減少している。このような現状を鑑みて早急な保全活動が望まれるが、希少なタナゴ類の生息環境を保全・創出するための技術は不十分といえる。本実験では、タナゴ類が繁殖しやすいように野外の生息環境を改善・創出する技術の確立を目指して、タナゴ類の増殖実験を実施する。
7	ヨシ帯を用いた水質浄化パイロット実験	自主実験	H21～H22	浅池型浄化実験施設	本研究では、環境汚染物質として、河川および水路からの流入により琵琶湖の富栄養化を引き起こす無機態の窒素(以下、N)、リン(P)に着目し、これを除去する上で重要な働きを担うヨシバイオフィーム(BF)に注目し、調査・研究を行う。さらに、ヨシ以外にBFを形成し易い基質、逆に形成しにくい基質についても、検討を加える。

【別紙】

浚渫土のヨシ生育実験内容

1. 実験内容

粒径の異なる浚渫土砂(シルト質及び砂質)を植栽基盤とし、複数の基盤条件を比較対象として閉鎖型の実験系におけるヨシの生長調査をとりおこなうこととした。

実験センターの深池型浄化施設 A 槽を改造・整備して、生育試験のための実験区画を設け、植栽基盤である浚渫土砂を搬入、ヨシ植栽、モニタリングを実施している。

2. 実験施設

2.1 実験区画の設定

検討を行う実験条件は表2-1に示す4条件とし、各実験区画について、横1.9m×長さ8.0mの大きさとなるように深池型実験施設を分割した。また、深さについては、浚渫土を1.0m充填でき、かつ水深が0.3mとれるように1.5mとした。

また、実験に使用する水は葉山川河川水とし、槽内を通過する滞留時間を6時間になるように設定した。(平成19年8月より、滞留時間を3時間に変更)

表 2-1 実験条件 (利用浚渫土分類)

	充填浚渫土名	発生場所
条件 1	シルト質浚渫土	H18 尾上漁港航路
条件 2	砂質浚渫土	H17 柳川漁港航路
条件 3	上層：砂質浚渫土 下層：シルト質浚渫土	上層：H17 柳川漁港航路 下層：H18 尾上漁港航路
条件 4	川砂(対照)	野洲川産

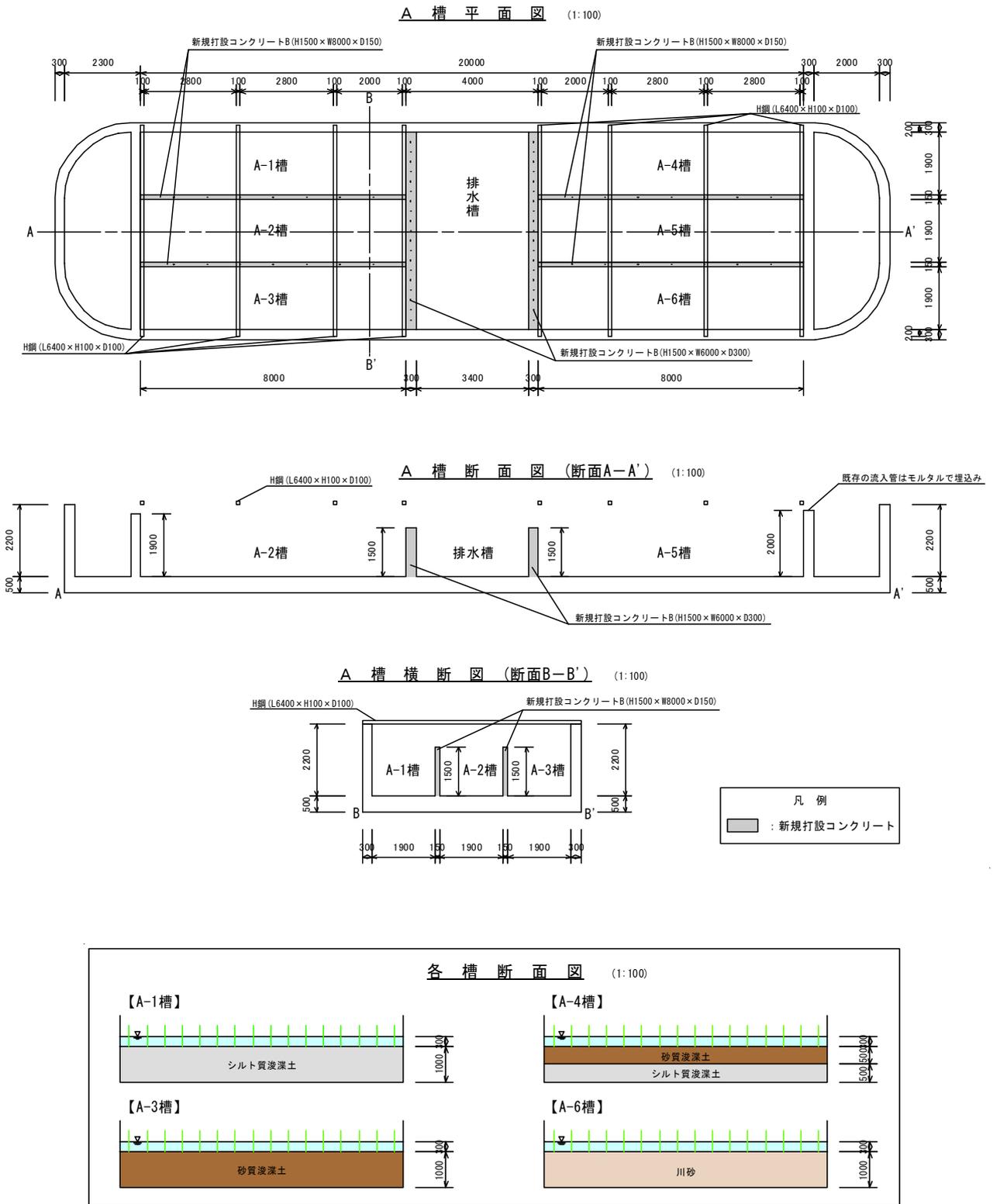
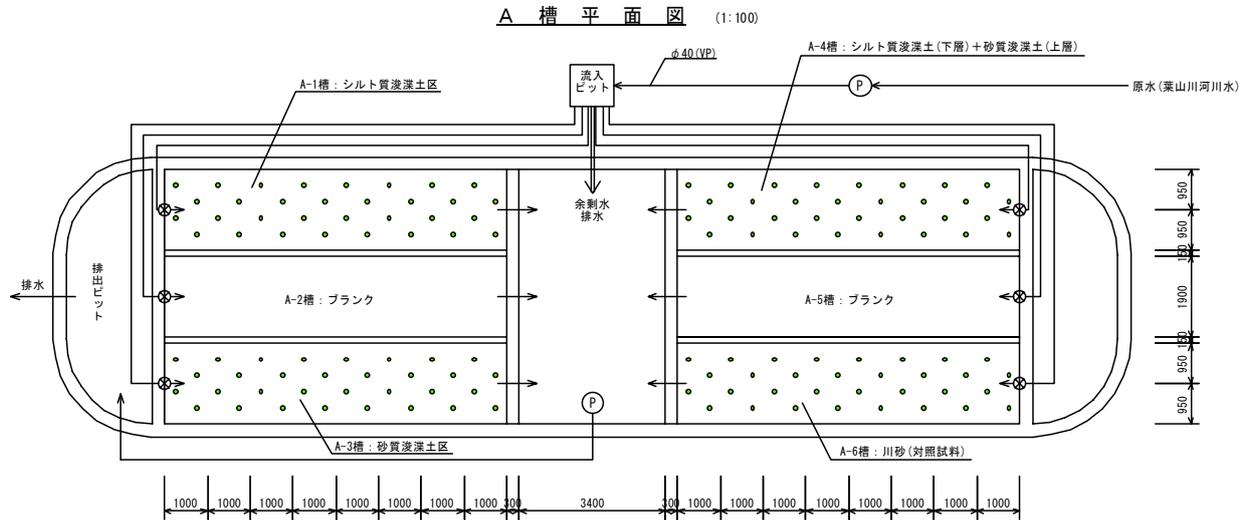


図 2-1 深池型実験施設の分割平面図及び断面図

2.2 ヨシ植栽

A-1 槽(シルト質浚渫土)、A-3 槽(砂質浚渫土)、A-4 槽(砂質+シルト質)、A-6 槽(川砂)それぞれ 2 株/m² の密度で 2 列×8 列の計 32 株のヨシ苗の植栽を行った(図2-2 参照)。なお、ヨシ苗は、琵琶湖産のφ : 10.5cm のポット苗を使用した。



【付記】

この実験においては、田中 准教授 (京都大学大学院地球環境学堂) から、助言をいただきながら進めている。

啓 発 活 動

平成 21 年度実験センター一見学者実績

実験センターでは、琵琶湖・淀川水系の水環境の課題や環境改善に向けた取り組みなどを広く一般市民や関係機関の方々にお知らせし、関心を持っていただくために、環境学習や施設見学、研修等の機会として、毎年多くの見学者を受け入れている。

見学に際してはそれぞれの団体の目的に応じて、琵琶湖や淀川の水質の変遷や現状、水質浄化の仕組み、これまでの実験センターの実験成果とそれらの適用事例、稼働中の実験施設などを紹介している。

平成 21 年度の実験センターの総見学者数は 631 人であり、図 1 に示すとおり季節的には秋と年度末の訪問が多く、図 2 に示す見学者の種別を見ると最も多いのが海外からの研修で、次いで国内行政機関からの視察、高校からの見学であった。

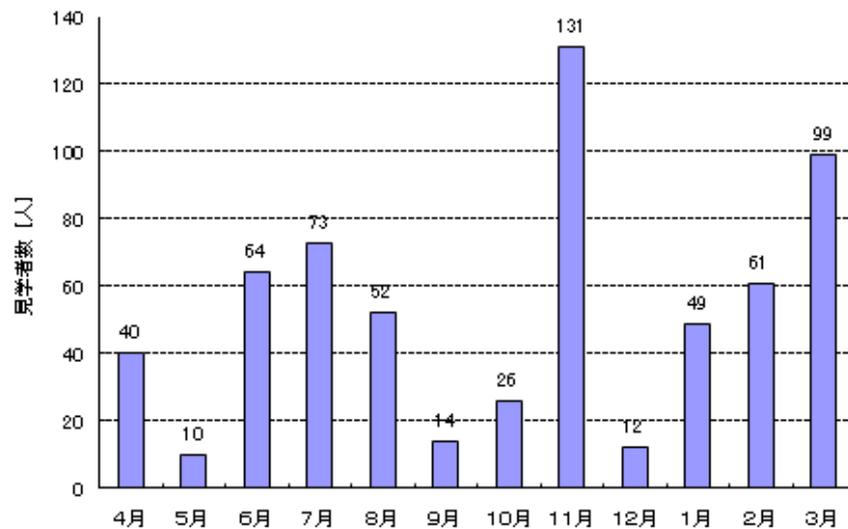


図 1 月別見学者数

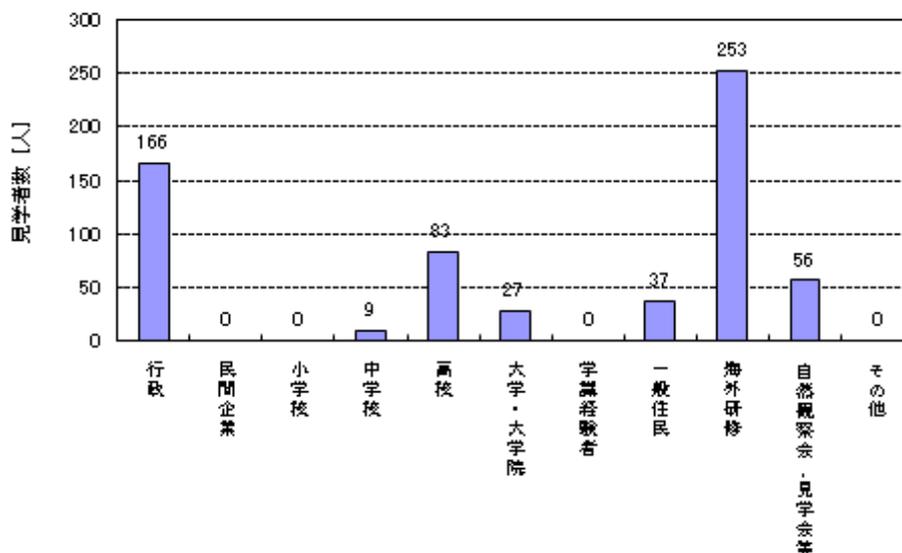


図 2 見学者の内訳

見学者数の推移は図 3 に示すとおりであり、実験センターの開設当時に比較すると見学者は減少しており、さらに、ここ数年は団体数 50 件前後、見学者数 1,000 人を切り、減少傾向を示している。その中で、図 4 に示すとおり海外からの見学者は増加傾向を示しており、水環境先進国である日本の技術や取り組みを学ぼうとアジア諸国など開発途上国からの見学者がそのほとんどを占めている。特に近年経済発展が著しい中国では水環境問題等が顕在化しており、見学者数が著しく増加している傾向からもそのことが伺える。

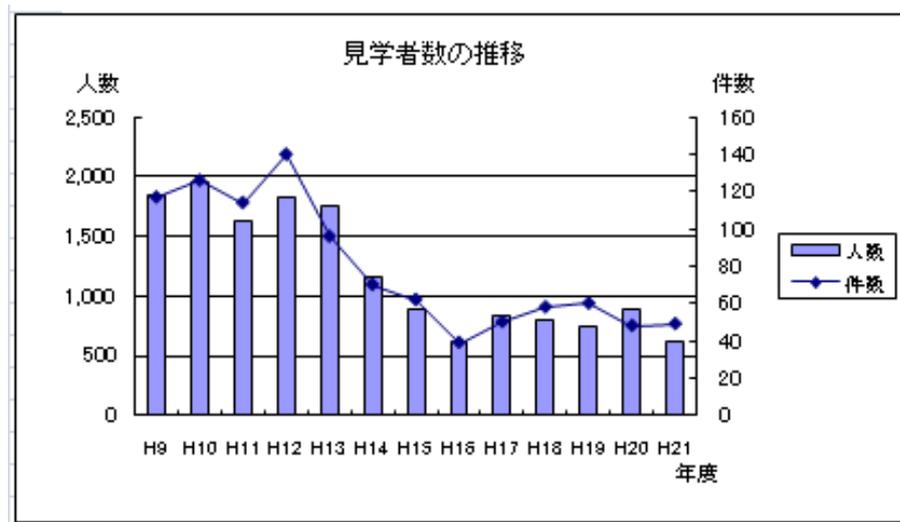


図 3 見学者の推移

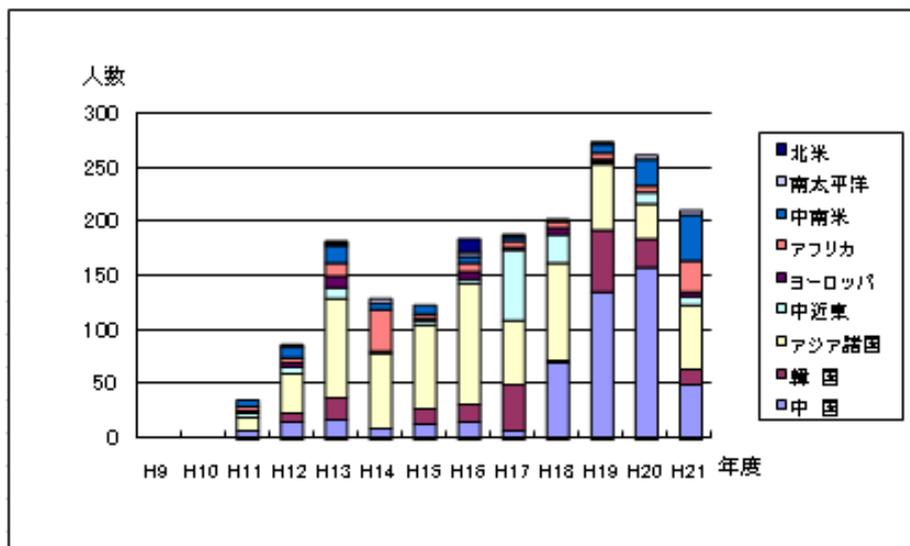


図 4 海外見学者数の推移



施設見学の状況

平成 21 年度 自然観察会

1. 目的

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）の自然観察会は、魚類や水辺の生き物及び水質調査等を通して、参加者の水環境に対する興味・関心を高めることを目的として、平成 11 年度から実施している。観察会のフィールドとしては、ビオトープでもある Biyo センターの実験施設の特徴を生かすことで、Biyo センターでの水質浄化の取り組みについても PR を行っているものである。

2. 実施内容

2.1 主催

国土交通省近畿地方整備局、滋賀県、独立行政法人水資源機構関西支社、財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

2.2 実施日

■第 1 回「魚をつかんでみよう」：平成 21 年 7 月 19 日（日）

■第 2 回「水を調べてみよう」：平成 21 年 8 月 22 日（土）

2.3 プログラム

第 1 回「魚の観察」では、魚の採り方を学んだ後、班毎に池や水路で魚を採取し、Biyo センターで採れた魚の名前や数を調べた。また、第 2 回「水を調べよう」では、琵琶湖や葉山川など 4 地点の水質調査、琵琶湖と琵琶湖型池で採水した水からプランクトンを採取し観察を行った。

時 間	第 1 回「魚をつかんでみよう」 講師：北島先生 (滋賀タナゴネット)	時 間	第 2 回「水を調べてみよう」 講師：一瀬先生/本多先生 (滋賀の理科教材委員会)
9：00～	受付（出席確認、資料配付）	9：00～	受付（出席確認、資料配付）
9：30～	開会（挨拶）	9：30～	開会（挨拶）
9：35～	講師・スタッフの紹介、日程 説明・注意事項説明等	9：50～	①水質調査 班毎に採水（4 地点）と水質調査（パックテスト）
9：45～	魚の採集方法について		
9：55～	魚の採集	10：30～	②プランクトンの観察 (琵琶湖・琵琶湖型池の水) 顕微鏡を使用して、図鑑と照合しながら名前を特定
10：55～	採集した魚調べ		
11：05～	班別報告	11：30～	結果のまとめと発表
11：20～	講評「琵琶湖の魚の現状」 (北島先生)	11：40～	講評（一瀬先生・本多先生）
11：45～	結果発表	12：00	閉会
11：50	閉会 アンケート記入		アンケート記入

3. 参加状況

第1、2回の参加者数は、延べ56名（内、子ども26名）であった。

	福井	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	合計	子ども
第1回 (参加実数)	0	0	29	0	8	10	0	0	47	(22)
第2回 (参加実数)	0	0	2	1	6	0	0	0	9	(4)

※当日参加やキャンセルあり

単位：人

4. 実施結果

4.1 魚をつかんでみよう

4.1.1 実施地点

実施地点は図4-1に示すとおりである。



図4-1 実施地点

4.1.2 魚類の採集結果

タイリクバラタナゴ、タモロコ、ヌマムツ、カネヒラ、ツチフキ、オイカワなどが多く確認された（表4-1）。集計結果は表4-2に示すとおりである。

表4-1 観察された魚类等

項目	観察された種	
魚類	コイ科	オイカワ、ヌマムツ、カネヒラ、タイリクバラタナゴ、カマツカ、ツチフキ、タモロコ、フナ属仔稚魚
	メダカ科	メダカ
	サンフィッシュ科	オオクチバス
	ハゼ科	ヌマチチブ、トウヨシノボリ、ウキゴリ
	ドジョウ科	ドジョウ
		5科14種

表 4-2 採集された魚の集計結果

科名	種名	1班		2班		3班		4班		5班		種個体 数合計	昨年 採集数
		C	その他 地点	B	その他 地点	D	その他 地点	A	その他 地点	E	その他 地点		
コイ科	オイカワ				○	6	○			1	○	7	4
	カネヒラ	7		4		2		2				15	4
	カマツカ	2	○	1			○		○	2	○	5	○
	タイリクバラタナゴ	35	○		○	31	○	20		2	○	88	64
	タモロコ	3	○	1	○	1	○			52	○	57	64
	ツチフキ	2	○	3		7			○		○	12	12
	ヌマムツ	9	○	3		19	○	5	○		○	36	2
	フナ属仔稚魚			1	←親							1	○
	モツゴ												50
ドジョウ科	ドジョウ							1				1	0
メダカ科	メダカ	3					○	3	○		○	6	10
サンフィッシュ科	オオクチバス			1								1	0
	ブルーギル											0	4
ハゼ科	ウキゴリ						○		○			○	0
	トウヨシノボリ							2		1		3	3
	ヌマチチブ			1								1	○
その他	オイカワ×ヌマムツ						1				1	0	
集計	種数	7	5	8	3	6	7	7	5	5	7	16	13
	個体数	61	—	15	—	66	—	34	—	58	—	234	217

A～Eポイント：最初の20分間の各ポイントで採集された魚の種類と個体数

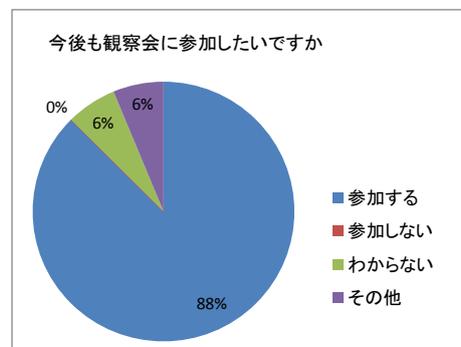
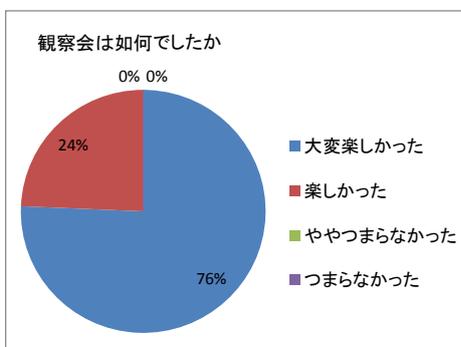
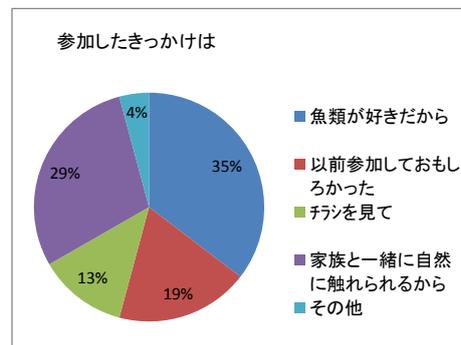
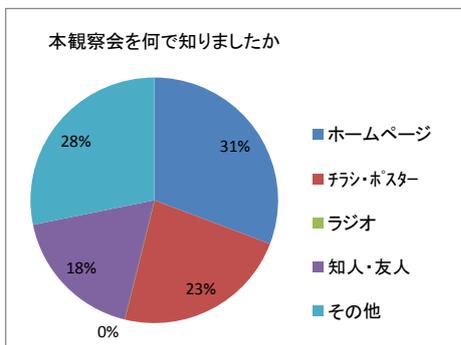
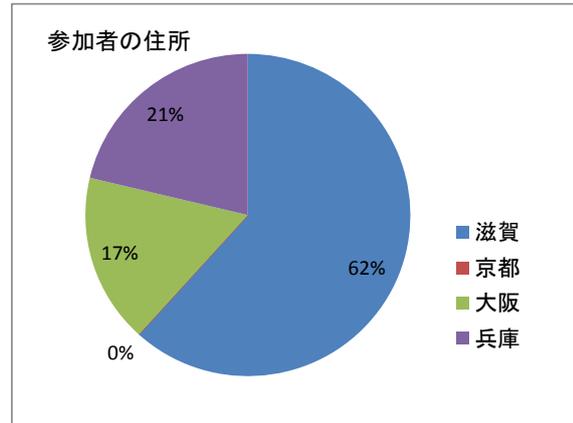
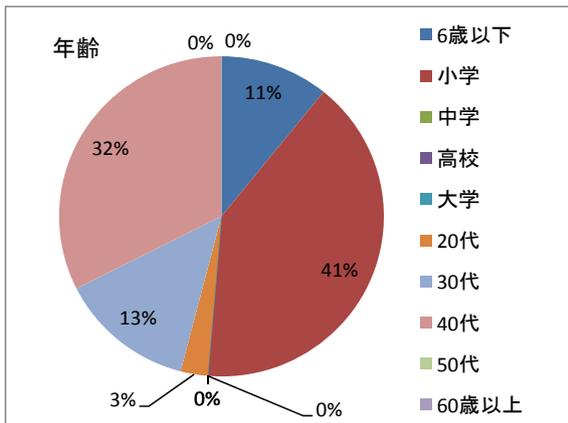
その他の地点：ポイント移動後に採集された魚の種類に○印を付け、種数を記録した

4.1.3 アンケート調査結果

アンケート調査結果は図 4-2 に示すとおりである。参加者 47 名のうち 37 名のアンケートが回収でき、回収率は 79%であった。以下にアンケートの結果をまとめた。

- ① 年齢層は、6 歳以下から 60 歳以上まで広い年齢層の参加が得られたが、中学生から大学生の年齢層の参加はみられなかった。いずれの家族も小学生以下の子供を連れた家族であった。
- ② 参加者は滋賀県、兵庫県、大阪府在住がそれぞれ 62%、21%、17%を占め、京都府からの参加は無かった。
- ③ 広報については、ホームページで知った人が 31%と最も多く、次いでその他（BYQ かわら版、草津市広報紙、小学校で配布されたプリントを見てなど）が 28%、次いでチラシ・ポスターで知った人が 23%であった。
- ④ 参加した動機は、魚類が好きだからが 35%、家族と一緒に自然に触れられる機会だと思ったからが 29%、以前参加しておもしろかったというリピーターが 19%であった。
- ⑤ 観察会の評価については、大変楽しかった、または楽しかったが合わせて 100%と、楽しんでもらえたようであった。大変楽しかった、楽しかった理由は、「普段できない魚取りができ、たくさん種類を知ることができた。」や「魚やえび、ザリガニなど、たくさん捕まえることができたから」などが多く、次いで「魚を実際に見てさわることが出来たから」、「魚の説明だけではなく、魚をとりまく環境がどうなっているのか、問題点も含めて考える機会となった」などであった。

- ⑥ 今後も Biyo センターの自然観察会に参加したいと答えた人は 88%で過半数を超えた。参加したいと答えた人の中では、観察の内容として魚類が 27%、陸生昆虫が 22%、野鳥が 15%、水生昆虫が 12%であった。他にプランクトン観察 12%、植物 6%、水質 4%であった。
- ⑦ 観察会の感想として、子どもからは「小さいヌマムツがいっぱい捕れたのでうれしかった。」や「魚を捕るのが難しかった。」などがあり、「思ったより魚の種類が多いと思いました。Biyo センターや水質保全のことをもう少し考えてみたいと思います。」や「子ども達が琵琶湖の水が汚いと感じていることが残念です。濁り≠汚れということをもっと広めて欲しいです。」という大人の方の感想や意見があった。



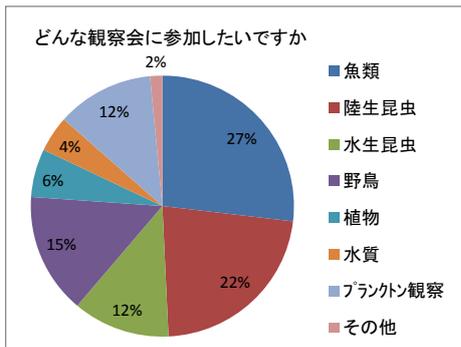


図4-2 魚の観察 アンケート結果

4.2 水を調べてみよう

4.2.1 採水実施地点

採水実施地点は図 4-3 に示すとおりである。



図 4-3 実施地点

4.2.2 実施結果

①水質調査、②プランクトンの観察の2項目について以下のとおり整理した。

① <水質調査>

班毎にそれぞれの採水地点（1班・2班：1ヶ所、3班：2ヶ所）に移動し、現地で水温、透視度を測定し、採水した水を容器に入れて持ち帰る。また、しょうゆを薄めた実験水と米のとぎ汁を作成した。各班3種類の水について色とにごり、臭い、COD、リン、窒素を調べた。結果は表 4-3 のとおりであった。

表 4-3 水質調査結果

班別		1			2			3											
採水場所		葉山川		実験水		琵琶湖		実験水		琵琶湖型池		土壤浄化水		実験水					
内容		---		米のとぎ汁		醤油滴下		---		米のとぎ汁		醤油滴下		---					
水質項目	水温(℃)	27		--		--		27		--		--		27.5		27.5		--	
	色と濁り	少し濁り		--		--		少し濁り		--		--		薄い緑		透明		--	
	臭い	なし		--		--		なし		--		--		なし		なし		--	
	透視度(cm)	55		--		--		36.5		--		--		15		100以上		--	
	COD(ppm)	6		8		7		8		8以上		6		14		2		8以上	
	リン(ppm)	0.03		0.1		1		0.02		0.2		2		0.035		1以上		0.035	
	チッソ(ppm)	0.2		0.5		0.5		0.2		0.2		0.2		0.35		0.2以下		0.5	

②<プランクトンの観察>

(i) 琵琶湖及び琵琶湖型池から採水した水からプランクトンを採取し、顕微鏡を使って確認した。ただ、実際の顕微鏡観察用資料は先生が事前プランクトンネットを使

って採取されたものから、琵琶湖及び琵琶湖型池の各観察資料を作成戴き、その資料を顕微鏡を使って、図鑑をもとにプランクトンの名前探しを行った。

このプランクトン探しは、一番数多くのプランクトンを探した人に賞品（下記図鑑『やさしい日本の淡水プランクトン』）を出す競争方式を取り入れた。

顕微鏡は各班2台を準備した(滋賀の理科教材委員会より借用)。

図鑑は滋賀の理科教材研究委員会編の『やさしい日本の淡水プランクトン』を使用した。

(ii) 表4-4に確認したプランクトン種類数を示す。

表4-5、表4-6に各班の観察結果を示す。ただし、2班の結果は残せなかったため掲載しない。

表4-4 観察したプランクトンの種類数

班別	1		2		3	
	琵琶湖	琵琶湖型池	琵琶湖	琵琶湖型池	琵琶湖	琵琶湖型池
動物プランクトン	8	4	0	1	1	2
植物プランクトン	6	9	8	6	4	1
合計	14	13	8	7	5	3

表4-5 1班の観察結果（観察種数を示す）

動物・植物？	プランクトン名	資料No.	琵琶湖	琵琶湖型池
植物プランクトン	アウラコセイラ	13		○
	アオミドロ	50	○	
	アナベナ	8	○	○
	アミミドロ	52		○
	インショウモ	46		○
	ウログレナ	26	○	
	オシラトリア	5	○	
	オビケイソウ	14	○	○
	クチビルケイソウ	11		○
	クンショウモ	42		○
	セネデスマス	44	○	
	ファクス	27		○
	ボツリオコックス	31		○
動物プランクトン	オカメミジンコ	96	○	
	オニワムシ	91	○	
	カイミジンコ	105		○
	カメノコワムシ	94	○	○
	ケンミジンコ	104	○	○
	ゾウリムシ	71		○
	ツボカムリ	57	○	
	テマリワムシ	86	○	
	ハゲナガワムシ	92	○	
	ハルテリア	72	○	
	合 計		14	13

観察されたプランクトンに“○”を付けた。

表4-6 3班の観察結果（観察種数を示す）

動物・植物？	プランクトン名	資料No.	琵琶湖	琵琶湖型池
植物プランクトン	アナベナ	8		○
	アミミドロ	50	○	
	クンショウモ	46	○	
	タマヒゲマワリ(ユードリナ)	47	○	
	ボルボックス	37	○	
動物プランクトン	オナガミジンコ	8	○	
	ケンミジンコ	92		○
	ゾウミジンコ	91		○
	合 計		5	3

観察されたプランクトンに“○”を付けた。

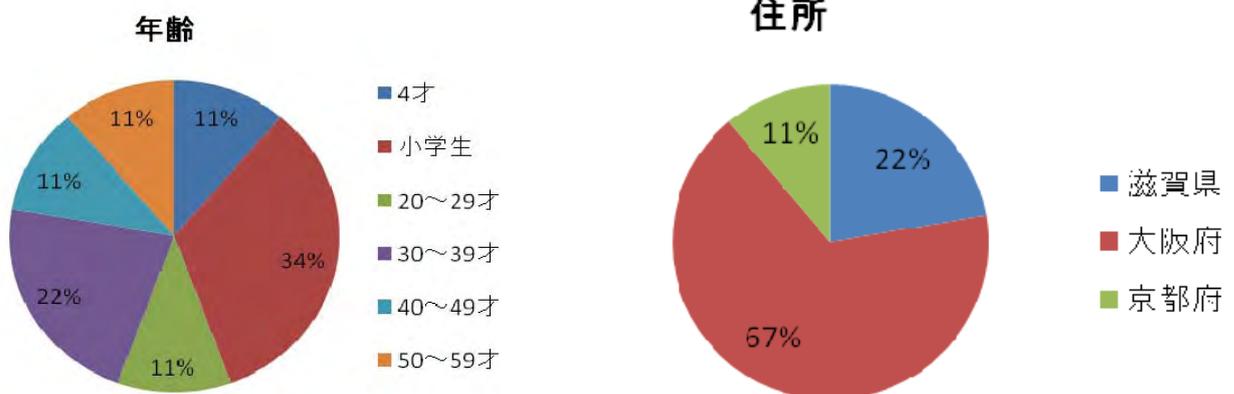
4.2.3 アンケート調査結果

アンケート調査結果は図 4-4 の通りである。参加者 9 名全員からのアンケートを回収し、以下に結果をまとめた。

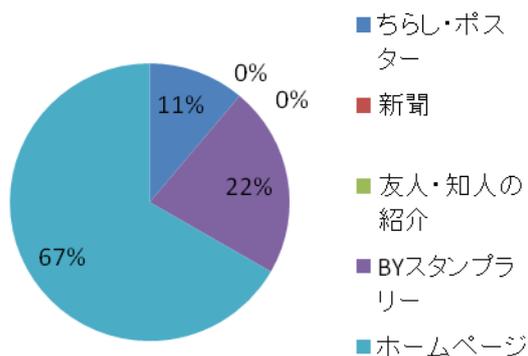
- ① 年齢層は 4 才から 50 才代迄、幅広い年齢層の参加を得られた。ただ、中学生から大学生の参加は得られなかった。小学生を含む親子連れの家族が 2 組参加された。
- ② 参加者の地域別では大阪が 6 名、滋賀が 2 名、京都 1 名であった。
- ③ 広報では、ホームページが 67%、スタンプラリーが 22%であった。
- ④ 今後も Biyo センターでの自然観察会に参加したいと答えた人は、記入者 6 名は参加したいで、他は無記入であった。
- ⑤ 今後参加したい内容では陸生生物、プランクトン、野鳥が少し多いものの、どの分野でもという回答であった。
- ⑥ 参加した動機では、「水・水質に興味があった」及び「以前参加して楽しかった」が 36%、29%と多かった。
- ⑦ 感想、意見では、「池や湖には魚や貝だけでなく、プランクトンもいるんだ」との回答が印象的であった。多分、プランクトンを初めて目にしたのかもしれない。

「意見・感想から」

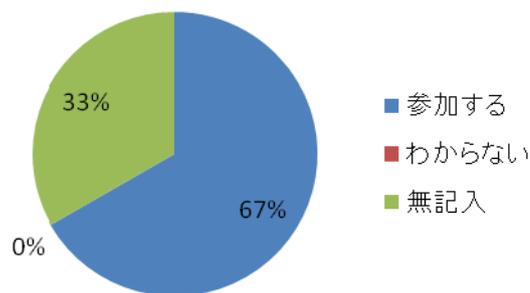
- ① 時間が少し短かった。
- ② 池や湖にいるのは、魚や貝だけでなく、プランクトンもいるんだと思いました。
- ③ ボルボックスが万華鏡みたいできれいでした。



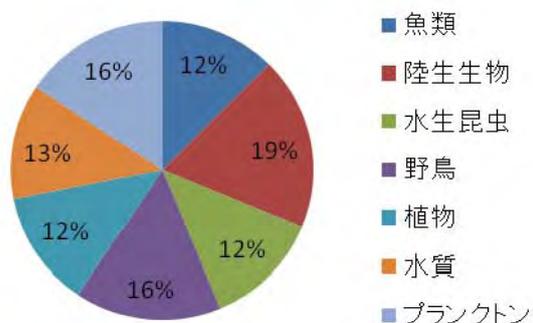
自然観察会を何で知りましたか



今後も観察会に参加したいですか



どんな内容の観察会に参加したいか



観察会に参加した動機は

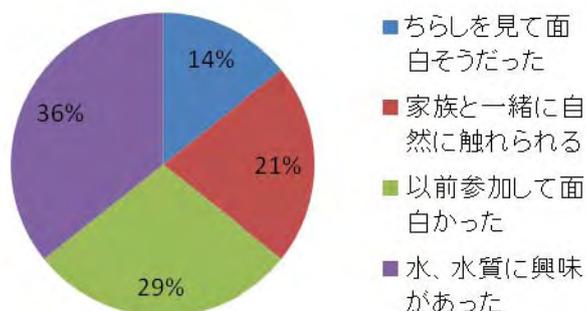


図4-4アンケート調査結果

5. まとめ

Biyoセンターでの自然観察会開催は平成11年に始まり、今年で11年目を迎えた。

平成11年度（1回目）から平成13年度（3回目）は、それぞれ植物観察と魚類観察を実施し、平成14年度（4回目）は環境教育の指導者養成を目的とした魚類調査、水質調査を実施した。平成15年度（5回目）から平成19年度（9回目）は、地元の講師を招いて魚類、昆虫、植物や川の音の観察を実施した。平成20年度は魚類観察と水質調査を実施した。水の浄化実験センターとしての機能及び琵琶湖に面した立地条件から、近畿の広域から、また親子の参加が大半ではあるが大人だけの人達の参加も得ている。

今年度は、7月と8月に各1回の計2回実施した。昨年に引続き、第1回は魚類観察を、第2回は水質調査とプランクトンに的を絞り実施した。魚類観察の講師には滋賀タナゴネットの北島先生に、水質調査では滋賀の理科教材委員会の一瀬先生および本多先生といった有識者にご協力頂き、Biyoセンターと周辺の豊かな自然環境に触れながら楽しく学べる自然観察会を実施することができた。

流域内の水環境に関わるNPOの集合体である「琵琶湖・淀川流域圏連携交流会」に運営補助を委託することとなった。同交流会は、各地域で様々な活動を行っており、それらの実績やノウハウを生かしながら、地域住民と連携したイベントを開催することができた。

今年の観察会は新型インフルエンザの影響が心配されたが、幸い直接的な影響はなかったように思われた。イベントを何で知ったかについては、ホームページの割合が多くなっている。PCの普及と、小学生レベルでもPCの活用が増えているのかもしれない。参加動機として、“以前参加して面白かった”が多いが、リピーターが増えていると言える。特に、魚観察会についてはリピーターが増え、今後も継続して実施することで、水辺環境に対する興味・関心を高めること、および Biyo センターの活動の PR を図ることという本観察会の目的達成の観点からも望ましいと思う。

今後も Biyo センターでは、地域の住民活動や教育関係者と連携を図りながら、水環境改善への住民参加や子供たちの環境学習の機会を提供するために、自然観察会を通じてその環境づくりや情報発信を行っていくこととしたい。

【自然観察会参加者募集チラシ】

Biyoセンター 『自然観察会』参加者募集

第1回 平成21年7月19日(日)魚をつかんでみよう

第2回 平成21年8月22日(土)水を調べてみよう

時間：9:30～12:00 (9:00～受付開始) *小雨決行

場所：琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター(Biyoセンター)

住所：滋賀県草津市志那町地先(裏面に地図)

内容：第1回「魚をつかんでみよう」：Biyoセンターの水路に生息する魚をつかみ、魚について学習します。

第2回「水を調べてみよう」：琵琶湖やBiyoセンターの水を調べ、水質やプランクトンについて学習します。

募集人数：第1回 40名、第2回 25名(先着順) (小学生以下は保護者同伴、第2回は小学生以上を対象)

参加費：無料



Biyoセンターで琵琶湖の魚や水質について学習してみませんか？

琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター(Biyoセンター)は、琵琶湖の南湖東岸の緑地公園の中にあります。このBiyoセンターには、実験用の水路としてだけでなく、生き物のすみ空間(ビオトープ)として小川や琵琶湖型の池を設けており、季節の変化に応じた様々な動植物を見ることができます。

主催：(財)琵琶湖・淀川水質保全機構、国土交通省近畿地方整備局、滋賀県、(独)水資源機構関西支社



データ

葉山川の水質・底質および農業排水路の水質データ

実験センターでは実験原水として、主に葉山川河川水を使用している。

葉山川の水質調査結果を図 1 に示す。葉山川は琵琶湖南湖東岸の各流入河川の水質と比較すると平均的な水質である。

また、表 1 に葉山川の底質調査結果を示す。

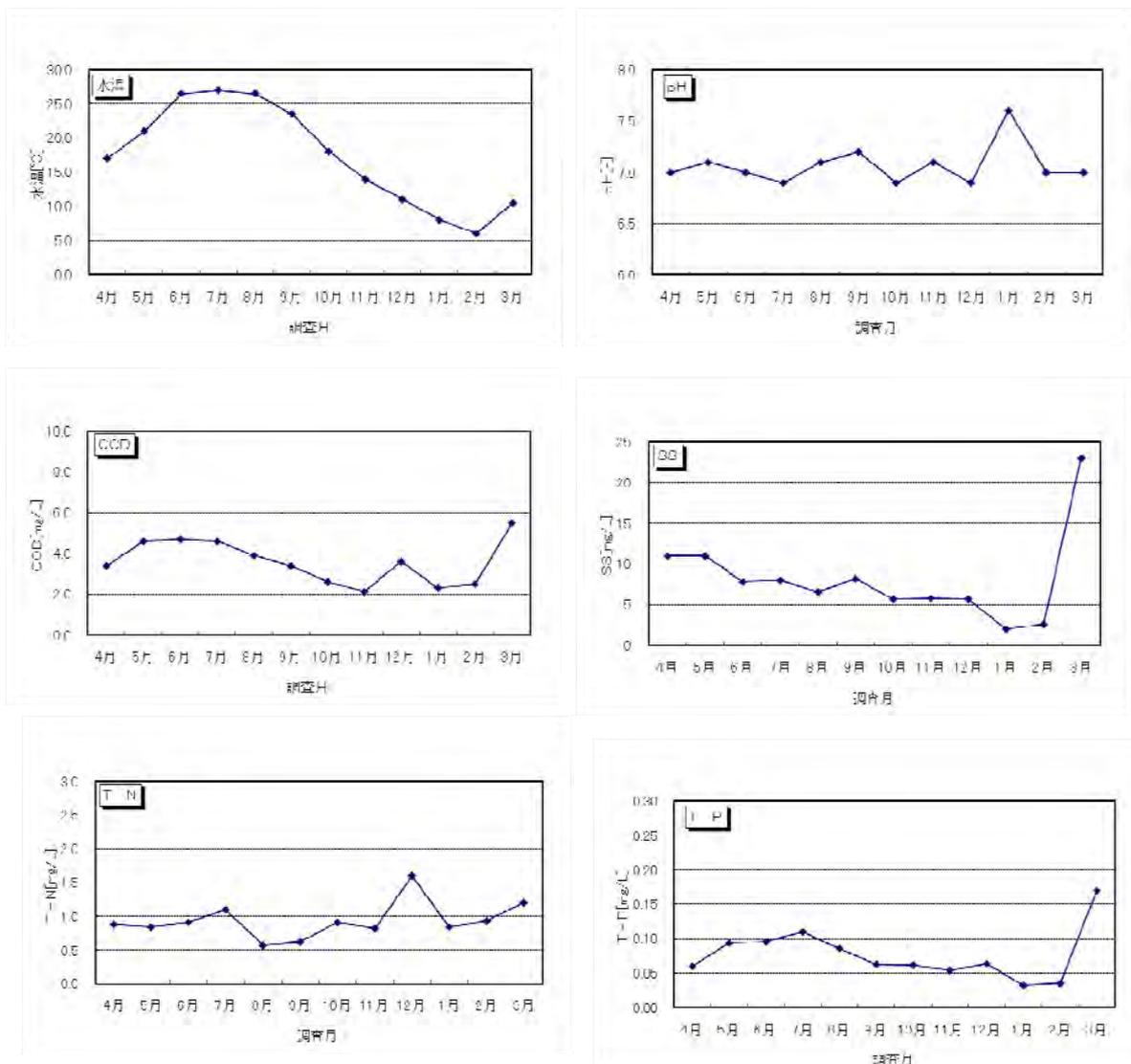


図 1 葉山川水質調査結果（平成 21 年度）

表 1 葉山川の底質調査結果（平成 21 年度）

採取日	気温 (°C)	泥温 (°C)	T-N (mg/g)	T-P (mg/g)	T-C (mg/g)	強熱減 量 (%)	備 考
08 月 18 日	26.5	26.0	6.0	2.0	68	17.8	
02 月 09 日	9.5	5.9	7.9	2.7	131	26.4	

また、必要に応じて実験原水として使用している農業排水路の水質調査結果を図 2 に示す。農業排水路の水は主に田植えの時期に流出する代掻き水の浄化効果を検証する実験などに使用している。

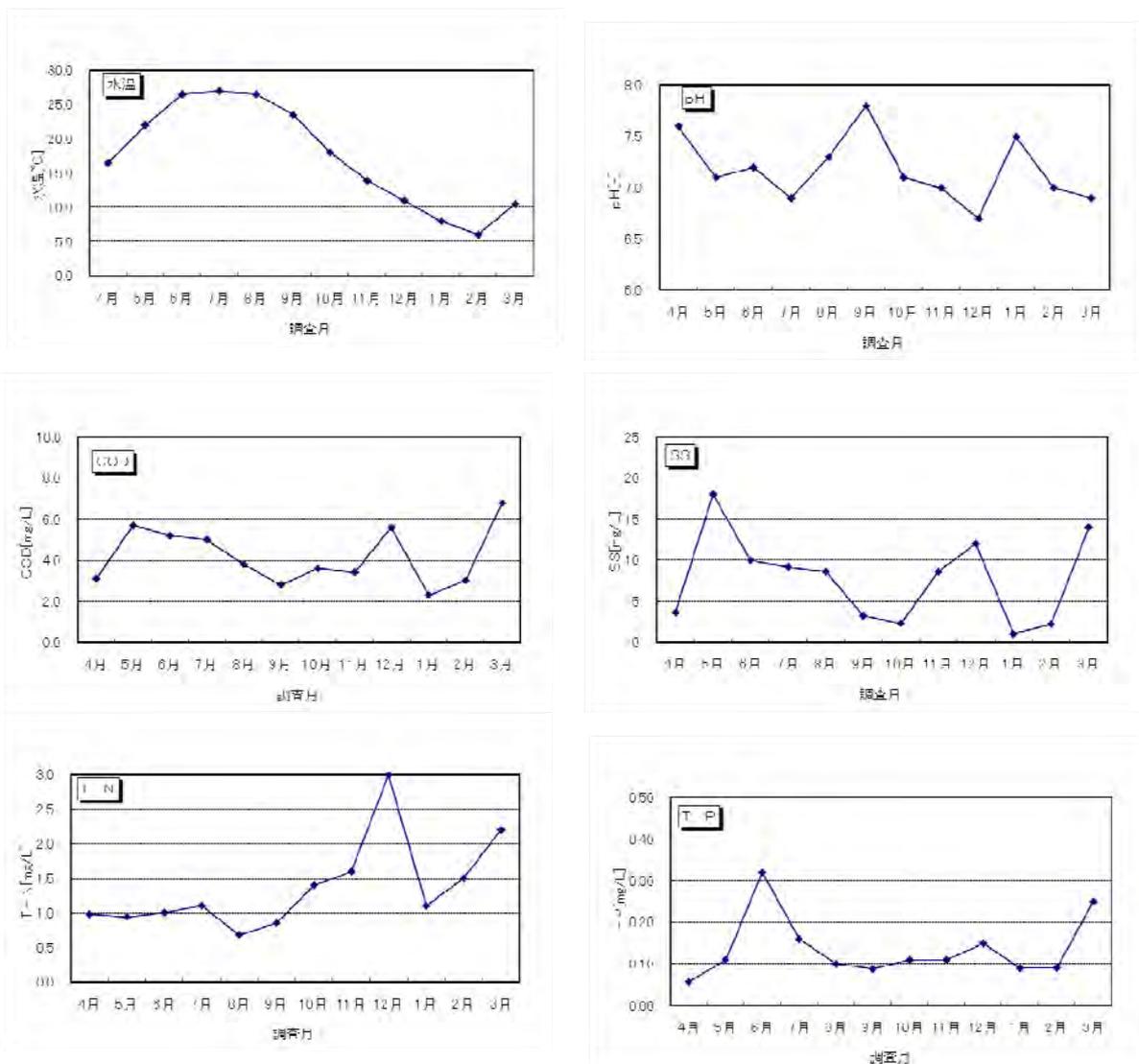


図 2 農業排水路の水質調査結果（平成 21 年度）

琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報 第12号
—平成21年度—

発行 2010年12月
国土交通省近畿地方整備局
滋賀県
水資源機構関西支社
財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構

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
〒540-6591 大阪府中央区大手前1丁目7番31号
OMMビル13F
TEL 06(6920)3035
FAX 06(6920)3036
E-mail hozenkiko@byq.or.jp