

## 人工浮島と炭素繊維、銅繊維による水質浄化\*

佐藤 紀男\*\*・緑川 祐二\*\*\*・三浦 文明†・斉藤 俊郎††  
 小野 裕道\*\*\*・柳沼 平†††・佐久間 徹§・青砥 裕輝§§

Water Quality Improvement by Using Artificial Floating Islands,  
 Carbon and Copper Fibers in Lakes and Marshes

Norio SATO\*\*・Yuuji MIDORIKAWA\*\*\*・Fumiaki MIURA†・Toshirou SAITO††  
 Hiromiti ONO\*\*\*・Taira YAGINUMA†††・Tooru SAKUMA§・Hiroki AOTO§§

## Abstract

We made artificial floating island in order to improve pond water quality. One piece of floating island was  $0.86 \times 0.86$  square meter and 0.26 meter in height. But the floating island was grown big by connecting to the same floating islands each other. The floating island had three kinds of functions for improvement of pond water quality. The first function was absorption of nitrogen (N) and phosphorus (P) in pond water by plants in floating island. The second function was adherence of N and P in pond water to plant growing medium. The third function was the clarification of pond water by attachments such as carbon fiber and copper fiber connected to the floating island. Two experiments using floating island were carried out under half shade condition for 149d and full sun condition for 113d. Under half shade condition, N and P uptake per one piece of floating island by plants were about 17g and 2g, respectively. And N and P amounts adhered to plant growing medium per one piece of floating island were about 4g and 1g, respectively.

As a result of calculation based on this data, 20 pieces of floating island connected each other could remove  $0.2\text{mgL}^{-1}$  N per 1L of  $2000\text{m}^3$  water. Under full sun condition, N and P uptake by plants per one piece of floating island were about 29g and 3.5g, respectively. The artificial floating island used in these experiments for 149d and 113d had negligible damage. The effect of carbon fiber and copper fiber in pot experiment was studied. 20 to 30% of chemical oxygen demand in wastewater was removed by dipping 0.1g carbon fiber into 2L of wastewater for 40d. After 10d from the beginning of the experiment, green algae were birthed and immediately multiplied in the control pots filled with eutrophic water artificially added N and P. But green algae were not found in pots dipped copper fiber into eutrophic water. Therefore, suspended solids in the pot water dipped copper fiber were remarkably decreased. In conclusion, the artificial floating island attached carbon fiber or copper fiber can effectively remove N and P in small pond water and clarify small pond water.

Key words : artificial floating island, carbon fiber, copper fiber, water quality improvement

キーワード : 人工浮島、炭素繊維、銅繊維、水質浄化

受理日 平成20年9月30日

\* この研究は、試験研究機関ネットワーク事業により実施し、農業総合センターでは植栽植物と培地および補助資材の検討、ハイテクプラザでは浮力体等の構造体の設計と制作、ハイテクプラザ福島技術支援センターでは内袋の製作、環境センターでは水質分析、内水面水産試験場では水生動物調査、林業研究センターでは木枠の組立の役割分担により行われた。

\*\* 福島県農業総合センター（現会津地域研究所） \*\*\* 福島県ハイテクプラザ

† 福島県ハイテクプラザ福島技術支援センター †† 福島県ハイテクプラザ（現福島県産業振興センター）

††† 福島県環境センター（現福島県中地方振興局県民環境部） § 福島県内水面水産試験場

§§ 福島県林業研究センター（現福島県相双農林事務所富岡林業指導所）

## 1 緒言

湖沼等の水環境を保全するためには環境負荷物質の流入を抑制し、富栄養化を未然に防止することが重要とされている。しかし、日本国内には、すでに富栄養化が進行し、水質浄化が必要な湖沼が少なくない。幸いにも、福島県は豊かな水環境に恵まれ、その代表である猪苗代湖は、2002～2005年まで4年連続して湖沼水質日本一（環境省発表の資料による）にランクされた。しかし、近年、猪苗代湖においても水質悪化の兆候が認めれ、2006～2008年の調査では、大腸菌群が基準値以上に検出されたことにより、ランキングの対象外となっている。

水質が悪化した湖沼の水質浄化を図る方法としては、低泥浚渫等の土木工事を伴う方法、大型機械の設置により凝集ろ過等を行う方法などが実施されているが、いずれも多額の費用を必要とし、効果の持続性も疑問視されている。近年、炭素繊維利用による水質浄化法がマスコミにも取り上げられ、全国的に注目を集めている。この方法を白河市の南湖で実践した結果をみると、部分的にはあるが、全リンで40%の除去率を達成している<sup>1)</sup>。しかし、炭素繊維を吊したロープを水面に密に張るため、水鳥等の生息環境や地域住民の憩いの場としての価値を損なうおそれがある。

また、植物の養分吸収による水質浄化が試みられ、公的機関による研究実績もある。一つは、浅瀬に植物を定植または鉢植えのポットを設置し、そこに水を流し浄化を図る方法である<sup>2)</sup>。この方法は、設置当初の浄化効果は期待できるが、設置場所に汚泥が堆積すると、効果が著しく損なわれる可能性が高い。二つ目は、植物を定植した人工の水路を水辺に設置する方法である<sup>3)</sup>。この方法は、植物の管理を適正に行えば、安定した持続効果が期待できる。しかし、設置にかなりの労力と費用を必要とし、水のポンプアップも不可欠となる。

三つ目は、人工浮島の設置による水質浄化である。この方法は、ヨシ等の植物を定植した浮島を池沼等に浮かべ、植物の養分吸収による水質浄化を期待するものである。人工浮島は、民間主導で相当数の施工実績があるものの、水質浄化能に関する研究報告は少なく、水質浄化効果が十分確認されないままに人工浮島の施工が先行して進められている現状にある。また、民間企業が開発した人工浮島には様々なタイプがあり、それぞれに長所と短所を併せ持っている。

そこで、筆者らは、水質浄化能と耐久性に優れ、水辺の空間の演出にも役立つ人工浮島を試作し、水質の悪化が問題となっている公園内の池に設置して水質浄

化の実験を試みた。また、人工浮島の水質浄化能を向上させるため補助資材として炭素繊維と銅繊維の利用も検討した。

本研究の成果は、今後の人工浮島研究の有用な情報を含み、水質浄化を目的として人工浮島の設置を検討するための参考資料となるので報告する。

## 2 試験方法

### (1) 人工浮島の構造

#### A 外枠の構造

外枠は、図1に示すように、浮力体と木枠からなる。浮力体は、高さ210mm、厚さ200mmのポリオレフィン樹脂製の材料を外幅860mm四方の形状になるように切断し、接着して作製した。木枠は、50mm四方のマツ材を内幅が浮力体と同じ660mm四方になるようにほぞ組して作製した。浮力体と木枠は、それぞれに数カ所の穴を開けロープで結んで固定した。

#### B 培地充填部の構造

培地充填部の構造は、外側から外袋、格子底、内袋からなる。外袋は、内袋に充填された培地を支えるためのものであり、ポリプロピレン製の太糸で25mm目のネット状に編まれた市販品である。格子底は、培地を充填した内袋の底を平にするためのものであり、20mm四方、長さ650mmの角材6本を格子状に組んで作製した。内袋は、培地を充填し、植物を定植するためのものであり、ポリプロピレン製の1mm目のネットを650mm四方、高さ125mmの箱型に縫製して作製した。外袋と内袋は、木枠に結び付けて固定した。

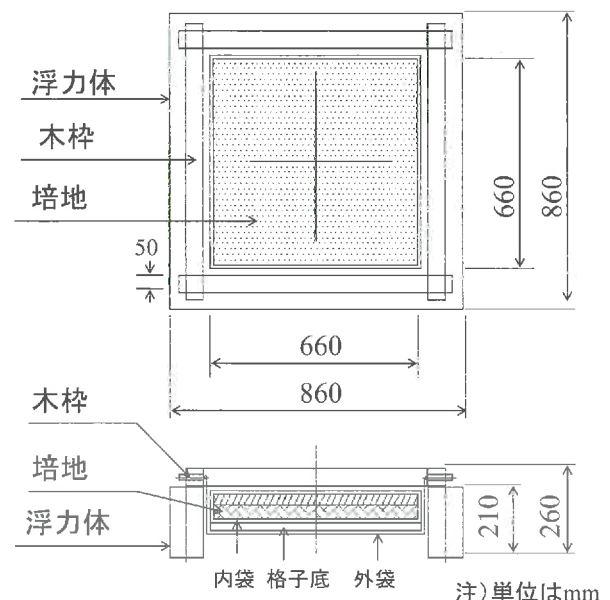


図1 人工浮島の構造

### C 培地組成

培地は、上段の深さ50mm、下段の深さ50mmの二層構造とし、上段にはヤシ殻とバーミキュライトを容積比で1:1に混合したもの、下段には鹿沼土と初殻燻炭を容積比で1:1に混合したものを使用した。なお、この人工浮島は、現場に設置したとき、培地の下段部分が水に浸るように設計されている。

#### (2) 分析法

##### A 水分析

全窒素はペルオキシ二硫酸カリウム分解・紫外線吸光光度法、全リンはペルオキシ二硫酸カリウム分解・モリブデン青吸光光度法、硝酸態窒素はイオンクロマトグラフ法、TOCは燃焼酸化-赤外線式TOC自動計測法（島津全有機炭素計 TOC-V）で測定した。化学的酸素要求量（以下COD）はJIS K 0120の方法、懸濁物質（以下SS）は重量法によって分析した。銅（以下Cu）と亜鉛（以下Zn）は、濃度に応じて濃縮した後、原子吸光光度法で分析した。

##### B 植物分析

全窒素は元素分析計（エレメンタル社製 vario MAX CN）で分析し、全リンは硫酸-過酸化水素分解の後、バナドモリブデン法で分析した。

#### (3) 公園内の池における浄化実験（実験1）

2006年4月下旬に、6体の浮島内の中央部にヨシ（*Phragmites australis*）、周辺部にトワダヨシ（クサヨシの園芸種）（*Phalaris arundinacea* cv. *Tricolor*）を定植した。ほぼ1か月間、農業総合センターのパイプハウス内で養生した後、5月31日に人工浮島を郡山市内の香久池公園内の池（香久池）に移送した。池の面積は約1400㎡、平均水深は約1.5m、水量は2000㎡程度と推定される。また、池の周囲に19本のサクラの木が植えられ、人工浮島設置場所の直近にはヤナギの大木が水面に覆い被さるように生育している。設置に際しては、水に浮かべた状態で6体を連結し、4方をアンカーで固定した。この浮島には、1体当たり50gの炭素繊維が取り付けられている。

定期的に池の水の全窒素、全リン、硝酸態窒素、TOCを分析するとともに、電気ショッカーを用いて5月31日と10月23日に水生動物調査を行った。

10月27日に人工浮島を引き上げ、解体して植物体地上部および地下部の乾物重と全窒素、全リン濃度を測定し、それぞれの吸収量を算出した。また、培地の全窒素と全リン濃度を試験開始前と試験終了後に測定し、培地による全窒素と全リンの吸収量を算出した。

人工浮島の設置期間は、149日である。

#### (4) 農業総合センター内における浄化実験（実験2）

2007年4月23日に、ハナショウブ（*Iris ensata*）とオオハンゴンソウ（*Rudbeckia laciniata* L.）の苗を人工浮島内に定植した。5月7日に、1100mm×1100mm×500mm（高さ）の水槽に400mmの深さになるように水を注ぎ、全窒素と全リン濃度を約 $3\text{ mgL}^{-1}$ に調製した後、人工浮島を浮かべた。人工浮島を浮かべた水槽は、周囲に遮蔽物がない屋外に設置した。

月2回程度、水的全窒素を分析し、減少分の窒素を補った。

また、8月28日に人工浮島を引き上げ、解体して植物体地上部および地下部の乾物重と全窒素、全リン濃度を測定し、それぞれの吸収量を求めた。

人工浮島の設置期間は、113日である。

#### (5) 汚水の浄化実験（実験3）

2007年6月15日に、農業集落排水処理施設から排出された汚水（COD  $75\text{ mgL}^{-1}$ 、SS  $0.2\text{ mgL}^{-1}$ 、全窒素  $16.8\text{ mgL}^{-1}$ 、全リン  $2.3\text{ mgL}^{-1}$ ）を採取し、容積2Lのポリエチレン製ポットに2L注ぎ、炭素繊維と黄銅繊維による水質浄化実験を行った。

処理区は、資材添加や遮光処理を行わない無処理区、25cm（0.1g）の炭素繊維を汚水内に垂らした炭素繊維区、炭素繊維に加えて黄銅繊維0.2g添加した炭素繊維+黄銅繊維区、アルミホイルを二重被覆して暗条件を作った遮光区、遮光区に25cm（0.1g）の炭素繊維を垂らした遮光+炭素繊維区の5区で行った。

ポットは網室内におき、時々水道水を補給して水量を2Lに保った。以上の処理区は、2反復で行った。

7月26日に水を採取し、SS、COD、全窒素、全リンを分析した。また、SS分析後のろ液を用いて窒素とリンの分析を行い、これを水溶態の窒素とリンとした。全窒素と全リンから水溶態の窒素とリンを差し引いた値を懸濁態の窒素とリンとした。

#### (6) 銅繊維、黄銅繊維の添加実験（実験4）

2007年6月15日に、化成肥料の液肥を用いて人工的に富栄養化した水（全窒素  $5.6\text{ mgL}^{-1}$ 、全リン  $1.4\text{ mgL}^{-1}$ ）2Lを容積2Lのポリエチレン製ポットに注ぎ、銅繊維、黄銅繊維をそれぞれ0.1g、0.2g、0.3g添加する試験区と無処理区を設けた。

ポットは網室内におき、時々水道水を補給して水量を2Lに保った。以上の処理区は、3反復で行った。7月31日に水を採取し、SS、全窒素、全リンとCu、Znの分析を行った。

これとは別に、同様に富栄養化した水に緑藻類を発生させ、7月23日に銅繊維、黄銅繊維をそれぞれ0.1

g、0.2g、0.3g 添加し、緑藻類発生後における浄化実験を行った。

### (7) ビオトープの浄化実験 (実験5)

農業総合センター内に設置されたビオトープ内の池に黄銅繊維を3kg、流れが停滞する水路に1kg沈め、黄銅繊維による浄化効果を検討した。この実験では、水中と底質中のCu、Znの分析を行うとともに、緑藻類と水生動物の観察調査を実施した。

## 3 試験結果

### (1) 実験1

#### A 水質調査

香久池の水温は図2に示すように、6月15日頃までは20℃前後で推移し、8月20日に29.1℃の最高水温を記録し、試験終了時の10月下旬には16℃まで低下した。

図3に水質の変化を示した。全窒素は、1.5~2.5 mgL<sup>-1</sup>の範囲で推移し、常時、農業用水水質基準の1 mgL<sup>-1</sup>を超えていた。また、硝酸態窒素の分析から、全窒素の70~80%が硝酸態窒素であることが明らかとなった。全リン濃度は、日数の経過に伴って上昇する傾向が認められた。TOCは、2~4 mgL<sup>-1</sup>の範囲で推移した。

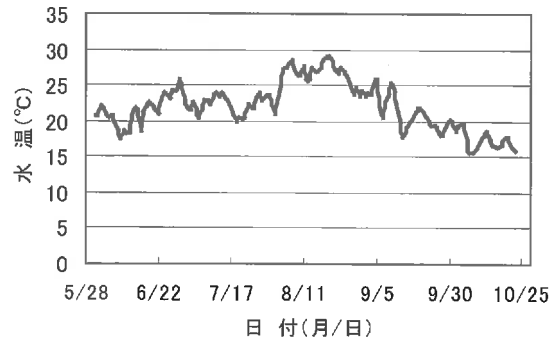


図2 香久池の水温の推移 (2006年)

人工浮島からの距離による濃度差は、全窒素、全リン、硝酸態窒素、TOCともに認められなかった。

#### B 植栽植物の生育と養分吸収

実験終了時におけるヨシの生育は、写真1に示すように、草丈が100cm程度と短く、十分な生育量が確保されなかった。一方、人工浮島の周囲に定植されたトワダヨシの生育は比較的良好であった。

表1に試験終了時における植栽植物の乾物重と養分吸収量を示した。

人工浮島1体あたりの植栽植物の乾物重は、地上部410g、地下部563g、合計973gであった。

人工浮島1体あたりの植物による養分吸収量は、窒素では地上部11g、地下部6g、合計17g、リンでは地

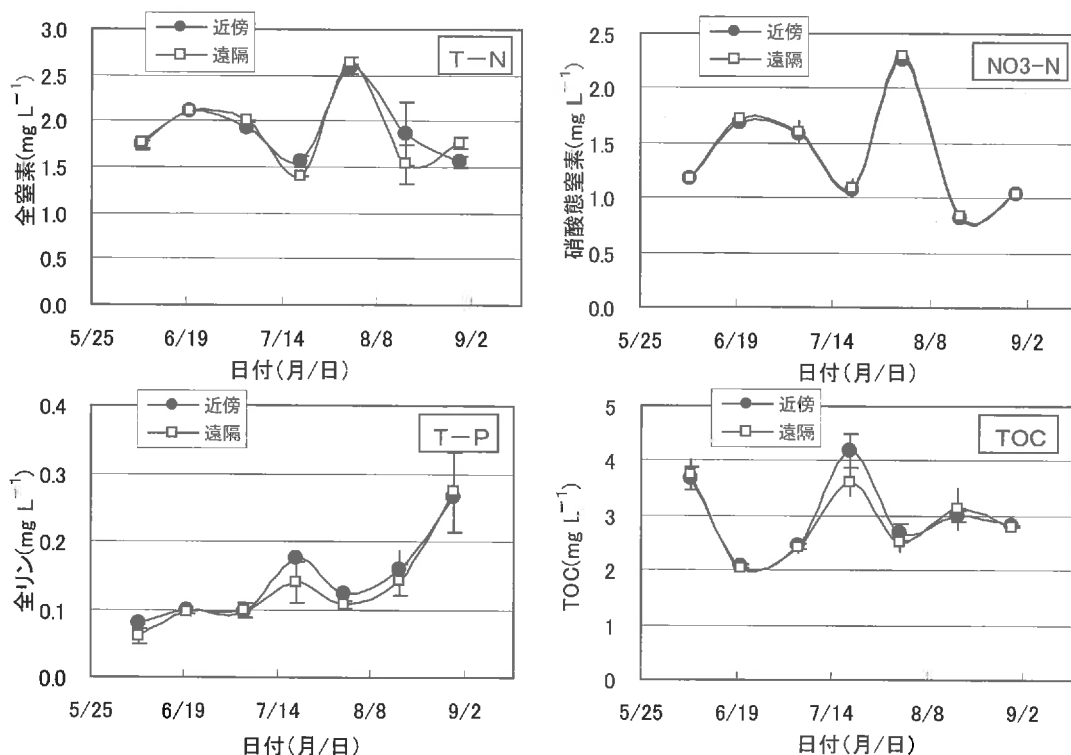


図3 香久池にける水質の推移 (2006年)

近傍は、浮島から1m以内、遠隔は10m以上離れたところから採水  
エラーバーは、3カ所測定標準偏差

上部0.9g、地下部1.1g、合計2.0gであった。

### C 培地と炭素繊維による浄化効果

培地による人工浮島1体あたりの窒素の吸収量は、籾殻燻炭では0.9g、鹿沼土では2.9gであった。また、培地による人工浮島1体あたりのリンの吸収量は、籾殻燻炭では0.03g、鹿沼土では0.85gであった(表2)。このように、鹿沼土が、窒素、リンの吸収材として有効であることがわかった。

人工浮島から垂らした炭素繊維全体に相当量の土壤粒子が付着していた。土壤粒子とともに炭素繊維に吸着された養分量は、窒素では炭素繊維1gあたり22mg、リンでは炭素繊維1gあたり2mgであった(表3)。

表1 植栽植物の乾物重と養分吸収(2006年)

部 位	人工浮島1体あたり		
	乾物重 (g)	窒素吸収量 (g)	リン吸収量 (g)
地上部	410	11	0.9
地下部	563	6	1.1
合 計	973	17	2.0

表2 培地による窒素、リンの吸収量(2006年)

培地の種類	浮島1体あたり吸収量(g)	
	窒素	リン
籾殻燻炭	0.9	0.03
鹿沼土	2.9	0.85
合 計	3.8	0.88

表3 炭素繊維による窒素、リン等の吸着(2006年)

吸着量(mg/炭素繊維1g)		
窒素	リン	炭素
22	2	118

### D 浄化に必要な連結数の試算

人工浮島1体あたりの植物と培地による養分吸収量に基づき、人工浮島の連結数と浄化可能水量の関係性を求めた(図4)。この関係性は、水質改善目標値によって異なり、例えば、水量2000m<sup>3</sup>の水質を全窒素濃度で0.2mg/L<sup>-1</sup>だけ低下させるのに必要な人工浮島の連結数は20体、水量500m<sup>3</sup>の水質を全窒素濃度で0.6mg/L<sup>-1</sup>低下させるのに必要な人工浮島の連結数は15体となる。

同じように、水量500m<sup>3</sup>の水質を全リン濃度で0.06mg/L<sup>-1</sup>低下させるのに必要な人工浮島の連結数は10体、水量1500m<sup>3</sup>の水質を全リン濃度で0.04mg/L<sup>-1</sup>低下させるのに必要な人工浮島の連結数は20体となる。

### E 人工浮島の耐久性

2006年の149日間にわたる香久池における実験では、実験中に数回の強風に見舞われたが、人工浮島に風波等による損傷は認められず、中断することなく予定通り実験を終了することができた。実験終了後の調査では、浮力体には、人工浮島の2体に1体の割合でヨシの地下茎の貫入による穿孔が認められたが、それ以外の損傷は確認されなかった。一方、内袋には、ヨシの地下茎の貫入による網目の拡大が1体に5~6か所の割合で認められた。

### F 水生動物調査

表4に水生動物の調査結果を示した。5月31日調査では、捕獲でブルーギル5尾、目視でブルーギル、オオクチバス、コイ、ギンブナ、ゲンゴロウブナ、アメリカザリガニ、ミシシippアカミミガメが確認された。10月23日の調査では、ブルーギル40尾、オオクチバス17尾、モツゴ11尾、ドジョウ1尾が捕獲され、目視でコイ、アメリカザリガニが確認された。

ブルーギルとオオクチバスの当歳魚が流入水路等で多く目視され、これらの外来魚が香久池内で再生産していることが確認された。一方、コイやフナ等の日本在来種の稚魚は確認できなかった。

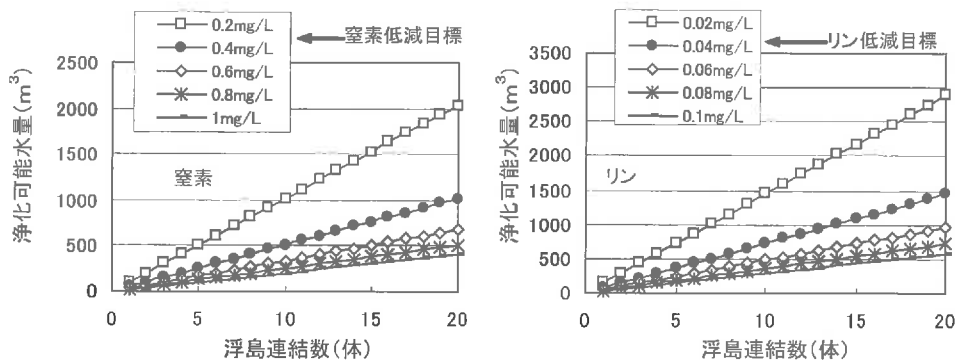


図4 人工浮島の連結数と浄化可能水量との関係(2006年)

2006年の結果から、浮島1体あたりの浄化量を窒素20.8g、リン2.9gとして計算

表4 香久池の水生動物調査 (2006年)

5月31日		10月23日	
捕獲 (尾数)	目視	捕獲 (尾数)	目視
ブルーギル (5)	コイ、ギンブナ、ゲンゴロウブナ、 オオクチバス、ブルーギル、 ミシシippアカミミガメ、 アメリカザリガニ	ブルーギル (40) オオクチバス (17) モツゴ (11) ドジョウ (1)	コイ、ブルーギル オオクチバス アメリカザリガニ

捕獲は、電気ショッカーによる。

表5 植栽植物の生育と養分吸収 (2007年)

部 位	人工浮島 1 体あたり		
	乾物重 (g)	窒素吸収量 (g)	リン吸収量 (g)
地上部	869	17	2.1
地下部	558	12	1.4
合 計	1427	29	3.5

人工浮島周辺の調査では、10月23日に人工浮島の直下でブルーギルが捕獲されたが、それ以外の魚類は確認されなかった。また、人工浮島の壁面における魚類の産卵等も確認されなかった。

## (2) 実験 2

人工浮島に定植されたハナショウブとオオハンゴンソウは順調な生育経過をたどり、ハナショウブは6月下旬に、オオハンゴンソウは8月中旬に開花が確認された (写真2、3)。

表5に試験終了時における植栽植物の乾物重と養分吸収量を示した。

人工浮島1体あたりの植栽植物の乾物重は、地上部869g、地下部558g、合計1427gであった。2006年と比較して、短期間に旺盛な生育を示し、特に地上部の生育量が大きかった。

人工浮島1体あたりの植物による養分吸収量は、窒素では地上部17g、地下部12g、合計29g、リンでは地上部2.1g、地下部1.4g、合計3.5gであった。

試験終了後の構造体調査の結果、浮力体のみならず内袋にも目立った損傷は認められず、そのままの状態でも使い回しが可能であった。

## (3) 実験 3

汚水に炭素繊維と黄銅繊維を添加した実験結果を表6に示した。農業集落排水処理施設から排出された汚水は、全窒素、全リンの含有率が高く、無処理区では、実験開始から間もなく緑藻類の発生が認められ、短期間のうちポット内の水全体が緑色を呈するほどに増殖

した。炭素繊維を添加したポットにおいても、見かけ上、無処理区との差異は認められなかった。しかし、41日後における水質分析では、炭素繊維添加によるCODの低減効果が認められ、明条件下では低減量 $8.5 \text{ mgL}^{-1}$ 、低減率約20%、暗条件下では低減量 $5.9 \text{ mgL}^{-1}$ 、低減率約30%であった。また、炭素繊維の添加によるSSに対する低減効果をみると、明条件下では低減量 $19.4 \text{ mgL}^{-1}$ 、低減率約15%、暗条件下では低減量 $6.5 \text{ mgL}^{-1}$ 、低減率約80%であった。しかし、炭素繊維の添加による全窒素、全リンに対する低減効果は10%程度と小さかった。

炭素繊維に黄銅繊維を併用すると、緑藻類の発生がほとんど認められなくなり、CODとSSが無処理区の10%程度にまで低減した。また、黄銅繊維の併用は、全リンに対しては30%程度の低減効果が認められたが、窒素に対しては明瞭な低減効果が認められなかった。

## (4) 実験 4

銅繊維と黄銅繊維の添加量を変えた実験の46日目における結果を表7と写真4に示した。

水中のCu濃度は、無処理では $6 \mu\text{gL}^{-1}$ 、水2Lあたり銅繊維0.1g添加では $123 \mu\text{gL}^{-1}$ 、0.2g添加では $185 \mu\text{gL}^{-1}$ 、0.3g添加では $193 \mu\text{gL}^{-1}$ であった。黄銅繊維添加区の水中のCu濃度は、銅繊維添加区の1/5~1/4であった。水中のZn濃度は、無処理と銅繊維添加区では $0.10 \sim 0.15 \text{ mgL}^{-1}$ 、水2Lあたり黄銅繊維0.1g添加では $1.13 \text{ mgL}^{-1}$ 、0.2g添加では $1.58 \text{ mgL}^{-1}$ 、0.3g添加では $1.79 \text{ mgL}^{-1}$ であった。

試験開始から10日程度経過してから、無処理区内のポットに緑藻類が発生し、間もなくポット全体が緑色を呈するほどに増殖した。しかし、銅繊維と黄銅繊維を添加した区では添加量にかかわらず、46日後においても緑藻類の発生は認められなかった。その結果、SSは、無処理区 $25.8 \text{ mgL}^{-1}$ に対し、銅繊維、黄銅繊維添加区では $2 \text{ mgL}^{-1}$ 未満にまで低減した。また、銅繊維、黄銅繊維の添加により、全リン濃度は約30%低減したが、全窒素濃度は影響を受けなかった。

写真5に示すように、この調査から1か月ほど経過

表6 汚水の浄化に対する炭素繊維と黄銅繊維の効果 (2007年)

処理区	COD (mgL <sup>-1</sup> )	SS (mgL <sup>-1</sup> )	全窒素 (mgL <sup>-1</sup> )	全リン (mgL <sup>-1</sup> )	懸濁態 (mgL <sup>-1</sup> )		水溶態 (mgL <sup>-1</sup> )	
					窒素	リン	窒素	リン
無処理	42.5	124.6	6.5	1.89	5.9	1.84	0.6	0.05
炭素繊維	34.0	105.2	6.1	1.65	5.7	1.61	0.4	0.04
炭素繊維+黄銅繊維	6.3	11.2	5.6	1.55	1.1	0.56	4.5	0.99
遮光	19.1	8.1	12.2	2.34	1.2	0.13	11.0	2.21
遮光+炭素繊維	13.2	1.6	11.2	2.18	1.0	0.23	10.2	1.95

表7 銅繊維と黄銅繊維による水質浄化効果 (2007年)

処理区	Cu ( $\mu$ gL <sup>-1</sup> )	Zn (mgL <sup>-1</sup> )	SS (mgL <sup>-1</sup> )	全窒素 (mgL <sup>-1</sup> )	全リン (mgL <sup>-1</sup> )
無処理	6	0.12	25.8	3.2	1.02
銅 0.1g/2L	123	0.15	1.4	3.4	0.78
銅 0.2g/2L	185	0.12	1.8	3.3	0.42
銅 0.3g/2L	193	0.10	1.4	3.5	0.73
黄銅 0.1g/2L	28	1.13	1.4	3.3	0.66
黄銅 0.2g/2L	38	1.58	1.2	3.7	0.73
黄銅 0.3g/2L	41	1.79	1.6	3.6	0.62

表8 水中と底質におけるCu、Zn濃度の変化 (2007年)

処理区	水中濃度(mgL <sup>-1</sup> )		底質(mg kg <sup>-1</sup> )	
	Cu	Zn	Cu	Zn
無処理1	0.002	0.06	3.4	40.1
無処理2	0.003	0.06	2.7	43.0
ビオトープ1	0.002	0.06	13.5	58.6
ビオトープ2	0.002	0.06	5.2	50.1

農業総合センター内のビオトープに黄銅線維を添加  
ビオトープ1は池の部分、ビオトープ2は流れが滞る水路の部分

無処理1、2はビオトープへの引き込み口の上流

した8月末になると、水2Lあたり黄銅繊維0.1g添加区のポットには緑藻類の発生が認められた。

緑藻類発生後のポットに銅繊維、黄銅繊維を添加した場合には、15日間ほど経過しても目に見える変化が認められなかった。しかし、約45日後には、緑藻類が褐変し、死滅するところが観察された(写真6)。この効果の程度は、銅繊維と黄銅繊維の施用量が多いほど明瞭であった。

#### (5) 実験5

表8に示すように、ビオトープに黄銅繊維を添加すると、水中のCuとZn濃度は増加しなかったが、底質土壌中のCu、Zn含量が増加した。緑藻類に対する影

響は、ポット試験と同様であり、マット状の緑藻類が、黄銅繊維の添加により褐変、枯死するところが観察された。

また、ビオトープに生息するドジョウやアメリカザリガニに対しては、黄銅繊維添加による影響が認められなかった。

## 4 考察

2006年にヨシとトワダヨシが植栽された人工浮島を6体連結して、香久池に浮かべた。ヨシに生育障害の発生は認められなかったが、ヨシの草丈は100cm程度にとどまり、期待したほどの生育量とはならなかった。これは、池の周囲のサクラや人工浮島の近くのヤナギが直達光を遮り、直射日光を好むヨシに適した光環境が得られなかったためと推察される。一方、比較的弱光を好むトワダヨシは、日射が遮られる環境下で比較的順調に生育した。2007年には周囲に遮蔽物がない環境のところにハナショウブとオオハンゴンソウを定植した人工浮島を設置し、水質浄化実験を行った。2007年の生育期間は2006年より30日以上短く、また、ハナショウブやオオハンゴンソウの植物本来の生育量はヨシより小さいものと推察される。しかし、実際には、2007年の生育が2006の生育を大きく上回り、2006年の地上部乾物重が2007年の倍以上となった。このように、人工浮島内の植物の生育には日照条件が大きく影響す

ることから、設置場所の光環境を考慮して植栽植物を選択する必要があるものと推察される。また、2007年の試験において、陸生植物であるオオハングソウが人工浮島内で旺盛な生育を示したことは特筆に値する。これは、筆者らが開発した人工浮島を水に浮かべたとき、培地の上半分が水上に出るように設計されているため、根が酸素欠乏になりにくく、陸生植物の生育も可能になるものと考えられる。したがって、この人工浮島を使用すると、設置場所の周辺環境に合わせて、植栽植物を幅広く選択することが可能になるものと推察される。

培地による人工浮島1体あたりリンの吸収量は、粉殻燻炭では0.03gとわずかであり、鹿沼土では0.85gと多かった。これは、鹿沼土は、活性アルミニウムを多く含み、リン酸吸収係数が高く、リン酸の固定力が大きいと推察される。鹿沼土は、窒素の吸収量も多く、培地による水質浄化に適した材料と考えられた。

植物と培地による吸収量を合計すると、人工浮島1体あたりの浄化量は、窒素では20.8g、リンでは2.9gとなった。このデータをもとに作成した人工浮島の連結数と浄化水量の関係から、水量2000m<sup>3</sup>の水質を全窒素濃度で0.2mgL<sup>-1</sup>だけ低下させるのに必要な人工浮島の連結数を求めると、20体という結果が得られた。したがって、香久池の水質浄化には人工浮島20体以上の連結が必要であり、実験に使った6体連結の浮島では、香久池の水質を浄化するには不十分であることがわかった。

計算上、人工浮島の連結数を増やせば2000m<sup>3</sup>以上の水を溜める池の水質浄化も可能になるが、安全上の問題等から、人工浮島の連結数にはおのずと限界があり、人工浮島による水質浄化法は小面積の池沼に適した浄化技術と考えるのが妥当であろう。

2006年と2007年の養分吸収量を比較すると、2006年の窒素とリンの吸収量は2007年の1.7倍程度に増加した。これは、2007年の試験が周囲に日射を遮る遮蔽物のないところで行われたためと考えられ、このことは、日照条件の違いによって、植栽植物による水質浄化能が大きく変動することを意味している。

炭素繊維等の資材が水質浄化に効果があるとしても、これらの資材を確実に水中に保持することは簡単ではない。その点、人工浮島を水質浄化の効果が期待できる資材の担体として用いれば、労力をかけずに確実に浄化用資材を水中に保持することができる。ここでは、炭素繊維と銅繊維、黄銅繊維の水質浄化能を検討した。

その結果、炭素繊維は水中のCODの低減に効果のあることが確認された。しかし、香久池における実験でみられたように、数か月で炭素繊維中に土壌等が充

満するため、炭素繊維による浄化能を持続させるためには、定期的な洗浄または更新が不可欠になるものと推察される。

銅繊維と黄銅繊維は、藻類の抑制に卓効を示した。また、銅繊維と黄銅繊維を比較すると、銅繊維の方が長期間にわたっての藻類の発生を抑制することが明らかとなった。これは、水中に溶出した銅および亜鉛イオンが藻類の繁殖を抑制するものと考えられる。銅繊維と黄銅繊維は水中のリンの低減にも効果が認められた。これは、水中のリンが銅または亜鉛と結合し不溶化するためと考えられる。

銅繊維が飲用水の浄化に用いられていること、ビオトープにおける黄銅繊維の添加実験の結果、ドジョウ等の水生動物に悪影響が認められなかったこと等から判断して、銅繊維や黄銅繊維の安全性には問題がないものと推察される。

人工浮島本体と炭素繊維と銅繊維または黄銅繊維の浄化機能をまとめると表9のようになり、これら水質の状態に応じて組み合わせることで、人工浮島設置による水質浄化能を最大限に発揮させることが可能になるものと推察される。

人工浮島の耐久性については、外枠は修繕の必要なく数年間の連続使用に耐えるものと判断された。また、内袋については、ヨシを定植したときには改植するたびに更新が必要となるが、太い地下茎を持たない植物を定植した場合には1~2回の使い回しが可能になるものと考えられる。

人工浮島の設置目的の一つに、水質改善を行い、水生動物に隠れ場所や産卵場所を提供することによって、水生動物の生息環境を改善することが挙げられる。香久池における魚類の捕獲は、試験開始日の5月31日より試験終了直前の10月23日において、数、種類ともに明らかに増加した。しかし、魚類の生息数と種類が季節によって大きく変動することは一般的に認められる

表9 低減対象と効果が期待できる材料

低減または抑制対象	効果の大小	左に対しての効果と 思われる材料
全窒素	大	植栽植物
	小	培地（鹿沼土）
全リン	大	植栽植物、培地（鹿沼土）
	小	銅繊維、黄銅繊維
有機炭素	大	炭素繊維
	小	培地
藻類	大	銅繊維、黄銅繊維
	小	浮島本体（遮光による）



現象であり、この調査結果から、魚類の増加と人工浮島設置との因果関係を論じることはできない。

實松<sup>4)</sup>の報告によれば、モツゴは水面と平行に設置された波板の裏側に多く産卵する性質を持つことから、人工浮島がモツゴの産卵場所になることが期待された。しかし、今回の調査では、10月23日にモツゴの成魚が捕獲されたものの、人工浮島へのモツゴの産卵を確認することはできなかった。この要因の一つとして、魚類の卵を好んで摂食するブルーギルの影響が考えられ、人工浮島の設置を日本在来種の繁殖につなげるためには、人為的な魚種の調節を併せて行う必要があるものと推察される。

## 5 摘要

1体0.86m四方、高さ0.26mの大きさで、自在に連結可能な人工浮島を試作し、この人工浮島の水質浄化能等の特徴、並びに人工浮島に接続する炭素繊維、銅繊維等の補助資材の水質浄化能を検討した。

- (1) 植物による人工浮島1体あたりの養分吸収量は、遮蔽物のある条件下では窒素17g、リン2g(2006年)、遮蔽物のない条件下では窒素29g、リン3.5g(2007年)であった。
- (2) 培地による養分吸収量は、鹿沼土では人工浮島1体あたり窒素2.9g、リン0.9gであった。
- (3) 植物と培地による養分吸収量の合計から人工浮島の連結数と浄化可能水量の関係を求めると、水量2000m<sup>3</sup>の全窒素濃度を0.2mgL<sup>-1</sup>だけ低下させるのに必要な連結数は20体と試算された。
- (4) 25cm(0.1g)の炭素繊維を2Lの水に添加したところ、CODが20~30%低減したが、水中の全窒素、全リンに対する効果は小さかった。
- (5) 0.1gの銅繊維または黄銅繊維を2Lの水に添加したところ、藻類の抑制に卓効を示し、水中の全

リン濃度も30%程度減少した。また、ピオトープにおいて、黄銅繊維の添加が藻類の繁殖を抑えることを確認した。

- (6) 人工浮島を使用して、2006年に149日間、2007年に113日間の実験を行ったが、人工浮島の構造体に目立った損傷は認められなかった。
- (7) 以上の結果から、試作した人工浮島は、小面積の池や沼の水質浄化には効果が期待でき、炭素繊維や銅繊維を連結することで水質浄化能が強化されるものと推察される。

## 謝 辞

香久池公園における実験に際し、ご協力を頂いた十文字泰市課長(当時)はじめ郡山市公園緑地課の皆様感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 小島 昭. 2003. 炭素繊維による水質浄化と藻場形成の最近の進歩. 繊維学会誌 59: 165-169.
- 2) 田村良三・若槻一晴・雅楽川憲子・坂井正昭・張紅杰. 2000. 植物を利用した水質浄化システム(第2報)ーモデル施設での水質浄化ー. 新潟県保健環境科学研究所年報 15: 107-113.
- 3) Kaoru Abe and Yasuo Ozaki. 2001. Treatment of Eutrophic Pond Water by Using Plant Bed Filter Ditches of Garden Type throughout the Year and Effect of Burying Organic Matter within the Beds in the Mid-stream. Soil Sci. Plant Nutr., 47(1): 55-66.
- 4) 實松敦之. 2005. モツゴ養殖研究. 福島県内水試研報 6: 25-35.



写真1 実験終了時における人工浮島の状況 (2006年)



写真2 ハナショウブの開花状況 (2006年)



写真3 オオハンゴンソウの開花状況 (2007年)

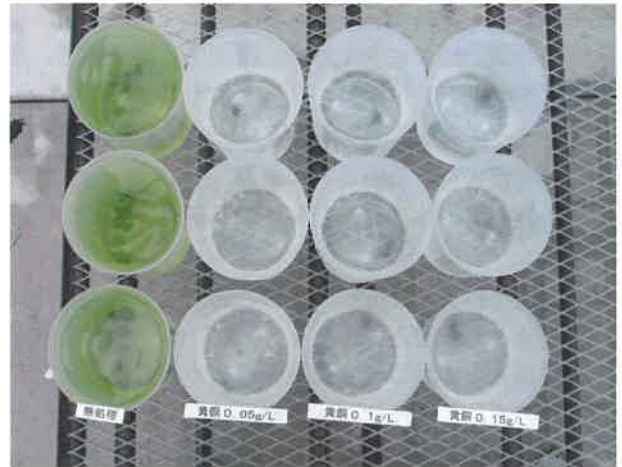


写真4 黄銅繊維の添加効果 (2007年)  
(水 2L に左から無添加、0.1、0.2、0.3 g 添加、  
46日後の状態)



写真5 銅繊維、黄銅繊維の添加効果 (2007年)  
(水 2L に左から 0.1、0.2、0.3 g 添加、70日後の状態)



写真6 緑藻類発生後における銅繊維の効果 (2007年)  
(水 2L に左から無添加、0.1、0.2、0.3 g 添加、  
47日後の状態)