

## ◆ 水環境特集 ◆

## 人工浮島の機能と技術の現状

中村圭吾\* 島谷幸宏\*\*

## 1. はじめに

豊かな水辺は生物のすみかとなるだけでなく、我々人間の生活を豊かにし、文字通り潤いのあるものとする。しかしながら、現在多くの水辺は無味乾燥な景観に変化しており、水辺生物の生息空間は減少している。そのため多くの箇所で生物の生息空間を保全・回復・創出するための努力がなされている。

人工浮島は、イカダ状の人工浮体の上に水生植物を植栽したものである。その主な目的としては生物生息空間の創造、水質浄化、景観の改善、消波による湖岸保全である。水辺を創造するには本来、自然の状態に近い植生帯を再生するのが最も良いが、水位変動が激しいダム湖、波浪などにより容易に植生帯を回復できない湖沼、景観的アクセントの欲しい池沼、魚類の産卵場・鳥類の生息場所(habitat)が必要な水辺においては、人工浮島は有効な構造物である。

人工浮島に似た構造物は、古くは 1920 年代に粗朶を組み合わせたような浮き魚礁が既に施工されている<sup>1)</sup>。本稿で紹介する人工浮島に近いものとしては、1979 年からドイツにおいて schwimmkampen(floating campus) という名で使われていることが Hoeger<sup>2)</sup>によって紹介されている。日本でも滋賀県が琵琶湖において 1982 年より浮産卵礁として設置しており、コイ、フナ、ホンモロコの産卵床として大きな効果を上げている<sup>3)</sup>。しかしながら人工浮島が広く認識されるようになったのは、1990 年代半ば以降である。特に 1995 年に霞ヶ浦で開かれた「第 6 回世界湖沼会議」において人工浮島に関する論文が発表されたことが契機となった。石居ら<sup>4)</sup>はコンクリート製浮島の生態調査結果を、Song ら<sup>5)</sup>は水上栽培システムの水質浄化効果について、中村ら<sup>6)</sup>は人工

浮島の有無による生態系の差異について発表した。当時、雑誌、テレビや新聞などでも人工浮島が取りあげられたこともあり、その後、人工浮島の施工数、企業数が大幅に増加した。近年、水環境分野における術語として定着した感がある。土木研究所で調べた結果によると約 15 社が人工浮島を作成しており、設置数は約 2,000 基、総施工面積は、24,000m<sup>2</sup> 程度と試算されている。

本報では、人工浮島の機能・構造的特徴、生物と水質の観点からその効果を整理し、人工浮島の技術・研究の現状を明らかにするとともに、今後の発展のために問題点を提示する。

## 2. 浮島の構造

## 2.1 構造分類

浮島の構造分類としては、百瀬ら<sup>7)</sup>がタイプ A(乾式)、B(湿式フレーム構造)、C(半湿式フレーム無し)、D(筏式：丸太を組み合わせたもの)に分けている。これを参考に最近の事例も含めて分類すると概ね以下の図-1 となる。各構造の具体的な説明は 2.2 以降にある。まず、大きく分けて、水と植物の接触の有無によって湿式と乾式に分類される。事例としては湿式が多く、乾式は少ない。また、湿式はフレーム有りとフレーム無しに分けられる。施工例としては湿式フレームが 7 割以上を占めており、乾式が 2 割弱、湿式フレーム無しが約 1 割である<sup>8),9)</sup>。最近では水質浄化の観点から乾式より湿式フレーム無しが多いと思われる。もっとも多用されているのが湿式フレーム有りである点は、現在も同じである。

## 2.2 乾式

乾式は植物が水と接触しないために水質浄化効果はほとんど期待できないが、大型の木本類が植栽可能(コンクリートタイプ)で、園芸植物を植栽することも可能である。木本などと組み合わせる

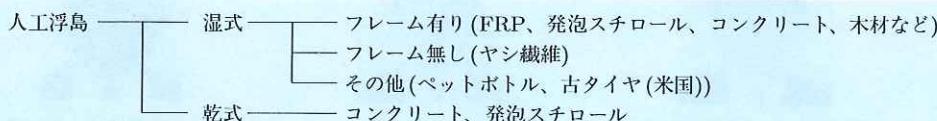


図-1 人工浮島の分類

と鳥類の生息場としての効果、景観的な効果も大きい。霞ヶ浦の高浜入りでは、乾式の人工浮島と湿式の人工浮島を組み合わせた事例もある(写真-1)。乾式タイプの植生基盤としては土壤を使用しているものが多い。発泡スチロールを組み合せたものもある。

### 2.3 湿式

湿式は植生基盤を囲むフレームの有無により分類できる。フレーム有りが人工浮島としてはもともと一般的なタイプである。

#### 2.3.1 湿式フレーム有り

フレームとしては、繊維強化プラスチック(FRP)、ステンレス+発泡スチロール、特殊発泡スチロール+特殊ウレタン、塩化ビニール、コンクリートなど様々な材料が使用可能である(写真-2)。

#### 2.3.2 湿式フレーム無し

ヤシ繊維を巧みに縫い合わせ、フレームがない構造としているものがある(写真-3)。このタイプは、フレームが無い分、景観的には柔らかい印象を受ける。また、波浪に対しても互いに衝突したときの衝撃が少ない。他に合成繊維を植生基盤とし、これを合成樹脂カバーで一体化したタイプもある。

#### 2.4 その他のタイプ

その他のタイプとしては、百瀬らが紹介している丸太を組み合わせたものや筆者らの共同研究者である Muller ら<sup>10),11)</sup>が米国で行っている2液混合のウレタンを充填した古タイヤをフレームとし、ヤシ繊維を植生基盤としたものを連結したものがある(写真-4)。Muller らが開発したものはフレームタイプの1種であるといえる。簡単に作成でき低コスト(約5千円/m<sup>2</sup>)で、強度があるのも魅力である。また古タイヤのリサイクルともなっており、危険物質の溶出の無いことも彼らによって確認されている。リサイクルタイプとしてはペットボトルを使用したものも紹介されている<sup>9)</sup>。

#### 2.5 植栽基盤

植栽基盤としては、ヤシ繊維が多く、その他、水耕栽培用特殊ウレタンフォーム、漁網、発泡スチロールビーズ、土壤とこれらを組み合わせたものなどが多い。土壤を直接入れる場合も約2割ある<sup>8)</sup>が、重量が重く、水質はかえって悪化する可能性があるのであまり用いられていない。

#### 2.6 大きさ・形状

大きさとしては、1ユニットの1辺が約1~5m



写真-1 乾式：コンクリートタイプ  
(前田屋外美術(株)「MAEDA 緑の浮島」より)



写真-2 湿式フレーム有り(霞ヶ浦)



写真-3 湿式フレーム無し：ヤシ繊維(小諸調整池)



写真-4 タイヤ浮島(米国)

のものがあるが、運搬性・施工性・耐久性を考え1辺約2~3mのものが多い。形状は四角形がもっとも多いが、三角形、六角形あるいはそれらを組み合わせたものなど様々である。各ユニットを隙間無く施工する場合もあるが、最近の事例ではユニット同士を少し離して施工する場合が多い。この理由として、波浪によってユニット同士が衝突して破損しないこと、景観的に面積を大きくとれコストを抑制できること、ユニット間に浮葉植物、沈水植物、糸状藻類などが繁茂し、魚類の産卵場、水質浄化効果があること、生物の移動経路となることなどが挙げられる。

## 2.7 強度計算

強度の検討を詳細に行っていないケースも見受けられるが、琵琶湖のように大きな湖沼に施工している例では、波浪、風力に対してフレーム、係留方法などの強度計算が行われている。耐用年数は数年~15年程度にしている場合が多い。実際、琵琶湖では施工してから15年以上経過しても、機能を十分に維持している事例もある。外力としては特に風による波浪を考慮する必要がある。波浪に対する設計を十分行ってない場合は、1年内に破損しているケースも多く見られる。

## 2.8 係留

人工浮島の係留の設計は重要である。以前、海洋で浮防波堤が盛んに研究された当時も係留の安全性が疑問視されている。人工浮島は湖沼を対象としており、琵琶湖、霞ヶ浦が最大規模である。海洋と比較すると設計外力としては約10分の1である。したがって海洋構造物、沿岸施設の設計<sup>12),13)</sup>などを参考に計算を行えば十分安全な設計が可能である。また、水位変動に対応する方法として、本体と係留部の間に緩衝用の小さめの浮きを設置することが多い(図-2)。

## 3. 人工浮島の機能

### 3.1 概説

人工浮島の機能としては主に、生物生息空間の創造、景観の改善、水質浄化、消波による湖岸

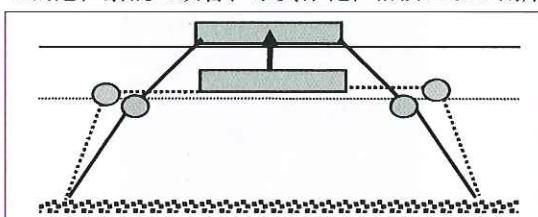


図-2 緩衝浮による水位変動への対応

の保全が挙げられる。

浮島の設置目的を調査した結果によると約4割が生物、なかでもその半数が鳥類、残りの半数が魚類と植物となっている。また、景観と水質がそれぞれ全体の3割弱、消波が3%という結果となっている<sup>8),9)</sup>。実際は多くの事例で複合的な効果を期待しており、それが人工浮島の特長でもある。もちろん計画段階において設置目的を明確にし、それに応じたデザインとする必要がある。ここでは、筆者が研究対象としている霞ヶ浦の土浦港に浮かぶ大きさ約1,000m<sup>2</sup>の人工浮島(写真-2)及びその他の研究・調査事例を参考に浮島の機能と適切なデザインの考え方に関して述べる。この浮島は1993年に建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所が設置したものであり、タイプとしては「湿式フレーム有り」である。フレームはステンレスと浮体を組み合わせてあり、植生基盤は空隙の多い水耕栽培用特殊ウレタンフォームを用いている。一つのユニットの大きさは、4.5×4.5mで、縦に2列、横に10列連結されており、全体が約1,000m<sup>2</sup>である。

## 3.2 生物生息空間

### 3.2.1 植物

土浦港にある人工浮島上の植生は1993年4月設置当初、区画ごとにマコモ、ガマ、カンガレイ、ミクリ・キショウブ、ヨシを植栽したが1996年の調査<sup>14)</sup>ではヨシが優先した。ついでマコモ、キショウブ、ミゾソバの順となっていた<sup>7)</sup>。侵入種は、ツルヨシ、ケイヌビエ、カサスゲ、メヒシバ、ギシギシ、オオカサモチ、シロネ、サナエタデ、オオイヌタデ、ミゾソバ、セリ、セイタカアワダチソウ、アメリカセンダングサ、タカサブロウ、オオバタネツケバナ、ハコベ、オランダガラシの計17種であった。

この人工浮島の植物群落の主要種はヨシ、マコモ、ツルヨシ、キショウブの4種である。浮島上のヨシ群落の現存量は8.72kg/m<sup>2</sup>(乾重)であり、霞ヶ浦におけるヨシの自然群落の数倍であった。浮島全体の植生地上部現存量としては4,075kg/m<sup>2</sup>(乾重)と推定された。密度が高いのは、この人工浮島の植生基盤の通水性がよく、適度な波浪により酸素・栄養塩の供給が安定的であること、水域が富栄養化していることが原因と考えられる。

### 3.2.2 魚類

人工浮島は適度の陰影効果、渦流効果、飼料効

果などの魚礁としての基本的機能を有している<sup>3)</sup>。人工浮島周辺や下部に多くの魚類が集まっている様子が確認される。魚類に関しては、中村らが1994年に調査した事例<sup>15)</sup>では、ブルーギル、タイラクバラタナゴ、モツゴ、ヌマチチブ、カワムツA型、アシシロハゼなどが確認されている。これらの個体はいずれも当歳魚(生まれて1年未満)であり、人工浮島が稚魚のすみかとして機能していることが実証された。これらの魚の消化管調査を行った結果、人工浮島で確認されたワムシ類等を多く捕食しており、人工浮島の採餌場としての機能が確認された。甲殻類のテナガエビも多数捕獲された。他の調査事例では、ヨシノボリ、ウキゴリ、ドジョウ、ウナギ、ヤツメウナギ、ギンブナ、トウヨシノボリ、シマヨシノボリなどが確認されている。アメリカでは、オオクチバスやストライプバスなどのいわゆるゲームフィッシュの増殖も期待されているようである。また、産卵礁としては滋賀県が琵琶湖に設置した人工浮島(浮産卵礁)において、コイ、フナ、ホンモロコの魚卵が、約1,500m<sup>2</sup>の範囲の人工浮島60基に8,500万粒確認された調査事例がある<sup>3)</sup>。産卵床としての機能を強化するために、浮島の下にひも状の産卵基盤を取り付ける例も見られる。我々の調査では、このひも状担体はコイ、ゲンゴロウブナの産卵に使用されると同時に、汚泥付着効果もあり、水質浄化と産卵礁の効果が確認されている<sup>16)</sup>。これらの調査結果より、人工浮島は水草を産卵場とする魚類にとって格好の産卵礁として機能していることがわかる。

### 3.2.3 鳥類

鳥類に関しては、比較的多くの研究事例<sup>7),17)~21)</sup>がある。霞ヶ浦の土浦港の人工浮島では、オオヨシキリ、バンの営巣が確認されているほか、他の地点では加えてカルガモ、カツツブリ、オオバンなどの営巣が確認されている<sup>7)</sup>。営巣の条件として百瀬ら<sup>7)</sup>は、陸生の草本が進入しにくく、抽水植物群落が成立しやすいことを挙げている。また、砂礫帯に営巣するコアジサシの様な鳥類のために人工浮島上に砂礫帯を創出している例もある。

### 3.2.4 昆虫

人工浮島に関する陸生昆虫の本格的な調査は1996年に中村、月館らが行った調査結果<sup>6)</sup>のみである。調査は、土浦港の人工浮島、近傍の桜川河口のヨシ原、人工浮島付近の住宅地内の空地で行われた。調査方法は、スウェーピング法(アミ

による採取)、ビーティング法(たたきだし)、ペイトトラップ法(エサによるわな)、任意採取、目視観察法を併用して行った。その結果、草地である住宅地内が最も種数が多く、ついで桜川河口、そして浮島であった。人工浮島上では、昆虫類が10目35科53分類群、真正クモ類が8科18分類群確認された。人工浮島上の種構成は、桜川河口のヨシ原と比較して現存量は少ないものの、ほぼ同じ構成をしており、生態系としてはほぼ安定した状態となっていると思われる。現存量が少ないので、人工浮島上に土壤がないことに起因しており、生活史の中で土壤を必要とする昆虫には人工浮島は生息条件として不十分である。住宅地内の高茎植生群落は多様性が最も高く、人工浮島の昆虫生態系の供給源となっていると考えられる。また、飛翔力が強く、水辺を好むトンボ類は人工浮島上で多く見られた。

## 3.3 水質

### 3.3.1 浮島の浄化機構

湖沼の水質問題の大きな原因は植物プランクトンに偏った生態系である。人工浮島は遮光により植物プランクトンの増殖を抑えるとともに、付着藻類の基盤、動物プランクトン、魚類などのすみかとなり、生物多様性を増大させることにより、植物プランクトンに偏った生態系を改善することができる<sup>15)</sup>。人工浮島が浄化に寄与する要素として(1)植物体・浮島本体に付着した藻類・バクテリアによる浄化(2)遮光(3)整流作用による沈降促進(4)植物体の栄養塩吸収(5)生物多様性の増大などが挙げられる。基本的には、湖沼沿岸帶のもつ浄化機能に近いと考えられる。湖沼沿岸帶のもつ浄化機能に関しては、植生帶そのものより、付着藻類や沈降作用による効果が大きいとされている<sup>22)</sup>。また、水域に大型水生植物が増えることにより、アレロバシー物質(他の植物の成長を妨げるために分泌される化学物質)によって藻類が抑制されることも考えられる<sup>23)</sup>が、現在のところ現地試験で実証的に確認された例はない。

### 3.3.2 隔離水域による水質浄化実験

人工浮島による水質調査事例は、中村らが1995年と1996年に行ったものがある<sup>24)</sup>。中村らは1995年に霞ヶ浦の土浦市大岩田地区の多自然型湖岸が施工されている地域に、一辺が4mで、水深1.5mの隔離水域を3ヶ設置し、そこで浮島の水質浄化に関する実験を行った(図-3)。

実験に使用した浮島は一辺が2m(面積4m<sup>2</sup>)の

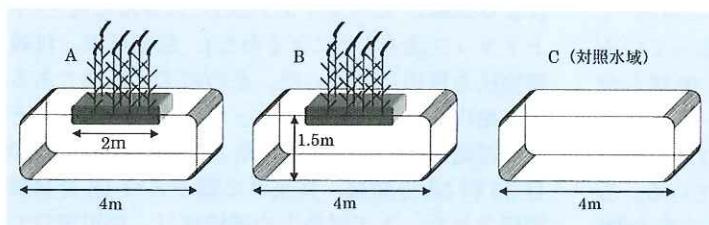


図-3 隔離水域実験

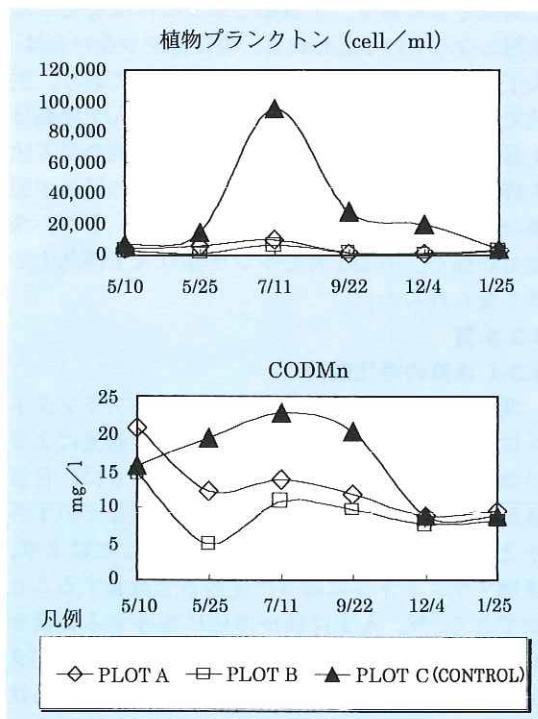


図-4 COD と植物プランクトンの年間変化

正方形で、その上にガマとカンガレイを植栽した。隔離水域は全部で3つ(A,B,C)設置し、そのうち2つ(A,B)に上記の浮島を設置し、残りの一つを対照(C)とした。したがって、浮島を設置した隔離水域A,Bの水面に占める浮島占有面積率は25%となる。浮島は1995年5月11日に隔離水域内に設置した。水質調査は事前調査として1995年5月10日、その後5月25日、7月11日、9月22日、12月4日、1996年1月25日の計6回行った。

浮島を設置しない対照区(隔離水域C)では、夏期にらん藻類であるミクロキスティス(*microcystis aeruginosa*)の水の華が見られ、細胞数は人工浮島のある水域の10倍程となった。一方、浮島を設置した隔離水域では、水の華は発生しなかった。7、9、12月のデータを平均すると25%の浮島占

有率で、植物プランクトンの細胞数を94%削減する結果となった。しかしながら、冬季は各水域に大きな差ではなく、夏季の植物プランクトンの増殖抑制に効果があることが分かった。また、COD(化学的酸素要求量)に関して言えば、浮島を設置した水域で夏季の間、対照と比較してより良好な値を示しており、50%程の削減率であった。

CODも植物プランクトン量と同様に、冬季の12月、1月の調査を見ると浮島を設置した水域の方が良好な値を示すもののその差は小さくなっている。人工浮島は夏季に植物プランクトンの増殖抑制効果を発揮し、冬の効果は小さいことが分かった。中村・鈴木は植生帶の面積が増えることにより、年間の水質変動が小さくなることを指摘<sup>25)</sup>しており、人工浮島も同様の効果があると考えられる。また、大島<sup>26)</sup>が隔離水域を用いた実験によると植物プランクトンの抑制に関してはベニヤ板をおいただけでもほぼ人工浮島と同じ効果があり、遮光が効いていることがわかった。また、窒素などの栄養塩除去に関しては人工浮島の効果が大きいことがわかっている。

### 3.4 消波機能

人工浮島を用いた消波に関しては、中村ら<sup>27)</sup>が霞ヶ浦(麻生町)において湖岸植生帶の保全に人工浮島を利用している例があり、一年間で3.4%(面積14m<sup>2</sup>)の植生帶が復元している。

## 4. 人工浮島のコスト

一度無くしてしまった自然を取り戻すためには大きな費用を必要とする。人工浮島の普及の足かせとなっているのがコストである。現状では、人工浮島の設置は施工費まで含めて、10万円/m<sup>2</sup>以上かかっている事例が多いようである。最近は、日本でも数万円/m<sup>2</sup>のものや米国の事例のようにリサイクル品を使用して、1万円/m<sup>2</sup>以下のものも施工可能になりつつある。

## 5. おわりに

本稿では、人工浮島の機能と技術の現状について、なるべく多くの研究事例を引用して報告した。人工浮島は植生帶の復元・創造が困難な箇所において植生帶の代替技術として重要である。今後、多くの事例をもとにさらに研究を進めていきたい。

## 謝辞

本稿をまとめるにあたり、人工浮島を実際に施工されている会社の方々、建設省利根川上流工事事務所、霞ヶ浦工事事務所の方々には大変お世話になった。この場を借りて感謝申し上げたい。

## 参考文献

- 1) 廣瀬利雄監修：応用生態工学序説，信山社，p.70, 1997.
- 2) Hoeger, S. : SCHWIMMKAMPEN Germany's artificial floating islands, Journal of Soil and Water conservation, 43(4), 1988.
- 3) 中山嘉文：浮産卵礁の開発について，(社)全国沿岸漁業振興開発協会，中央講習会資料，pp.185-192, 1986.
- 4) 石居宏志：霞ヶ浦緑の浮島実験について，第6回世界湖沼会議 霞ヶ浦'95，論文集 Vol.1, S-1-6-2, 1995.
- 5) Song, X et al. : Bio-production and water cleaning by plant grown with floating culture system. , 第6回世界湖沼会議 霞ヶ浦'95，論文集 Vol.1, pp.426-427, 1995.
- 6) Nakamura, K., Shimatani, Y. et al. : The ecosystem of an artificial vegetated island, Ukishima, in Lake Kasumigaura, 第6回世界湖沼会議 霞ヶ浦'95，論文集 Vol.1, pp.406-409, 1995.
- 7) 百瀬 浩、舟久保敏、木部直美、中村圭吾、藤原宣夫、田中隆：水鳥類による各種植栽浮島の利用状況、環境システム研究, Vol.26, pp.45-53, 1998.
- 8) (財)ダム水源地環境整備センター：浮島研究会資料, 1997.
- 9) 月刊グリーンビジネス No.433：特集 浮島, pp.8-17, 1999.
- 10) Boutwell, J. E. : Preliminary field studies using vegetated floating platforms, National Biological Service (NBS), 1995.
- 11) Mueller, G., Sartoris, J., Nakamura, K., Boutwell, J. : Ukishima, floating islands, or schimmkkampen ?, LAKELINE, November, pp.18-19, p.26, 1996.
- 12) 水産庁監修：沿岸漁場整備開発事業施設設計指針，漁場整備開発事業施設設計指針編集委員会編, 1993.
- 13) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（上・下），1989.
- 14) Nakamura, K., Tsukidate, M., Shimatani, Y. : Characteristic of ecosystem of an artificial vegetated floating island, Ecosystems and Sustainable Development, pp.171-181, 1996.
- 15) 中村圭吾・保持尚志・島谷幸宏：人工浮島(霞ヶ浦土浦港)の効果とその生態系、河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, pp.155-159, 1995.
- 16) 玉木和之、島谷幸宏ら：糸状生物担体の生物生息空間としての効果、土木学会年次学術講演会概要集, 共通セッション, Vol.53rd, pp.200-201, 1998.
- 17) 阿部 學：機能的ダムから環境創造ダムへー水鳥のための人工浮島ー, 電力土木, No.264, pp.3-10, 1996.
- 18) Girouz, J-F. : Use of artificial islands by nesting waterfowl in southeastern Alberta. J. WILDL. MANAGE. 45(3), pp.669-679, 1981.
- 19) Getz, V.K. and Smith, J. R. : Waterfowl production on artificial islands in mountain meadows reservoir, California, Calif. Fish and Game 75(3), pp.132-140, 1989.
- 20) Hiraoka, T. : Utilization of artificial floating objects as nest platforms by little Grebes and Eurasian Coots in Lake Teganuma, Central Japan. J. Yamashina Inst. Ornithol. 28, pp.108-112, 1996.
- 21) 寺脇勝二、石居宏志、栗津一雄：緑の人工浮島実験について、ダム技術, No.120, pp.35-42, 1996.
- 22) (社)日本水産資源保護協会：平成6年度 赤潮対策技術開発試験報告書, 1994.
- 23) たとえば中井智司、井上裕之、細見正明、岡田光正、村上昭彦：大型水生植物が代謝した生理活性物質を用いた植物プランクトンの増殖抑制、水環境学会誌, 第18卷, 第12号, pp.1012-1019, 1995.
- 24) Nakamura, K. and Shimatani, Y. : WATER PURIFICATION AND ENVIRONMENTAL ENHANCEMENT BY THE FLOATING WETLAND, Proc. of 6th IAWQ Asia-Pacific Regional Conference in Korea, 1997.
- 25) 中村圭吾、鈴木宣人：調整池における水質の季節変動と水生植物の占有率、土木学会年次学術講演会講演概要集, 第7部, Vol.54th (投稿中), 1999.
- 26) 大島秀則：人工浮島調査、関東地建利根川上流工事事務所、利水調査課 資料(未発表), 1999.
- 27) 中村圭吾ら：消波浮島による湖岸植生帶の保全、日本水環境学会年会講演集, Vol.33rd p.122, 1999.

中村圭吾\*



島谷幸宏\*\*



建設省土木研究所環境部  
河川環境研究室研究員  
Keigo NAKAMURA

同 河川環境研究室長、工博  
Dr.Yukihiro SHIMATANI