二枚貝を用いたアオコの繁殖した都市公園池の水質改善の試みにおける擬糞回収の有効性評価

Evaluation of Collecting Pseudofaeces in Bivalve Farming for Improving Water Quality of a Pond in a City Park Suffering from Thick Algal Growth

西尾孝之, 大島 詔, 北野雅昭

大阪市立環境科学研究所 / 〒543-0026 大阪市天王寺区東上町8-34

TAKAYUKI NISHIO, AKIRA OSHIMA, and MASAAKI KITANO
Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences
/8-34 Tojo, Tennoji, Osaka, 543-0026, Japan

Abstract

A feasibility study was performed to evaluate collecting pseudofaeces in bivalve farming to improve water quality of a pond located in a city park. The pond is suffering from thick growth of phytoplankton, especially of cyanobacteria that form algal mat, such as *Microcystis* spp. Bivalve expels non edible suspended solids or surplus diets as pseudofaeces that do not pass through intestinal tract. The possibility of cyanobacteria pelleted as pseudofaeces to regrow was elucidated.

Keywords: bioremediation, bivalve farming, pseudofaeces, water quality control, cyanobacteria

1. 緒言

大阪市南部の多くの公園池では、*Microcystis aeruginosa* および *M. wesenbergii* を主体とするラン藻類によるアオコが年間を通じて発生しており、周辺住民から水質改善要求が高い。全ての公園池は接続する河川がなく、閉鎖的な環境となっているために栄養塩類が蓄積して、富栄養化が著しいことがラン藻類が高密度に増殖する原因である。根本的な解決には、底泥を浚渫して水を入れ替える必要があるが、住宅街における大規模な土木工事は様々な問題が予想され、経費的にも困難である。近年、市民が自らの手で池や公園を維持管理する関心が高くなり、植栽水浄化設備など身近な手法により水質を改善する努力がなされている。

大型の二枚貝は水をろ過する能力が高く、プランクトンなど水中の懸濁物質を除去することが出来ること、市民に親しみやすい方法であることから、市民参加のもと、

ため池、河川などで水質浄化実験が行われている¹⁾⁻³⁾。また、海域^{4),5)}、汽水域^{6),7)}や淡水域⁸⁾⁻¹¹⁾で学術的な検討がなされている。淡水域の大型二枚貝は絶滅が危惧されているものが多いが、イケチョウガイは淡水真珠養殖のために飼育されていて入手が容易であり、ろ過速度も速いとされることなどからよく検討されている⁷⁾⁻⁹⁾。

しかし、従来から各所で試みられているイケチョウガイなどの二枚貝を用いた実験において、排泄されたものは形を変えて環境水中に再放出されると考えられ、水質浄化効果を単に懸濁物質の除去だけで評価することはできない。また、カキ、ホタテガイやアコヤガイなどの養殖場では、貝が濾し取った水中の懸濁物質が排泄物として底泥に降下・堆積するために養殖筏周辺の水や底泥環境の汚染が問題となっている¹²⁾⁻¹⁴⁾。イケチョウガイの大量飼育事例では、排泄物の堆積が懸念されるものの底質の悪化は認められなかったとされており⁷⁾、水深や潮流などの条件が影響すると考えられる。また、ろ過食性二枚

貝などは濾し取った懸濁物質の内では餌とならないものを擬糞として排出するが、これは消化管を経ないために¹⁵⁾、濾し取られた植物プランクトンは排出後に再増殖する可能性がある。

そこで、イケチョウガイによる水中懸濁物質のろ過効率と藻類が捕食されることに伴う栄養塩類の回帰を調べるとともに、植物プランクトン由来堆積物中からの植物プランクトンの再増殖実験を行い水質浄化効果について検討した。

2. 実験方法および材料

2.1 イケチョウガイの飼育

実験に使用したイケチョウガイは、滋賀県真珠養殖漁業協同組合から購入した。琵琶湖固有種ではなく、中国産の近縁種に特徴的な翼状突起をもつヒレイケチョウガイ (*Hyriopsis cumingii*) 或いはイケチョウガイ (*H. schlegelii*) とヒレイケチョウガイの雑種であるが^{16), 17)}、ここではイケチョウガイと表した。夏期の高水温は生育には適さないことから、25℃の恒温室で約600 lxの蛍光灯連続点灯下で飼育した。容量5 dm³のプラスチックビーカー（以下、ビーカーと略記）に殻長10–12 cmのイケチョウガイを1個体入れ、ラン藻類が増殖した池の水で満たしエアーストーンにより約200 cm³ min⁻¹の曝気を施した。以下に示す実験1)–3)は、同一条件で2009年10月から12月にかけて行ったが、実験条件を変える度に池水を交換した以外に特別な給餌は行わなかった。各実験は3連で行った。なお、ビーカー底部の堆積物はラン藻類が濃縮された状態であり、一旦イケチョウガイに取り込まれたものであると判断したが、顕微鏡観察により糞と擬糞を区別して取り扱うことはしなかった。本報では、便宜上「擬糞」と表現する。

実験対象とした万代池公園（大阪市住吉区）の万代池は窒素・リン濃度が高く、年間を通してアオコが発生している。2009年9月から11月までの、池水中の全窒素、全リン、COD、懸濁物質、クロロフィル α 濃度、透視度およびpHの平均値はそれぞれ、4.9、0.45、64、154 mg dm⁻³、240 mg m⁻³、4.5度 (cm)、10.0であった。

1) イケチョウガイのラン藻類ろ過能力

ビーカーにイケチョウガイを1個体入れ、ラン藻類が増殖した万代池の水を満たし、曝気を施した。経時的に池水を約6 cm³採取し、採取した試料水はガラス繊維ろ紙 (GC50, アドバンテック製) でろ過し、試料水とろ液

および池水をろ過したろ紙は分析時まで冷凍保存した。未ろ過試料を用いて全窒素と全リンを、ろ液を用いて無機栄養塩類を、藻体を捕集したろ紙を用いてクロロフィル α 濃度を測定した。また、池水の一部を採取して長さ75 cmの透視度計を用いて透視度を測定後、ビーカーに戻して飼育を続けた。以下、イケチョウガイを入れたビーカーを実験区、入れないビーカーを対照区と称す。

2) イケチョウガイの擬糞回収実験

2 dm³容の角型ペットボトルを下から約1/3のところまで切断し、上部は転倒してろ斗として、下部はろ斗台として用いる簡易な擬糞回収装置を作成した（以下、擬糞回収装置）。上部が口に向かって絞り込まれる位置にビニールひもでイケチョウガイを支える網を張り、網の上に1個体を載せ、落下した擬糞が再び貝に取り込まれないようにした (Fig. 1)。

3) イケチョウガイ擬糞中のラン藻類生残率

1日に1回イケチョウガイが排泄した擬糞を駒込ペットで回収してビーカー内の池水に再懸濁することを繰り返し、再懸濁液のクロロフィル α 濃度を測定してイケチョウガイに取り込まれることによるラン藻類細胞の損傷の程度を検討した。また、擬糞を再懸濁した池水1 cm³を、アンモニウム態窒素濃度が1.5 mg dm⁻³、リン酸態リン濃度が0.15 mg dm⁻³になるように添加した万代池のろ過水40 cm³に加え、100 cm³容の三角フラスコで25℃、約10000 lx、明暗条件16 : 8時間で、毎分60回の旋回培養

Fig. 1 Apparatus for collecting pseudofaeces from bivalve by using a PET bottle.

を行った。経時的にラン藻類培養液を採取し、660 nmにおける吸光度を測定することにより増殖の程度を調べた。培地調整に用いた万代池のろ過水は、池水を冷暗所に静置して得た上澄みをガラス繊維ろ紙（GS-25）でろ過した後、孔径0.2 μm のメンブレンフィルター（Nalgene製566フィルターユニット）で無菌ろ過した。実験に用いたイケチョウガイは、数度程度しかなかった透視度を1日で75度以上に回復する能力があり、ビーカー中の5 dm^3 の池水のラン藻類はほぼ全量が1日1回擬糞回収装置の底に回収されたので、ラン藻類は1日1回イケチョウガイに取り込まれるものと仮定した。3日目と5日目は試料の分取とクロロフィル α 濃度の測定を行わなかったが、擬糞回収装置の底に回収されたラン藻類の攪拌は毎日行った。

2.2 化学分析

未ろ過試料1 cm^3 を適宜希釈し、BL-tec製全窒素全リン計AAIIIを用いて過硫酸カリウム添加後加熱分解した溶液について全窒素および全リンを測定した^{[18], [19]}。ろ過試料1 cm^3 を適宜希釈し、AAIII（BL-tec製）を用いて亜硝酸態窒素、硝酸態窒素およびリン酸態リンを測定した^{[19], [20]}。アンモニウムイオンは、ろ過試料1 cm^3 を用いて工場排水試験方法^[21]に従い分光光度法により測定した。クロロフィル α およびフェオフィチン α は、ガラス繊維ろ紙に捕集した試料を用い海洋観測指針^[22]に準拠して測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 擬糞回収装置を用いない場合のイケチョウガイのラン藻類ろ過能力

実験区では、全窒素濃度の平均値が初期濃度の約6.1から約8.6 mg N dm^{-3} まで、全リン平均濃度は約0.48から約0.74 mg P dm^{-3} まで、それぞれ上昇した（Fig. 2左）。これは貝から排泄されたものと考えられるが、クロロフィル α 濃度の増加が頭打ちになる10日目までは無機態の窒素およびリン成分の濃度変化が少ないことから、代謝され無機態の形で分泌された窒素およびリンは直ちに植物プランクトンに取り込まれたと考えられる。一方、対照区は、Fig. 2右に示したとおり、窒素およびリン濃度は2週間ほとんど変化せず、無機態の窒素およびリンもほとんど検出されなかったものの、クロロフィル α 濃度は飼育初期の約235 mg m^{-3} から飼育10日目には約300 mg m^{-3} まで徐々に増加した。イケチョウガイを入れたビーカーと貝を入れない対照区では、クロロフィル α 濃度に顕著

な差は認められなかったが、飼育6日目まで実験区のフェオ色素濃度は対照区よりも高くなった。本実験では曝気により池水が攪拌されており、懸濁された糞や擬糞も併せて測定していることから、イケチョウガイの消化管に取り込まれて分解された葉緑素に由来すると考えられる。

イケチョウガイをビーカーの底に入れて万代池の水で飼育した場合、2週間後の池水の透視度の平均値は3.4（ $\text{sd}=0.2$, $n=3$ ）度と、イケチョウガイを入れない対照区の3.0（ $\text{sd}=0.1$, $n=3$ ）度に比べてほとんど改善されなかった。二枚貝は、呼吸のために吸水管から周辺の水を取り込み、餌とならない懸濁物質は擬糞として粘液で固めた状態で出水管から放出するとされる^[6]。二枚貝を用いて水質改善効果を狙った多くの試みでも、粘液質で固めるので濁度やCODが改善されるとしている^{[9], [10]}。しかしながら、万代池に繁殖するアオコは、粘性の多糖類に包まれた状態で高密度に浮遊するマイクロキスティスを主体としており、擬糞としてイケチョウガイから排出されたラン藻類は池水に浮遊するものより多少濃縮されているようではあるが、曝気により容易に再懸濁されたために透視度の回復にはつながらなかったと考えられた。

以上のことから、擬糞を回収しない場合は顕著な水質改善効果が認められないことが明らかとなった。ただしこの現象は、密度の高い擬糞にはならないラン藻類を対象とした場合に特有の現象である可能性もあり、条件によっては懸濁物質を擬糞として固めるだけでもある程度水質改善効果が持続すると考えられる。しかしその場合でも、最終的には擬糞を回収しない限り、堆積した擬糞から栄養塩類や有機物は回帰してくるものと考えられる。

3.2 擬糞回収装置を用いた場合のイケチョウガイのラン藻類ろ過能力

前項の実験では池水を希釈せずに用いたため、多少ラン藻類が除去されても明瞭な差が認められなかった可能性がある。本実験では池水のろ液を用いて約1/2に希釈した万代池の水を用いて、擬糞回収装置を用いた場合と用いない場合の水質改善効果を比較検討した。Fig. 3に示すとおり、イケチョウガイの個体差によるばらつきが大きかったが、平均値を比較すると、擬糞回収装置を用いた場合は飼育時間の経過とともに透視度の回復とクロロフィル α 濃度の減少が認められた。擬糞回収装置を用いない場合でもラン藻類除去能力が高い個体もあったが、飼育7日目以降は透視度が減少し継続的な透視度改

Fig. 2 Time course of nitrogen (top), phosphorus (middle), and Chl.a (bottom) concentrations in pond water during bivalve treatment.
left panels: average of triplicate treatment with bivalve, right panels: without bivalve (n=3)
Error bars indicate average plus minus standard deviations of three replicates.

善効果は認められなかった (Fig. 3)。このことから、擬糞回収装置により捕集された擬糞から直ちにラン藻類が再懸濁されて増殖することはないことが判った。尚、イケチョウガイを入れずに擬糞回収装置のみを入れた対照区では、透視度の改善が徐々にしか起こらなかったことから、擬糞回収装置自体が曝気による循環の物理的障害となりラン藻類が擬糞回収装置内で沈降する影響は少なかったと考えられる。

擬糞回収装置を用いた場合、全窒素濃度はイケチョウガイを入れない対照区とほとんど差がなく、飼育時間とともに上昇することはなかったが、擬糞回収装置を用いずにイケチョウガイを飼育すると徐々に全窒素濃度が上昇した。ピーカー内の池水は曝気により攪拌されているため、擬糞回収装置を用いない場合、イケチョウガイか

ら排泄された溶存態の栄養塩類や有機物が擬糞回収装置を用いた場合に比べて拡散しやすいと考えられる。また、一旦擬糞として体外に排出されたラン藻類は、曝気により懸濁されて繰り返しイケチョウガイに取り込まれて排出されるために細胞が損傷して分解が促進された結果、窒素成分が漏出し易くなった可能性も考えられる。

イケチョウガイを入れない対照区では、無機態窒素はほとんど検出されず、全窒素は懸濁態窒素として藻体に保持されているか溶存態有機態窒素として存在すると考えられた。実験区では窒素成分の無機化が進み、アンモニウムイオンと硝酸イオンの蓄積が認められた。擬糞回収装置を用いない実験区では、イケチョウガイが排泄したアンモニウムイオンの分だけ全窒素濃度が増加し、一部は懸濁態窒素（藻体）、一部は硝酸イオンとして検出さ

Fig. 3 Time course of effects of bivalve treatment and sediment trap on transparency, concentrations of total nitrogen, and Chl.a in the pond water. Solid, hatched, and open squares represent experimental set up with bivalve and sediment trap; bivalve without sediment trap; control (neither bivalve nor sediment trap), respectively. Error bars indicate average plus minus standard deviations of three replicates. Plots for the data sets without sediment trap and control were shifted by 0.4 and 0.8 unit to avoid overlapping.

れたが、擬糞回収装置を用いた場合は、全窒素濃度に殆んど変化が認められなかった (Fig. 4)。擬糞回収装置を用いた場合は急速に透視度が回復したのであるから、藻体に保持されている窒素成分が池水から除外されて減少すると期待された。実験区では飼育 1 日目に全窒素濃度が低下したものの、クロロフィル *a* 濃度の減少に見合う程の全窒素濃度の減少は認められなかったことから、溶解性有機態窒素の比率が高かったことに加えて擬糞として回収された藻体の窒素と同程度のアンモニウムイオン

Fig. 4 Time course of nitrogenous compounds in the pond water during bivalve treatment of cyanobacteria.

Top, middle, and bottom panels illustrate the results with bivalve and sediment trap; with bivalve without sediment trap; neither bivalve nor sediment trap, respectively.

Error bars indicate average plus minus standard deviations of three replicates.

Solid, open, and hatched squares represent Total-N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, and $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-\text{-N}$, respectively.

がイケチヨウガイから排泄されたと考えられた (Fig. 4)。

多くの二枚貝による水質改善実験において SS, COD の除去に有効であったとする報告の多くは、本研究と同様、排泄物が再懸濁されることのないよう擬糞を含め固形排泄物を隔離する実験装置が用いられている^{8)-10), 23)}。実際の環境に適用するのであれば、沈殿する擬糞や排泄物を水底に至るまでに人工海底などで捕集して比較的好気的環境下で分解を促進するか²⁴⁾、堆積した擬糞をイトゴカイなどの高次捕食生物の餌料とし、最終的には魚類や鳥

類が捕食して系外に排除する必要がある²⁵⁾。人工海底の例では、微生物が分解する以上の沈降粒子を捕捉した場合、人工海底環境が悪化するので沈降粒子の捕捉率を一定以上に高めることができない²⁶⁾。また、ベントスの約1/5が魚類に捕食されて系外に除去されたと推定する報告もあるが²⁷⁾、実際の養殖場環境では底質改善効果が認められておらず²⁸⁾、これらの効率とは高くはないと考えられる。また、懸濁物質の凝集効果によりSSやCODの減少は期待されるものの、糞として排泄される炭素や窒素量は貝の種類にもよると考えられるがそれぞれ摂取量の63%⁶⁾および44%²⁹⁾という報告がある。固形排泄物以外にも、本実験で確認されたようにアンモニウム態窒素として排泄されるものもあり¹⁰⁾、ヤマトシジミでは43%²⁹⁾と推定する報告がある。これらが水系に排泄され様々な経路を経て栄養塩として水系内で循環されると考えられる。中村らによるボックスモデルに基づく宍道湖における水質分布特性の解析では、ヤマトシジミによって排泄された栄養塩によって植物プランクトンの増殖が促進される可能性が示唆されており³⁰⁾、二枚貝による水質改善効果は短期的な藻体の見掛け上の除去では評価することができない。

3.3 イケチョウガイ擬糞中のラン藻類生残実験

これまでの実験では、イケチョウガイが排出した擬糞は駒込ピペットで分散しやすく、葉緑素の変色などの変化もなく外観上は損傷のない健全な細胞のようにみえた。他の二枚貝でも、擬糞中或いは消化管を経て排泄された糞中にも生細胞が観察されており¹⁵⁾、特に擬糞中に藻類が生残する割合は比較的高いと考えられる。一方、実験2で考察したように、万代池のような閉鎖性水系ではラン藻類は繰り返しイケチョウガイに取り込まれることにより細胞の損傷が蓄積して死滅に至る可能性がある。これを明らかにするために、擬糞中のラン藻類の生残実験を行った。

再懸濁後の池水のクロロフィル α 濃度は、イケチョウガイを入れない対照区の方は再懸濁4回目まで徐々に上昇したが、実験区では2回目以降、クロロフィル α 濃度が低下した (Fig.5)。再懸濁後の池水を万代池のろ過水に懸濁して培養したところ、処理4回目までは擬糞と対照区のラン藻類の増殖に殆んど差が認められなかったが、処理6回目の擬糞からの再増殖は認められなかった (Fig. 6)。

擬糞は、消化管に入る前に濾し取られたものであることから、貝の吸水管から吸い込まただけでは細胞の損

Fig. 5 Effects of bivalve treatment on the growth of cyanobacteria.

Error bars indicate average plus minus standard deviations of three replicates.
solid square: feed treatment with bivalve; open square: control.

傷の程度が軽いと考えられる。再懸濁液のクロロフィル濃度には1回目の取り込み後から差が現れたが、取り込み実験4回目まで再増殖能力に差が認められず、数回繰り返し取り込まれても増殖可能な状態を保っていると考えられるが、培養液は白濁するようになりラン藻細胞の分解が進み細菌が増殖したと考えられた。今回の室内実験では作業容量が小さかったので、1日1回確実に貝に捕捉されたために細胞の損傷が累積して死滅したと考えられるが、自然環境のような開放系では、一旦擬糞となったものが再懸濁されても再び貝に吸引される確率は低く、細胞の損傷は軽微で済むため再増殖する可能性が高いと考えられる。このことから、懸濁物質の過食性二枚貝がラン藻類を擬糞として固めることによる水質改善効果は限定的になると考えられる。

今回対象とした公園池ではミクロキスティスを主体とするラン藻類が増殖しているが、これらの増殖 (倍化) 速度は最適条件下では2-3日と、非常に速い³¹⁾。懸濁態の窒素やリンは藻体を除去することで低減可能であるが、溶存態の栄養塩類が高ければ速やかに再増殖すると考えられる。これを防ぐためには対象とした公園池の水約2万m³を2日で浄化する必要があると仮定すると、今回実験に用いたイケチョウガイを約200万個以上用いる必要があると考えられる。しかしながら5dm³の池水を1日で浄化できるろ過能力が高い個体ばかりではないこと、ラン藻類の密度が高い池水で長期間飼育すると何れの個体もろ過活性が低下したことから、継続的に浄化能力を維持することは困難と考えられた。イケチョウガイを用いた飼育実験から、水量約560m³の都市公園池のSS濃度を環境基準に適合する程度まで浄化するには1万個必要との試算があるが⁸⁾、現実的ではないと結論付けている。

Fig. 6 Time course of the growth of cyanobacteria after bivalve treatment.

Numbers in each panel indicate repeated number of bivalve treatment.

Error bars indicate average plus minus standard deviations of three replicates.

solid square: feed treatment with bivalve; open square: control.

ヤマトシジミの生息密度が $550 \sim 3800$ 個体 m^{-2} に達するような宍道湖においては、ヤマトシジミなどの二枚貝による過能力が高く摂食圧により植物プランクトンの生息密度が抑制されていると推定されており³⁰⁾、閉鎖的水域では二枚貝の懸濁物質ろ過作用により植物プランクトンの増殖抑制が不可能とは言い切れないものの、固形排泄物による水質悪化を排除するためには水域全面で擬糞を回収する必要があるため現実的ではないと考えられる。

都市公園池の場合、多くは接続する河川が無いことが多く、富栄養化しやすいことがラン藻類の増殖を招いて

いることから、水源を確保して池水を交換することが根本的な解決策と考えられる。都市部においては地下水や工業用水も実施例があり^{32), 33)}、池の容量にも依るが栄養塩を含む下水処理水であっても植物プランクトンの増殖速度を上回る条件で給水するなど検討の余地があると考えられる³⁴⁾。

4. まとめ

- 1) 万代池のラン藻類は、イケチョウガイにより吸引ろ過されて擬糞として排出されるが、一旦擬糞として沈降しても曝気などの比較的穏和な物理的攪拌により容易に再懸濁された。
- 2) 擬糞として排出されたラン藻類は、懸濁後に増殖可能な状態であり細胞の損傷は軽微であったと考えられた。
- 3) 水質浄化を目的として大型二枚貝を用いて植物プランクトンを除去する場合、擬糞となったラン藻類が再懸濁することがないように、擬糞を回収する必要がある。

謝辞

当研究所附設栄養専門学校の笹、松谷、平中、山本さんに実験を手伝ってもらったことを感謝します。本研究を行うに当たり、本市ゆとりとみどり振興局の関係者にお世話になりましたことを深謝します。なお、本研究の一部は、(株)関西電力の「都市公園の市民利用実態と期待する環境に関する研究」の資金を得て行いました。

参考文献

- 1) 京都新聞、イケチョウガイで八幡堀の水質浄化、近江八幡の市民団体 (2008.11.12)
<http://www.kyoto-np.co.jp/article.php?mid=P2008111200018&genre=H1&area=S00> (2009年10月閲覧)
- 2) 大分合同プレス、志高湖浄化 イケチョウガイ本格導入目指す、2009.1.13
<http://www.oita-press.co.jp/localNews/2009,1231807408.html> (2009年10月閲覧)
- 3) 大阪・水かいどう808、大阪ジョウカ物語、
<http://www.mizukaido808.com/osakajouka/> (2009年10月閲覧)
- 4) 門谷 茂、小濱 剛、徳永保範、山田真知子：富栄養化した水域の生態学的環境修復——北九州市洞海湾を例として——濾過食性二枚貝の生態特性を利用した海洋環境修復技術の開発、環境科学会誌、11、407-420 (1998)
- 5) 杉原浩介、海底近傍層における、懸濁物食性二枚貝

- 類にとっての食物の評価, 東北大学農学部修士論文, 2008
- 6) 山口啓子, 藤岡克己, 相崎守弘: 汽水域二枚貝ヤマトシジミによる水質浄化と炭素バランス, 農村工学会大会講演会講演要旨集, 68-69 (2007)
 - 7) 石崎修造, 浦 伸孝, 右田雄二: イケチョウガイによる諫早湾干拓調整池の水質浄化に関する研究, 長崎県環境保健研究センター所報, 53, 47-52 (2007)
 - 8) 杉万裕一, 池蝶貝を用いた湖沼の水質浄化, 高知工科大学修士論文, 2010
 - 9) 飯田義和, 奥村裕司, 一田謙一, 門上希和夫, 鈴木學, 金子朝俊, 筧 秀美, 衛藤修一: イケチョウガイによる貯水池の水質改善について, 北九州市環境科学研究所報, 32, 71-72 (2004)
 - 10) 藤田和男, 宮崎 清, 貝類による水中の懸濁物質への影響に関する考察, 岡山県環境保健センター年報, 33, 37-42 (2009)
 - 11) 田中仁志, 金 主鉉, 鈴木 章, 星崎寛人, 渡辺真利代, 渡邊定元: 既存生態系を活用したバイオマニピュレーション手法による汚濁湖沼の水質改善に関する研究, 埼玉県環境科学国際センター報, 第5号, 128-134 (2004)
 - 12) 橋本俊也, 青野 豊, 山本民次: 広島湾生態系の保全と管理, 山本民次, 古谷研編, 閉鎖性海域の環境再生57-68, 恒星社厚生閣, 東京 (2007)
 - 13) 園田 武, 中尾 繁, 高安克己: サロマ湖の多毛類群集の構造特性と漁場環境: 過去20年間の変化傾向, LAGUNA, 9, 19-30 (2002)
 - 14) 松田 治: 英虞湾再生プロジェクトの展開と将来展望, 山本民次, 古谷研編, 閉鎖性海域の環境再生139-160, 恒星社厚生閣, 東京 (2007)
 - 15) 大谷修司, 辻井要介, 江原 亮, 草田和美, 板倉俊一, 山口啓子, 品川 明, 秦明 徳, 中村幹雄: 神西湖人工池におけるヤマトシジミの摂餌, 排出と消化過程, LAGUNA, 11, 109-124 (2004)
 - 16) Shirai, A., T. Kondo and T. Kajita: Molecular markers reveal genetic contamination of endangered freshwater pearl mussels in pearl culture farms in Japan, VENUS, 68(3-4), 151-163 (2010)
 - 17) 千葉大学理学部生物学科 多様性生物学講座: 琵琶湖固有の絶滅危惧種・イケチョウガイの遺伝子汚染について, (2012年8月閲覧)
<http://bean.bio.chiba-u.jp/lab/index.php?research%2Fイケチョウガイの保全遺伝学的研究>
 - 18) 日本工業規格協会: 流れ分析法による水質試験方法 — 第3部: 全窒素, JIS K 0170-3: 2011 (2011)
 - 19) 日本工業規格協会: 流れ分析法による水質試験方法 — 第4部: リン酸イオン及び全リン, JIS K 0170-4: 2011 (2011)
 - 20) 日本工業規格協会: 流れ分析法による水質試験方法 — 第2部: 亜硝酸体窒素及び硝酸体窒素, JIS K 0170-2: 2011 (2011)
 - 21) 日本工業規格協会: 工場排水試験方法K0102: 2008 (2008)
 - 22) 気象庁編, 海洋観測指針, p263 (1990)
 - 23) 山田真知子, 田中和彦, 吉川ひろみ: 洞海湾における水環境の現状と生態学的環境修復, 全国環境研究会誌, 29, 23-29 (2004)
 - 24) 山本民次, 笹田尚平, 原口浩一: 人工中層海底によるカキ養殖場沈降物量の軽減能評価 — 設置後半年間の調査から —, 日本水産学会誌, 75, 834-843 (2009)
 - 25) 堤 裕昭, 濱田建一郎, 上田直子, 山田真知子, 藤木智子, 中村仁美, 和田育子, 徳田貴子, 門谷 茂: 富栄養化した水域の生態学的環境修復 — 北九州市洞海湾を例として — *Capitella* p.1 (イトゴカイ, 多毛類) を用いた洞海湾湾奥部の底質環境の修復, 環境科学会誌, 11, 421-429 (1998)
 - 26) 川口 修, 山本民次, 松田 治, 橋本俊也, 高山晴義, 人工中層海底を用いたカキ養殖場底質への有機物負荷軽減策の検討, 日本水産学会誌, 70, 722-727 (2004)
 - 27) 原口浩一, 山本民次, 片山貴之, 山形陽一, 松田治, 人工中層海底による養殖場沈降有機物の分解促進, 日本水産学会誌, 74, 429-431 (2008)
 - 28) 堤 裕昭, 門谷 茂, 魚類養殖場直下に堆積したヘドロ (有機汚泥) のイトゴカイによる浄化の試み, 日本水産学会誌, 58, 1343-1347 (1993)
 - 29) Yamamuro, M. and Koike, I: Nitrogen metabolism of the filter-feeding bivalve *Corbicula japonica* and its significance in primary production of a brackish lake in Japan. *Limnol. Oceanogr.*, 38, 997-1007 (1993)
 - 30) 中村由行, Fatos Kerciku, 二家本晃造, 井上徹教: 汽水湖沼におけるヤマトシジミの水質浄化機能に関するボックスモデル解析, 用水と廃水, 40, 1060-1068 (1998)
 - 31) Imai, H., Chang, K.-H., Kusaba, M., and Nakano, S., Temperature-dependent dominance of *Microcystis* (Cyanophyceae) species: *M. aeruginosa* and *M. wesenbergii*, *J. Plankton Res.* 31, 171-178 (2009)
 - 32) 環境省水・大気環境局水環境課, 17兵庫県伊丹市昆陽池, 「環境用水の事例集」 — 魅力ある身近な水環境づくりにむけて —, 86-89 (2007) (<http://www.env.go.jp/water/junkan/case2/pdf/17.pdf>)
 - 33) 環境省水・大気環境局水環境課, 30大阪府堺市内川水系, 「環境用水の事例集」 — 魅力ある身近な水環境づくりにむけて —, 145-150 (2007) (<http://www.env.go.jp/water/junkan/case2/pdf/30.pdf>)
 - 34) 下水道新技術推進機構, 再生水を活用した都市の水環境改善検討に関する調査研究, 2005年度下水道新技術研究所年報, 71-82 (2005) (<http://www.jiwet.or.jp/result/annual/pdf/2005/plan/05/2005b1-1-3m.pdf>)

(受付 2013. 9. 12)

(受理 2014. 1. 10)