

〈研究発表〉

二枚貝による水質浄化効果の検証

和田 桂子¹⁾, 水上 幸夫²⁾, 久納 誠³⁾

¹⁾(財)琵琶湖・淀川水質保全機構 (〒540-6591 大阪市中央区大手前 1-7-31 OMM13F, E-mail: wada@byq.or.jp)

²⁾国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所 (〒520-2279 大津市黒津, E-mail: mizukami-y86gw@kkkr.mlit.go.jp)

³⁾元 琵琶湖・淀川水質保全機構 (〒540-6591 大阪市中央区大手前 1-7-31, E-mail: makoto_kuno@water.go.jp)

概要

水陸移行帯における水環境保全、自然環境の修復に資する基礎データを収集するために、二枚貝であるドブガイおよびタテボシガイを用いた室内実験から、様々な環境要因(懸濁物濃度、水温、DO)における水質浄化能力の影響について考察した。さらに、自然環境下にて屋外実験を実施し、二枚貝の水質浄化効果を検証した。その結果、低水温時には、呼吸活性が低下するため、懸濁物の除去能力も低下することが明らかとなった。また、ろ過食性である二枚貝の水質浄化作用として、クロロフィル a 等の有機態懸濁物に対する効果が検証された。

キーワード: 二枚貝, 水質浄化, 懸濁物, ろ過作用, 水環境保全

1. はじめに

琵琶湖は淡水貝類の宝庫と言われ、多くの貝類が生息している。イシガイのような二枚貝は、その鰓内がタナゴ類の産卵床として利用される。そのため、水質悪化等によって減少した貝類を回復する生態系保全の活動や生息域の整備の取り組みが進められている。二枚貝は、水中の懸濁物質を餌として取り込み、同化する。さらに、高次消費者に捕食されるため、湖沼の物質循環や食物連鎖を通じた水質浄化に寄与すると考えられる¹⁻⁴⁾。二枚貝の研究は、生態に関して多く報告があるが、その水質浄化効果については知見が限られている。そこで、二枚貝の浄化能力について、様々な環境要因を変えて考察し、琵琶湖沿岸帯および内湖等の周辺水域における水質浄化作用の寄与について検討した。本報告では、琵琶湖に生息する二枚貝の浄化能力の基礎データとして、影響因子を検討する室内水槽実験と、得られたデータを基に自然条件下で浄化効果を検証した大型屋外実験について報告する。

2. 室内水槽実験

2.1 実験内容

実験に供試した二枚貝は、琵琶湖南湖で採取したドブガイ (n=40, 殻長; 85.2 ± 5.9 mm, 湿重量; 83.7 ± 19.1 g)、タテボシガイ (n=40, 殻長; 59.6 ± 3.4 mm, 湿重量; 27.1 ± 5.5 g) である。試験項目は、二枚貝のろ過能力に影響を与えると推察される「懸濁物濃度」、「水温」および「溶存酸素(DO)濃度」とした。各パラメータの値は、現地データを参考に各パラメータ毎に3試験区を設定した。懸濁物濃度は、琵琶湖流入

河川(葉山川)の水質データからSS濃度おおよそ60, 40, 20mg/Lを想定し、それぞれ高濁度、中濁度、低濁度とした。水温は、葉山川の最低、平均、最高の水温を参考に5, 20, 30℃とした。また、DO濃度は、貧酸素状態、酸素飽和およびその中間として2, 5, >7mg/Lの3条件とした。

供試貝は、畜養中の個体群から外観、貝殻開閉運動等に異常がみられない健全な個体を選定した。実験水槽内の貝個体密度は、既往文献^{5,6)}での実験を参考に、1Lあたり貝1個体とした。本実験では、最初にポリプロピレン製水槽に各供試貝5個体/5Lを収容し、濃度調整水用の0.5Lを除いた4.5Lの試験水を入れ24時間馴致した。懸濁物濃度は、M-1人工餌料(日本農産工業(株)製)を用いて、低濁度(20mg.w.w./Lに相当)、中濁度(40mg.w.w./Lに相当)、および高濁度(60mg.w.w./Lに相当)に調整した。供試貝を馴致した後、調整溶液の添加を実験開始時として、30分毎に簡易濁度計を用いて濁度を測定した。計測は、一定の測定値(簡易濁度計の表示値)に収束するまで行った。ただし、DO実験の2および5mg/Lの2条件は、エアレーション曝気を止めて、供試貝の呼吸作用によってDOを消費させることで条件濃度まで低下させ、その時点から実験を開始した。エアレーション曝気を行わないこれらの実験については、自然沈降による懸濁物の減少量の補正を行った。懸濁物濃度の時系列的な濃度変化は、簡易濁度計表示値に対する人工餌料調整試験水のSS濃度との関係から換算式を算出し、SS濃度値として求めた。

2.2 懸濁物濃度実験結果

水温 20℃、曝気条件下で懸濁物濃度を変化させた

時の SS 濃度変化を Fig. 1 に示す。貝のろ過作用により、ドブガイは、30 分経過後から 3 条件とも濃度減少を示した。しかしながら、SS 濃度の低下に従うろ過効率も低減し、およそ 5mg/L (濁度計表示値 1.0) 付近に収束することが確認できた。また、タテボシガイの高濁度条件では、実験開始から 1,320 分後まで継続観察した結果、低濁度及び中濁度とほぼ同じように低下し、濁度計表示値はほぼ 0 に収束した。

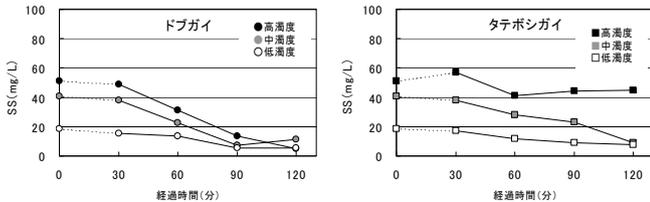


Fig. 1: Results Comparison of Suspended Matter Concentrations.

2.3 水温実験結果

中濁度濃度、曝気条件下で、水温を変化させた結果を、Fig. 2 に示す。ドブガイは、水温 20℃及び 30℃では 30 分経過後から、水温 5℃では 60 分経過後から SS 濃度が減少し始め、120 分経過時点の懸濁物減少量は 30℃ > 20℃ > 5℃ の順であった。タテボシガイでは、水温 20℃及び 30℃が 30 分経過以降同じ勾配で減少し、120 分経過時にはおおよそ SS 濃度 10mg/L に低下した。一方、水温 5℃ではすべての供試貝が開殻していたにもかかわらず 30 分経過以降もほとんど減少しなかった。一般に、生物の生理活性は温度の影響を受けるため、本実験でも限度はあるが、水温が高い程、呼吸活性は高くなる傾向が示された。水温実験の結果は、ドブガイ、タテボシガイとも低水温時には呼吸活性が低下し、懸濁物の除去能力が低下する可能性を示唆している。

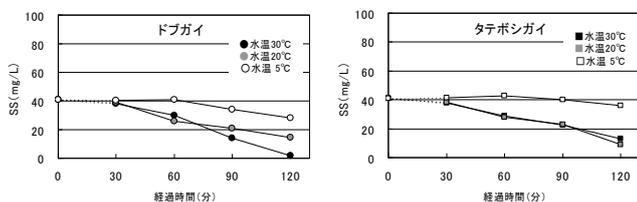


Fig. 2: Results Comparison of Water Temperatures.

2.4 DO 実験結果

水温 20℃、中濁度条件下にて、常時曝気する DO 7 mg/L 以上、無曝気の DO 5mg/L、2 mg/L での実験を行った。Fig. 3 に示すように、ドブガイは、DO 2mg/L 及び 5mg/L の水槽で、実験開始 30 分経過時の懸濁物濃度が初期投入値より上昇することが確認された。これは DO 消費のための長い馴致期間中に、供試貝から

排出された分泌物等による影響と考えられた。タテボシガイも、実験開始 30 分経過時に DO 2mg/L 及び DO 5mg/L で、初期投入時より高い値となった。しかしながら、それ以降はドブガイ、タテボシガイとも SS 濃度の減少が確認できた。既往知見によると、ヤマトシジミは DO が 1.5mg/L まで低下すると生存に影響するが、本結果では、120 分の短い時間での貧酸素状態ではあるが、ドブガイ、タテボシガイとも呼吸活性に大きな影響はなかったと考えられる。

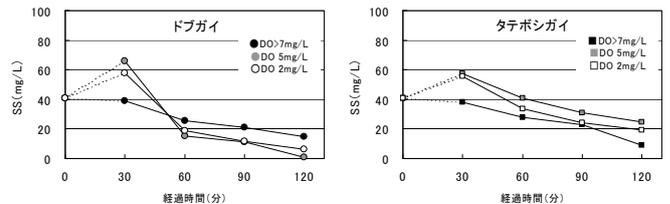


Fig. 3: Results Comparison of Dissolved Oxygen Concentrations.

3. 屋外実験

3.1 実験内容

室内水槽実験で得られたデータをもとに、自然環境下における二枚貝浄化能力を把握するため、琵琶湖南湖湖岸の琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター(Biyo センター)内の深池型浄化実験施設において、二枚貝の水質浄化効果を検証した。屋外実験は、幅 2.9m、長さ 9.0m、深さ 2.0m(水深 0.5m) の水槽を用いて、タテボシガイを投入した A 槽、ドブガイを投入した B 槽、貝類を投入しない C 槽 (コントロール) の 3 試験区を設定した。A および B 槽の貝密度は、滋賀県水産試験場の調査結果⁷⁾の琵琶湖に生息するドブガイとタテボシガイの個体密度から、平均 10 個体/m²と試算し、1 水槽あたり 270 個体を投入した。次に、室内水温実験の 30 分後から 120 分後までの結果をもとに、(1) 式を用いて平均個体湿重量から 1 個体当たりのろ過速度を算出した⁸⁾。そして、屋外実験実施時の水温を 24℃と想定した場合の 1 個体当たりのろ過速度は、ドブガイ 1.005 L/hr、タテボシガイ 0.727 L/hr と求められた。

$$F = \frac{V}{t} * \left(\ln \frac{C_0}{C_t} - \ln \frac{C_0'}{C_t'} \right) \div S \quad (1)$$

F : ろ過速度 (L/h)

V : 測定容器の容量 (L)

t : 測定時間 (h) ,

C_0 : 二枚貝スタート時の濁度

C_t : 二枚貝 t 時間後の濁度

C_0' : コントロールスタート時の濁度

C_t' : コントロール t 時間後の濁度

S : 二枚貝現存量 (g)

これより、屋外実験で実験水槽の水量(13m³)を二枚貝がろ過するのにかかる日数(滞留時間)は、およそ2~3日と計算され、流入水の通水(循環)速度を3.0L/minと設定した。

屋外実験は、原水を通水しながら各水槽の水質を比較する流水実験と、原水の濃度を変動させず初期濃度一定条件下で各水槽の水質経時変化を比較する止水実験の2つの実験を行った。

屋外実験の概要をTable 1およびFig. 4に示す。

Table 1: Outline of Field Experiments.

	流水実験	止水実験
浄化効果の評価方法	常時同一原水を通水し、各実験水槽の水質濃度を比較	実験開始時に原水水質を一定とし、水槽内の水質濃度の経時変化を比較
実験前準備	原水を5日間通水し、水質安定後、実験開始。 滞留時間3日間	原水を通水し、3試験区の濁度が同じであることを確認後、実験開始。 以後通水なし
実験期間	H19.8.11~9.20	H19.9.20~10.26
試験区	A槽:タテボシガイ 270個/m ² B槽:ドブガイ 270個/m ² C槽:コントロール 貝投入無し	
水槽規模	幅2.9m×長さ9.0m×深さ1.0m (最大水深0.5m) 川砂を厚さ0.3m底層に敷設	

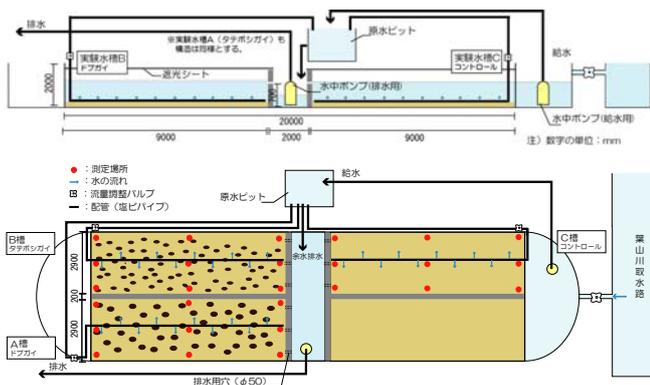


Fig.4: Schematic View of Field Tank Experiment.

3.2 屋外実験結果

3.2.1 流水実験結果

流水実験は、実験期間中の水温は24.3~28.0℃であった。pHは6.9~7.6とほぼ一定値で推移した。SSはコントロール区が1~4mg/Lの範囲で変動し、コントロール区に比べてタテボシガイ区、ドブガイ区とも実験期間中は低値を示した。これは二枚貝によってSSが除去された可能性を示唆している。クロロフィルaも、コントロール区(1.4~2.6 μg/L)と比べ、タテボシ

ガイ区、ドブガイ区は低値を示した。COD、TOC、窒素、リンは、3試験区の濃度差はほとんどなく、貝のろ過効果は認められなかった (Fig 5)。

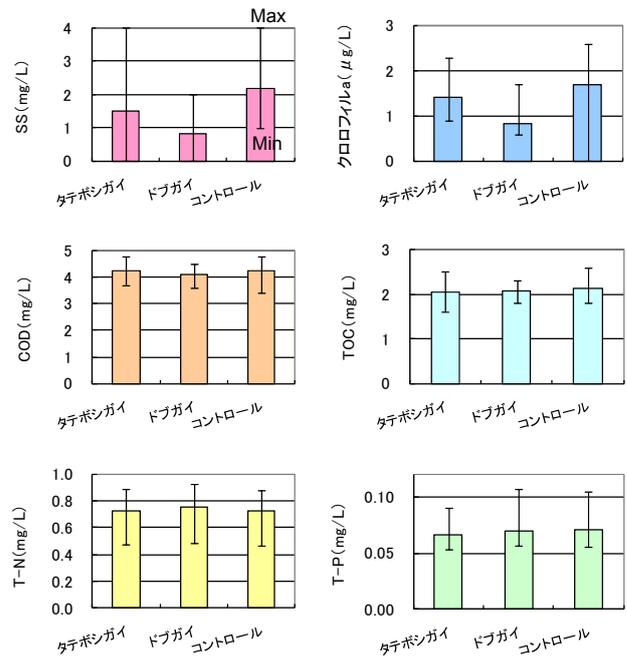


Fig.5: Average Concentration of Water Quality during Running Water Experiment.

3.2.2 止水実験結果

止水実験期間中の水温は、流水実験時より低く15.5~20.6℃であった。pHは7.5~8.5の範囲であったが、時間経過とともに上昇していた。DOも7.6~11.0mg/Lの範囲で、pHと同様に上昇傾向がみられた。実験開始の各水槽の平均濃度は、SS 3mg/L、COD 3.7mg/L、TOC 1.8mg/L、T-N 0.85mg/L、T-P 0.046 mg/L、およびクロロフィルa 1.6 μg/Lであった。

SSは、1日目にコントロール区とタテボシ区が3mg/Lから1mg/Lに、ドブガイ区が2mg/Lから1mg/Lまで減少した。今回の屋外実験におけるSSは、低濃度であり除去効果が明確に表れないが、止水実験ではむしろ沈降の影響の方が大きいと考えられた。リンも沈降による濃度低下が観察され、3試験区の濃度差は認められなかった。逆に、COD、TOCは1~3日目まではわずかに低下したが、その後は緩やかに上昇し、3試験区ともほぼ同様な濃度で推移した。T-Nは、タテボシ区が他の試験区より高い値を示した。一方、クロロフィルaは、コントロール区において、3日目に急激な濃度の上昇が確認された。これは、pHやDOの上昇からも推察されるように、止水による槽内での植物プランクトンの増加が原因と考えられた。しかし、常に貝を投入した試験区のクロロフィルaは、コントロール区に対して常に低い値を維持していた。したがって、二枚貝のろ過作用による植物プランクトンの除去効果と判断できる (Fig.6)。

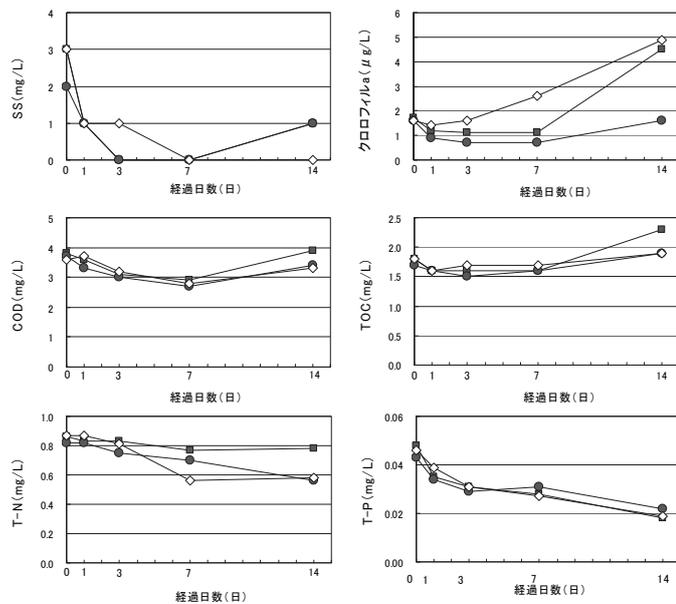


Fig.6: Variation of Water Quality during Static Water Experiment. (■ *Unio douglasiae biwae* ● *Sinanodonta woodiana* ◇ Control)

3.3 二枚貝の水質浄化効果

今回の実験から、流水実験における各水槽の水質比較では、SS やクロロフィル a の懸濁物に対しては、貝が存在する試験区の浄化効果が認められた。しかし、原水の有機物や栄養塩類は、大部分が溶存態で存在しているため、これらの浄化効果は確認できなかった。初期濃度を3区とも同一に調整し、経時変化を検討した止水実験では、クロロフィル a で貝投入区水槽の浄化効果が認められた。

また、 ^{13}C をマーカーとしたアコヤガイの炭素代謝で、餌料となる植物プランクトンに同化されて有機炭素となった ^{13}C は、速やかに軟体部に取り込まれ体外に排出されること⁹⁾ や、ヤマトシジミが懸濁態 COD である植物プランクトンを取り込み溶存態 COD として排出すること¹⁰⁾ が報告されている。このことから、COD、TOC、T-N が実験期間後半にコントロール区より高くなった原因は、供試貝の代謝活動によって排泄物が水中へ放散したためと考えられた。なお、14日目のクロロフィル a の増加は、体内にクロロフィルを持つと思われる繊毛虫が水槽内で異常増殖したことによるものと推察されたが、個体あたりのろ過速度が大きいドブガイ区は、貝のろ過作用によりクロロフィル a 濃度が抑制されていたと思われる。

流水実験、止水実験ともに、クロロフィル a について、ろ過食性である二枚貝の浄化効果が実証された。そこで、単位重量あたりのクロロフィル a 除去量を、実験開始後3日目までの水質濃度から求めた。その結果、クロロフィル a 除去量は、流水実験ではタテボシガイ $0.55 \mu\text{g}/\text{日}\cdot\text{wet-g}$ 、ドブガイ $0.33 \mu\text{g}/\text{日}\cdot\text{wet-g}$ 、止水実験ではタテボシガイ $0.40 \mu\text{g}/\text{日}\cdot\text{wet-g}$ 、ドブガイ

イ $0.17 \mu\text{g}/\text{日}\cdot\text{wet-g}$ と試算された。

4. まとめ

ろ過食性である二枚貝について、有機態懸濁物であるクロロフィル a やそれらを含む SS の水質浄化効果が検証できた。一方、原水中の大部分が溶存態成分である窒素やリンに対しては、ろ過による直接的な浄化効果はないものの、これらは植物プランクトンに取り込まれ、二枚貝はその植物プランクトンを取り込み、次の高次捕食者に捕食されるといった、生態系サイクルの中での浄化効果が期待できると考えられた。

このような観点から、琵琶湖水質および水環境における貝類は、生態系全体の中での物質循環への寄与度が高いと考えられた。したがって、水質悪化等で減少した琵琶湖の貝類を回復させるためにも、生息域である水陸移行帯の創出や環境保全が今後も重要であると考えられる。

謝辞

本研究は、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所の受託業務として実施した。実験に際し KANSO テクノスの松村淳氏に二枚貝の生態に関するアドバイス等を頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 中村幹雄編著: 日本のシジミ漁業 その現状と問題点, たら書房, p.265 (2000)
- 2) 山室真澄: 食物連鎖を利用した水質浄化技術, 化学工学, 58, pp.214-220 (1994)
- 3) 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, 秦明德, 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, 島根大学汽水域研究センター, *LAGUNA*, No.11, pp.109-124 (2004)
- 4) 渡部正弘, 栗野建, 小山孝昭, 佐々木久雄, 大庭和彦: 伊豆沼の水生植物と内沼のカラス貝分布調査 (水質浄化に関連して), 宮城県保健環境センター年報, 第22号, pp.115-118 (2004)
- 5) 藤倉克則, 瀬川進, 奥谷喬司: イシガイ *Unio douglasiae* の酸素消費速度及びアンモニア態窒素排泄速度, 貝類学雑誌, Vol.47, No.3, pp.207-211 (1988)
- 6) 井岸寧, 森雅佳, 松岡陽子: 閉鎖性水域における異常発生藻類の制御技術, 資源環境対策, 9月号 (2002)
- 7) 滋賀県水産試験場: 平成7年度琵琶湖沿岸帯調査報告書, 滋賀県水産試験場, (1998)
- 8) 藤岡克己, 戸田一則, 森俊樹, 山口啓子, 相崎守弘: 人工湿地におけるヤマトシジミ濾過速度の季節変化, 水環境学会誌, 29 (6), pp.319-326 (2006)
- 9) 松村淳: 貝類による炭酸ガス固定に関する基礎研究(1992~1994), 関西電力総合技術研究資料 (1995)
- 10) 村沢明美, 大嶋和雄: ヤマトシジミによる濁沼の水質変化(その2. ヤマトシジミの食性による COD 形態の変化), 茨城大学地域総合研究所所報, No.35 (2002)