

第3章 覆砂場所のモニタリング調査

3.1. 水質調査

環境保全研究所 水・土壌環境部

3.1.1. 調査目的

沿岸に造成した覆砂試験ヤードを活用した覆砂によるシジミ等に及ぼす影響調査として、試験区及びその周辺において水質の状況を調査し、覆砂による環境改善効果を把握することを目的とした。

3.1.2. 調査内容

3.1.2.1. 調査地点

調査地点を表1、図1に示す。湖岸通り区（諏訪日赤前）は、平成28年度に覆砂した試験区内の地点③及び比較対照として試験区外側の地点⑥を調査地点とした。高木沖（高木運動公園前）は、令和元年度～令和2年度に覆砂した試験区内の地点⑦及び比較対照として試験区外側の地点⑧を調査地点とした。

表1 調査地点一覧

地区	No.	区分	位置	水深(m)※	底質	備考
湖岸通り区	③	試験区	試験区内・岸から25m	0.8	砂	H28 覆砂実施
	⑥	対照区	岸から130m	1.5	泥	
高木沖	⑦	試験区	試験区内・岸から28m	1.8	砂泥	R1-R2 覆砂実施
	⑧	対照区	岸から28m、⑦から75m	1.8	泥	

※水深は水質調査日に測定した平均値

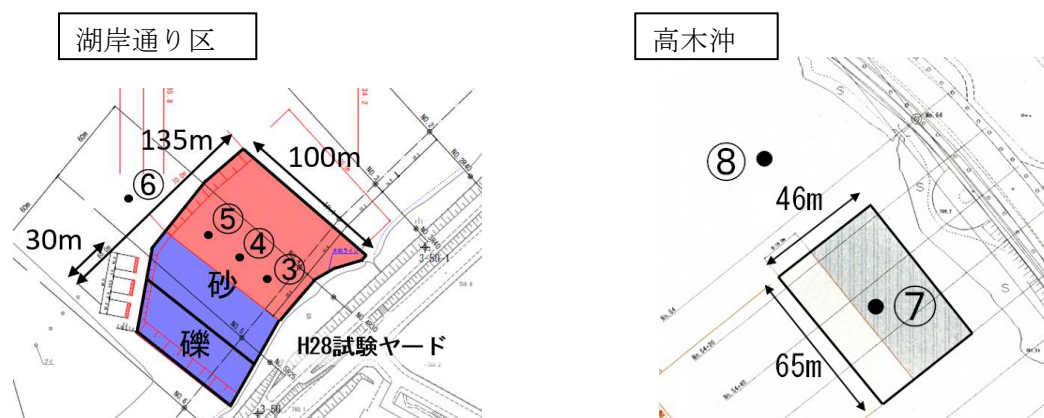


図1 調査地点図

3.1.2.2. 調査日

令和5年7月4日、8月1日、10月17日

3.1.2.3. 調査方法

試料は、湖底から 20 cm 上の底層水を水中ポンプ（RYOBI 製 RMG-3000）により底泥を巻き上げないよう静かに（20 mL/s 程度に流量を調節）ポリバケツに採取し、攪拌混合した後、2 L ポリ瓶に移した。また、表層水を船上から採取した。

3.1.2.4. 測定項目及び分析方法

測定項目及び分析方法を表 2 に示す。なお、溶存態成分はガラス繊維ろ紙 GF/B でろ過したろ液を用いて測定した。

表 2 水質分析方法

項目	分析方法
水温	サーミスター温度計（JIS K0102 7.2）
水素イオン濃度（pH）	ガラス電極法（JIS K0102 12.1）
電気伝導率（EC）	電気伝導率計（JIS K0102 13）
酸化還元電位（ORP）	酸化還元電位計
透明度	透明度法（上水試験法 II-3-5）
透視度	透視度計（JIS K0102 9）
溶存酸素（DO）	光学式センサ法（JIS K0102 32.4）
浮遊物質（SS）	環境庁告示第59号付表9
化学的酸素要求量（COD）	過マンガン酸カリウム法（JIS K0102 17）
溶解性化学的酸素要求量（D-COD）	過マンガン酸カリウム法（JIS K0102 17）
全窒素（T-N）	紫外線吸光光度法（JIS K0102 45.2）
溶解性窒素（D-T-N）	紫外線吸光光度法（JIS K0102 45.2）
アンモニア性窒素（NH ₄ -N）	イオンクロマトグラフ法（JIS K0102 43.2.5）
亜硝酸性窒素（NO ₂ -N）	ナフチルエチレンジアミン吸光光度法（JIS K0102 43.1.1）
硝酸性窒素（NO ₃ -N）	イオンクロマトグラフ法（JIS K0102 43.2.5）
全りん（T-P）	ペルオキシ二硫酸カリウム分解法（JIS K0102 46.3.1）
溶解性りん（D-T-P）	ペルオキシ二硫酸カリウム分解法（JIS K0102 46.3.1）
りん酸態りん（PO ₄ -P）	モリブデン青吸光光度法（JIS K0102 46.1.1）
有機体炭素（TOC）	紫外線酸化-ガス透過膜式電気伝導率測定法（JIS K0102 22.1 備考2.）
溶存有機体炭素（DOC）	紫外線酸化-ガス透過膜式電気伝導率測定法（JIS K0102 22.1 備考2.）
クロロフィルa	メタノール抽出-蛍光光度法（樋口ほか(1995)※）

※樋口ほか(1995), メタノール抽出法による水中のクロロフィルaの測定, 長野県衛生公害研究所研究報告, No. 18, 43-48

3.1.3. 調査結果及び考察

3.1.3.1 湖岸通り区（地点③、⑥）

平成 28 年度に覆砂した試験区の地点③について、対照区の地点⑥と比較して覆砂による水質への影響を調査した。底層水の測定項目別の測定結果を図 2 に、地点毎の底層水と表層水の濃度差

を図4に示す。

<調査地点の状況（水生植物）>

調査地点における水生植物の状況について、7月の調査日には試験区で水生植物は観察されず、対照区でヒシが数株観察された。8月の調査日には試験区でヒロハノエビモやセキショウモが観察され、対照区ではヒシ、クロモ、マツモが観察された。10月の調査日には試験区でヒロハノエビモ、クロモが観察され、対照区ではクロモ、マツモが観察された。試験区周辺はヒシが繁茂する一帯であるが、試験区内ではヒシが繁茂せずに沈水植物の群落が見られており、覆砂によるヒシの繁茂抑制の効果が継続していることが確認された。

<窒素>

覆砂試験区③と対照区⑥の底層水の窒素濃度について、硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)濃度は7、8、10月に試験区で0.02-0.46 mg/L、対照区で0.22-0.62 mg/Lであり、調査日毎の比較で試験区の方が0.16-0.30 mg/L低かった。アンモニア性窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)と亜硝酸性窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)濃度は、試験区・対照区とも0.01 mg/L未満で濃度差が見られず、無機態窒素(DIN)の形態は硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)が主であった。無機態窒素と同様に溶存態窒素(DTN)濃度は、試験区で0.20-0.55 mg/L、対照区で0.44-0.72 mg/Lであり、試験区の方が0.17-0.27 mg/L低かった。全窒素(TN)濃度は、試験区で0.41-0.74 mg/L、対照区で0.68-0.89 mg/Lであり、7、8月に試験区の方がそれぞれ0.15、0.27 mg/L低かった(参考：環境基準0.6 mg/L)。このように試験区で硝酸性窒素、溶存態窒素、全窒素などの濃度の低下が見られた。なお、R5年度調査では確認されなかったが、R4年度までの調査では試験区で夏季にアンモニア性窒素濃度が低く、覆砂による底泥からのアンモニア性窒素の溶出の抑制が見られていた。

調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差（底層水の測定値－表層水の測定値）を比較すると(図4)、試験区では各成分の鉛直方向の濃度差が小さいが、対照区では7、8、10月に全窒素、溶存態窒素、無機態窒素、硝酸性窒素の濃度差が大きく底層水の方が濃度が高かった。その差は0.2-0.3 mg/L程度で、底層水の調査地点間(水平方向)の濃度差と同程度であった。対照区では底泥から底層水への窒素成分の供給(栄養塩の溶出)等による影響が考えられる。

<りん>

底層水の全りん(TP)濃度は、試験区で0.033-0.057 mg/L、対照区で0.032-0.17 mg/Lであり、7、8月に試験区の方がそれぞれ0.099、0.12 mg/L低かった(参考：環境基準0.05 mg/L)。懸濁態りん濃度(全りと溶存態りん濃度の差)は、全りの7-9割を占めており、全りと同様の傾向であった。りん酸態りん($\text{PO}_4\text{-P}$)濃度は、0.003 mg/L程度であり、試験区と対照区の差が見られなかった。SS濃度は、7、8月に試験区の方がそれぞれ3、5 mg/L低く(透視度は20 cm程度高く)、懸濁態りん濃度と類似の傾向であった。なお10月には試験区でSSが高いが、調査時に沈水植物の群落や切れ藻が多く観察され、クロロフィルa濃度も高かった。

調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差を比較すると(図4)、試験区では各成分の鉛直方向の濃度差が小さいが、対照区では7、8月に底層水の方が全りん、懸濁態りん、SSで0.06-0.07 mg/L程度、SSで4-5 mg/L程度高かった。このように試験区では全りん、SSなど懸濁物質に係る項目の濃度が低く、覆砂による底泥の巻き上げの抑制、植物プランクトン(デトリタス)の

発生抑制等の複数の要因が可能性として挙げられる。

<溶存酸素(DO)>

底層水の溶存酸素(DO)濃度は、7、8月の調査日時(9~12時)において試験区で6.9-9.2 mg/L、対照区で3.4-8.7 mg/Lであった。8月調査日には対照区の方が4 mg/L程度低く、貧酸素状態(<4 mg/L)であった。また、試験区では鉛直方向の濃度差は見られなかったが、対照区では8月に底層水の方が5 mg/L程度低く、底泥の酸素消費量の違いが影響している可能性が考えられる。ただし、調査エリア内で繁茂する沈水植物による影響や沿岸域で水深が浅いことの影響も考えられる。

3.1.3.2 高木沖(地点⑦、⑧)

令和元年~2年度に覆砂した試験区の地点⑦について、対照区の地点⑧と比較して覆砂による水質への影響を調査した。底層水の測定項目別の測定結果を図3に、地点毎の底層水と表層水の濃度差を図5に示す。

<調査地点の状況(水生植物)>

調査地点における水生植物の状況について、試験区及び対照区の周辺一帯は、調査期間中ヒシが繁茂していた。また、8月調査日には試験区を含む一部分でヒシが刈り取られていた。7月調査日には試験区及び対照区でヒシの繁茂が観察された。8月調査日には試験区でヒシの繁茂が見られず(刈り取り後)、対照区でヒシが繁茂していた。10月調査日には試験区と対照区でヒシ、クロモ、マツモが観察された。

<窒素>

覆砂試験区⑦と対照区⑧の底層水の窒素濃度について、硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)濃度は試験区で0.02-0.23 mg/L、対照区で0.03-0.45 mg/Lであり、7、8月では試験区の方が0.13、0.22 mg/L低かった。アンモニア性窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)と亜硝酸性窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)濃度は試験区・対照区とも0.01 mg/L未満で濃度差が見られず、無機態窒素(DIN)の形態は硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)が主であった。無機態窒素と同様に溶存態窒素(DTN)濃度は、試験区で0.16-0.48 mg/L、対照区で0.29-0.71 mg/Lであり、7、8月では試験区の方が0.23、0.24 mg/L低かった。全窒素(TN)濃度は、試験区で0.56-0.97 mg/L、対照区で0.64-0.95 mg/Lであり、8月に覆砂区の方が0.16 mg/L低かった。このように試験区で硝酸性窒素、溶存態窒素、全窒素などの濃度の低下が見られた。なお、R5年度調査では確認されなかったが、R4年度までの調査では試験区で夏季にアンモニア性窒素濃度が低く、覆砂による底泥からのアンモニア性窒素の溶出の抑制が見られていた。

調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差(底層水の測定値-表層水の測定値)を比較すると(図4)、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素以外の項目について、試験区では7月に、対照区では7、8月に濃度差が見られ、底層水の方が0.2~0.5 mg/L程度濃度が高かった(対照区・8月の全窒素除く)。対照区・8月の表層では、ヒシが高密度に繁茂して発生したアオコが滞留しており、全窒素、全りん、SS、クロロフィルaなどの濃度が底層より顕著に高かった。

調査区では底泥から底層水への窒素成分の供給(栄養塩の溶出)、植物プランクトンの増殖、デトリタスの沈降、底泥の巻き上げ等の複数の要因が底層水の濃度上昇に影響している可能性が考

えられる。また、試験区と対照区のヒシ刈取りの有無が異なるため、ヒシ繁茂状況の違いも要因として考えられる。

<りん>

底層水の全りん(TP)濃度は、試験区で 0.045-0.14 mg/L、対照区で 0.067-0.17 mg/L であり、7、8、10 月に試験区の方が 0.022-0.046 mg/L 低かった。懸濁態りん濃度は、全りんの 7-9 割を占めており、全りと同様の傾向であった。りん酸態りん($\text{PO}_4\text{-P}$)濃度は、試験区で 0.003-0.006 mg/L、対照区で 0.006-0.014 mg/L であり、7、8 月に試験区の方が 0.010 mg/L 低かった。SS 濃度は、7 月に対照区で 39 mg/L と高く、クロロフィル a 濃度も高かった。

調査地点毎の底層水と表層水の鉛直方向の濃度差を比較すると(図5)、試験区では各成分の濃度差が小さいが、対照区では8月の全りん、懸濁態りんを除き、底層水の方が概ね各項目の濃度が高く、上下層の差が大きかった(差 0.01-0.02 mg/L 程度)。対照区・8月では、アオコの発生と滞留により表層で全りん、懸濁態りんなどの濃度が顕著に高かった。

試験区では覆砂により底泥からのりん酸態りんの溶出が抑制された可能性が考えられ、また試験区の底層水の方が全りん、懸濁態りんの濃度が低く、覆砂による底泥の巻き上げの抑制、植物プランクトンの発生抑制(デトリタスの沈降)等の複数の要因が可能性として挙げられる。また、試験区と対照区のヒシ刈取りの有無が異なるため、ヒシ繁茂状況の違いも要因として考えられる。

<溶存酸素(DO)>

底層水の溶存酸素(DO)濃度は、7、8、10月の調査日時(9~12時)において試験区で 2.9-3.7 mg/L、対照区で 2.3-2.7 mg/L であり、試験区より対照区の方が 1 mg/L 程度低かった。底層水と表層水の鉛直方向の濃度差について、7、8、10月に両地点で底層水の方が 3-7 mg/L 程度低かった。両地点では調査日に貧酸素状態($\text{DO} < 4 \text{ mg/L}$)であり、ヒシ繁茂域の域内に位置することから水流阻害等の影響によりDOが低下していたと考えられる。また、対照区の方が底層DOがやや低い傾向が見られたが、底泥の酸素消費量の違い、調査エリア内の沈水植物の繁茂状況の違い(ヒシの刈取りの有無)などが影響している可能性が考えられる。

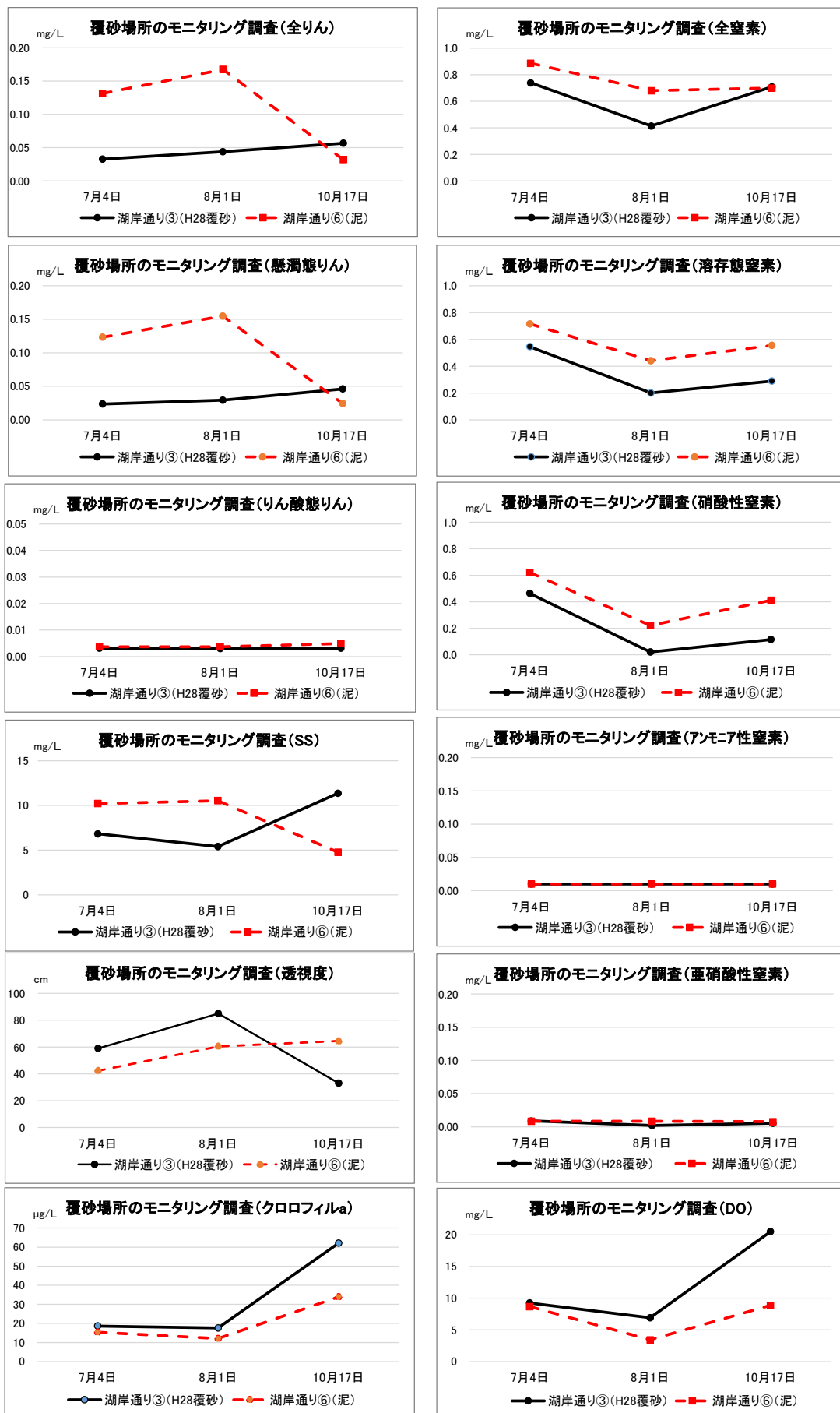


図2 湖岸通り区における水質測定結果（底層水）

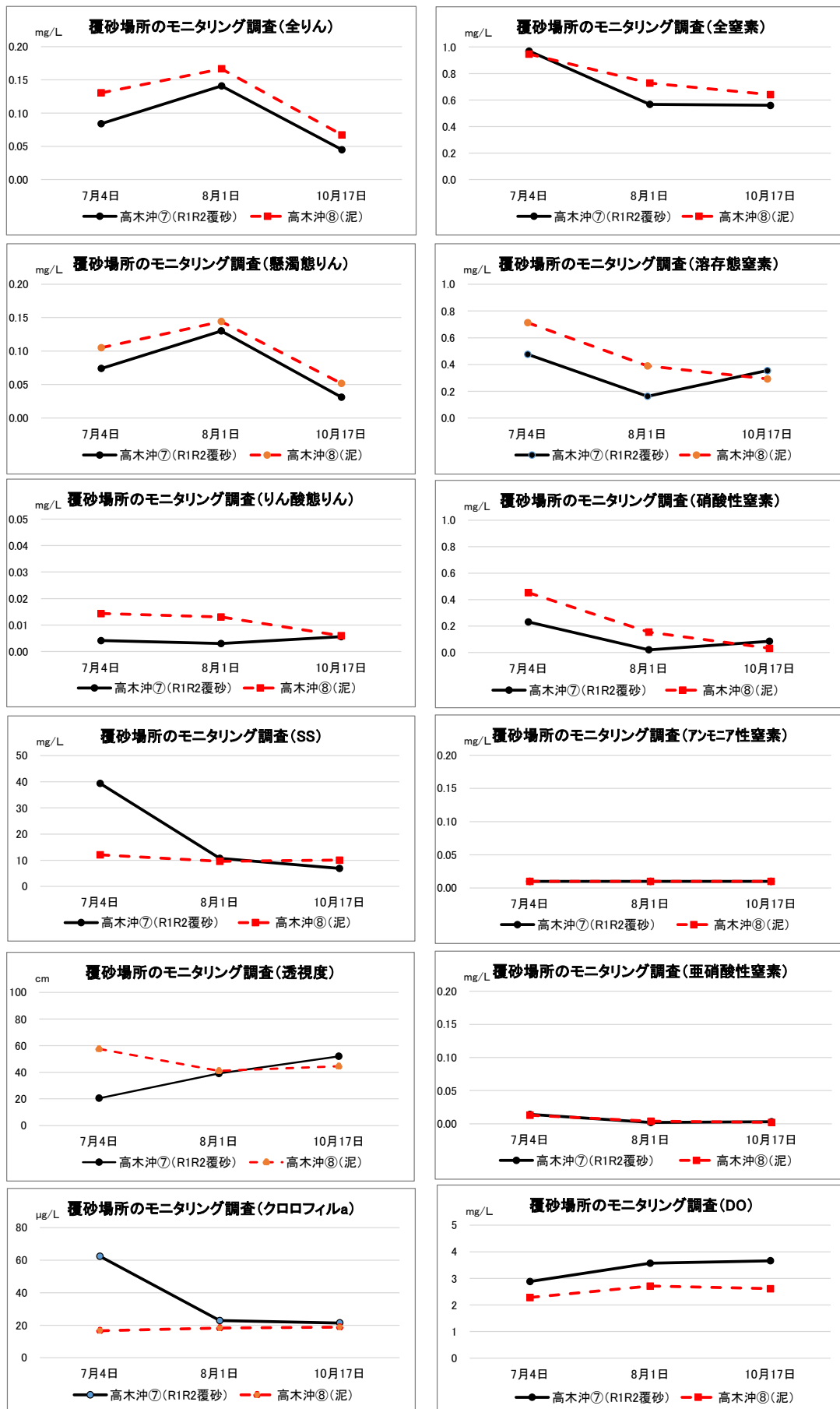


図3 高木沖における水質測定結果（底層水）

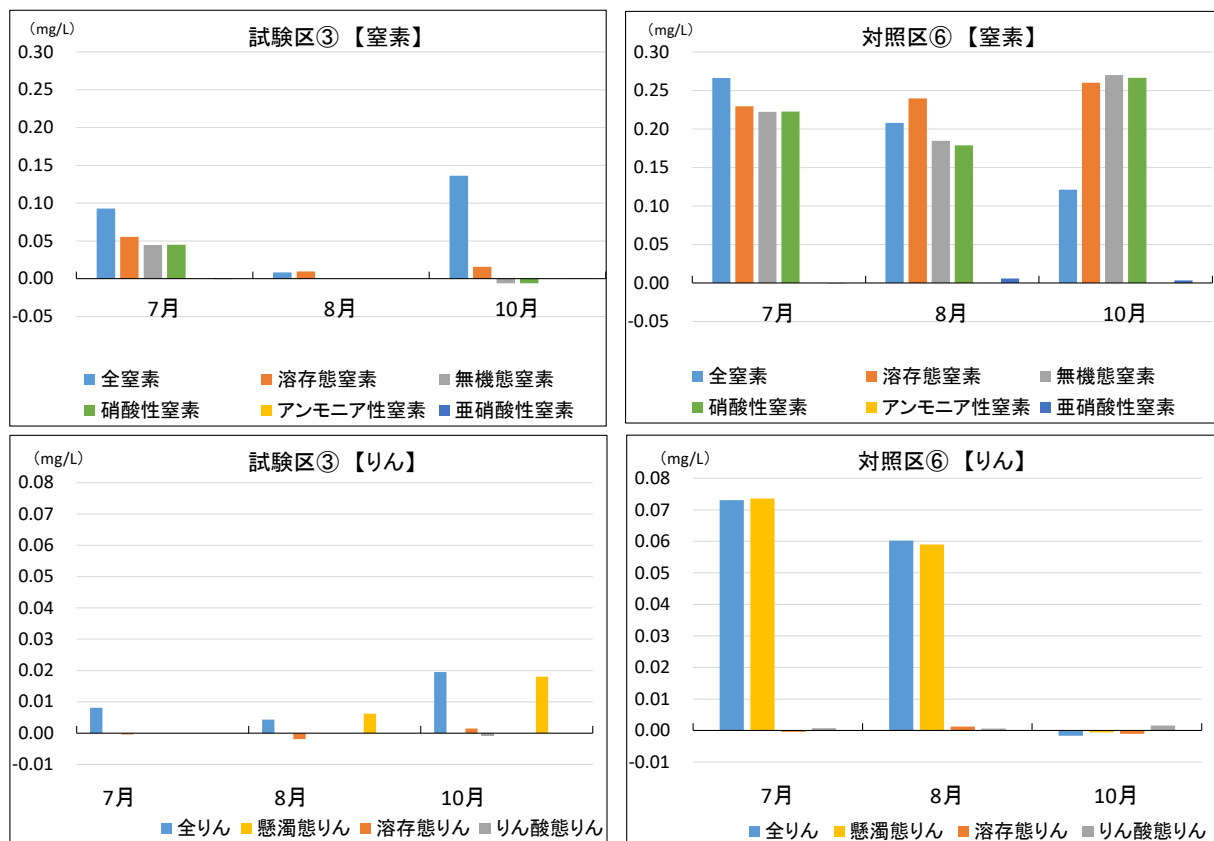


図4 地点毎の底層水と表層水の濃度差【湖岸通り区】（上段：窒素、下段：りん）
（縦軸の値：底層水の測定値－表層水の測定値）

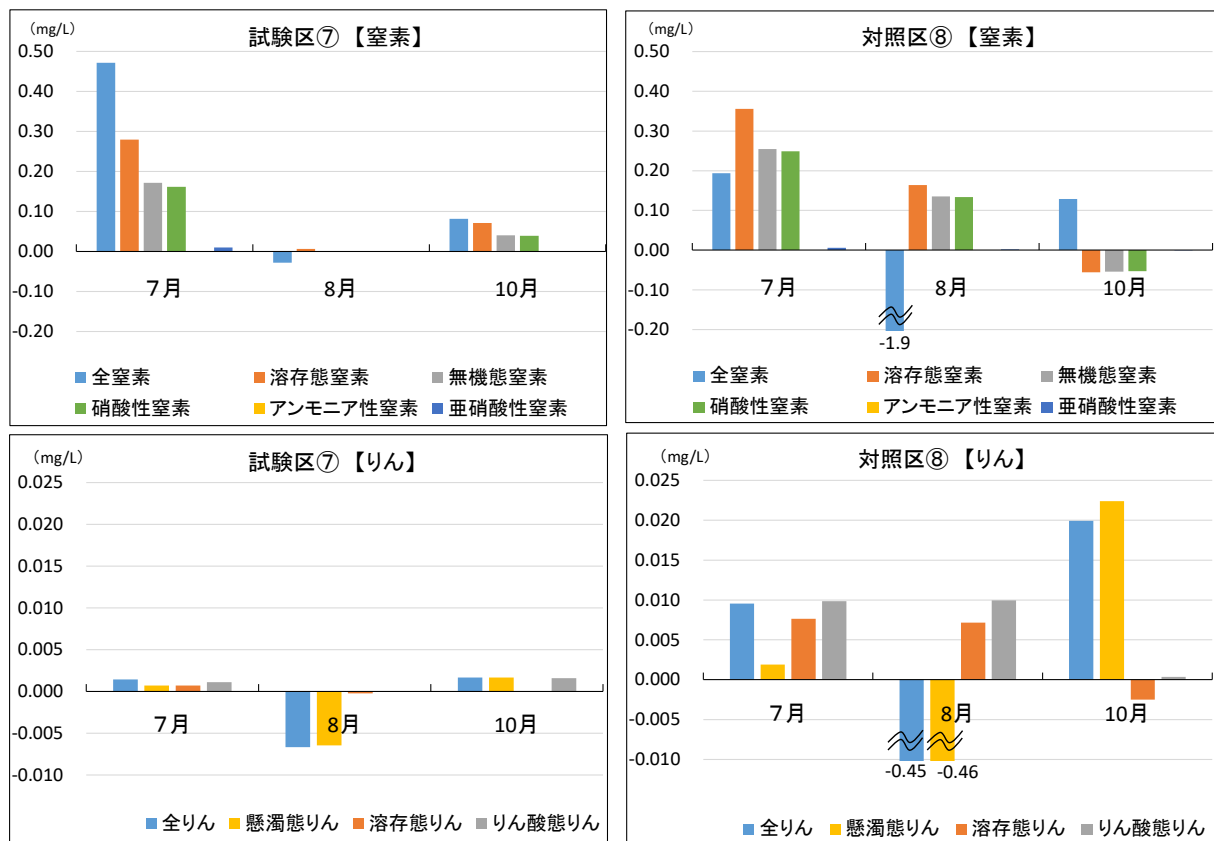


図5 地点毎の底層水と表層水の濃度差【高木沖】（上段：窒素、下段：りん）
（縦軸の値：底層水の測定値－表層水の測定値）

3.1.4. まとめ

覆砂による水質への影響について、2地区で調査を実施した。2地区の調査結果から、窒素、りん等について概ね類似の傾向が見られた。

窒素について、湖岸通り区及び高木沖の調査地点における底層水の硝酸性窒素、溶存態窒素、全窒素等の濃度は、夏季(7、8月)を中心に全般的に対照区に比べて試験区の方が低い傾向が見られた。試験区では、従前の調査で見られた底泥からの溶出抑制によるアンモニア性窒素の対照区との濃度差は確認されなかったが、栄養塩である硝酸性窒素(無機態窒素)や環境基準である全窒素の濃度の低下が見られ、覆砂による水質改善効果として現れたものと考えられる。

りんについて、りん酸態りん、懸濁態りん、全りん等の濃度は、夏季(7、8月)を中心に全般的に対照区に比べて試験区の方が低い傾向が見られた(湖岸通り区のりん酸態りん除く)。覆砂による水質改善効果として、試験区では底泥からのりん酸態りんの溶出が抑制された可能性が考えられ、また全りん、懸濁態りん等の懸濁物質に関係する項目の濃度が低いことから、底泥の巻き上げ抑制や植物プランクトンの発生抑制等の要因が可能性として挙げられる。

また、上述のとおり調査地点間(底層水)の水平方向に栄養塩類等の濃度差を生じていること、さらに各調査地点の表層水と底層水の鉛直方向の濃度差から、覆砂試験区と対照区の底質が底層水に与える影響の違いが確認された。覆砂による栄養塩類の底泥溶出、植物プランクトンの増殖や死滅によるデトリタスの沈降、底泥の巻き上げ等の抑制による影響が可能性として考えられる。今後、影響要因を検討するためには、懸濁粒子の沈降量、植物プランクトン動態、底泥からの巻き上げ量等の実態を調査していく必要があると考える。

溶存酸素濃度について、両地区で夏季を中心に対照区の方が低く、覆砂による底泥の酸素消費量の違いが影響している可能性が考えられるが、各地点における水生植物の繁茂状況の違いによる影響、沿岸域で水深が浅いことの影響も考えられる。目的に応じた対照地点の選定やDOの連続観測などが、覆砂改善効果のさらなる把握に繋がると考えられる。

過去の調査と比較すると、R5年度の気象条件は年平均気温が例年より高く、春から秋にかけて記録的な高温であった。湖岸通り区(覆砂施行から7年程度経過)では、底泥からの溶出量に影響する底層水水温が、猛暑であったH30より8月調査日で2℃低かったが(8月調査時の対照区⑥底層水温：H30 28.2℃、R5 26.2℃)、H30から概ね同様の傾向(改善効果)が継続して確認されている。高木沖では、覆砂後3年程度が経過しており、R4調査と同様に他の調査区と類似した傾向が確認された。ただし、調査地点でのヒシ刈り取りの有無、ヒシ繁茂による流動阻害・アオコの滞留など水生植物の繁茂状況の違いによる影響も考えられるため、対照地点の設定などが課題である。

3.2. 底質調査

環境保全研究所 水・土壌環境部

3.2.1. 調査目的

沿岸に造成した覆砂試験ヤードを活用し、覆砂によるシジミ等に及ぼす影響調査として、試験区及びその周辺において底質の状況を調査し、覆砂による環境改善効果を把握することを目的とした。

3.2.2. 調査内容

3.2.2.1. 調査地点

調査地点を表1、図1に示す。湖岸通り区（諏訪日赤前）は、平成28年度に覆砂した試験区内の地点③及び比較対照として試験区外側の地点⑥を調査地点とした。高木沖（高木運動公園前）は、令和元年度～令和2年度に覆砂した試験区内の地点⑦及び比較対照として試験区外側の地点⑧を調査地点とした。

表1 調査地点一覧

地区	No.	区分	位置	水深(m)	底質	備考
湖岸通り区	③	試験区	試験区内・岸から25m	0.8	砂	H28 覆砂実施
	⑥	対照区	岸から130m	1.5	泥	
高木沖	⑦	試験区	試験区内・岸から28m	1.7	砂泥	R1-R2 覆砂実施
	⑧	対照区	岸から28m、⑦から75m	1.8	泥	

※水深は底質調査日に測定した平均値。

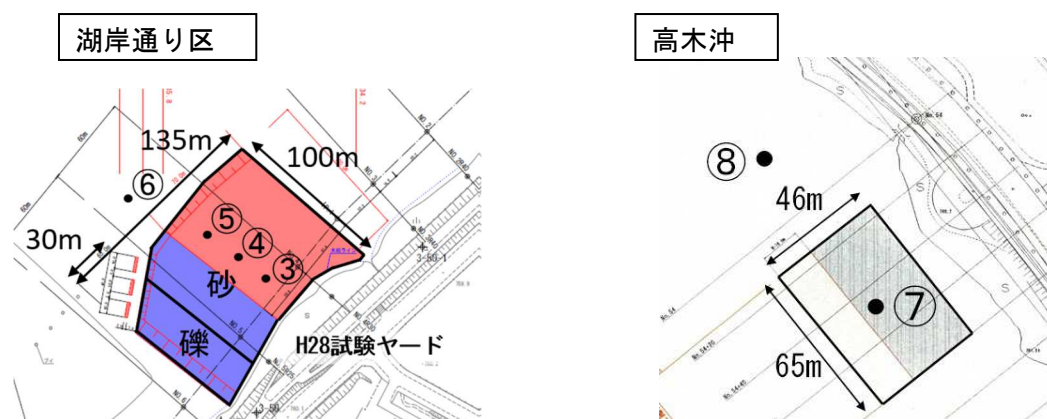


図1 調査地点図

3.2.2.2. 調査日

令和5年6月27日(又は7月4日)、10月3日

3.2.2.3. 採泥方法等

強熱減量、全窒素及び全りん測定用試料について、調査地点ごとにエクマンバー型採泥器で3回採取し、ステンレス製バット中で混合した後、2mmふるいで小石などの異物を除いたものをガラス瓶(1L)に採取した。実験室内では採取した試料をステンレスバット上で風乾し、分析に供した。

粒度分布測定用試料について、調査地点ごとにエクマンバー型採泥器でポリエチレン製容器(12L)に3回採取し、分析用試料とした。

3.2.2.4. 測定項目及び分析方法

測定項目及び分析方法を表2に示す。

表2 底質分析方法

測定項目	分析方法
泥温	サーミスタ温度計
強熱減量	底質調査法 II 4.2
全窒素	ケルダール分解 中和滴定法 (底質調査方法 II 4.8.1.1)
全りん	硝酸-硫酸分解 モリブデン青吸光光度法 (底質調査方法 II 4.9.1)
粒度分布	4.75mm、2mm、425 μ m、75 μ mの試験ふるいによる分別土の粒度試験方法 (JIS A 1204)、泥分率 (底質調査方法 II 4.3)

3.2.3. 調査結果

3.2.3.1. 湖岸通り区(地点③～⑥)

平成28年度に覆砂した試験区③について7年程度経過した状況について確認するとともに、対照区⑥と比較して覆砂による底質改善状況を確認した。なお、地点③は砂状、地点⑥は泥状であった。水生植物の状況について、6月調査日に試験区では水生植物が観察されず、対照区ではヒシが数株観察された。10月調査日に試験区ではヒロハノエビモ、クロモが、対照区ではクロモ、マツモが観察された。

<強熱減量>

測定結果を図3に、経年変化(年度別の平均値の推移)を図4に示す。

令和5年度の測定結果について、覆砂した試験区の地点③の強熱減量(有機物含有量の目安)の値は2.1-2.2%であり、対照区の地点⑥の値12%と比べて平均9.5ポイント低かった(対⑥比1.9割)。また、試験区、対照区とも調査時期による差は見られなかった。

経年変化について、試験区③の強熱減量の年度別の平均値は、覆砂前(平成28年8月)は12%

であったが覆砂後は 2.1%に改善し、令和 5 年度の値も 2.2%と低い値を維持していた。なお、対照区⑥の平均値は 11-13%の範囲で推移している。

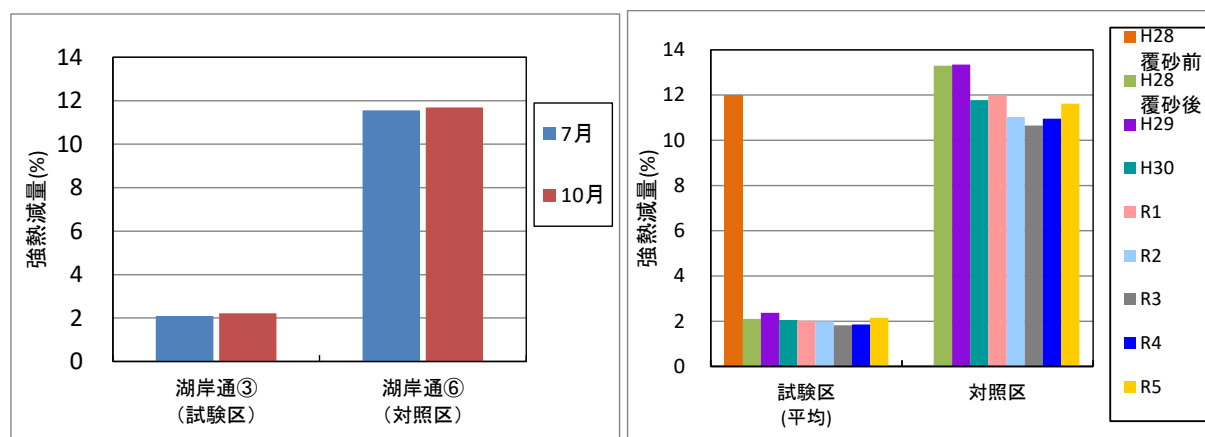


図 3 強熱減量の令和 5 年度測定結果【湖岸通り区】 図 4 強熱減量の経年変化※【湖岸通り区】

※経年変化について、「試験区平均」は試験区内の複数の調査地点の平均値を示し、平成 28 年度の値は平成 28 年度調査地点番号で試験区⑦～⑨及び対照区⑬の値を示した(以下、湖岸通り区のグラフについて同様)

<全窒素>

測定結果を図 5 に、経年変化を図 6 に、値を底質試料の乾燥重量に対する物質の重量で示す。

測定結果について、覆砂した試験区③の全窒素濃度は 0.27-0.41 mg/g であり、対照区⑥の濃度 2.7-2.9 mg/g と比べて平均 2.5 mg/g 低かった (対⑥比 12%)。また、調査時期による傾向は見られなかった。

経年変化について、試験区の全窒素濃度は、平成 28 年度の覆砂前が 2.1 mg/g であったが平成 28 年度覆砂後に地点毎の平均値で 0.10-0.22 mg/g と低い値に改善され、その後平成 29 年度～令和 4 年度に 0.19-0.32 mg/g の範囲で推移し、令和 5 年度も 0.41 mg/g と低い値を維持していた。なお、対照区⑥の平均値は 2.6-3.4 mg/g の範囲で推移している。

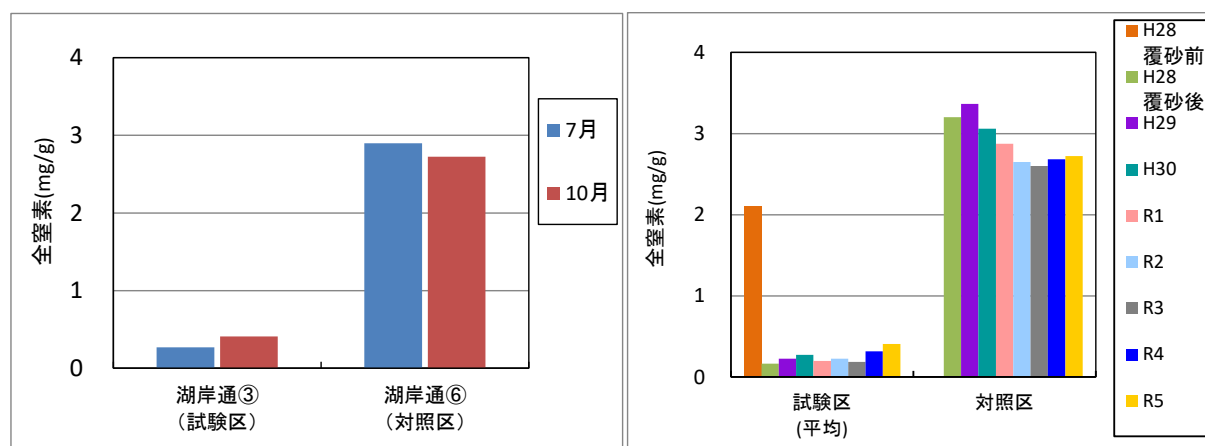


図 5 全窒素の令和 5 年度測定結果【湖岸通り区】 図 6 全窒素の経年変化【湖岸通り区】

<全りん>

測定結果を図7に、経年変化を図8に、値を底質試料の乾燥重量に対する物質の重量で示す。

測定結果について、覆砂した試験区の地点③の全りん濃度は0.40-0.42 mg/gであり、対照区⑥の濃度1.4 mg/gと比べて平均0.98 mg/g低かった（対⑥比30%）。また、試験区、対照区とも調査時期による差は見られなかった。

経年変化について、試験区の全りん濃度は、平成28年度の覆砂前が1.2 mg/gであったが覆砂後は地点毎の平均値で0.58-0.63 mg/gと低い値に改善され、その後平成29年度～令和4年度は0.31-0.60 mg/gで推移し、令和5年度も0.40 mg/gと低い値を維持していた。なお、対照区⑥の平均値は1.2-1.7 mg/gの範囲で推移している。

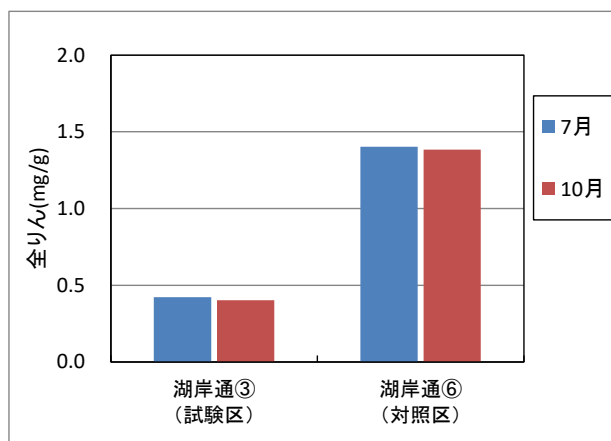


図7 全りんの令和5年度測定結果【湖岸通り区】

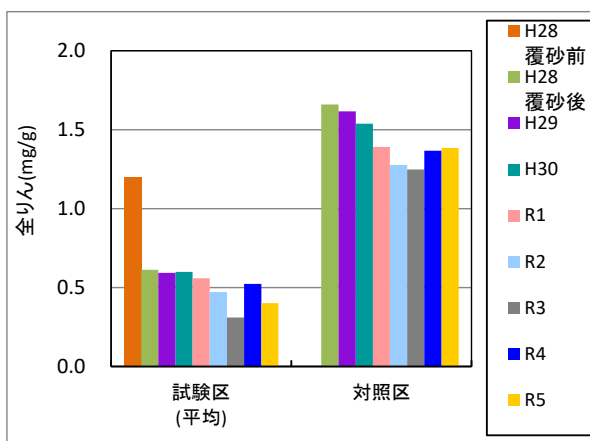


図8 全りんの経年変化【湖岸通り区】

<粒度分布>

底質調査方法を参考に、礫(粗)(4.75 mm～)、礫(細)(2 mm～4.75 mm)、砂(粗)(425 μm～2 mm)、砂(細)(75～425 μm)、シルト・粘土(～75 μm)の5つの粒度分布組成(粒径別の乾燥重量の割合)を求めた。採泥試料における2 mm以上の礫の量は、採泥サンプル間でのバラつきが大きかった。以下、粒径2 mm未満の底質について測定結果を図9に示す。

75 μm 未満のシルト・粘土分の割合(泥分率)について、試験区では覆砂施工前(H28.8月)は43%であったが覆砂実施後には10%未満になり、平成29年度～令和4年度は3～8%で推移し、令和5年度は1%と低い値を維持していた(砂分が99%を占めていた)。一方、対照区の令和5年度の泥分率は66%(砂分34%)であり、過去の調査と同程度であった。対照区の底泥は泥状であるのに対し、試験区では泥分率が小さく、覆砂の効果が維持されていた。

なお、採泥試料における2 mm以上の礫の割合については、試験区が4%、対照区が3%であった。

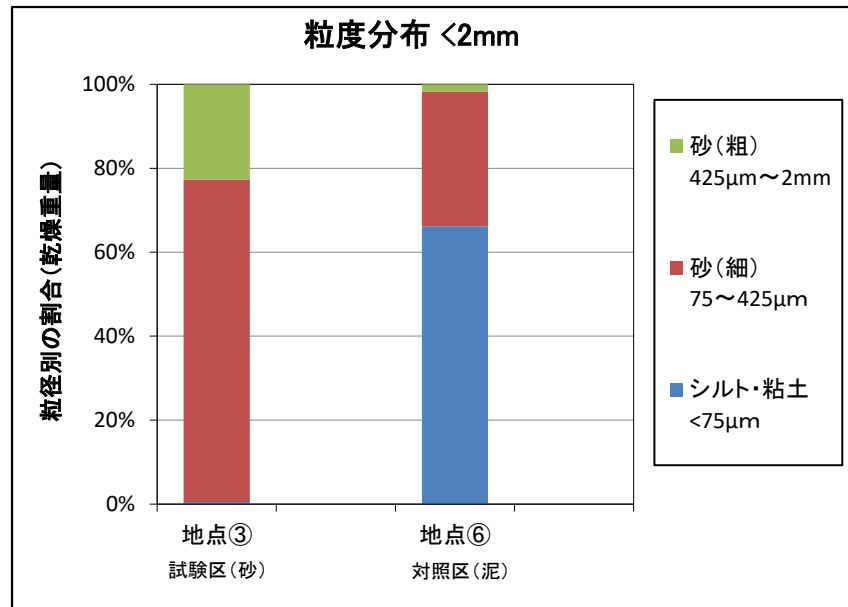


図9 底質の粒度分布組成【湖岸通り区】

3.2.3.2. 高木沖(地点⑦、⑧)

令和元年度～2年度に覆砂した試験区⑦について3年程度経過した状況について確認するとともに、対照区⑧と比較して覆砂による底質改善状況を調査した。水生植物の状況について、6月調査日に試験区ではヒシが観察され、対照区ではヒシが繁茂していた。10月調査日に試験区ではヒシ、クロモ、マツモが観察され、対照区ではヒシが繁茂し、水中にクロモが観察された。

<強熱減量>

測定結果を図10に、経年変化(年度別の平均値の推移)を図11に示す。

令和5年度の測定結果について、覆砂した試験区の地点⑦の強熱減量(%) (有機物含有量の目安)の値は3.9-6.5%であり、対照区の地点⑧の値19-20%と比べて平均14ポイント低かった(対⑧比2.7割)。また、対照区では調査時期による差は見られなかったが、試験区では6月に比べて10月の方が値が高くなっていた(差2.6ポイント)。春～夏期に繁茂したヒシの枯死・堆積の影響が考えられる。

経年変化について、試験区の強熱減量の年度別の平均値は、覆砂前(R1.12月)は11%であったが覆砂後の令和3年度は2.9%に改善し、令和5年度の平均値は5.2%と低い値で推移しているが、前年より値が高くなっている。対照区の値は18-19%の範囲で推移している。

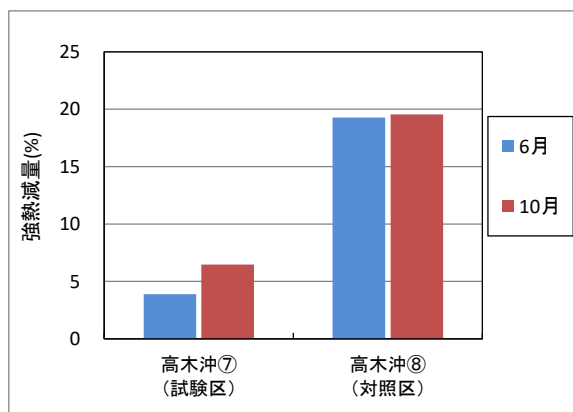


図 10 強熱減量の R5 年度測定結果【高木沖】

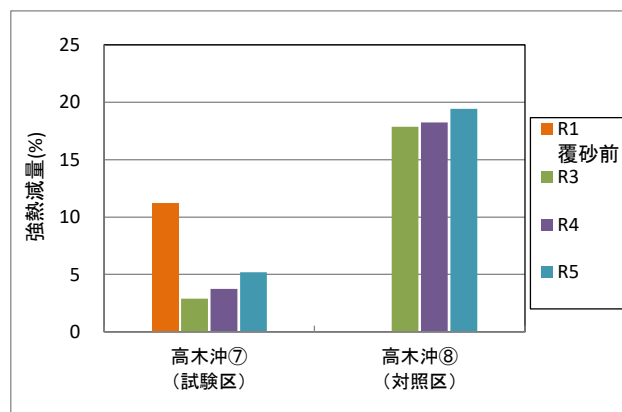


図 11 強熱減量の経年変化【高木沖】

<全窒素>

測定結果を図 12 に、経年変化を図 13 に示す。

令和 5 年度の測定結果について、覆砂した試験区の全窒素濃度は 0.88-1.9 mg/g であり、対照区の濃度 7.8-8.2 mg/g と比べて平均 6.6 mg/g 低かった（対⑧比 17%）。また、対照区では調査時期による差は見られなかったが、試験区では 6 月に比べて 10 月の方が濃度が高くなっていた（差 1.0 mg/g）。春～夏期に繁茂したヒシの枯死・堆積の影響が考えられる。

経年変化について、試験区の全窒素濃度は、覆砂前(R1.12月)が 2.8 mg/g であったが覆砂後は 0.35 mg/g と非常に低い値に改善され、令和 5 年度の平均値は 1.4 mg/g で低い値で推移しているが、前年より値が高くなっている。なお、対照区の値は 6.8-8.0 mg/g の範囲で推移している。

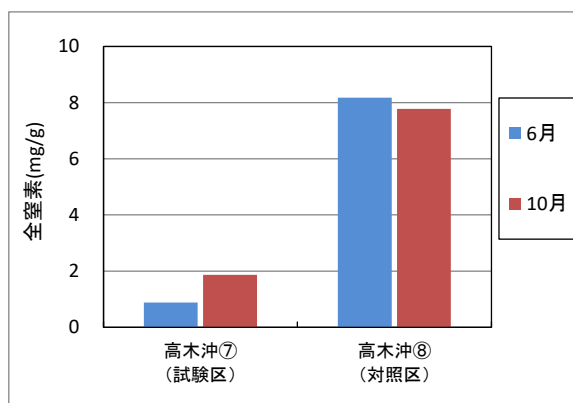


図 12 全窒素の R5 年度測定結果【高木沖】

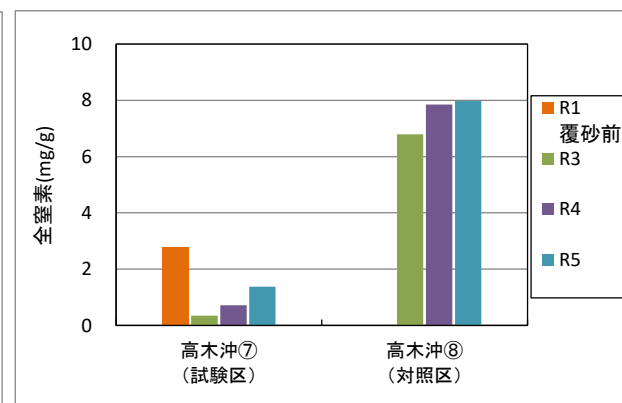


図 13 全窒素の経年変化【高木沖】

<全りん>

測定結果を図 14 に、経年変化を図 15 に示す。

令和 5 年度の測定結果について、覆砂した試験区的全りん濃度は 0.66-0.83 mg/g であり、対照区の濃度 1.6-1.7 mg/g と比べて平均 0.88 mg/g 低かった（対⑧比 46%）。また、対照区では調査時期による差は見られなかったが、試験区では 6 月に比べて 10 月の方が濃度が高くなって

いた(差 0.17 mg/g)。春～夏期に繁茂したヒシの枯死・堆積の影響が考えられる。

経年変化について、試験区の全りん濃度は、覆砂前(R1.12月)が 1.4 mg/g であったが覆砂後は 0.57 mg/g と非常に低い値に改善され、令和 5 年度の平均値は 0.74 mg/g で低い値で推移しているが、前年より高い値であった。なお、対照区の値は 1.6-1.7 mg/g の範囲で推移している。

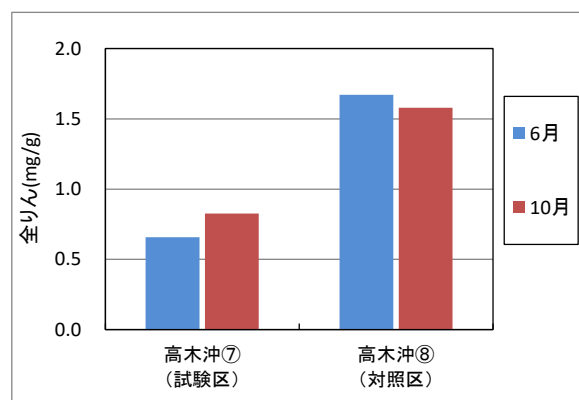


図 14 全りんの R5 年度測定結果【高木沖】

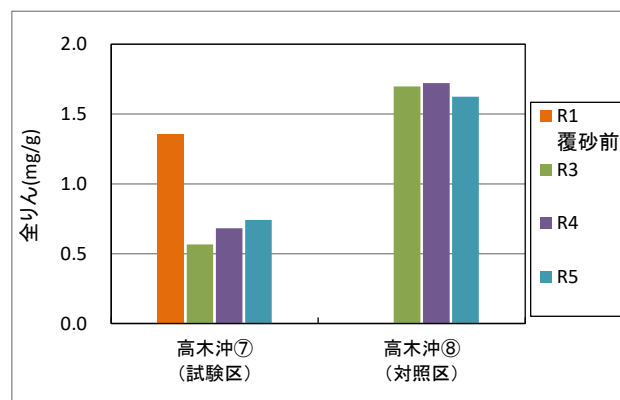


図 15 全りんの経年変化【高木沖】

<粒度分布>

底質調査方法を参考に、礫(粗)(4.75 mm～)、礫(細)(2 mm～4.75 mm)、砂(粗)(425 μm～2 mm)、砂(細)(75～425 μm)、シルト・粘土(～75 μm)の 5 つの粒度分布組成(粒径別の乾燥重量の割合)を求めた。採泥試料における 2 mm 以上の礫の量は、採泥サンプル間でのバラつきが大きかった。以下、粒径 2 mm 未満の底質について測定結果を図 16 に示す。

75 μm 未満のシルト・粘土分の割合(泥分率)について、試験区では R4 に 9 %で、R5 に 26 %であった(砂分 74 %)。一方、対照区の泥分率は 89 % (砂分 11 %)であり、シルト・粘土分が大部分を占めていた。対照区の底泥は泥状であったが、試験区では砂分の割合が大きく、覆砂の効果が維持されていた。

なお、採泥試料における 2 mm 以上の礫の割合については、試験区が 17 %で 4.75 mm 以上のれき分が多く見られ、一方対照区では 4 %であった。

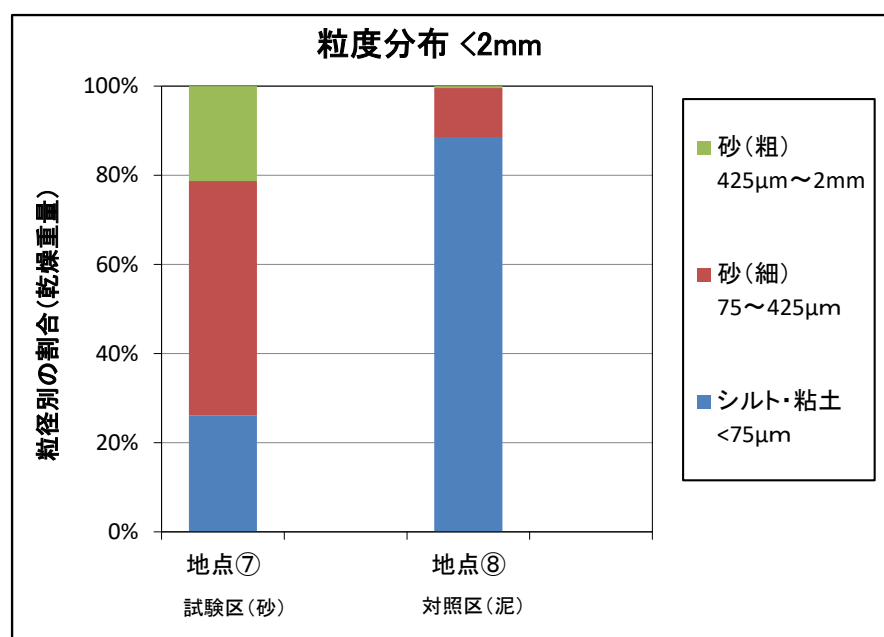


図 16 底質の粒度分布組成【高木沖】

3.2.4 考察・まとめ

湖岸通り区では、平成 28 年度に覆砂を実施した試験区③において、対照区⑥と比較して有機物量や栄養塩類(強熱減量、全窒素、全りん等)の測定値は低く、覆砂施工直後から概ね同程度で推移しており、覆砂施工から 7 年程度経過しても明瞭な底質改善効果が維持されていることが確認された。

高木沖では、令和元年度～令和 2 年度に覆砂を実施した試験区⑦において、対照区⑧と比較して有機物量や栄養塩類(強熱減量、全窒素、全りん等)の測定値は低く、覆砂施工により底質が改善され、覆砂施工から 3 年程度経過した状況において明瞭な底質改善効果が維持されていることが確認された。

また、底質改善効果を測定項目別にみると、試験区の値は対照区と比較して、強熱減量で 8 割、全窒素で 9 割、全りんで 6 割程度の減少であった。(それぞれ湖岸通り区及び高木沖の平均)

底質については、これまでの継続的な調査により、底質性状の推移や改善効果が維持されている状況が把握されている。今後も長期的に状況の変化を把握することが重要である。

3.3 淡水シジミ生息調査

水産試験場諏訪支場

3.3.1 調査目的

渋崎、湖岸通りおよび高木地区の覆砂場所およびその対照区（図1）における淡水シジミの生息状況を調査・比較し、覆砂による底質改善の効果を検証する。

3.3.2 調査方法

調査年月日

令和5年5月26日、8月15日、11月15日

調査方法

渋崎および湖岸通り地区の覆砂区では、覆砂場所内で無作為に選んだ3カ所に縦1m×横1m×高さ0.2mのコドラートを湖底に設置し、コドラート内の底層10cmまでの砂を目合い1mmのタモ網で採取し、再度、目開き1mmの円形金属ふるいでふるって淡水シジミを抽出した。

高木地区の覆砂区ならびに渋崎、湖岸通りおよび高木地区の対照区では水深が深く同様の調査が困難なため、調査地点付近で無作為に選んだ1カ所で船上から目合1mmの網を付けたジョレンを用いて1m²を目安に底質を採取し、再度、目開き1mmの円形金属ふるいでふるって淡水シジミを抽出した。

淡水シジミの産卵期の盛期はおおよそ6月から9月と言われている。また、藤原（1977）によると、8月、11月および翌5月のシジミ0⁺個体の最大殻長はそれぞれ10、16および21mmとされている。そこで、本調査では採捕した淡水シジミの殻長を測定し、各月でその殻長未満であったものを0⁺個体、それ以上であったものを1⁺以上個体と区分した。なお、本年の産卵期前となる5月に採捕された0⁺個体は令和4年産まれにあたる。覆砂区では3カ所で採捕した0⁺個体および1⁺以上個体のそれぞれの個体数の平均をその時期の生息密度とした。

3.3.3 結果

採捕結果

渋崎および湖岸通り地区の覆砂区では淡水シジミが採捕されたが、高木地区の覆砂区及び各地区の対照区ではいずれの月においても淡水シジミは採捕されなかった。

年齢組成

渋崎地区および湖岸通り地区の殻長頻度分布をそれぞれ図2および図3に示す。

渋崎地区の覆砂区において採取した淡水シジミ0⁺個体および1⁺以上の個体の個体数は、5月が25および0個体、8月が55および5個体、11月が43および1個体であった（表）。5月、8月および11月の0⁺個体の割合はそれぞれ100、92および98%と、採捕された淡水シジミのほとん



図1 調査地点位置図

どは0+個体であった。

湖岸通り地区の覆砂区において採捕した淡水シジミ 0+個体および1+以上の個体の個体数は、5月が100 および0 個体、8月が182 および3 個体、11月が44 および2 個体であった。5月、8月および11月の0+個体の割合はそれぞれ100、98 および96%と、採捕された淡水シジミのほとんどは0+個体であった。

5月の調査において浜崎地区および湖岸通り地区の覆砂区では淡水シジミが採捕されたものの、対照区では採捕されなかった。淡水シジミの産卵期の盛期は6月頃から9月頃と言われているが、殻長4mm未満の淡水シジミが採捕されたことから5月中には産卵が始まっていると考えられた。8月の調査において両地区の覆砂区では本年生まれの殻長6mm未満の淡水シジミが多数採捕された。対照区では淡水シジミは採捕されなかったことから、淡水シジミは覆砂区で繁殖している可能性が考えられた。

高木地区の覆砂区は令和2年に造成された新規の覆砂区で、令和5年春にも覆砂が行われた。浜崎および湖岸通り地区の覆砂区では、覆砂区が造成された数年後に淡水シジミの生息が確認できたことから、今年度は確認できなかったが数年後に高木地区においても淡水シジミが生息する可能性が考えられる。今後も淡水シジミの生息状況をモニタリングしていく必要がある。

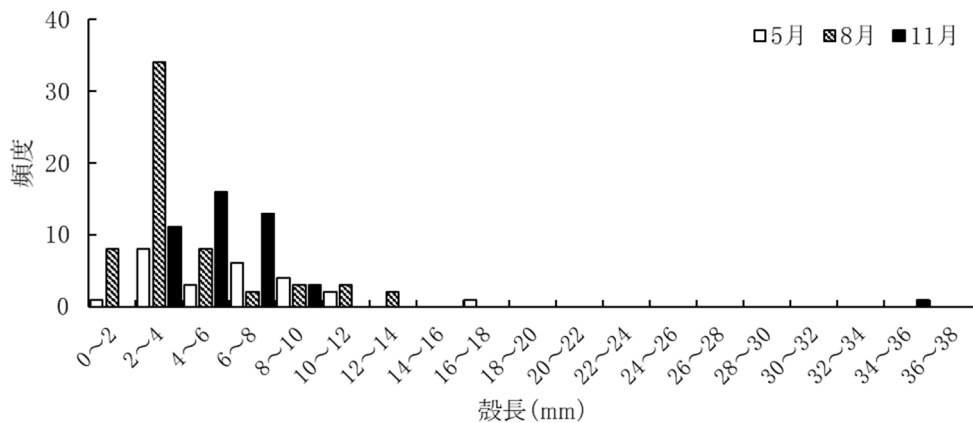


図2 浜崎地区の覆砂区における5、8、11月の淡水シジミの殻長頻度分布

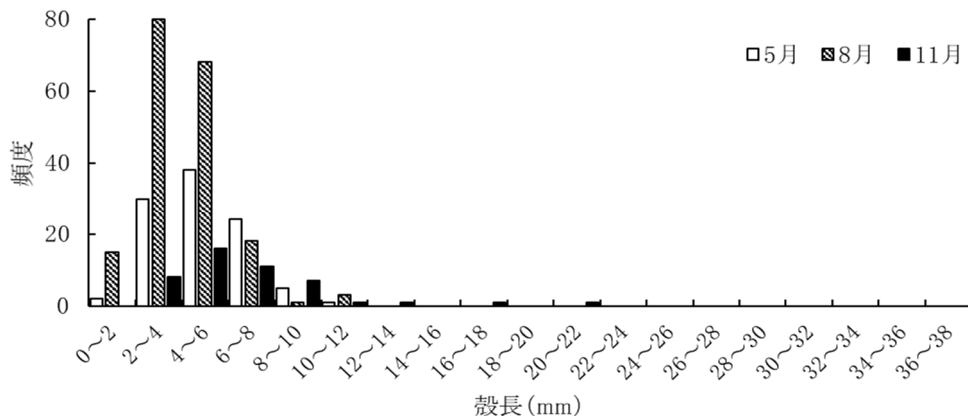


図3 湖岸通り地区の覆砂区における5、8、11月の淡水シジミの殻長頻度分布

表 浜崎および湖岸通り地区における淡水シジミの個体数と年齢組成

年齢	浜崎地区覆砂区の個体数			湖岸通り地区覆砂区の個体数		
	5月 (%)	8月 (%)	11月 (%)	5月 (%)	8月 (%)	11月 (%)
0 ⁺	25 (100)	55 (92)	43 (98)	100 (100)	182 (98)	44 (96)
1 ⁺ ～	0 (0)	5 (8)	1 (2)	0 (0)	3 (2)	2 (4)

生息密度

浜崎地区の覆砂区において採捕した淡水シジミ 0⁺個体および 1⁺以上の個体の生息密度(平均値±標準偏差)は、5月が 8.3±4.0 および 0 個体/m²、8月が 18.3±1.2 および 1.7±0.6 個体/m²、11月が 14.3±10.1 および 0.3±0.6 個体/m²であった(図4)。

湖岸通り地区の覆砂区において採取した淡水シジミ 0⁺個体および 1⁺以上の個体の生息密度は、5月が 33.3±7.6 および 0 個体/m²、8月が 60.7±13.8 および 1.0±1.0 個体/m²、11月が 14.7±12.5 および 0.7±0.6 個体/m²であった(図5)。

浜崎地区および湖岸通り地区の覆砂区における生息密度は、産卵による新規加入によって8月に 0⁺個体の生息密度が上昇した。

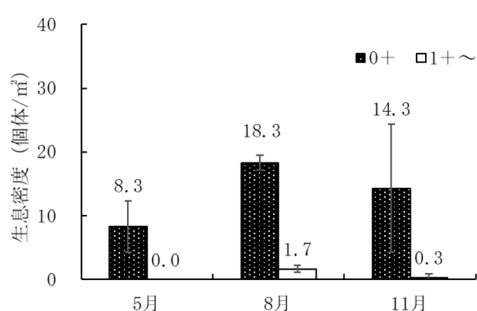


図4 浜崎地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度 (Iは標準偏差)

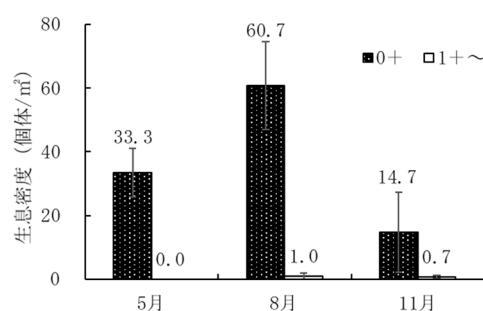


図5 湖岸通り地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度 (Iは標準偏差)

3.3.4 過去の調査結果を踏まえた経年変化等

淡水シジミ生息調査で採捕された 0⁺個体と 1⁺以上の個体の 5 年間の浜崎地区および湖岸通り地区の生息密度の推移をそれぞれ図6および図7に示す。淡水シジミ生息調査が平成 30 年 5 月に始まった浜崎地区および平成 30 年 11 月に始まった湖岸通り地区において、淡水シジミの生息密度は両地区とも 0⁺個体を中心に春に少なく夏から秋に増える傾向を示し、増減を繰り返している。淡水シジミの産卵期の盛期は 6 から 9 月といわれているため、5 月から 8 月および 11 月にかけて観察された 0⁺個体の増加要因としては産卵による 0⁺個体の新規加入、11 月から 5 月にかけて観察された 0⁺個体や 1⁺以上の個体の減少要因としては水温の低下(平野・藤原, 1987)や魚類、鳥類および甲殻類による被食(粕谷・陣野, 2014、北野ら, 2017)が考えられた。湖岸通り地区では

令和4年、5年と2年続けて0+個体の生息密度が増加している。1+以上の個体の生息密度は例年一定程度あるものの増加はしていないことから、0+個体の密度が増加している要因は不明である。今後もモニタリング調査を継続し、淡水シジミの生息密度の増減やその要因を調査していく必要がある。

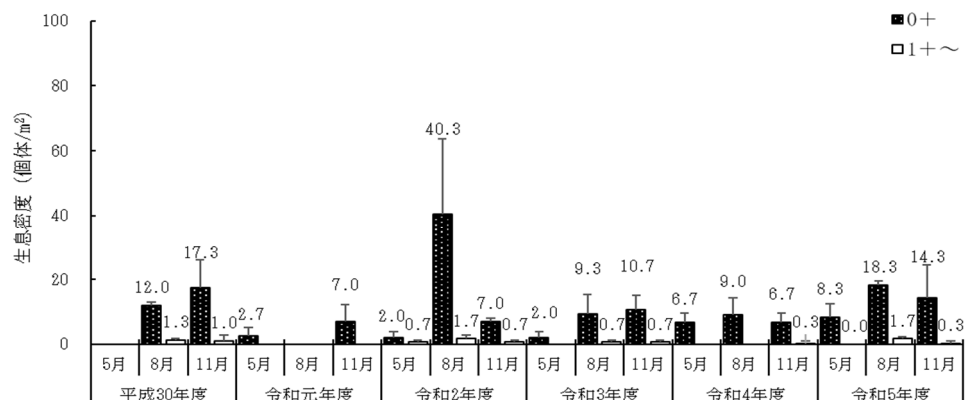


図6 浜崎地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度の推移（Iは標準偏差）

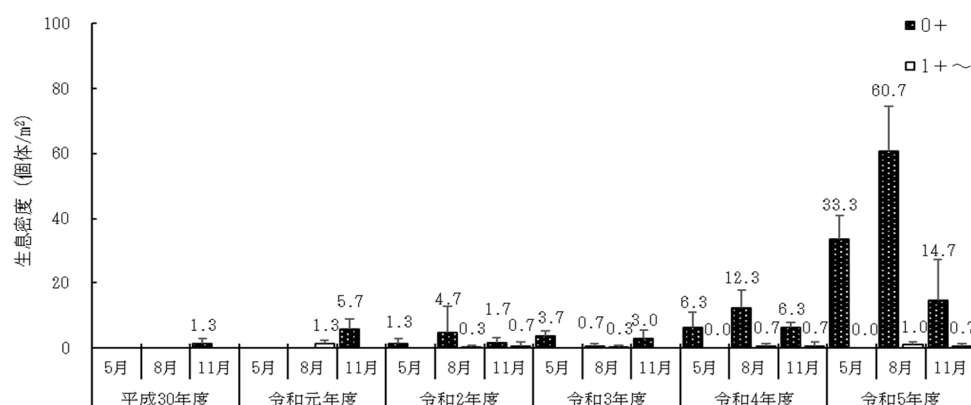


図7 湖岸通り地区の覆砂区における淡水シジミの生息密度の推移（Iは標準偏差）

3.3.5 まとめ

- 浜崎および湖岸通り地区の覆砂区では淡水シジミが採捕され、それ以外の地区では採捕されなかった。
- 生息密度について、0+個体を中心に春に少なく、夏から秋にかけて増える傾向を示した。
- 湖岸通り地区の0+の生息密度が増加傾向にあった。

3.3.6 参考文献

- 藤原（1977）：マシジミの稚貝の成長について．貝雑 Vol. 36, No. 1 p. 19-24
- 平野・藤原（1987）：マシジミの成長と寿命．水産増殖 35, p. 183-189
- 北野ら（2017）：琵琶湖につながる農業水路における淡水シジミの生息状況と絶滅危惧種マシジミの保全に係る水路管理手法の検討．伊豆沼・内沼研究報告 11, p. 55-66

3.4 底生生物および魚類調査

水産試験場諏訪支場

3.4.1 調査目的

覆砂区の生物相が安定するまでにある程度の時間を要することが想定されるため、継続的なモニタリング調査により、底生生物の生息状況から覆砂による底質改善の効果を評価する。本年度は平成 27 年度に造成した渋崎地区の覆砂区の 8 年後、平成 28 年度に造成した湖岸通り地区の覆砂区の 7 年後および令和元年に造成した高木地区の覆砂区の 4 年後の底生生物および魚類の生息状況を把握する。

3.4.2 調査方法

3.4.2.1 底生生物調査

調査は 3 回行い、令和 5 年 6 月 14 日、8 月 22 日、10 月 17 日に筌網を調査地点に設置し、それぞれ 2 日後の 6 月 16 日、8 月 24 日、10 月 19 日に回収した。調査地点は渋崎地区、湖岸通り地区および高木地区のそれぞれ覆砂区および対照区の合計 6 地点とした。

使用漁具は目合い 3 mm、5 mm および 12 mm の筌網（表 1）を調査地点に各 1 個設置し、採捕した生物は、実験室に持ち帰り、種類、個体数を確認し、3 回分の合計の採捕個体数を求めた。

表 1 調査に使用した筌網の仕様

目合い	大きさ	開口部数	備考
3 mm	45×30×15cm	1	金属製
5 mm	45×30×15cm	1	金属製
12mm	67×47×12cm	2	小判型

3.4.2.2 魚類調査

調査は 3 回行い、令和 5 年 6 月 15 日、8 月 24 日、10 月 19 日に調査地点付近で投網を行った。調査地点は底生生物調査と同様に渋崎地区、湖岸通り地区および高木地区のそれぞれの覆砂区および対照区の合計 6 地点とした。使用漁具は目合い 1 cm の投網を調査地点ごとに 5 回ずつ行い、採捕した生物は、実験室に持ち帰り、種類、個体数を確認し、3 回分の合計の採捕個体数を求めた。

3.4.3 調査結果

3.4.3.1 底生生物調査

採捕種数は渋崎地区の覆砂区および対照区で 7 および 6 種、湖岸通り地区の覆砂区および対照区で 8 および 6 種、高木地区の覆砂区および対照区で 6 および 4 種であった（表 2）。

採捕個体数は渋崎地区の覆砂区および対照区で 57 および 15 個体と、覆砂区の方が対照区より多かった。湖岸通り地区の覆砂区および対照区は 41 および 45 個体と、対照区の方が覆砂区より多かった。高木地区の覆砂区および対照区では 13 および 20 個体と、対照区の方が覆砂区より多かった。

採捕された魚類はモツゴ、タモロコ、ウナギ、ウキゴリ、ヌマチチブ、ヨシノボリおよびブルーギルであった。渋崎地区における覆砂区および対照区の魚類の採捕種数はともに3種で、採捕個体数は10および5個体であった。湖岸通り地区における覆砂区および対照区の魚類の採捕種数は5および3種で、採捕個体数は15および12個体であった。高木地区における覆砂区および対照区の魚類の採捕種数は4および3種で、採捕個体数は6および14個体であった。

採捕された甲殻類はテナガエビおよびスジエビであった。渋崎地区における覆砂区および対照区のテナガエビの採捕個体数は31および3個体、スジエビの採捕個体数は9および6個体であった。湖岸通り地区における覆砂区および対照区のテナガエビの採捕個体数は18および10個体、スジエビの採捕個体数は3および20個体であった。高木地区における覆砂区および対照区のテナガエビの採捕個体数は3および6個体、スジエビの採捕個体数は4および0個体であった。テナガエビについては渋崎地区および湖岸通り地区において覆砂区の方が対照区より多く採捕された。スジエビについては渋崎および湖岸通り地区において対照区の方が覆砂区より多く採捕された。

採捕された貝類はタニシ科およびカワニナ科であった。カワニナ科は渋崎地区の覆砂区でのみ採捕された。渋崎地区の覆砂区および対照区のタニシ科の採捕個体数は6および1個体であった。湖岸通り地区における覆砂区および対照区のタニシ科の採捕個体数は5および3個体であった。高木地区では両区ともにタニシ科は採捕されなかった。

表2 渋崎、湖岸通り及び高木地区における6、8、10月に採捕された種及び個体数

調査地点	魚類							甲殻類		貝類		合計
	モツゴ	タモロコ	ウナギ	ウキゴリ	ヌマチチブ	ヨシノボリ	ブルーギル	テナガエビ	スジエビ	タニシ科	カワニナ科	
渋崎	覆砂区			1	7	2		31	9	6	1	57
	対照区			2	2	1		3	6	1		15
湖岸通り	覆砂区	1	1		3	2	8	18	3	5		41
	対照区				9	1	2	10	20	3		45
高木	覆砂区		1		1	1	3	3	4			13
	対照区		1	1			12	6				20
合計		1	3	1	16	13	3	71	42	15	1	191

3.4.3.2 魚類調査

採捕種数は渋崎地区の覆砂区および対照区でともに6種、湖岸通り地区の覆砂区および対照区でともに6種、高木地区の覆砂区および対照区では7および6種であった（表3）。

採捕された魚類はワカサギ、モツゴ、タモロコ、ビワヒガイ、カマツカ、フナ、ウキゴリ、ヌマチチブ、ヨシノボリ、オオクチバスおよびブルーギルであった。渋崎地区における覆砂区および対照区の採捕個体数は118および50個体であった。湖岸通り地区における覆砂区および対照区の採捕個体数は18および28個体であった。高木地区における覆砂区および対照区の採捕個体数はそれぞれ95および76個体であった。

表3 渋崎、湖岸通り及び高木地区における6、8、10月に採捕された種及び個体数

調査地点	ワカサギ	モツゴ	タモロコ	ビワヒガイ	カマツカ	フナ	ウキゴリ	ヌマチチブ	ヨシノボリ	オオクチバス	ブルーギル	合計
渋崎	覆砂区	110	1	1			3	2	1			118
	対照区	33	7	2			6	1		1		50
湖岸通り	覆砂区	1		2	2		1			2	10	18
	対照区		5	9		3	1			2	8	28
高木	覆砂区	84	2	1		1	2			4	1	95
	対照区	56	2	1			1			3	13	76
合計		284	9	19	5	3	14	3	1	12	32	385

3.4.4 過去の調査結果を踏まえた経年変化等

5年間の底生生物調査で採捕された種および個体数の一覧を表4に、過去3年間の魚類調査で採捕された種および個体数の一覧を表5に示した。5年間の底生生物調査で採捕された種は、魚類が10種、甲殻類が2種、貝類が2種であった。3年間の魚類調査で採捕された魚類は11種であった。

魚類については、底生生物調査でヌマチチブが毎年採捕されており、続いてウキゴリが令和2年以降は4年連続で採捕された。その他の種では1から3年間採捕された種が大半であった。魚類調査ではワカサギ、モツゴ、タモロコ、ウキゴリ、ヌマチチブ、オオクチバス、ブルーギルの7種が3年続けて採捕された。両調査を通して覆砂区のみで採捕されたのは、採捕個体数が少なく単年のみの採捕となったドジョウ除くとカマツカだけであり、それ以外の魚種では覆砂区と対照区の両方から採捕された。カマツカは砂底または砂礫の場所にすみ、湖の沿岸の砂底域にもすむ（宮地ら, 1976）とされており、覆砂により好適な生息環境が創られたと考えられた。

貝類については、使用漁具が網罟であったことから、移動力のある巻貝のみ採捕された。タニシ科は覆砂区および対照区で、カワニナ科は覆砂区でのみ採捕されたが、カワニナ科は採捕個体数が少ないため、巻貝類への覆砂の効果は明らかではない。

甲殻類については、テナガエビが覆砂区で多く、スジエビが対照区で多い傾向が確認されている。山根（1991）はテナガエビの底質選択制を室内実験で調査し、テナガエビは礫等の粒径が小さい底質より小石等の粒径が大きい底質の方を好適な場として選択していることを示唆しており、本調査で覆砂区の方が泥地の対照区よりテナガエビが多く採捕された結果を支持している。

表4 5年間の底生生物調査で採捕された種および個体数

年度	R1				R2				R3				R4				R5				総個体数	
地点	渋崎		湖岸通り		渋崎		湖岸通り		渋崎		湖岸通り		渋崎		湖岸通り		渋崎		湖岸通り			
	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区		
魚類	モンゴ	5	13	24	17		1	1	1									1		63		
	タモロコ														1			1		2		
	コイ							1												1		
	ドジョウ										2									2		
	カサドジョウ				1															1		
	ウキゴリ					1	6	1	1	3	5	7	7	1		1	3	1	2	3	9	51
	ヌマチチブ	7	7		5	5	13	2	7	4		2	4	7	3	10	10	7	2	2	1	98
	ヨシノボリ																	2	1		3	
	オオクチバス								1												1	
ブルーギル				1															8	2	11	
甲殻類	テナガエビ		1	7	1	23	3	10	2	2	2	4	1	24		9	10	31	3	18	10	161
	スジエビ	2	1	9	25	5	12		15	4	16	1	11	2	9	4	35	9	6	3	20	189
貝類	タニシ科	1		5		3	4	2		6	7	5	3	7	5	1	2	6	1	5	3	66
	カワナナ科					1												1				2
	合計	15	22	45	50	38	39	16	28	19	30	21	26	41	17	25	61	57	15	41	45	651

表5 3年間の魚類調査で採捕された種および種数

年度	R3						R4						R5						総個体数	
地点	渋崎		湖岸通り		高木		渋崎		湖岸通り		高木		渋崎		湖岸通り		高木			
	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区		
魚類	ワカサギ	8	134		10	46	1	2	276	12	8	81	124	110	33	1		84	56	986
	モツゴ	1		1	7				1		2						5	2	2	21
	タモロコ	2	1				2	1	1		7	1		1	7		9	1	1	34
	ビワヒガイ													1	2	2				5
	カマツカ	1														2		1		4
	フナ					2											3			5
	ウキゴリ					5			2	1	3		2	3	6	1	1	2	1	27
	ヌマチチブ					2								2	1					5
	ヨシノボリ													1						1
	オオクチバス	4		5	1			1				3			1	2	2	4	3	26
ブルーギル	4			3	11	1					1				10	8	1	13	52	
合計	20	135	6	21	66	4	4	280	13	20	86	126	118	50	18	28	95	76	1166	

3.4.5 参考文献

- 宮地・川那部・水野（1976）：カマツカ. 原色日本淡水魚図鑑 全改訂版, 161-163pp. 保育社, 大阪.
- 山根（1991）：テナガエビ (*Macrobrachium nipponense*) の底質荒度評価について. 近畿大学農学部紀要, 第24号, p. 25-27