

平成26年度受託研究報告書

湖岸の自然浄化機能の回復施設における沈水植物 の生育調査と安定再生手法開発研究（Ⅲ）



平成27年3月

公立大学法人 秋田県立大学
生物資源科学部生物環境科学科

目 次

| | | |
|------------------------------------|-------|-----|
| 1. 研究の目的 | | 1 |
| 2. 沈水植物再生のために東部承水路に建設した消波堤の概要 | | 2 |
| 3. 沈水植物再生ゾーンにおける水質と浮遊微生物相の調査 | | 7 |
| 4. 沈水植物再生ゾーンにおける水生植物の生育調査 | | 2 2 |
| 5. 牡丹川消波堤内における散布体バンクを用いた水生植物の発芽・再生 | | 3 6 |
| 6. 沈水植物再生における食害の影響とその対策 | | 4 3 |
| 7. 八郎湖における沈水植物再生試験のまとめと今後の対策 | | 5 2 |

○本調査研究の実施体制

とりまとめ責任者：秋田県立大学 生物資源科学部 生物環境科学科

環境管理修復グループ 生態工学分野 教授 尾崎保夫

本調査研究では、共同研究者のノースアジア大学 村中孝司准教授には、「第4章沈水植物再生ゾーンにおける水生植物の生育調査」、千葉県立中央博物館 林 紀男上席研究員には、「第3章 3-3 沈水植物再生ゾーンにおける浮遊微生物相」の分担執筆をお願いした。

秋田自然史研究会 高田 順氏および秋田県生活環境部八郎湖環境対策室の皆様方のご協力を得て実施したものであり、心より深謝いたします。

また、調査・分析では、秋田県立大学生物環境科学科大学院博士前期課程の加藤 理君にご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

1. 研究の目的

秋田県では、八郎湖の水質改善を図り、生物多様性を回復させるため、平成21年から湖岸3ヶ所に総延長2.3kmの消波堤を建設し、水生植物の再生をめざしている。1年目には沈水植物のホソバミズヒキモが旺盛に生育し、大きな群落を形成した消波堤もあったが(写真1)、消波堤の構造や水深、土壌シードバンクの採取場所や撒き出し量等により水生植物の生育状況が異なり、継続的な沈水植物の生育が難しい消波堤が見受けられた。

このため、八郎湖で沈水植物を持続的に生育させることを最終目的に、秋田県が平成21～23年に湖辺景観生物多様性事業で建設した構造の異なる8基の消波堤において、水生植物の生育調査を実施すると同時に、水生植物の埋土種子や散布体バンクの撒き出しおよび秋田県立大学圃場で育苗した沈水植物のポット苗やマット苗を移植し、水生植物の発芽・再生に及ぼす環境要因(濁度、水深、光量子)や沈水植物の生育に与える波浪および食害の影響を調査・解析する。



写真1 土壌シードバンクから再生した1年目のホソバミズヒキモ群落(夜叉袋のL型消波堤No6、平成22年8月)

2. 沈水植物再生のために東部承水路に建設した消波堤の概要

秋田県八郎湖環境対策室は、平成21年から湖辺景観生物多様性回復事業で東部承水路の夜叉袋、牡丹川河口および三種川河口に消波堤を設置し、流域で採取した土壌シードバンクを撒きだし、沈水植物の再生をめざしている。

これまでに35基の消波堤が建設されているが、表1には建設年度、消波堤の構造、灌漑期の水深、設置場所を示した。また、消波堤の設置場所と付近の地形を図1～図3に示した。

表1 東部承水路に建設した消波堤の構造、設置場所、施工年度(35基)

| 施工年度 | 場所 | 任意番号 | 構造 | | 間隔 | 突堤天端標高 | 灌漑期の水深 | 本業務対象箇所 | | 備考 |
|-------|-----|------------|-----|------------|------|---------|--------|---------|------|---------------|
| | | | | | | | | | | |
| H21 | 夜叉袋 | NO.1 | 石積 | L字 | 40m | EL=1.30 | 65cm | | | 突堤 |
| | | NO.2 | 石積 | L字 | 40m | EL=1.30 | 55cm | ○※ | | 突堤 |
| | | NO.3 | 石積 | L字 | 40m | EL=1.00 | 55cm | | | 潜堤 |
| | | NO.4 | 石積 | L字 | 40m | EL=1.30 | 60cm | ○ | 水温計測 | 突堤 |
| | | NO.5 | 浮体 | (木製) | 40m | - | 60cm | | | 浮堤 |
| | | NO.6 | 石積 | L字 | 40m | EL=1.30 | 55cm | ○※ | | 突堤 |
| | | NO.7 | 石積 | L字 | 40m | EL=1.30 | 65cm | ○ | | 突堤 |
| | | NO.8 | 石積 | L字 | 40m | EL=1.00 | 60cm | ○ | | 潜堤 |
| | | NO.9 | 石積 | L字 | 40m | EL=1.30 | 60cm | | | 突堤・シードバンク投入無し |
| | | NO.10 | 浮体 | (木製) | 40m | - | 55cm | ○ | | 浮堤 |
| H22 | 三種川 | NO.1 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 60cm | ○ | | |
| | | NO.2 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 60cm | | | |
| | | NO.3 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 70cm | ○ | 水温計測 | |
| | | NO.4 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 60cm | | | |
| | | NO.5 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 80cm | | | |
| | | NO.6 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 60cm | | | |
| | | NO.7 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 60cm | | | |
| | | NO.8 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 70cm | | | |
| | | NO.9 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 60cm | | | |
| | | NO.10 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.00 | 80cm | ○ | | ヒシ抜き取りなし |
| H23 | 牡丹川 | NO.2 | 石積 | コの字・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 60cm | ○ | | タイプB-1 |
| | | NO.3 | 石積 | コの字・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 80cm | ○ | | タイプB-2 |
| | | NO.4 | 石積 | コの字・離岸 | 60m | EL=1.10 | 60cm | ○ | 水温計測 | タイプC-1 |
| | | NO.5 | 石積 | コの字・離岸 | 60m | EL=1.10 | 80cm | ○ | | タイプC-2 |
| | | NO.6 | 石積 | コの字・離岸・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 60cm | ○ | | タイプD-1 |
| | | NO.7 | 石積 | コの字・離岸・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 80cm | ○ | | タイプD-2 |
| | | NO.13 | 石積 | コの字・離岸・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 60cm | | | タイプD-1 |
| | | NO.14 | 石積 | コの字・離岸・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 80cm | | | タイプD-2 |
| | | NO.15 | 石積 | コの字 | 60m | EL=1.10 | 60cm | | | タイプA |
| | | NO.16 | 石積 | コの字・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 60cm | | | タイプB-1 |
| | | NO.17 | 石積 | コの字・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 80cm | | | タイプB-2 |
| NO.18 | 石積 | コの字・離岸 | 60m | EL=1.10 | 60cm | | | タイプC-1 | | |
| NO.19 | 石積 | コの字・離岸 | 60m | EL=1.10 | 80cm | | | タイプC-2 | | |
| NO.20 | 石積 | コの字・離岸・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 60cm | | | タイプD-1 | | |
| NO.21 | 石積 | コの字・離岸・塩ビ管 | 60m | EL=1.10 | 80cm | | | タイプD-2 | | |
| 計 | 3地区 | 35基 | | | | | 14基 | 3箇所 | | |

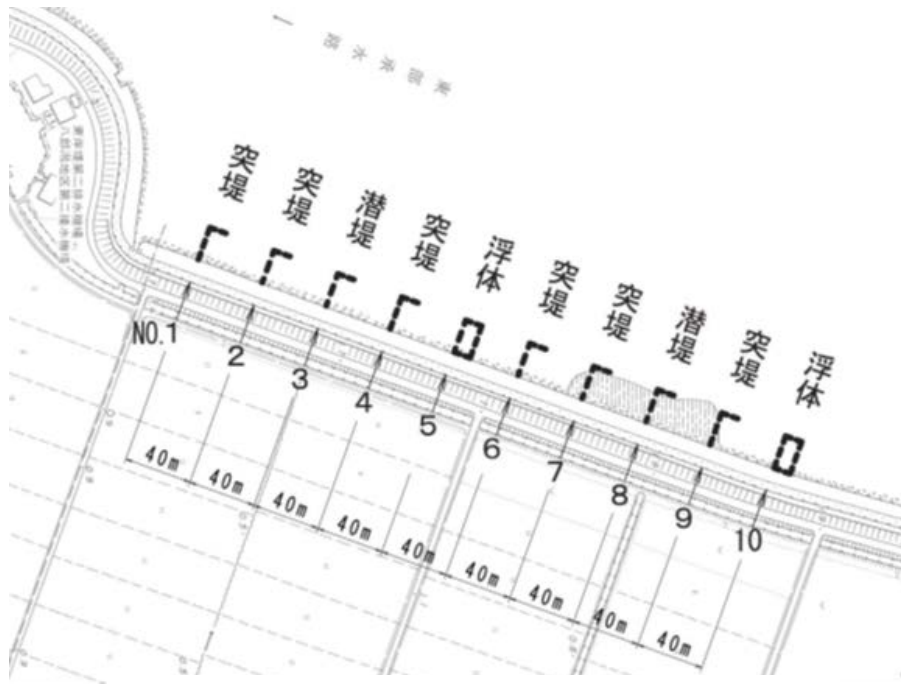


図1 東部承水路の夜叉袋に建設された消波堤(10基)

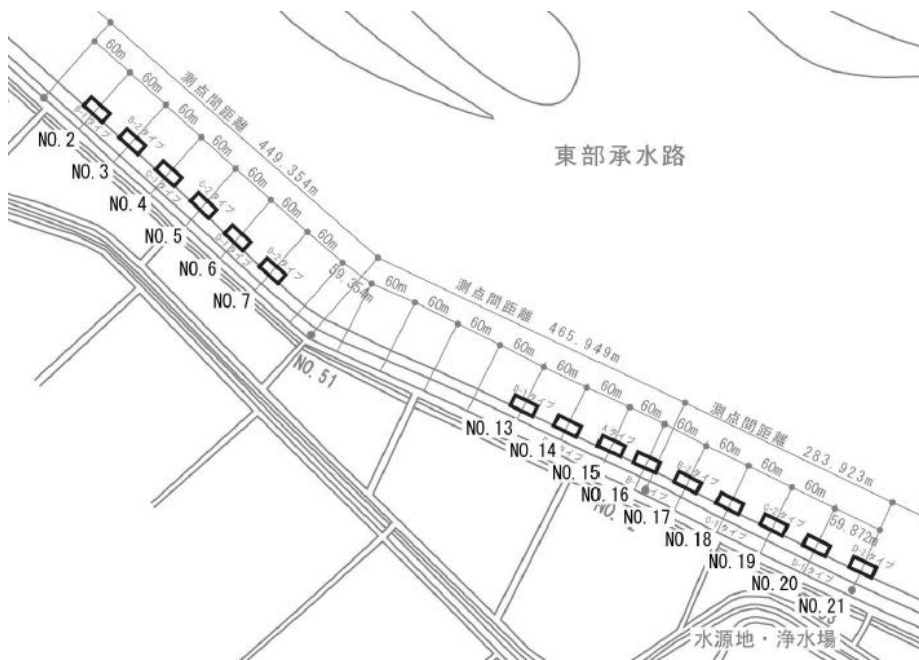


図2 東部承水路の牡丹川河口に建設された消波堤(15基)

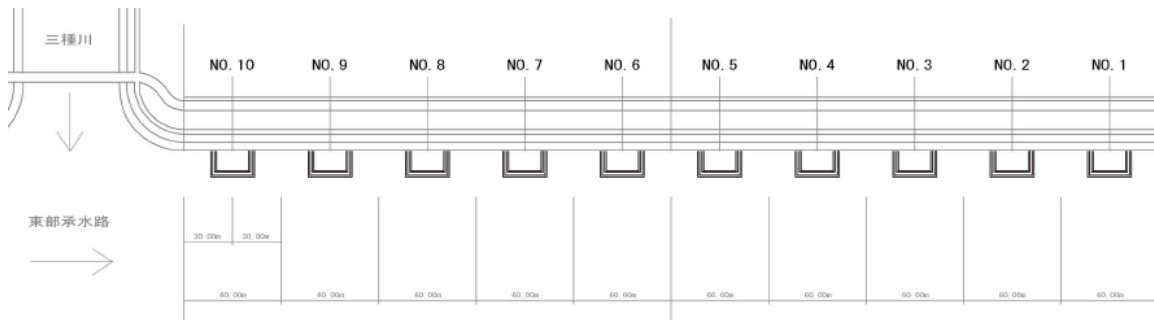


図3 東部承水路の三種川河口に建設された消波堤(10基)

1) 夜叉袋の L 字型消波堤

夜叉袋の消波堤は、平成 21 年秋から設置工事が開始された。図 4 と写真 2 は灌漑期の水深 75cm の消波堤 No. 9 の概略図と沈水植物移植前の写真である。消波堤 No 9 は、試験開始の平成 22 年から、秋田県立大学生物環境科学科生態工学研究室が借り受け、沈水植物再生試験を行っている。また、平成 24 年度には、水深の異なる消波堤 No.6(水深 55cm)、消波堤 No. 7(水深 65cm)も借り受け、水深が沈水植物の再生に与える影響を調査する。

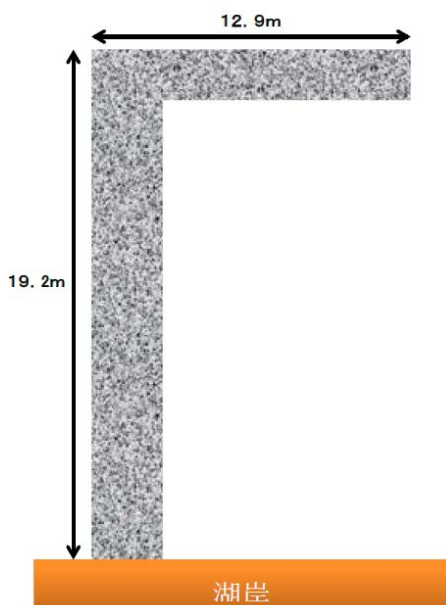


写真 2 夜叉袋 L 字型消波堤 No 9 (平成 22 年 4 月)

図 4 夜叉袋 L 字型消波堤 No 9 の概略図

2) 牡丹川と三種川河口の消波堤 (タイプ A、B-1、C-1、D-1、D-2)

平成 23 年度に新たに建設した構造の異なる 5 種類の消波堤 (タイプ A、B-1、C-1、D-1、D-2、馬場目川河口の旧湖岸農業用水路の底質を採取し、約 10cm の厚さに撒き出す) で、沈水植物の生育調査と新たな土壌シードバンクの撒き出し試験等を行った。

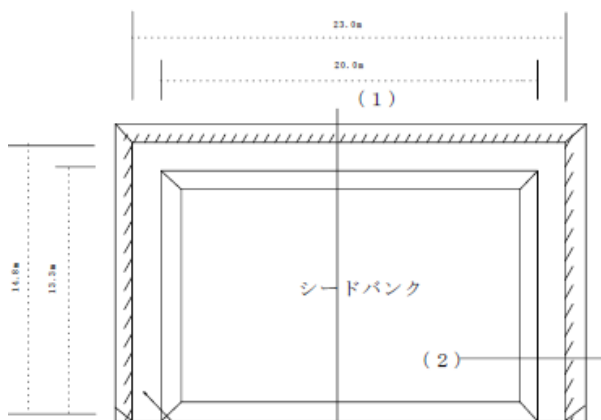


図 5 牡丹川消波堤 A の概略図
(灌漑期の水深 60cm)

写真 3 牡丹川消波堤 A (6 月 25 日)

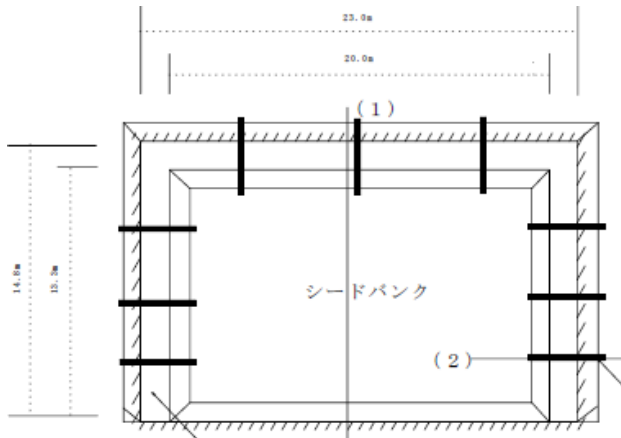


図6 牡丹川消波堤B-1の概略図
(直径 20cm の塩ビ管設置、水深 60cm)



写真4 牡丹川消波堤B-1 (6月25日)

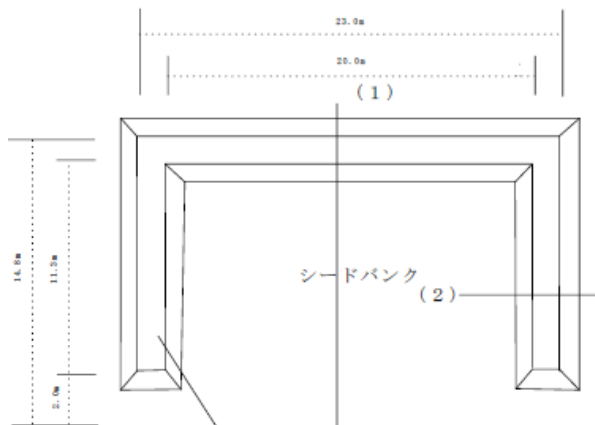


図7 牡丹川消波堤C-1の概略図
(灌漑期の水深 60cm)



写真5 牡丹川消波堤C-1 (6月25日)

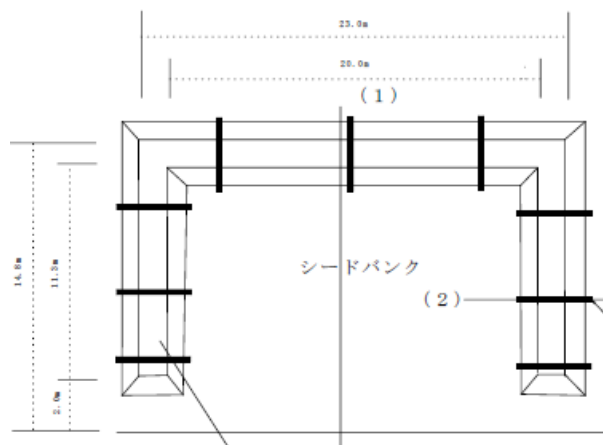


図8 牡丹川消波堤D-1の概略図
(直径 20cm の塩ビ管設置、水深 60cm)



写真6 牡丹川消波堤D-1 (6月25日)



写真7 牡丹川消波堤D-2(6月25日)
(構造はD-1と同一、灌漑期の水深80cm)

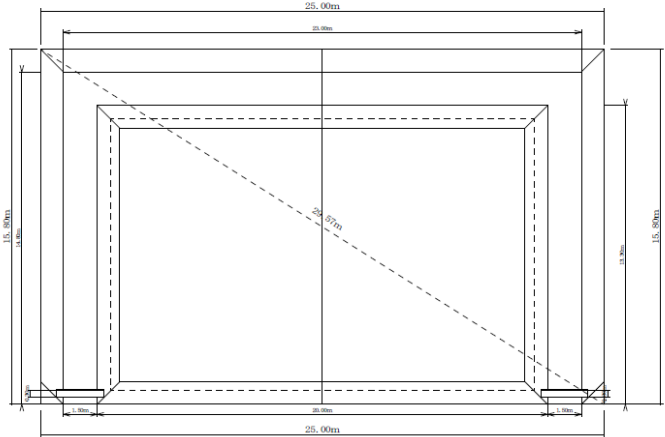


図9 三種川消波堤の概略図
(構造はAと類似、水深は60cmと70cm)



写真8 東部承水路内の牡丹川
消波堤(6月4日撮影)



写真9 東部承水路内の三種川
消波堤(6月18日撮影)
—手前はアサザ群落—

3. 沈水植物再生ゾーンにおける水質と浮遊微生物相の調査

3-1 夜叉袋消波堤 No.6 と No.9 の水質変化

東部承水路の夜叉袋消波堤 No.9 の年間の水質汚濁状況(アオコ発生を含む)の変化を写真 1~写真 4 に示した。



写真 1 夜叉袋消波堤 No.9 の汚濁状況
(平成 26 年 4 月 28 日)



写真 2 夜叉袋消波堤 No.9 の汚濁状況
(平成 26 年 7 月 28 日)



写真 3 夜叉袋消波堤 No.9 の汚濁状況
(平成 26 年 9 月 30 日)



写真 4 夜叉袋消波堤 No.9 の汚濁状況
(平成 26 年 11 月 25 日)

平成 26 年 4 月 28 日は水位が高く、水の濁度は低かったが、7 月 28 日にはアオコが少し発生した。その後、アオコは消失したが、9 月中旬から後半にかけてアオコが集積し、9 月 28 日の chl.a 濃度は $303 \mu\text{g/L}$ で最も高く、アオコの分解による悪臭を放っていた。また、11 月 25 日には水位が下がり、消波堤の底面が水面上からも良く見え、沈水植物の生育状況が確認できた。

図 1~図 5 に電気伝導度(E C)、濁度、クロロフィル a(Chl.a)濃度、全窒素(T-N)濃度、可溶性全窒素(DT-N)濃度、全リン(T-P)濃度および可溶性全リン(DT-P)濃度の変化を示した。平成 26 年度は、平成 24 年度のような長期間のアオコの多量集積はなかったが、9 月中旬

から後半にかけてアオコが集積したため、消波堤 No.9 で濁度、Chl.a 濃度、T-N 濃度および T-P 濃度の上昇が認められた。

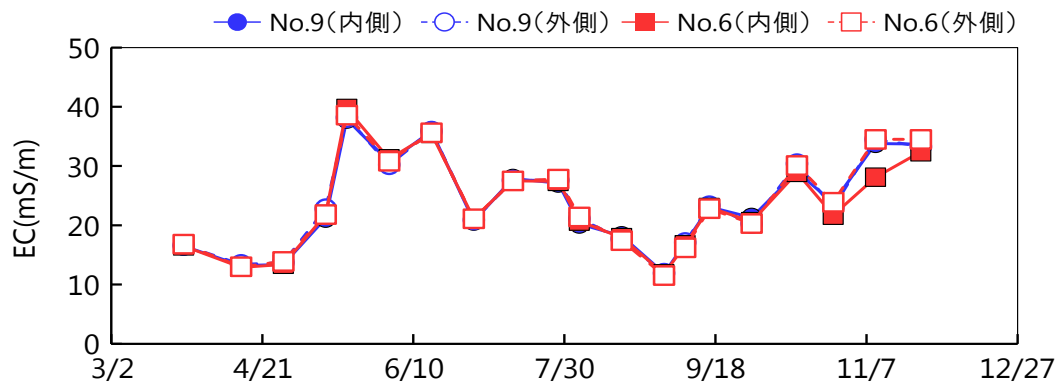


図 1 夜叉袋消波堤 No. 6、No. 9 および消波堤外の EC 変化

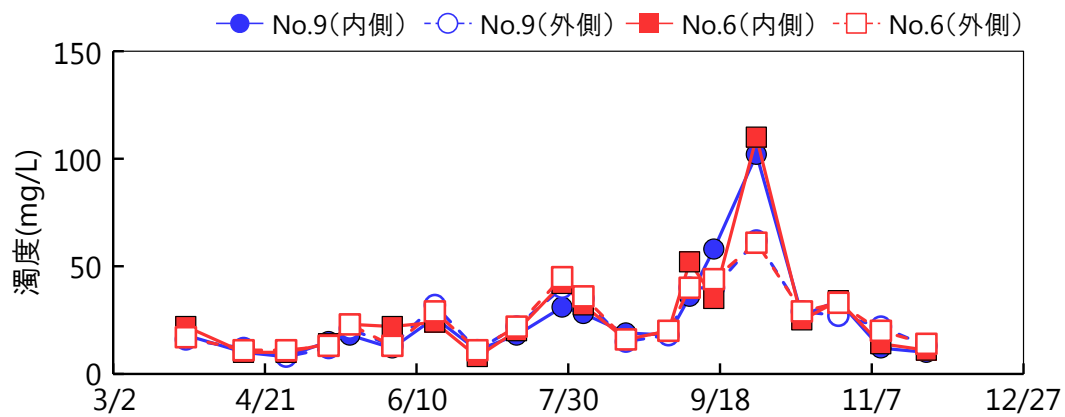


図 2 夜叉袋消波堤 No. 6、No. 9 および消波堤外の濁度変化

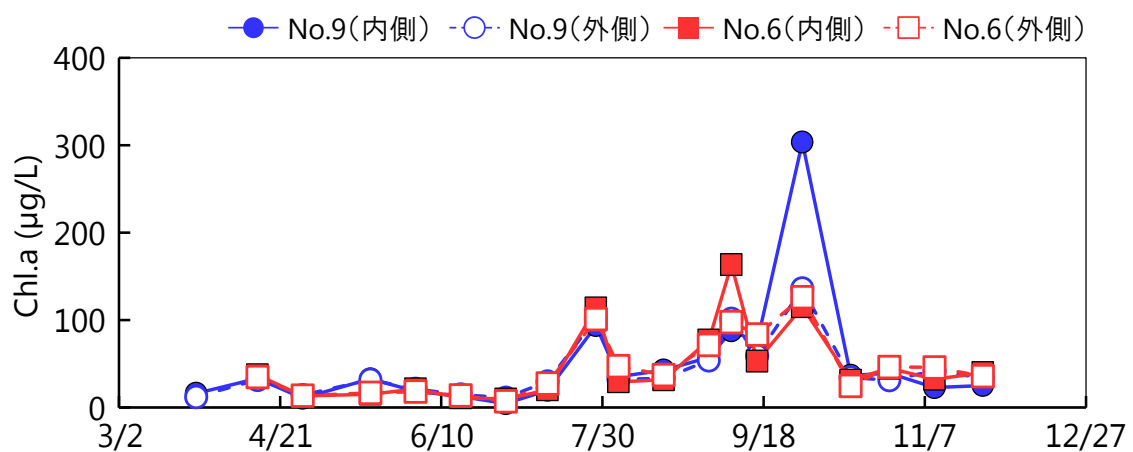


図 3 夜叉袋消波堤 No. 6、No. 9 および消波堤外の Chl. a 濃度の変化

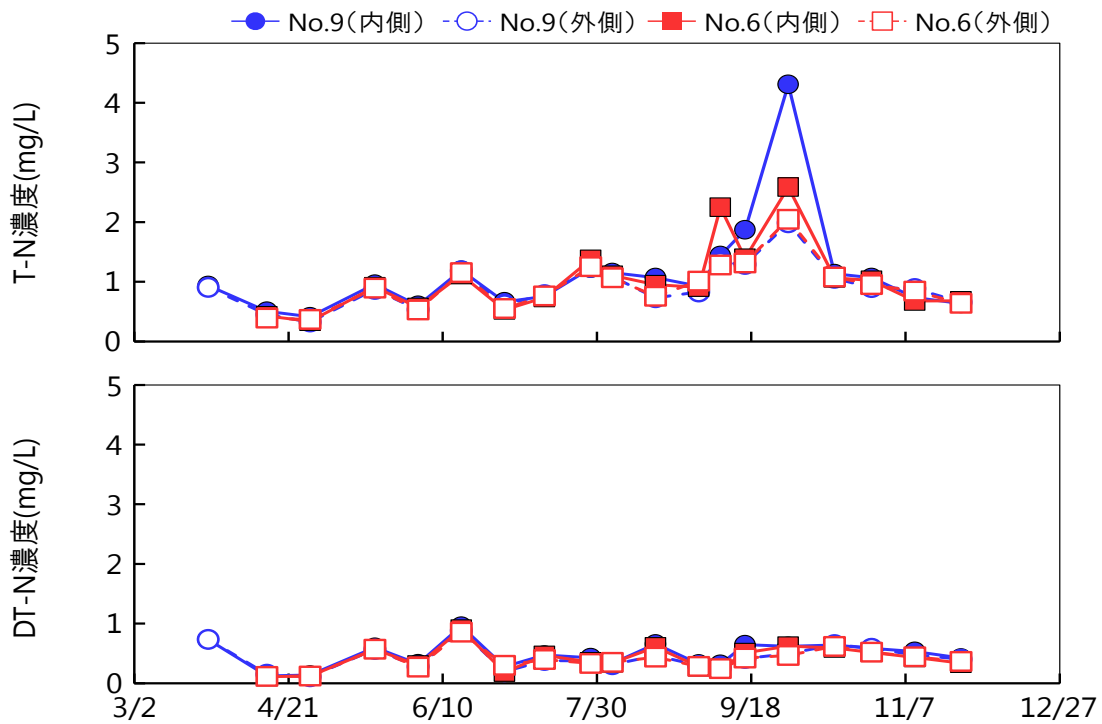


図4 夜叉袋消波堤 No. 6、No. 9 と消波堤外の T-N、DT-N 濃度の変化

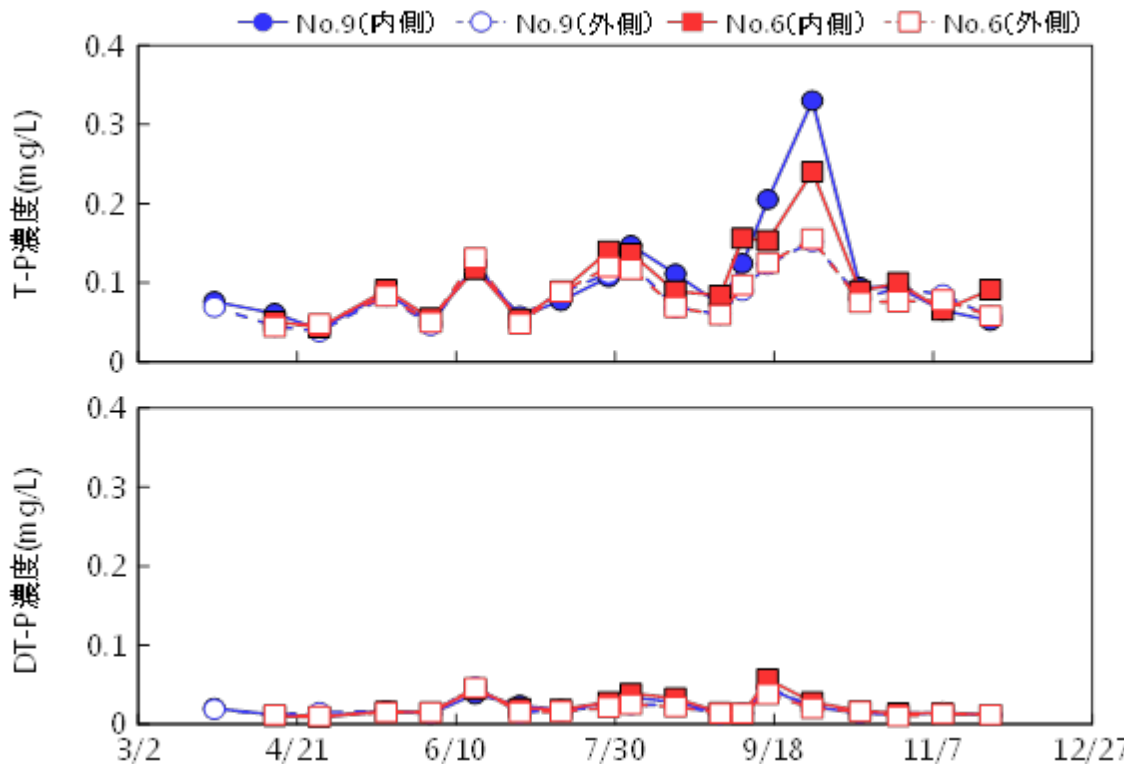


図5 夜叉袋消波堤 No. 6、No. 9 と消波堤外の T-P、DT-P 濃度の変化

また、ECは5月下旬から6月上旬が最も高く、8月にかけて徐々に低下したが、9月以降再び上昇している。

3-2 牡丹川消波堤（タイプ A、B-1、C-1、D-1、D-2）の水質変化

同様に、牡丹川消波堤 A の年間の水生植物の生育変化(アオコ発生を含む)を写真 5～写真 8 に示した



写真 5 牡丹川消波堤 A の水生植物等の生育状況 (平成 26 年 4 月 28 日)



写真 6 牡丹川消波堤 A の水生植物等の生育状況 (平成 26 年 7 月 28 日)



写真 7 牡丹川消波堤 A の水生植物等の生育状況 (平成 26 年 9 月 30 日)



写真 8 牡丹川消波堤 A の水生植物等の生育状況 (平成 26 年 11 月 25 日)

上記写真より、牡丹川消波堤 A では、夜叉袋消波堤 No.9 のようなアオコの集積は認められなかった。これは、9 月以降の牡丹川消波堤 A の EC は 10~15 mS/m で夜叉袋消波堤 No.9 の 20~30 mS/m より低く、栄養塩類濃度等が低かったことによると推察される。

牡丹川の各消波堤における EC、濁度、Chl.a、T-N、DT-N、T-P および DT-P 濃度の変化を図 6～図 10 に示した。牡丹川消波堤では、夜叉袋のような顕著なアオコの集積は認められなかったが、8 月上旬と 9 月中～下旬に Chl.a 濃度と T-N、T-P 濃度の上昇が認められた。

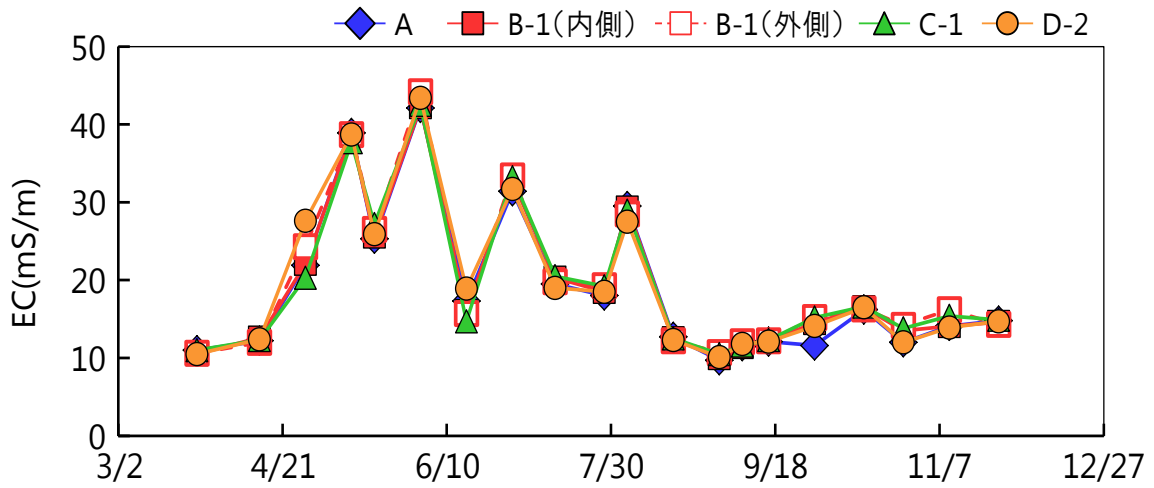


図6 牡丹川各消波堤と消波堤外の EC 変化

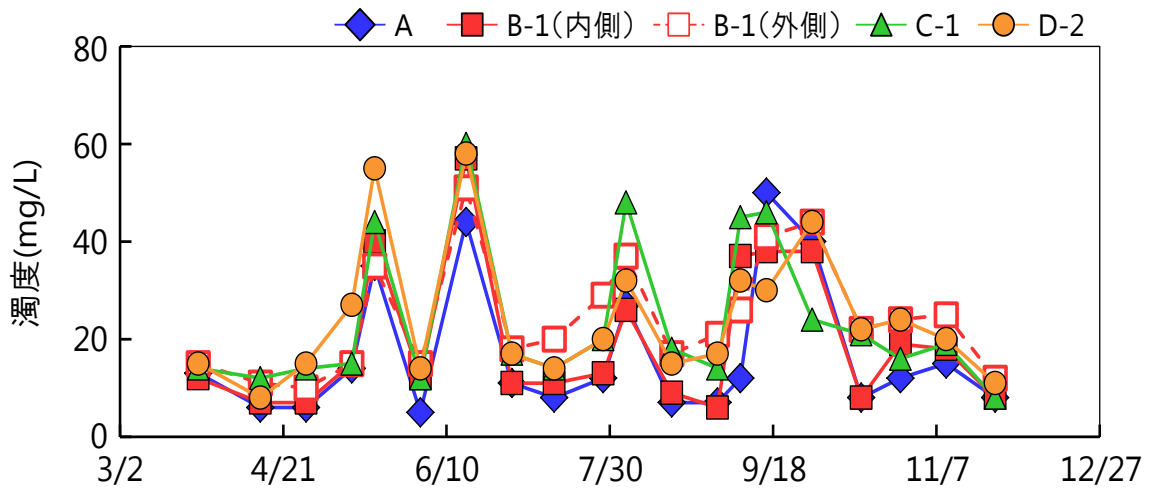


図7 牡丹川各消波堤と消波堤外の濁度変化

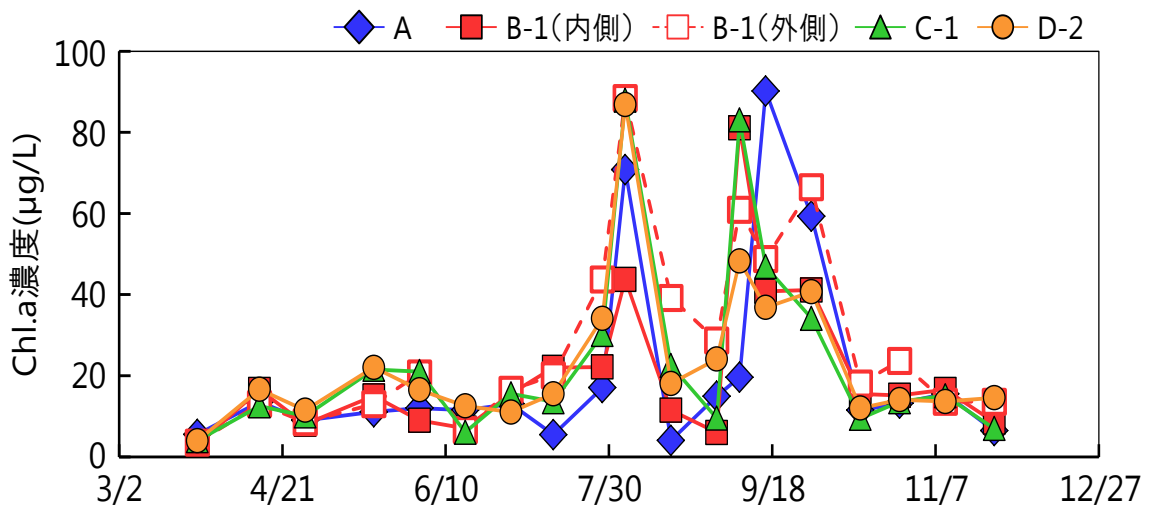


図8 牡丹川各消波堤と消波堤外の Chl. a 濃度の変化

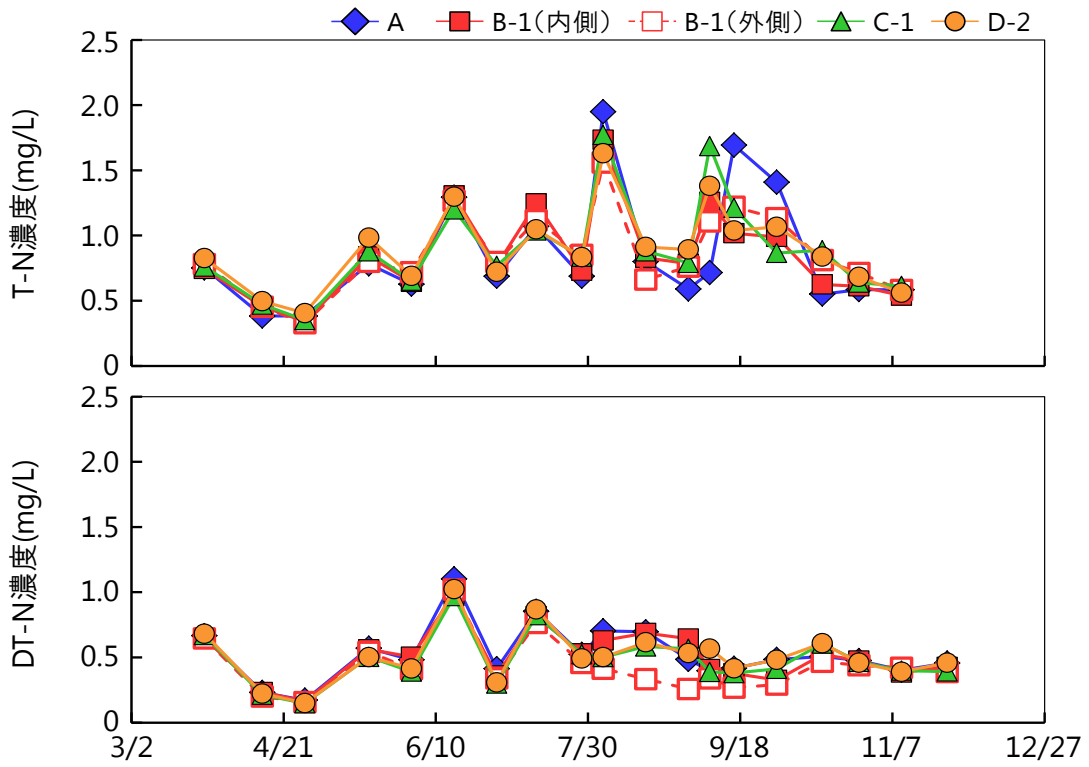


図9 牡丹川各消波堤と消波堤外の T-N、DT-N 濃度の変化

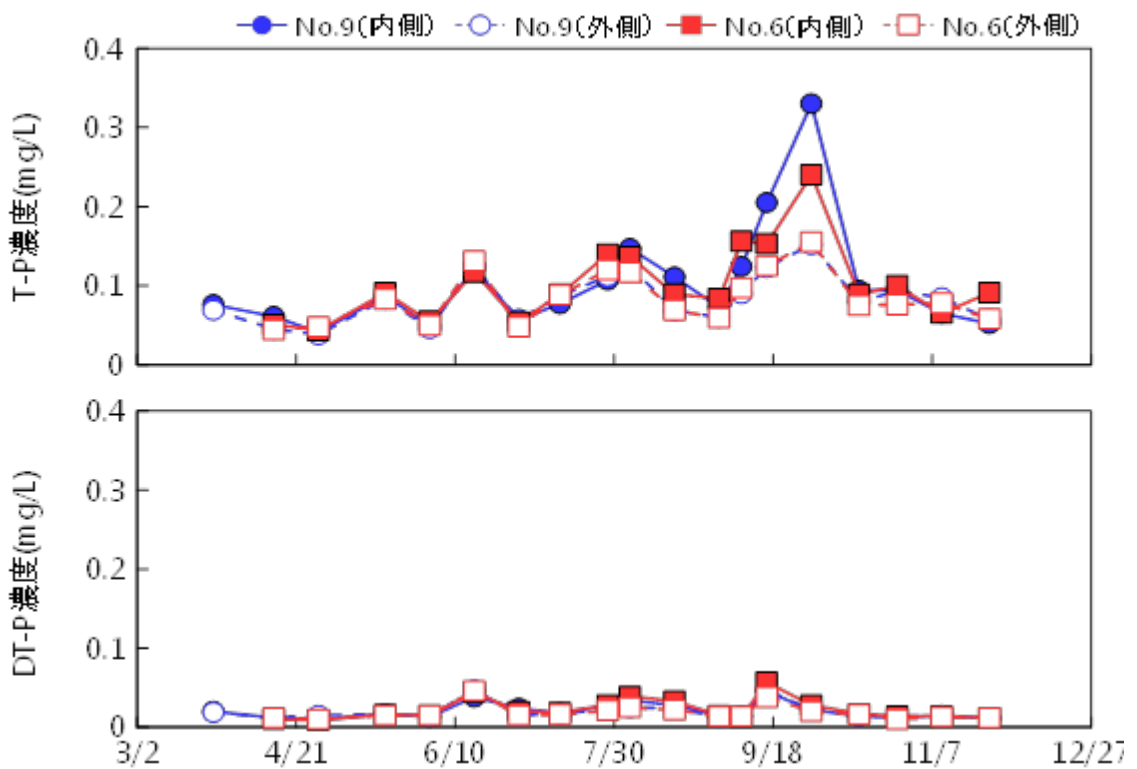


図10 夜叉袋消波堤 No. 6、No. 9 と消波堤外の T-P、DT-P 濃度の変化

3-3 沈水植物再生ゾーンにおける浮遊微生物相

(1) 出現浮遊微生物

浮遊微生物は、夜叉袋の消波堤(No.6、No.9)、三種川河口の消波堤(No.8)、牡丹川河口の消波堤(タイプ A:No.15、B-1:No.16、C-1:No.18、D-1:No.20、D-2:No.14)の各消波堤内側水面を調査対象とした。また、夜叉袋消波堤(No.9)、三種川河口消波堤(No.8)、牡丹川河口消波堤(D-1:No.20)の3地点において消波堤外側水面(東部承水路開放水面)を対照系として同時に調査対象とした。

試料の採取は、網目間隙 41 μm (編目斜長: 捕捉能 58 μm) のナイロン製プランクトンネット(NXXX25)を用いて日中に表層水からネットの水平曳きにより実施した。濾過水量は、各調査時の浮遊微生物濃度に応じ 50~200 リットル相当とし、濃縮試料として検鏡に供した。採取試料は、生物顕微鏡および実体顕微鏡を用いて検鏡し浮遊微生物を同定・計数した。この際、ホルマリンやアルコールなどの化学物質による固定は細胞の変形などを生じ同定に支障をきたすため、無固定で検鏡した。また、珪藻については、パイプユニッシュ処理を用いて細胞内容物を除去し殻の模様配列が判別しやすいようにした。

全試験区および対照区において出現が確認された浮遊微生物は、平成 25 年度の 163 種に比較し 121 種に減少した。内訳は、表 1 に示す藍藻(藍細菌) 22 種、表 2 に示す緑藻類 14 種、表 3 に示す珪藻類 27 種、表 4 に示す原生動物 27 種(内訳: 肉質虫類 10 種、鞭毛虫類 10 種、繊毛虫類 7 種)、表 5 に示す微小動物 31 種(内訳: 輪形動物 15 種、腹毛動物 1 種、線形動物 3 種、節足動物甲殻類 9 種、環形動物 2 種、緩歩動物 1 種)である。

表 1 出現が確認された藍藻類一覧

| 門 | 綱 | 種名 | 和名 |
|------|----|--------------------------------------|----------------|
| 藍色植物 | 藍藻 | <i>Synechococcus cf. aeruginosus</i> | シネココックス属の1種 |
| | | <i>Dactylococcopsis raphidioides</i> | ダクチロコッコプシス属の1種 |
| | | <i>Chroococcus turgidus</i> | クロオコックス属の1種 |
| | | <i>Microcystis aeruginosa</i> | アオコ属の1種 |
| | | <i>Microcystis wesenbergii</i> | アオコ属の1種 |
| | | <i>Microcystis viridis</i> | アオコ属の1種 |
| | | <i>Microcystis ichthyoblabe</i> | アオコ属の1種 |
| | | <i>Microcystis smithii</i> | アオコ属の1種 |
| | | <i>Woronichinia naegeliana</i> | ボロニチニア属の1種 |
| | | <i>Calothrix fusca</i> | カロスリックス属の1種 |
| | | <i>Calothrix parietina</i> | カロスリックス属の1種 |
| | | <i>Tolypothrix tenuis</i> | トリボスリックス属の1種 |
| | | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> | アフアニゾメノン |
| | | <i>Anabaena affinis</i> | アナベナ属の1種 |
| | | <i>Anabaena crassa</i> | アナベナ属の1種 |
| | | <i>Anabaena pseudocompacta</i> | アナベナ属の1種 |
| | | <i>Anabaena smithii</i> | アナベナ属の1種 |
| | | <i>Oscillatoria formosa</i> | ユレモ属の1種 |
| | | <i>Oscillatoria tenuis</i> | ユレモ属の1種 |
| | | <i>Phormidium mucicola</i> | フォルミジウム属の1種 |
| | | <i>Phormidium tenue</i> | フォルミジウム属の1種 |
| | | <i>Lyngbya lagerheimii</i> | サヤユレモ属の1種 |

平成 25 年度に確認された 163 種に比較し種多様性が低下したが、その減少率は、藍藻で約 12%、緑藻で約 44%、珪藻で約 21%、原生動物で約 27%、微小動物で約 26%であった。全体の減少率が約 26%であることを鑑みると、緑藻の種多様度の低下が顕著であること、藍藻の種多様度低下は限定的であることが特徴である。

表 2 出現が確認された緑藻類一覧

| 門 | 綱 | 種名 | 和名 |
|------|----|--------------------------------|------------|
| 緑藻植物 | 緑藻 | <i>Golenkinia radiata</i> | ゴレンキニア属の1種 |
| | | <i>Oocystis borgei</i> | オーキステイス |
| | | <i>Pediastrum duplex</i> | クンショウモ属の1種 |
| | | <i>Scenedesmus quadricauda</i> | イカダモ属の1種 |
| | | <i>Scenedesmus granulatus</i> | イカダモ属の1種 |
| | | <i>Oedogonium sp.</i> | サヤミドロ属の1種 |
| | | <i>Zygnema sp.</i> | ホシミドロ属の1種 |
| | | <i>Spirogyra sp.</i> | アオミドロ属の1種 |
| | | <i>Closterium gracile</i> | ミカヅキモ属の1種 |
| | | <i>Closterium exiguum</i> | ミカヅキモ属の1種 |
| | | <i>Cosmarium sp.</i> | ツヅミモ属の1種 |
| | | <i>Staurastrum cingulum</i> | ホシガタモ属の1種 |
| | | <i>Ulothrix sp.</i> | ヒビミドロ属の1種 |
| | | <i>Cladophora crispata</i> | ウキシオグサ |

表 3 出現が確認された珪藻類一覧

| 門 | 綱 | 種名 | 和名 |
|-------|----|-------------------------------|---------------|
| 不等毛植物 | 珪藻 | <i>Cyclotella sp.</i> | タイコケイソウ属の1種 |
| | | <i>Stephanodiscus sp.</i> | トゲカサケイソウ属の1種 |
| | | <i>Melosira varians</i> | チャヅツケイソウ属の1種 |
| | | <i>Aulacoseira granulata</i> | ニセタルケイソウ属の1種 |
| | | <i>Aulacoseira ambigua</i> | ニセタルケイソウ属の1種 |
| | | <i>Skeletonema subsalsum</i> | ホネツギケイソウ属の1種 |
| | | <i>Thalassiosira sp.</i> | タラシオシラ属の1種 |
| | | <i>Tabellaria flocculosa</i> | ヌサガタケイソウ |
| | | <i>Diatoma vulgare</i> | イタケイソウ |
| | | <i>Asterionella formosa</i> | ホシガタケイソウ属の1種 |
| | | <i>Synedra acus</i> | ハリケイソウ属の1種 |
| | | <i>Fragilaria crotonensis</i> | オビケイソウ属の1種 |
| | | <i>Fragilaria pinnata</i> | オビケイソウ属の1種 |
| | | <i>Fragilaria construens</i> | オビケイソウ属の1種 |
| | | <i>Achmanthes lanceolata</i> | ツメケイソウ属の1種 |
| | | <i>Diploneis sp.</i> | マユケイソウ属の1種 |
| | | <i>Neidium sp.</i> | ハネフネケイソウ属の1種 |
| | | <i>Stauroneis sp.</i> | ジュウジケイソウ属の1種 |
| | | <i>Navicula sp.</i> | フナガタケイソウ属の1種 |
| | | <i>Pinnularia gibba</i> | ハネケイソウ属の1種 |
| | | <i>Gyrosigma sp.</i> | エスガタケイソウ属の1種 |
| | | <i>Gomphonema sp.</i> | クサビケイソウ属の1種 |
| | | <i>Cymbella tumida</i> | クチビルケイソウ属の1種 |
| | | <i>Eunotia arcus</i> | イチモンジケイソウ属の1種 |
| | | <i>Nitzschia sp.</i> | ササノハケイソウ属の1種 |
| | | <i>Bacillaria sp.</i> | クサリケイソウ属の1種 |
| | | <i>Surirella sp.</i> | コバンケイソウ属の1種 |

表 4 出現が確認された原生動物一覧

| 門 | 綱 | 種名 | 和名 | |
|-------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| 肉質鞭毛虫 | 葉状根足虫 | <i>Amoeba proteus</i> | オオアメーバ | |
| | | <i>Vahlkampfia sp.</i> | バールカンピア属の1種 | |
| | | <i>Arcella sp.</i> | ナベカムリ属の1種 | |
| | | <i>Centropyxis sp.</i> | トゲフセツボカムリ属の1種 | |
| | | 糸状根足虫 | <i>Euglypha sp.</i> | ユーグリファ属の1種 |
| | | 太陽虫 | <i>Acanthocystis sp.</i> | アカンソキスチス属の1種 |
| | | 動物性鞭毛虫 | <i>Bodo sp.</i> | ボドヒゲムシ属の1種 |
| | | 植物性鞭毛虫 | <i>Ceratium sp.</i> | ツノオビムシ属の1種 |
| | | | <i>Euglena gracilis</i> | ミドリムシ |
| | | | <i>Phacus longicauda</i> | ナガウチワヒゲムシ |
| | | | <i>Trachelomonas armata</i> | ツノカラヒゲムシ |
| | | | <i>Monas sp.</i> | モナス属の1種 |
| | | | <i>Dinobryon sp.</i> | サヤツナギ属の1種 |
| | | | <i>Synura sp.</i> | シヌラ属の1種 |
| | <i>Eudorina sp.</i> | | ユードリナ属の1種 | |
| | <i>Pleodorina sp.</i> | | プレオドリナ属の1種 | |
| | | | | |
| 繊毛虫 | 旋毛 | <i>Halteria grandinella</i> | ハルテリア属の1種 | |
| | | <i>Oxytricha sp.</i> | オキシトリカ属の1種 | |
| | | 梁口 | <i>Nassula sp.</i> | ナスラ属の1種 |
| | | 貧膜口 | <i>Cyclidium sp.</i> | シクリディウム属の1種 |
| | | | <i>Vorticella microstoma</i> | ツリガネムシ属の1種 |
| | | | <i>Opercularia sp.</i> | オペキュラリア属の1種 |
| | | 前口 | <i>Coleps hirtus</i> | ヨロイミズケムシ属の1種 |

表5 出現が確認された微小動物一覧

| 門 | 綱 | 種名 | 和名 |
|----------------------------|-------|--------------------------------|---------------------------|
| 輪形動物 | 輪虫 | <i>Rotaria rotatoria</i> | ヒルガタワムシ |
| | | <i>Synchaeta stylata</i> | ドロワムシ |
| | | <i>Polyarthra vulgaris</i> | ハネウデワムシ |
| | | <i>Trichocerca capucina</i> | ネズミワムシ |
| | | <i>Trichocerca longiseta</i> | ナガツノネズミワムシ |
| | | <i>Diurella collaris</i> | エリガタフタオワムシ |
| | | <i>Asplanchna priodonata</i> | フクロワムシ |
| | | <i>Brachionus calyciflorus</i> | ツボワムシ |
| | | <i>Euchlanis dilatata</i> | ハオリワムシ |
| | | <i>Keratella cochlearis</i> | カメノコウワムシ |
| | | <i>Kellicottia longispina</i> | トゲナガワムシ |
| | | <i>Lepadella oblonga</i> | ウサギワムシ |
| | | <i>Lecane sp.</i> | サラワムシ属の1種 |
| | | <i>Hexarthra mira</i> | ミジンコワムシ |
| | | <i>Filinia longiseta</i> | ナガミツウデワムシ |
| 腹毛動物 | 腹毛 | <i>Chaetonotus sp.</i> | イタチムシ属の1種 |
| 線形動物 | 線虫 | <i>Diplogasteriana sp.</i> | ディプロガステリアナ属の1種 |
| | | <i>Ethmolaimus sp.</i> | エスマライムス属の1種 |
| | | <i>Pelodera sp.</i> | ペロデラ属の1種 |
| | | <i>Rhabditis sp.</i> | ラブヂチス属の1種 |
| 節足動物 | 鯉脚 | <i>Diaphanosoma brachyurum</i> | オナガミジンコ |
| | | <i>Daphnia pulex</i> | ミジンコ |
| | | <i>Scapholeberis mucronata</i> | アオムキミジンコ |
| | | <i>Simocephalus vetulus</i> | オカメミジンコ |
| | | <i>Moina macrocopa</i> | タマミジンコ |
| | | <i>Bosmina longirostris</i> | ゾウミジンコ |
| | | <i>Alona affinis</i> | オオシカクミジンコ |
| | | <i>Chyrorus sphaericus</i> | マルミジンコ |
| | | 顎脚 | <i>Cyclops vicinus</i> |
| | 環形動物 | 貧毛 | <i>Aelosoma hemprichi</i> |
| <i>Pristina aequisteta</i> | | | トガリミズミミズモドキ |
| 緩歩動物 | 真クマムシ | <i>Macrobiotus sp.</i> | クマムシの仲間 |

2013年に八郎湖流域で初めて高密度に増殖し優占化したアフアニゾメノン *Aphanizomenon flos-aquae* が、2014年にも5月から7月にわたり優占種となる高密度を呈した。藍藻類は春～秋の高水温期に増殖至適温度を示す種が多く、さまざまな環境適応能が知られている。八郎湖では、春および秋はアナベナ属 *Anabaena* spp. が、夏はアオコ属 *Microcystis* spp. がそれぞれ優占種となることが2012年の調査以降、継続して確認されている。継続調査における藍藻類の種構成を見ると、アナベナ属では、*Anabaena affinis*、

Ana. crassa、*Ana. pseudocompacta*、*Ana. smithii* が、アオコ属では、*Microcystis aeruginosa*、*M. wesenbergii*、*M. viridis*、*M. ichthyoblabe*、*M. smithii*が、それぞれ混成する全国の指定湖沼の藍藻出現状況と比較し、八郎湖のアオコは種多様度が高いことが特徴である。

八郎湖では2006年の調査から *Aphanizomenon flos-aquae* の出現が確認されている。出現当初の生育密度は最大でも1mlあたり10,000細胞以下であり、夏のみに見いだされ優占種となることはなかった。また、2012年までの調査では、*Aph. flos-aquae*が最も高頻度・高密度で見いだされるのは、三種川河口近くであり、夜叉袋から八郎湖にかけての南部域では低密度に留まっていた。しかし、2013年の調査では、春から東部承水路全域にて *Aph. flos-aquae*が見いだされ、春～初夏の優占種となっていることが確認された。2014年もこの状況は継続し5

月から7月の優占種となること、8月～9月の高水温期には密度が減衰することなどが確認された。2013年4月から11月および2014年5月から11月の *Aph. flos-aquae*細胞

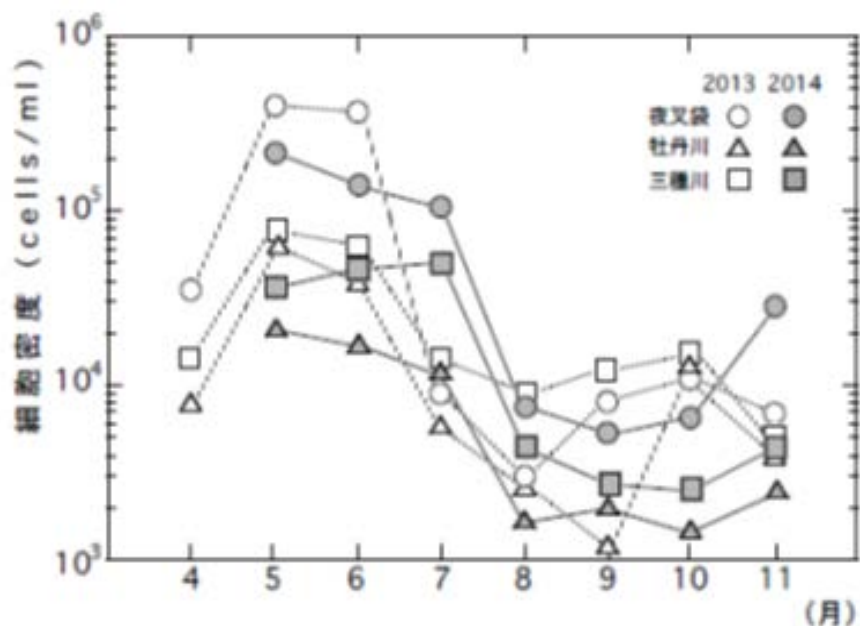


図11 *Aph. flos-aquae*細胞密度の推移

密度の推移は図11に示すとおりである。夜叉袋で2013年5月29日

に記録した1mlあたり410,000細胞が最大密度であり、同値を超える密度に達する観測は認められなかった。7月以降は水温の上昇に伴い優占種がアナベナ属およびアオコ属に交代し、*Aph. flos-aquae*の細胞密度が低減する現象は2013年と2014年で共通していた。

琵琶湖（滋賀県）では、1998年まで *Aph. flos-aquae*が全く観察されなかったが、1999年秋にはじめて見いだされ、水の華を形成するようになったことが報告されている。網走湖（北海道）にて *Aph. flos-aquae*が報告されて以降、温度応答性の検証などを併せ、*Aph. flos-aquae*は北方系の冷水性種と見られている。八郎湖における2006年以降の調査において、*Aph. flos-aquae*の密度が三種川河口近くで高い事実は、三種川からの流入水供給により同地点の水温が、滞留時間の長い八郎湖に比較し低かったと考えれば冷水性種との知見と整合的である。アファニゾメノン増殖初期の2013年4月および5月の月平均気温（大潟村）は、それぞれ7.9℃（4月）、13.7℃（5月）であった（気象庁、2014）。アオコ属

が異常増殖した 2012 年の月平均気温がそれぞれ 8.9℃（4 月）、14.4℃（5 月）であったこと（気象庁、2014）に比較すると 2013 年は前年比で約 1℃低温であった。春が低温であった事実は冷水性種の増殖に有利に働いたと考えられる。同様に 2014 年値を見ると、8.6℃（4 月）、16.0℃（5 月）と 2012 年に近似した値に高温化している。2014 年のアファニゾメノンの出現密度が 2013 年に比較して低減化した事実は、気温を主因と考えた昨年の考察結果と整合的となった。一方、アファニゾメノン高密度維持は夏期には収束し、例年どおり優占種がアオコ属に移行した。2013 年春に記録された低温傾向が夏には平年値に収束していることは、アファニゾメノンの高密度維持が春先に限定された挙動を裏づける事実である。一方、2012 年まで八郎湖においては春や秋ではなく高水温となる夏に *Aph. flos-aquae* が見いだされてきた。これは先の推論と異なる結果である。また、温度の他にリン制限が *Aph. flos-aquae* の出現に大きく影響すること、水域における滞留時間が藍藻の現存量および種構成に大きく影響すること、など多くの知見が集積されている。八郎湖における *Aph. flos-aquae* の出現機構にも温度のほか、栄養塩濃度、アオコ属・アナベナ属など他藍藻類との拮抗などの複数要因が複雑に関与しているものと推察された。八郎湖におけるアファニゾメノン出現におよぼす環境因子の影響解析については今後も検討を続ける必要がある。

（2）藍藻類の群体形成細胞数

2012 年度の調査において、消波堤の内側（試験区）と外側（対照区）で植物プランクトン密度を比較したところ、消波堤の内側（試験区）は、夜叉袋・牡丹川・三種川のいずれにおいても消波堤の外側（対照区）に比較して植物プランクトンの密度が高まることが解明されている。また、2012 年度の調査において、群体を形成する藍藻類の群体構成細胞数に消波堤の存在が影響を及ぼすことも見いだされた。すなわち、消波堤の外側である対照区で採集した試料に比較し、消波堤の内側の試験区で採集した試料で藍藻群体構成細胞数が増える事実である。これは、波浪による物理的な剪断力が大きい消波堤の外側に比較し、消波堤の内側では波浪が弱いことに起因して藍藻が群体を大きく成長させやすいことに起因すると推察された。

2013 年度は夏に優占種となる藍藻類 *Microcystis aeruginosa* に着目し、踏み込んだ調査検証を継続実施した。その結果、図 12 に示すとおり消波堤の内側で外側に比較し有意に *M. aeruginosa* の群体構成細胞数が高まっている事実が解明された。（paired t-test: 夜叉袋; $t=6.454$, $df=39$, $p<0.0001$ ・牡丹川; $t=8.065$, $df=39$, $p<0.0001$ ・三種川; $t=21.357$, $df=39$, $p<0.0001$ ）。

2014 年度は *M. aeruginosa* 同様に優占化する藍藻類 *Ana. crassa* に着目し、*M. aeruginosa* 同様の群体構成細胞数を比較検証した。なお、*Ana. crassa* の群体構成細胞数の計数に関しては、顕微鏡下で無作為に各 40 トリコームを選定し、選定された群体を構成する細胞数を顕微鏡下で計数した。

2014 年度の調査における、夜叉袋・牡丹川・三種川の各消波堤内外の *Ana. crassa* の群体構成平均細胞数および標準偏差は、夜叉袋では堤外 88 (SD:33.6) 細胞・堤内 126 (35.1) 細胞、牡丹川では堤外 94 (SD:27.7) 細胞・堤内 124 (31.7) 細胞、三種川では堤外 82 (SD:25.1) 細胞・堤内 117 (39.0) 細胞であった。計数した各 40 トリコームの構成細胞数を箱ヒゲ図で比較すると図 13 のとおり示される。夜叉袋・牡丹川・三種川のいずれの地点においても、消波堤の内側で外側に比較し有意に群体構成

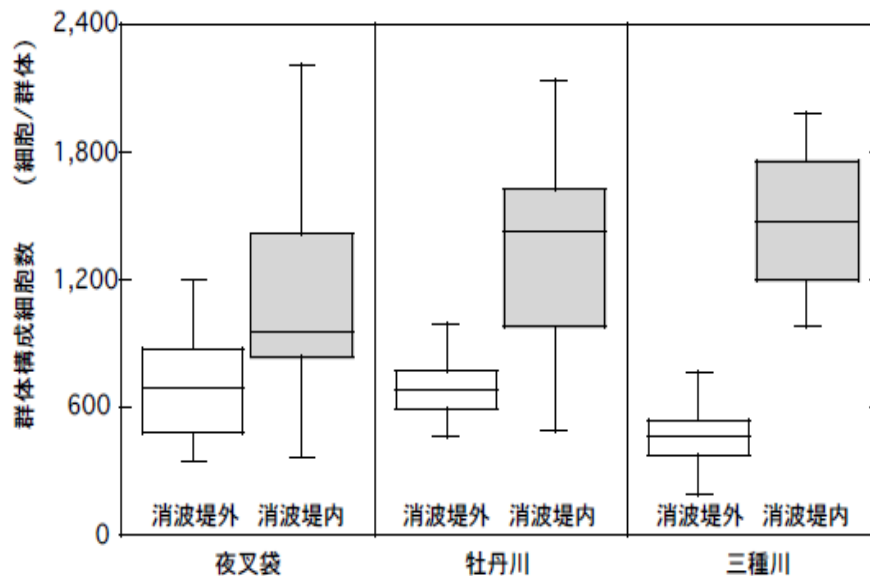


図 12 消波堤内外における *Microcystis aeruginosa* 群体構成細胞数の比較

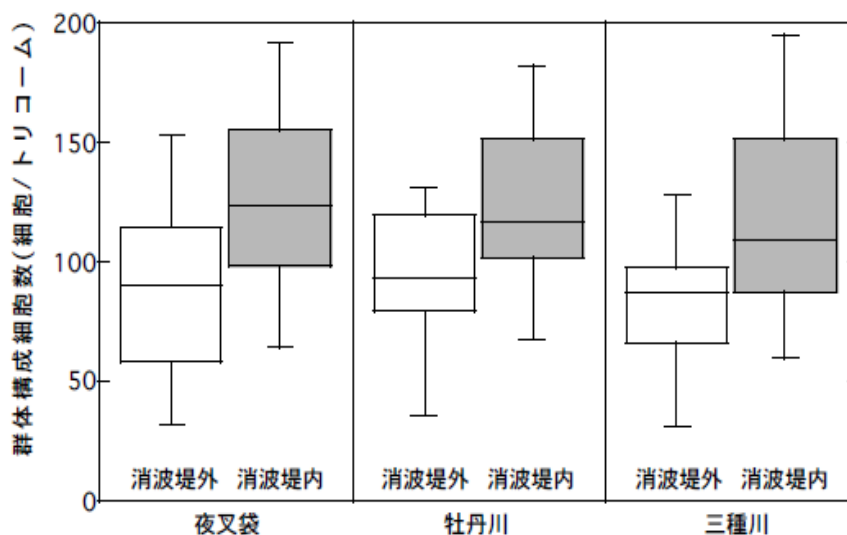


図 13 消波堤内外における *Anabaena crassa* 群体構成細胞数の比較

細胞数が高まっている事実が明らかとなった (paired t-test: 夜叉袋; $t=4.988$, $df=39$, $p<0.0001$ ・牡丹川; $t=5.183$, $df=39$, $p<0.0001$ ・三種川; $t=5.079$, $df=39$, $p<0.0001$)。これらの事実は、藍藻類 *Ana. crassa* についても 2013 年度の検証にて明らかとなった *Microcystis aeruginosa* 同様に、消波堤により堤内では群体が成長し巨大化していることを示唆している。

また、堤内外での群体構成細胞数の相違度は、*Microcystis aeruginosa* では、図 12 から

夜叉袋<牡丹川<三種川となっていること、同様に *Ana. crassa* についても図 13 から夜叉袋<牡丹川<三種川となっていることが明らかである。これは 2013 年に推察した各測点における堤内外の水の流動性に起因するとの考えを裏づける結果である。夜叉袋では L 型という半開放型の消波堤であるのに比較し、三種川ではコの字型で湖岸接続の完全閉鎖型であること、牡丹川は両者の中間でコの字型ながら通水部を設けた離岸設置とし、かつ堤底部に内外の水の流動性を確保するため複数の通水パイプを併設している。この構造の差異に起因し、夜叉袋<牡丹川<三種川の順に水の流動性が低下する（閉鎖性が高まる）ことが調査結果に顕在化したものと考えられる。

本研究により消波堤内において藍藻類 *M. aeruginosa* および藍藻類 *Ana. crassa* の群体が成長し肥大化・長大化することが明らかとなった。一方で、2013 年度の検証において *M. aeruginosa* 群体構成強度については、消波堤内の方が脆弱であることが明らかにされている。このことは、消波堤外は常時波浪による剪断力に曝されているため試料採取時には既に群体保持強度に応じた群体細胞数に収束していること、消波堤内は波浪静穏環境に甘んじ群体強度が脆弱な状態で過大に群体を成長させたため群体の結束強度が弱いことと推察した。2014 年度の検証において明らかになった *Ana. crassa* の群体長大化についても同様の現象が認められるものと推察される。

2013 年度の検証において、消波堤が堤内の *M. aeruginosa* 細胞数を高めてしまうこと、および *M. aeruginosa* の群体を成長させ大きな群体を形成させてしまうことを明らかにした。しかし、同時に堤内に形成される大きな *M. aeruginosa* 群体は群体保持力が堤外に比較し弱く分散しやすいこと、換言すれば捕食分解されやすいことも解明した。2014 年度の検証では同様のトリコーム長大化が *Ana. crassa* でも認められることを明らかにすることができた。今年度は *Ana. crassa* についての群体構成細胞強度の比較検証を実施することはできなかったが、*M. aeruginosa* 群体同様の方法にて実際の群体保持力を比較検証し、さらに波浪において生じる実際の剪断力を視野に入れた考察を実施することが今後、消波堤の有用性を実証する上で重要な位置づけにあると結論づけられる。

3-4 まとめ

- 1) 夜叉袋消波堤では、平成 26 年度は、平成 24 年度のような長期間のアオコの多量集積は認められなかったが、9 月中旬から後半にかけてアオコが集積し、消波堤 No.9 で濁度、Chl.a 濃度、T-N、T-P 濃度の上昇が認められた。
- 2) 牡丹川消波堤では、夜叉袋のような顕著なアオコの集積は認められなかったが、8 月上旬と 9 月中～下旬に Chl.a 濃度と T-N、T-P 濃度の上昇が認められた。
- 3) 調査した消波堤内と東部承水路において出現が確認された浮遊微生物は、藍藻（藍細菌）22 種、緑藻類 14 種、珪藻類 27 種、原生動物 27 種（内訳：肉質虫類 10 種、鞭毛虫類 10 種、繊毛虫類 7 種）および微小動物 31 種（内訳：輪形動物 15 種、腹毛動物 1 種、線形動物 3 種、節足動物甲殻類 9 種、環形動物 2 種、緩歩動物 1 種）の 121 種で、

平成 25 年度の 163 種に比べ減少した。

- 4) 波浪や水の流動性が低い波堤内では、藍藻類の *Microcystis aeruginosa* や *Anabaena crassa* の群体が成長し、肥大化・長大化することが明らかとなった。

4. 沈水植物再生ゾーンにおける水生植物の生育調査

4-1 調査の目的

本調査は、秋田県が平成 22 年から平成 23 年にかけて、湖辺景観生物多様性事業で設置した牡丹川河口の消波堤 15 基のうち、水の流出入条件の異なる 5 基（タイプ A、B-1、C-1、D-1、D-2）について、水生植物を主とした植生の回復状況の確認と沈水植物の再生可能性を検討することを目的として実施された。本章では、この 5 基において、植生の発達状況と季節変化を検討した結果を報告する。また、本年度の報告では平成 24 年度からの 3 年間の変化についても報告する。

4-2 調査の方法

1 基の消波堤によって仕切られた調査区（湖岸に対して水平方向に約 18m、垂直方向に約 12m の長方形）をおよそ 6m×6m のコドラート（1 消波堤に対して 6 コドラート）に便宜的に区切り、その中に出現した維管束植物の種名とその被度％を記録する方法で実施した。また、湖岸及び消波堤、コドラート内を踏査し、各々の水生植物の分布状況を、水面の上から見て水生植物の生育の範囲をおおまかな図を描くことによって記録した。これらの調査は平成 26 年 6 月から 11 月にかけて、およそ 4 週間に 1 回の頻度（6 月 8 日、6 月 30 日、7 月 26 日、8 月 20 日、9 月 13 日、10 月 4 日、11 月 3 日）で合計 7 回実施した。

4-3 調査の結果

4.1 出現した水生植物とその被度％

5 タイプの調査区では、ヒシ *Trapa japonica* Flerow、マコモ *Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf、ホソバミズヒキモ *Potamogeton octandrus* Poir. var. *octandrus*、ウキクサ *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.、アオウキクサ *Lemna aoukikusa* T.Beppu et Murata の 5 種の維管束植物が確認された。このうち、ヒシ、マコモ、ホソバミズヒキモの 6 月から 11 月の被度％の変化を図 1 に示した。

タイプごとに 3 種の植物の生育状況を概観すると、主にタイプ A および B-1 でのみ植生の発達が確認され、他のタイプでは、マコモ、ヒシの生育がごく限られた季節に確認されたのみであった。タイプ A では、6 月にすでにマコモの被度が 30%を超え、以降 10 月まで 30%前後の被度を維持していた。ホソバミズヒキモは 7 月に被度が急速に上昇し、その後緩やかに減衰して 9 月頃には消失した。タイプ B-1 では、マコモの被度は 8 月頃まではおよそ 10%前後で推移していたが、10 月に 20%を超えた。ホソバミズヒキモは 7 月頃までほとんど見られない状態であったが、8 月に急激に増殖し、30%に達した（写真 1～9）。



写真1. タイプAの様子（平成26年6月30日撮影）



写真2. タイプAの様子（平成26年8月20日撮影）



写真3. タイプAの様子（平成26年10月4日撮影）湖底における緑藻の繁茂する様子が見える。



写真4. タイプB-1の様子（平成26年6月30日撮影）



写真5. タイプB-1の様子（平成26年8月20日撮影）写真左側（既設堤防護岸側）にはヒシ、写真中央手前（上流側）にはホソバミズヒキモが生育している。



写真6. タイプB-1の様子（平成26年10月4日撮影）湖底における緑藻の繁茂する様子が見える。



写真7. タイプC-1の様子（平成26年8月20日撮影）水が濁り、湖底は見えない。



写真8. タイプD-1の様子（平成26年8月20日撮影）水が濁り、湖底は見えない。



写真9. タイプD-2の様子（平成26年9月13日撮影）水が濁り、湖底は見えない。

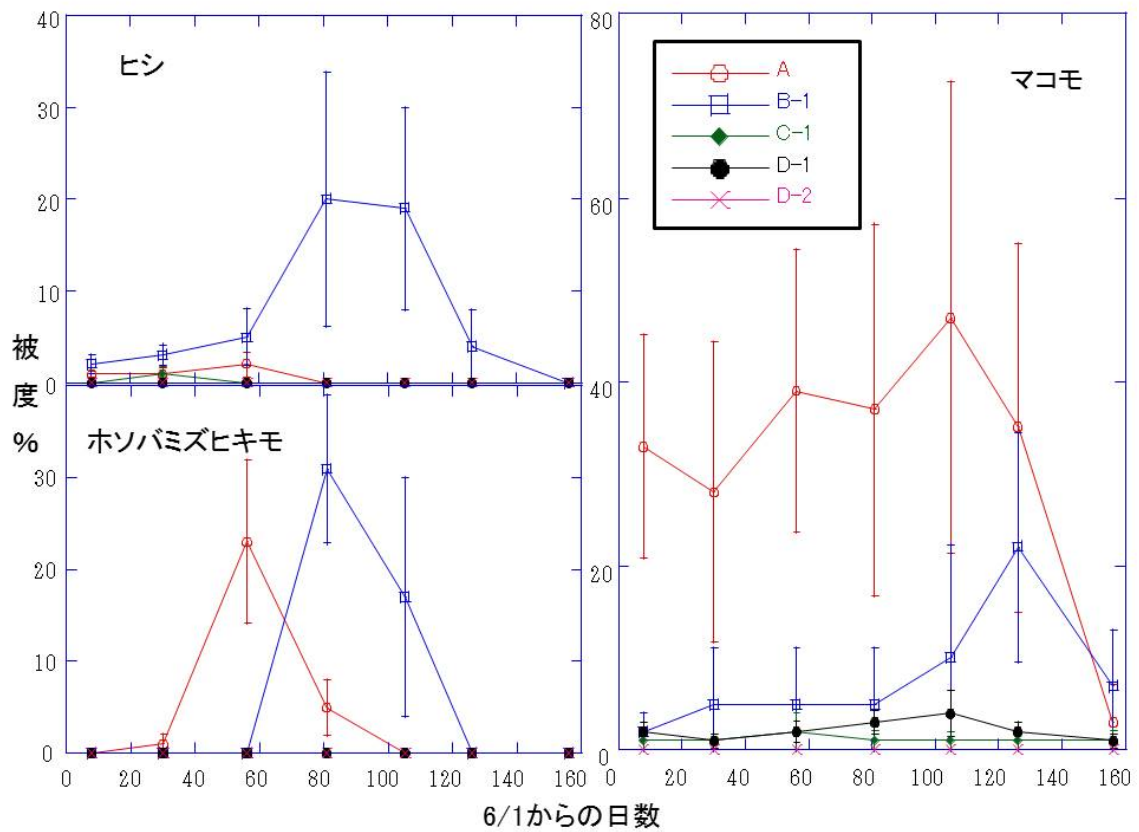


図1. 5つの消波堤におけるヒシ、マコモ、ホソバミズヒキモの6月から11月の被度%の変化. エラーバーは1/2 SDを示す。

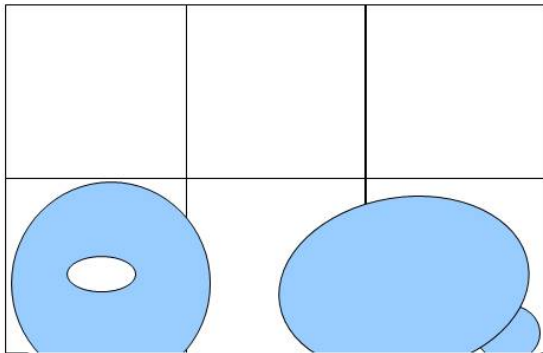
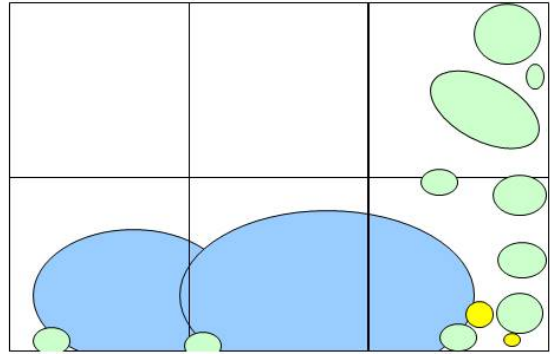
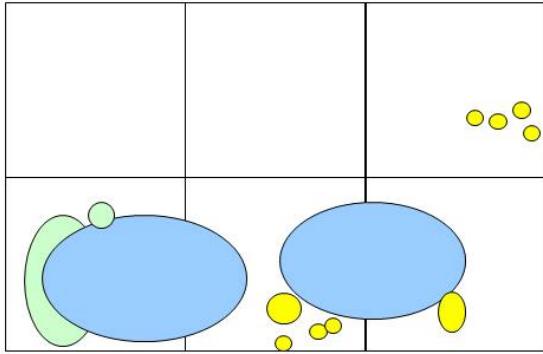
4.2 5タイプの消波堤における水生植物の生育状況

6月30日、8月20日、10月4日の5タイプの調査区における、ヒシ、マコモ、ホソバミズヒキモのおよその生育場所を便宜的に示したのが図2である。平成24年度、平成25年度に記録されたような、ヒシが全面を覆う状態への変化は、どのタイプでも確認されず、ヒシはいずれの場所、調査日でも局所的な生育にとどまった。

タイプAでは、6月30日にはマコモの大きな株が既設堤防護岸側に2株生育し、既設堤防護岸側を占有していた。この傾向は1年を通じて確認された。ヒシは既設護岸堤防付近にわずかに見られる程度であり、8月20日にはほとんど消失した。ホソバミズヒキモは、6月30日にマコモの株の周囲や消波堤付近に見られるようになり、8月20日には沖側（消波堤に沿って）にも出現していた（写真10）。10月4日にはヒシ、ホソバミズヒキモは全く確認されなくなり、マコモだけが生育していた。タイプB-1には、6月30日にはすでにヒシ、マコモの生育が見られた。マコモは既設堤防護岸側に見られた。ヒシは点在するように出現していたが、8月20日以降は主に既設堤防護岸側を半ば覆うように広がっていた。ホソバミズヒキモは、8月20日には広範に出現し、既設堤防護岸側では、マコモやヒシの生育場所を取り囲むように出現した。しかし、10月4日の調査では確認されなかった。タイプC-1、D-1では、マコモの生育が部分的に見られる程度であり、ヒシは分布拡大せず、ホソバミズヒキモは確認されなかった。タイプD-2では、6月30日にわずかにヒシの生育が確認されていたが、8月20日には植物は全く確認されなくなった。



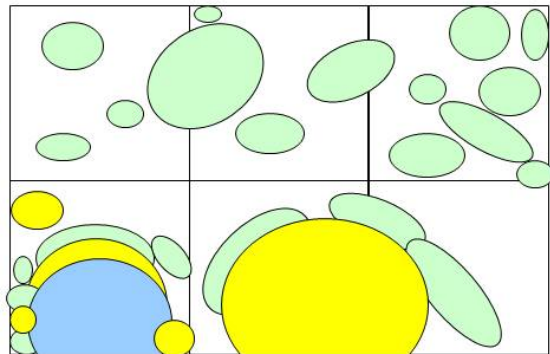
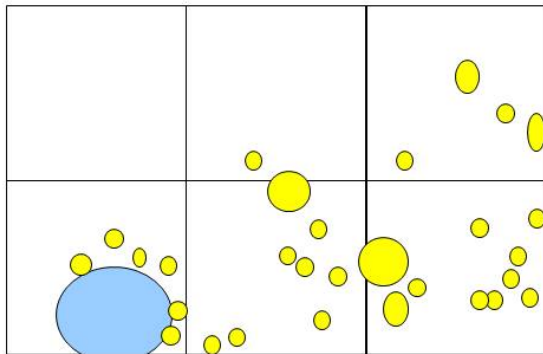
写真10. ホソバミズヒキモ（平成26年9月13日撮影）タイプB-1の消波堤の近くに生育していた。手前の礫は消波堤



- ホソバミスヒキモ
- ヒシ
- マコモ

タイプA

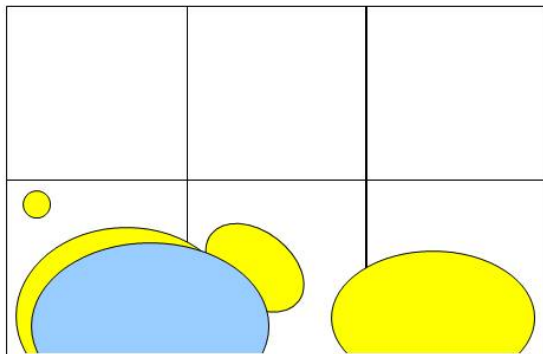
左上：6月30日
 右上：8月20日
 左下：10月4日

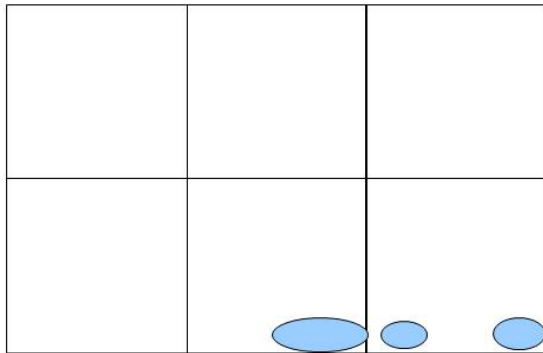
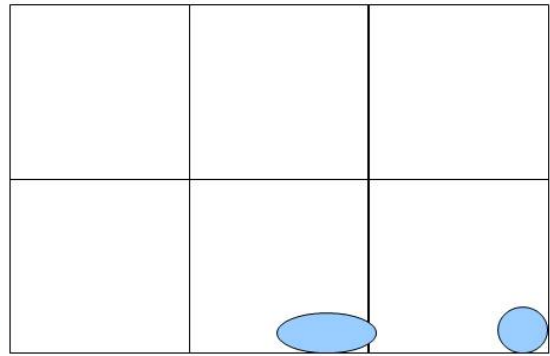
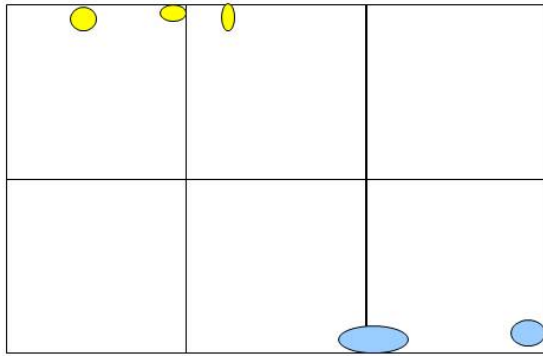


- ホソバミスヒキモ
- ヒシ
- マコモ

タイプB-1

左上：6月30日
 右上：8月20日
 左下：10月4日

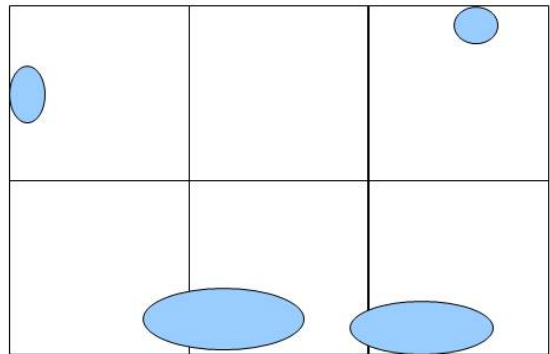
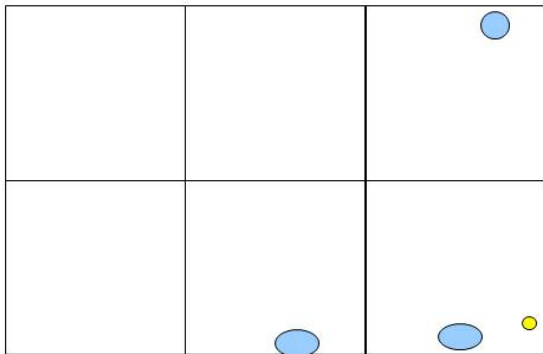




- ホソバミスヒキモ
- ヒシ
- マコモ

タイプC-1

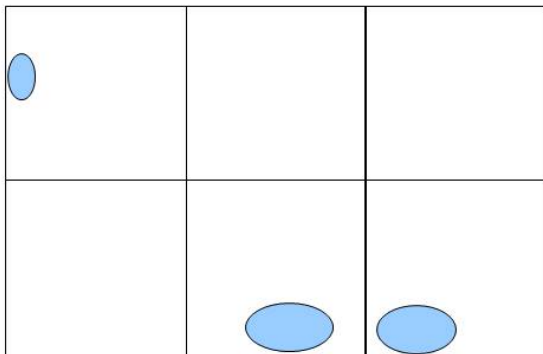
左上：6月30日
 右上：8月20日
 左下：10月4日



- ホソバミスヒキモ
- ヒシ
- マコモ

タイプD-1

左上：6月30日
 右上：8月20日
 左下：10月4日



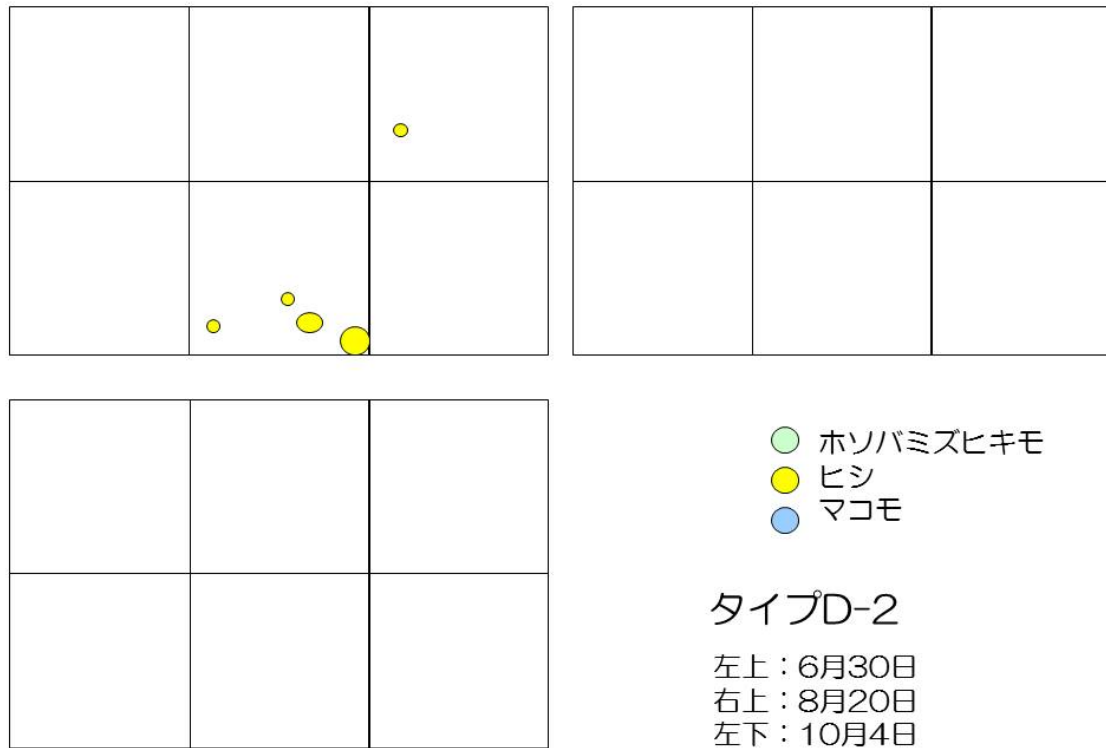


図2. ヒシ、マコモ、ホソバミズヒキモの分布範囲。

各図の上方が沖側、下方が既設護岸堤防側、右側が東部承水路上流方向、左側が東部承水路下流方向である。湖岸に対して水平方向（横）は約18m、垂直方向（縦）は約12m、各コドラートは約6m×6mの正方形である。



写真11. アオコが発生した調査地（平成26年9月13日撮影）

外部からの水の移動の少ないタイプ A、B-1 では、水に濁りは少なく澄んでおり、湖底付近には緑藻が繁茂していた。一方、外部からの水の移動の多いタイプ C-1、D-1、D-2 ではほぼ年間を通して水が大きく濁り、水中の様子をうかがうことは容易ではなかった。9月13日には、D-1などでアオコが発生した（写真11）。

表1. 平成24年度～平成26年度の各消波堤における、ヒシ、マコモ、ホソバミズヒキモの被度%比較. 平均±SDを表している。太字は3年間のうち被度%が最大のものがかつ5.0%以上の数値を示している。

| 種名・調査年 | A | B-1 | C-1 | D-1 | D-2 | 調査日 |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|
| 初夏 | | | | | | |
| ヒシ | | | | | | |
| 24 | 3.33 ± 1.51 | 4.00 ± 3.16 | 3.83 ± 3.31 | 2.67 ± 3.72 | 3.67 ± 3.20 | 7月7日 |
| 25 | 0.50 ± 0.55 | 2.33 ± 1.63 | 6.83 ± 4.75 | 0.50 ± 0.55 | 2.67 ± 1.97 | 7月8日 |
| 26 | 1.33 ± 1.51 | 2.67 ± 2.25 | 0.67 ± 1.21 | 0.17 ± 0.41 | 0.33 ± 0.52 | 6月30日 |
| マコモ | | | | | | |
| 24 | 0.67 ± 1.21 | 0.00 ± 0.00 | 0.17 ± 0.41 | 0.33 ± 0.52 | 0.17 ± 0.41 | 7月7日 |
| 25 | 8.33 ± 12.11 | 0.83 ± 2.04 | 2.50 ± 4.18 | 1.00 ± 1.10 | 0.00 ± 0.00 | 7月8日 |
| 26 | 28.33 ± 32.51 | 5.00 ± 12.25 | 0.50 ± 0.84 | 1.17 ± 1.47 | 0.00 ± 0.00 | 6月30日 |
| ホソバミズヒキモ | | | | | | |
| 24 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 7月7日 |
| 25 | 6.00 ± 4.52 | 9.17 ± 5.85 | 0.67 ± 0.52 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 7月8日 |
| 26 | 0.83 ± 2.04 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 6月30日 |
| 晩夏 | | | | | | |
| ヒシ | | | | | | |
| 24 | 2.00 ± 1.79 | 3.83 ± 1.33 | 2.50 ± 1.64 | 4.00 ± 3.22 | 2.50 ± 1.64 | 8月4日 |
| 25 | 1.33 ± 2.16 | 14.33 ± 8.29 | 40.00 ± 23.02 | 0.33 ± 0.52 | 29.17 ± 23.75 | 8月25日 |
| 26 | 0.17 ± 0.41 | 20.00 ± 27.57 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 8月20日 |
| マコモ | | | | | | |
| 24 | 1.00 ± 2.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.67 ± 1.21 | 1.00 ± 1.26 | 0.17 ± 0.41 | 8月4日 |
| 25 | 15.83 ± 20.10 | 0.33 ± 0.82 | 2.50 ± 4.18 | 4.00 ± 4.77 | 0.00 ± 0.00 | 8月25日 |
| 26 | 36.67 ± 40.33 | 5.00 ± 12.25 | 1.33 ± 2.16 | 3.17 ± 2.56 | 0.00 ± 0.00 | 8月20日 |
| ホソバミズヒキモ | | | | | | |
| 24 | 0.00 ± 0.00 | 0.50 ± 0.55 | 1.67 ± 1.51 | 0.00 ± 0.00 | 0.33 ± 0.52 | 8月4日 |
| 25 | 9.50 ± 11.20 | 4.83 ± 4.17 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 8月25日 |
| 26 | 5.33 ± 6.02 | 30.83 ± 16.25 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 8月20日 |
| 秋 | | | | | | |
| ヒシ | | | | | | |
| 24 | 1.33 ± 0.82 | 7.50 ± 4.18 | 44.17 ± 32.47 | 32.50 ± 34.46 | 14.33 ± 22.52 | 9月30日 |
| 25 | 3.33 ± 4.08 | 46.67 ± 25.82 | 57.50 ± 8.80 | 0.17 ± 0.41 | 47.50 ± 25.25 | 9月14日 |
| 26 | 0.00 ± 0.00 | 4.17 ± 8.01 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 10月4日 |
| マコモ | | | | | | |
| 24 | 3.33 ± 5.16 | 0.00 ± 0.00 | 2.50 ± 4.18 | 3.33 ± 5.16 | 0.00 ± 0.00 | 9月30日 |
| 25 | 15.00 ± 19.75 | 1.67 ± 4.08 | 2.50 ± 4.18 | 6.33 ± 7.66 | 0.00 ± 0.00 | 10月5日 |
| 26 | 35.00 ± 39.87 | 21.67 ± 24.83 | 1.33 ± 2.16 | 2.17 ± 1.94 | 0.00 ± 0.00 | 10月4日 |
| ホソバミズヒキモ | | | | | | |
| 24 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.33 ± 0.52 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 9月30日 |
| 25 | 13.33 ± 13.29 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 10月5日 |
| 26 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 0.00 ± 0.00 | 10月4日 |

4.3 経年比較

平成 24 年度から平成 26 年度（本年度）におけるヒシ、マコモ、ホソバミズヒキモの被度%を経年的に比較したのが表 1 である。各年度で同時期の植生を比較できるように、初夏（6 月末から 7 月上旬）、晩夏（8 月）、秋（9 月末から 10 月上旬）を併記した。

タイプ A、B-1 では、マコモの被度は年々上昇し、平成 26 年度のいずれの季節の調査でも他の年度より高い値を示した。特に、タイプ B-1 では、マコモに加えてヒシの被度も高まる傾向が確認されたが、秋には被度が低下し、平成 25 年度の被度が最も高くなっていた。また、初夏から晩夏にかけて沈水植物のホソバミズヒキモが出現していたが、タイプ A では、平成 25 年度で最も高く、タイプ B-1 でも晩夏以外で平成 25 年度が最も高くなった。タイプ B-1 の晩夏でのホソバミズヒキモの被度は平成 26 年度に最も高くなっていた。タイプ C-1 では、ヒシは平成 25 年度で高い被度を示したが、平成 26 年度にはほとんど確認されなくなった。タイプ D-1 ではマコモ、タイプ D-2 ではヒシがそれぞれ平成 25 年度に最も高くなったが、平成 26 年度には被度は低下した。タイプ C-1、D-2 では、ホソバミズヒキモが平成 24 年度から 25 年度にかけて出現していたが、平成 26 年度は記録されなかった。

4-4 まとめ

平成 24 年度、平成 25 年度に引き続き、外部との水の移入パターンの異なる 5 種類のタイプの消波堤によって仕切られた調査区で、6 月から 11 月の期間、水生植物の生育状況（被度%および生育場所）を継続的に調査した。出現した植物は、ヒシ、マコモ、ホソバミズヒキモ、ウキクサ、アオウキクサの 5 種であり、沈水植物はホソバミズヒキモ 1 種のみであった。平成 25 年度はこれに加えてヒロハノエビモが確認されていたが、本年度の確認はできなかった。

5 タイプの消波堤の間には、植物の出現、生育状況に違いが確認された。消波堤外からの水の流入が少ないタイプ A、B-1 では、マコモ、ヒシなどの抽水植物、浮葉植物の優占が確認された。マコモは主に既設堤防護岸側を中心に生育しており、ヒシ、ホソバミズヒキモは、消波堤付近やマコモ株の周囲を取り囲むように生育している傾向が認められた。一方、消波堤外からの水の流入の多い C-1、D-1、D-2 では、植生の発達はほとんど確認されなかった。また、3 年間のモニタリング結果から、全般的に植生の発達はあまり進むことはなく、消波堤によって植生の発達には違いが確認されたものの、タイプ A、B-1 でのみ植生の発達が確認された。タイプ C-1 では、平成 24 年度、平成 25 年度にわずかにホソバミズヒキモの生育が確認されたが、本年度は確認できなかった。出現したものの生育には適さない条件だったことが考えられる。このような植生の発達の違いをもたらしたのは、消波堤の構造の違いに起因する水の流入と流出による波による攪乱と水の濁り、アオコの発生などが植物の発芽（出芽）や成長に影響を及ぼしたためと考えられる。

水際に植生が発達していれば、各々の植物体が消波の効果をもたらす、湖底の土砂を浮遊させることは少ない。現在の八郎湖や東部承水路のように、植生がほとんど消失している場合は、消波の効果は失われ、湖底の土砂が浮遊することによって水が濁る。その濁りは水中への光の到達を妨げるため、特に沈水植物の生存と成長に悪影響をもたらす。いったん、水際の植物が失われると、水は常時濁った状態となり、それがいつそう植物の生存率を低下させることを通して、植生の発達を妨げ、植生の回復が容易ではない。現在の八郎湖ではこのような悪循環に陥っているものと推測される。

植生の回復と発達を促すためには、まず、消波効果をもたらす人工的な構造物を設置することが必要であると推測される。沈水植物であるホソバミズヒキモは、特に消波堤付近の波の弱い場所や、マコモ株の周囲に出現していた。構造物や大型の抽水植物の生育による消波がホソバミズヒキモにとってのナース効果をもたらしたものと推測される。水中の光条件を悪化させることにより、全国各地の湖沼で繁茂が問題となっているヒシの繁茂も本年度はあまり確認されなかった。これには、昨年度まで実施したヒシの選択的除去の効果があるものと考えられるが、ヒシが水面全面を覆い尽くすような事態に陥ることがなければ、ヒシによる消波効果も期待できる可能性はある。

消波効果をもたらすためには、波打ち際の土砂が失われ、植物が流出したり、あるいは枯死するようなことがないようにも配慮する必要がある。ただし、本調査地でのタイプ C-1、D-1、D-2 のように、水の流入部分がある場合ではその効果は大きく薄れることにも注意が必要になる上、あくまでも人工構造物であることへの配慮も必要である。これらのことから、消波ブロックのような構造物と併せて、マコモなどの生育を促進する、あるいは人為的に植栽することも必要になると推測される。波による攪乱を抑制することができなければ、植生の発達は難しい。さらに、コンクリート等で設置された消波ブロックは、いったん設置すると取り除くことも容易ではない。粗朶のような、数年後になくなってしまふような構造物の設置が望ましいかもしれない。

人工的に植栽する際には、株が流出しないような構造が必要である。消波堤構造物程度の礫（または粗朶など）を積み、その間隙にマコモなどの大型の抽水植物を植栽し、構造物を中心に植生を拡大する。それによって波消効果が大幅に期待される。マコモがある程度定着したことを確かめ（沈水植物の生育環境の整備）、沈水植物の土壌シードバンクをまきだして出現させる手順が必要になると考えられる。ただし、それには1年～数年では回復することはなく、より多くの年月が必要であることも留意しなければならない。

波打ち際の湖底の構造そのものを変えることも、植生の発達を促す効果があるものと考えられる。季節的な水位の変動は、水生植物の発芽や成長に大きく影響をもたらす。また、自然の湖岸では、水域に移動するに従って徐々に水深が大きくなる。このような移行帯（傾斜地）の造成は、植生の発達を促す可能性がある。造成された移行帯の最深部に人工的な消波構造物を設置し、浅い場所にマコモなどの抽水植物を植栽することに

よって、時間をかけてゆっくりと植生に覆われるようにモニタリングすることによって、植生の再生を図ることができる可能性がある。

5. 牡丹川消波堤内における散布体バンクを用いた水生植物の発芽・再生

5-1. 目的

秋田県では、平成 21 年から東部承水路に消波堤を建設し、埋土種子や散布体を用いた水生植物の再生をめざしている。1 年目には沈水植物のホソバミズヒキモが大きな群落を形成した消波堤もあったが、沈水植物を持続的に生育させることが難しい現状にある。

この原因を明らかにするため、牡丹川河口に建設した構造や水深の異なる 5 基の消波堤内に、八郎湖流域等で採取した埋土種子や散布体を撒きだし、消波堤の構造や水深が水生植物の発芽・再生に与える影響を調査したので、その結果を報告する。

5-2 構造の異なる牡丹川消波堤における散布体バンクを用いた水生植物の再生試験

試験には秋田県が牡丹川河口付近に建設した構造の異なる 5 種類の消波堤を用いた。消波堤 A は、コの字形で、湖岸に接岸している閉鎖型消波堤、灌漑期の水

表1 散布体バンクの撒き出しに用いた消波堤の構造と水深

| 消波堤 | 構造 | 堤内の水深 (灌漑期) | 消波堤の設置場所 |
|-----|---------------|----------------|---------------|
| A | コの字、閉鎖型 | 60 cm | 東部承水路の牡丹川河口付近 |
| B-1 | コの字、塩ビ管解放型 | 60 cm | |
| C-1 | コの字、離岸型 | 60 cm | |
| D-1 | コの字、離岸・塩ビ管解放型 | 60 cm | |
| D-2 | コの字、離岸・塩ビ管解放型 | 80 cm | |

深 60cm。消波堤 B-1

☆塩ビ管解放型の消波堤には、直径20cmの塩ビ管を9本設置

は、コの字形で、湖岸に接岸しているが、直径 20cm の塩ビ管 9 個で東部承水路と水の交換ができる消波堤、灌漑期の水

深 60cm。消波堤 C-1 は、コの字形で、消波堤は湖岸から離岸し、水の交換が可能な離岸型消波堤、灌漑期の水

深 60cm。消波堤 D-1 は、コの字形で、消波堤は湖岸から離岸するとともに、直径 20cm の塩ビ管 9 個でも東部承水路と水の交換が可能な離岸型消波堤、灌漑期の水

深 60cm。消波堤 D-2 は、コの字形で、消波堤は湖岸から離岸するとともに、直径 20cm の塩ビ管 9 個でも東部承水路の水と交換が可能な離岸型消波堤、灌漑期の水

深 80cm (表 1)。平成 25 年 12 月 4 日に八郎湖流域の待入堤(15L)、北部干拓第 1 排水機場(5L)および天王東排水機場(3L)で採取した底質をよく混合後、牡丹川消波堤 A、B-1、C-1 および D-2 に設置した直径 78 cm、高さ 20cm のアゼ楽ガード[®]で作った小型筒状構造物内に、コンポスターを用いて、約 5 cm の厚さに撒き出した (図 1 に示すように各消波堤内の 3 ヶ所に撒き出す、写真 1 参照)。

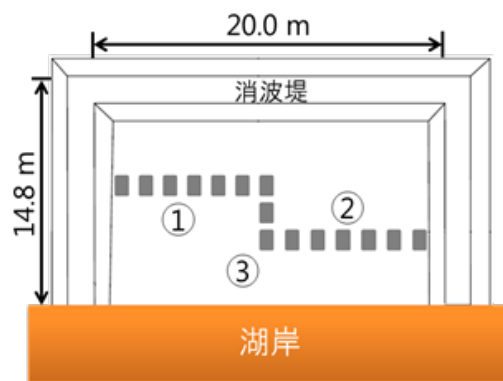


図1 消波堤内の散布体バンクの撒き出し場 (3ヶ所、消波堤A)

沈水植物の生育調査は、1週間または2週間おきに実施したが、洪水やアオコ発生等により、各沈水植物の生育状態や被度を正確に確認できないこともあった。



写真1 小型筒状構造物への散布体バンクの撒き出しの様子



写真2 散布体バンクの拡散を防ぐためコンポスターを1日設置(平成25年12月4日)

5-3 牡丹川消波堤における散布体バンクを用いた水生植物の再生結果

消波堤 A、B-1、C-1 および D-2 内の小型筒状構造物に散布体バンクを撒き出した直後の状態を写真3、そのうえで平成26年の春～夏に鳥害防止用のトリカルネットを設置する試験区を写真4に示した。

八郎湖の氷が氷解した平成26年3月26日に調査に行ったところ一部の試験区で写真5のように鳥害防止枠設置のために打っていた鉄筋が倒れていたため、修理した。



写真3 小型筒状構造物内に散布体バンクを撒き出した直後の状態(平成25年12月5日)



写真4 鳥害防止のためトリカルネットを設置(設置時の写真)



写真5 氷の氷解により倒れた鉄筋(平成26年3月26日撮影)

4月に入り、小型筒状構造物内の沈水植物の発芽・生育状況を長さ1mの塩ビパイプの先にシャーレを張り付けた水中メガネ等を用いて毎週調査したが、写真6～写真11のように水深が深く、水が濁っていたため水面上からは沈水植物の生育は確認できなかった。また、8月4日には写真11のように消波堤B-1にアオコが発生した。



写真6 消波堤 A の水生植物の生育状況
(平成26年6月24日)



写真7 消波堤 D-2 の水生植物の生育状況
(平成26年6月24日)



写真8 水面まで伸長したクログアイ
(消波堤 B-1、平成26年6月24日)



写真9 水面まで伸長したホソバミズヒキモ
(消波堤 A、平成26年7月28日)



写真10 消波堤 B-1 の水生植物の生育状況
(平成26年7月28日)



写真11 アオコが発生した消波堤 B-1
(平成26年8月4日)

8月中旬になり、八郎湖の水位が低下し始めると、写真12～15のように、水面上からでも水生植物の生育が確認できるようになった。消波堤の閉鎖性が高く、水深が浅い程、湖底に到達する光の量が多くなるので、消波堤A、消波堤B-1、消波堤C-1の順にミズオオバコの生育が悪くなることが確認できた。また、8月17日には、水深80cmの消波堤D-2ではミズオオバコの生育は水面上からは確認できなかった。



写真 12 消波堤 A のミズオオバコの生育状況
(平成 26 年 8 月 17 日)



写真 13 筒状構造物内のミズオオバコ
(消波堤A、平成 26 年 8 月 17 日)



写真 14 消波堤 B-1 のミズオオバコの生育状況
(平成 26 年 8 月 17 日)



写真 15 消波堤 C-1 のミズオオバコの生育状況
(平成 26 年 8 月 17 日)



写真 16 消波堤 A のミズオオバコ開花
(平成 26 年 9 月 1 日)



写真 17 消波堤 B-1 のミズオオバコ開花
(平成 26 年 9 月 1 日)

ミズオオバコの開花時期を各消波堤ごとに比較すると写真16～写真19のようになる。消波堤AとB-1の筒状構造物内では、9月1日に写真16と写真17のようにミズオオバコはきれいな花をたくさん咲かせた。消波堤C-1では、9月1日に1個の花をつけたが、消波堤D-2では写真19のように10月19日になって小さな花が水面まで伸びているのを確認した。



写真18 消波堤C-1のミズオオバコ開花
(平成26年9月1日)



写真19 消波堤D-2のミズオオバコ開花
(平成26年10月19日)

図2と図3に消波堤Aから消波堤D-2におけるミズオオバコの被度変化を図示した。消波堤AとB-1では、7月下旬からミズオオバコ群落の被度は増加し、9月上旬から下旬にかけて被度はほぼ100%に達した。消波堤C-1は解放型で、消波堤Aに比べ、水の濁度

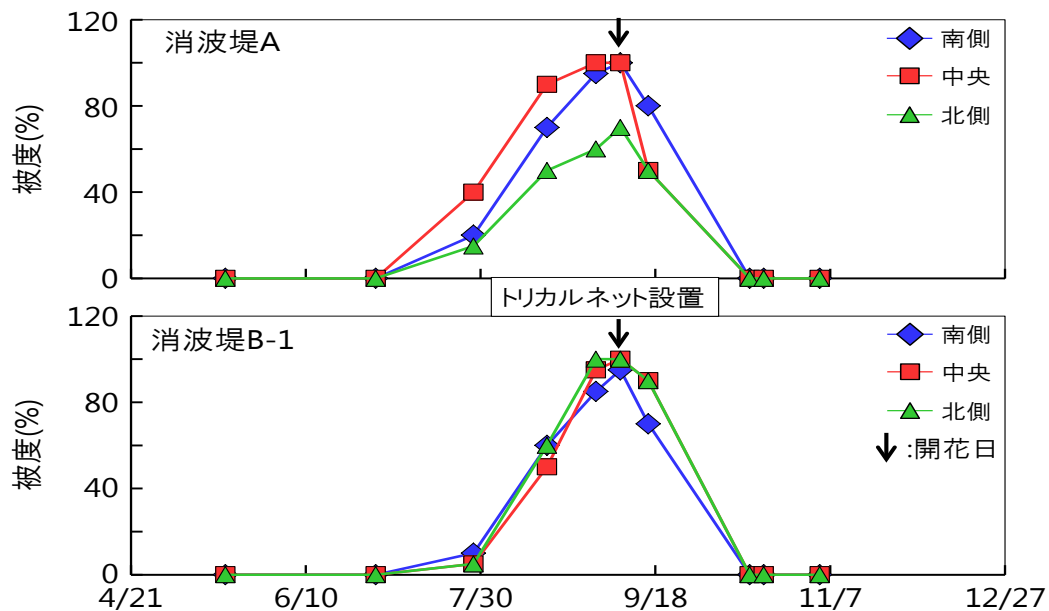


図2 消波堤AとB-1におけるミズオオバコ群落の被度変化

が比較的高かったため、ミズオオバコの生育は遅れ、最も被度が高かった9月8日でも、55~75%であった。一方、灌漑期の水深が80cmで最も深い消波堤D-2では小さなミズオオバコが数株しか生育せず、被度も10%(10月15日)を超えることはなかった。

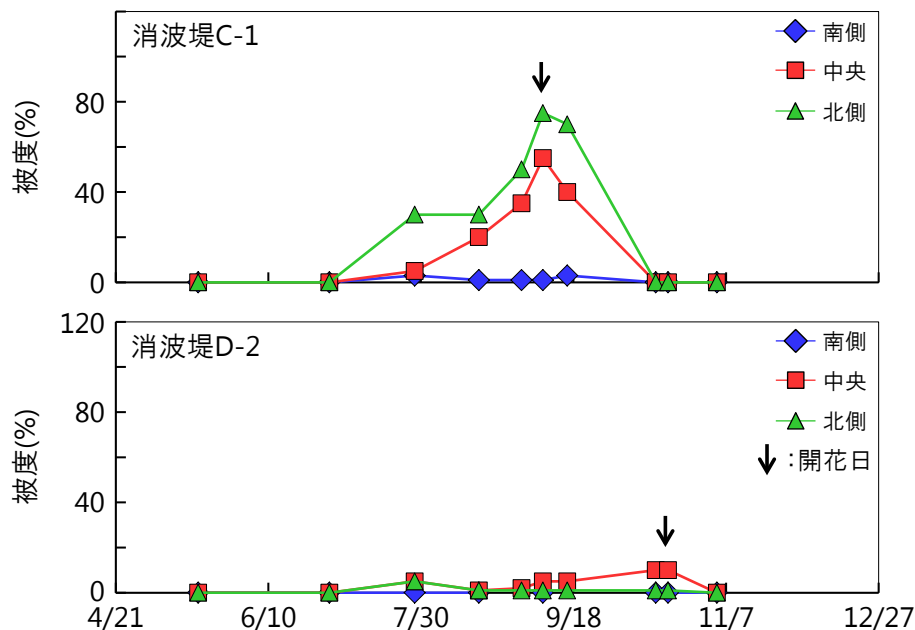


図3 消波堤C-1とD-2におけるミズオオバコ群落の被度変化

表2は、各消波堤に撒き出した散布体バンクから発芽・再生した水生植物の種類とその生育確認時期をまとめたものである。調査期間中に沈水植物7種とシャジクモ属の1種および抽水植物1種の合計9種類の水生植物の発芽・再生を確認できた。各消波堤で発芽・再生が確認された水生植物は、消波堤Aが5種類、消波堤B-1が6種類、消波堤C-1が7種類および消波堤D-2が2種類で、灌漑期の水深80cmの消波堤D-2では再生した沈水植物の種類は最も少なく、生育もよくないことが判明した。

表2 各消波堤に撒き出した散布体バンクから発芽・再生した水生植物の種類とその生育確認時期(平成26年)

| 和名 | 学名 | 発芽した消波堤と生育確認日 |
|-------------|-------------------------------|---|
| ● シャジクモ | <i>Chara braunii</i> | A (7/28~8/18), B-1 (7/28~8/18), C-1 (8/4~9/16) |
| ● ホソバミズヒキモ | <i>Potamogeton octandrus</i> | A (7/13~8/18), B-1 (7/28~8/4) |
| ● ヤナギモ | <i>Potamogeton oxyphyllus</i> | B-1 (5/19) |
| ● リュウノヒゲモ | <i>Potamogeton pectinatus</i> | A (6/30~7/13), B-1 (7/13~7/28), C-1 (6/16) |
| ● ミズオオバコ | <i>Ottelia alismoides</i> | A (7/28~9/30), B-1 (7/28~9/16), C-1 (7/28~9/30), D-2 (7/28~10/27) |
| ● フサモ属の1種 | <i>Myriophyllum</i> sp. | C-1 (7/13) |
| ● イバラモ属の1種 | <i>Najas</i> sp. | C-1 (9/8), D-2 (9/16~9/30) |
| ● ヒルムシロ属の1種 | <i>Potamogeton</i> sp. | A (6/2), C-1 (6/2) |
| クログワイ | <i>Eleocharis kuroguwai</i> | B-1 (6/30~8/18), C-1 (7/28~9/1) |

● 沈水植物

牡丹川消波堤における水深と光透過率の関係を図4に示した。得られた水深と平均光透過率の関係式より、水深60cm、80cmおよび100cmの光透過率を求めると、それぞれ9.6%、4.4%および2.0%となった。稲森らは、沈水植物の生育に必要な光透過率は3~14%となることを実験的に示しているが、灌漑期の水

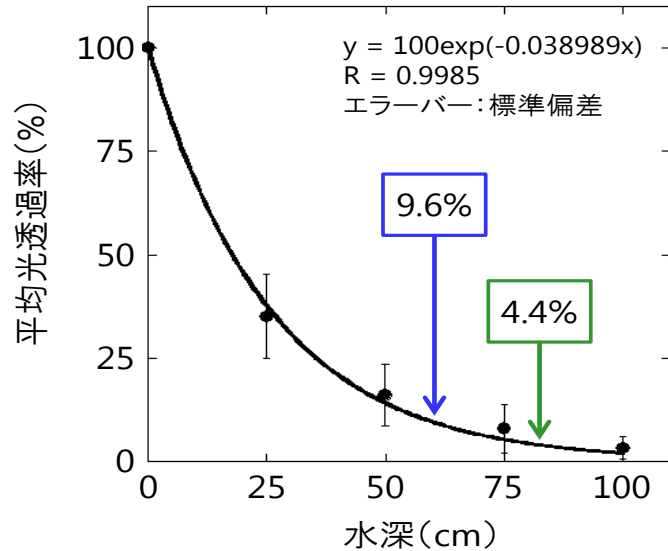


図6 牡丹川消波堤における水深と光透過率の関係
(平成26年4月14日~10月27)

一致している。また、水深100cmの光透過率は、稲森らが提示した透過率より低く、水深100cmの深さになると沈水植物の生育は著しく制限されるものと推察される。

5-4 まとめ

- 1) 八郎湖流域で採取した埋土種子や散布体バンクを牡丹川消波堤に撒き出し、沈水植物7種(ホソバミズヒキモ、ヤナギモ、リュウノヒゲモ、ミズオオバコ、フサモ属の一種、イバラモ属の一種、ヒルムシロ属の一種)とシャジクモ属の一種、抽水植物1種(クログワイ)の合計9種類の水生植物などが発芽・再生することを明らかにした。
- 2) 各消波堤で発芽・再生が確認された水生植物は、消波堤Aが5種類、消波堤B-1が6種類、消波堤C-1が7種類および消波堤D-2が2種類で、灌漑期の水深80cmの消波堤D-2では再生した沈水植物の種類は少なく、生育も著しく悪いことが判明した。
- 3) ミズオオバコの被度は、消波堤AとB-1ではほぼ100%に達したが、濁度が高かった消波堤C-1では55~75%となった。一方、灌漑期の水深が80cmの消波堤D-2では小さなミズオオバコが数株しか生育せず、被度も10%を超えることはなかった。
- 4) 牡丹川消波堤における水深と平均光透過率の回帰式より、水深60cm、80cmおよび100cmの光透過率を求めると、それぞれ9.6%、4.4%および2.0%となった。灌漑期の水深80cmの消波堤D-2では光透過率の低下により、ミズオオバコの生育と被度が非常に悪くなったものと考えられる。また、水深100cmでは、沈水植物の発芽・生育は著しく制限されるものと推察される。

6. 沈水植物再生における食害の影響とその対策

6-1. 目的

平成25年度の沈水植物再生試験では、夜叉袋消波堤 No.6 内に移植したセンニンモ、ホザキノフサモ、リュウノヒゲモのマット苗は、順調な生育を示したが、八郎湖の水位が低下した9月中旬には水鳥の食害を受け、鳥害対策をしていない試験区の沈水植物は完全に食い尽くされた。

このため、牡丹川消波堤と夜叉袋消波堤 No.7 において、簡易な食害防止法の確立をめざし、小型筒状構造物(直径 78cm、高さ 20cm)の上に目合い 2.8cm のトリカルネット N34(1×1m)を高さを変えて設置(写真1参照)し、その効果を確認する。



写真1 鳥害防止用のトリカルネットを付けた沈水植物栽培枠(2013. 12. 4)

6-2 牡丹川消波堤における鳥害防止用トリカルネットの設置試験

平成25年12月4日に八郎湖流域の待入堤(15L)、北部干拓第1排水機場(5L)および天王東排水機場(3L)で採取した底質をよく混合後、牡丹川消波堤 A、B-1、C-1 および D-2 に設置した直径 78cm、高さ 20cm のアゼ楽ガードで作った小型筒状構造物内に、コンポスターを用いて、約 5cm の厚さに撒き出した(各消波堤内の3ヶ所、第5章図1参照)。

沈水植物の生育調査は、原則として1週間おきに実施し、水生植物の生育が水面上から確認できるようになった平成26年8月26日に写真1のように鳥害防止用のトリカルネットを取り付けた。

トリカルネットの設置高さは、筒状構造物または沈水植物植栽面からの高さとした。

| 消波堤 | 筒状構造物の位置 | トリカルネットの設置高さ(cm) |
|--------|----------|------------------|
| 牡丹川A | 南側 | 30 |
| | 中央 | なし |
| | 北側 | なし |
| 牡丹川B-1 | 南側 | 20 |
| | 中央 | 30 |
| | 北側 | 20 |
| 牡丹川C-1 | 南側 | なし |
| | 中央 | なし |
| | 北側 | なし |

☆設置高さは、筒状構造物からの高さ

6-3 牡丹川消波堤における鳥害防止用トリカルネットの設置効果

牡丹川消波堤の筒状構造物内に発芽再生した水生植物の生育変化と鳥害の影響を調査した結果を写真2(9月1日)から写真13(10月15日)に示した。消波堤Aの鳥害防止用のトリカルネットを設置した南側(写真2)とトリカルネットを設置していない中央(写真3)のミズオオバコの生育状態は変わらず鳥害の影響は認められなかった。

また、9月30日にはミズオオバコの生育が写真8のように衰え、10月15日には大部分のミズオオバコの葉が流失したため、鳥害の影響を確認することはできなかった。

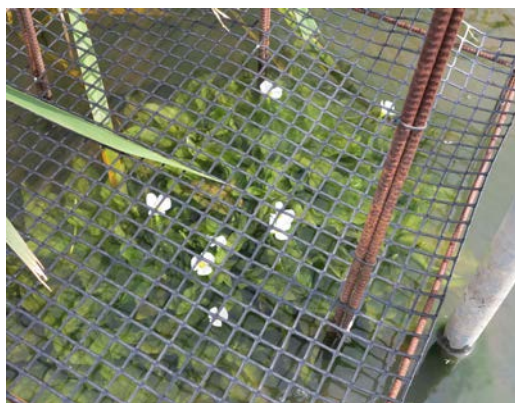


写真2 消波堤Aのトリカルネット設置区
(南側、平成26年9月1日)



写真3 消波堤Aのトリカルネット無設置区
(中央、平成26年9月1日)



写真4 消波堤B-1のトリカルネット設置状況
(北側から撮影、9月1日)



写真5 消波堤B-1のトリカルネット設置区
(中央、平成26年9月1日)



写真6 消波堤C-1の水生植物の生育状況
(南側から撮影、9月1日)



写真7 消波堤C-1のトリカルネット無設置区
(北側、9月1日)



写真8 消波堤 A のトリカルネット無設置区
(中央、平成 26 年 9 月 30 日)



写真9 消波堤 A のトリカルネット設置区
(南側、平成 26 年 9 月 30 日)



写真10 消波堤 B-1 のトリカルネット設置区
(南側、平成 26 年 9 月 30 日)



写真11 消波堤 C-1 のトリカルネット無設置区
ミズオオバコの小さな花が一つ開花
(南側、平成 26 年 9 月 30 日)



写真12 消波堤 A のトリカルネット無設置区
(中央、平成 26 年 10 月 15 日)



写真13 消波堤 A のトリカルネット設置区
(南側、平成 26 年 10 月 15 日)

6-4 夜叉袋消波堤 No.7 における鳥害対策試験

トリカルネットを用いた簡易鳥害対策の効果を確認するため、平成 26 年 9 月 9 日に県立大学の圃場で育苗していた、センニンモとホザキノフサモのマット苗それぞれ 4 株ずつ、

平成 25 年度に実施したのと同様な方法で、夜叉袋消波堤 No.7 に設置し、それぞれ 2 株に鳥害防止用のトリカルネットを植栽面から 20cm の高さに取り付けた(写真 14、写真 15)。

また、鳥害とコイ等による食害の影響を確認するため、9 月 22 日に、県立大学圃場のコ



写真 14 ホザキノフサモのマット苗の設置の様子(平成 26 年 9 月 9 日)



写真 15 マット苗の上部 20cm に鳥害防止用のトリカルネットを設置(平成 26 年 9 月 9 日)

ンテナーで栽培していたホザキノフサモとエビモをコンテナーごと、夜叉袋に運び消波堤 No.7 内に設置し、鳥害の時期等の調査を行った(写真 16、写真 17)。



写真 16 消波堤 No.7 に設置したホザキノフサモ植栽コンテナー(平成 26 年 9 月 22 日)



写真 17 消波堤 No.7 に設置したエビモ植栽コンテナー(平成 26 年 9 月 22 日)

6-4 夜叉袋消波堤 No.7 における沈水植物の食害と鳥害対策の効果

ホザキノフサモとセンニンモのマット苗は、移植直後は茎葉が水面にでていたが、9 月 18 日(写真 18、写真 19)には、水が濁っていたこのもあり水面上からは生育が確認できなかった。水の濁りがなくなった 10 月 19 日には、写真 21 のように鳥害防止用のトリカルネットを設置していない試験区のホザキノフサモとセンニンモの茎葉は消滅していた。

一方、11 月 25 日に鳥害防止用のトリカルネットを外して、ホザキノフサモとセンニンモの生育調査を行ったところ、写真 23 のように、両沈水植物とも生育しており、簡易鳥害防止対策の効果を確認することができた。



写真 18 消波堤 No. 7 に移植したホザキノフサモとセンニンモのマット苗(後方、鳥害防止用トリカルネット設置(9月16日))

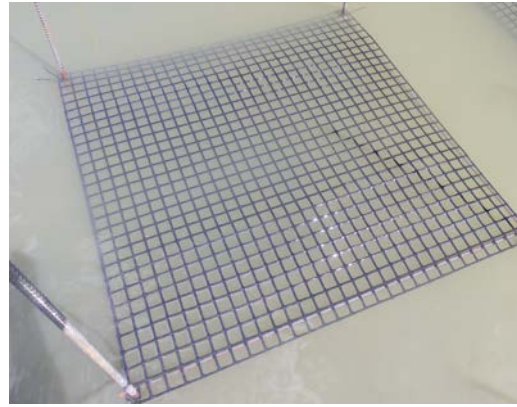


写真 19 鳥害防止用のトリカクネット(平成 26 年 9 月 16 日)



写真 20 消波堤 No. 7 の試験区の様子、濁りが高く水面上からは、沈水植物の生育確認できず(平成 26 年 9 月 22 日)



写真 21 消波堤 No. 7 の試験区の様子(平成 26 年 10 月 19 日)

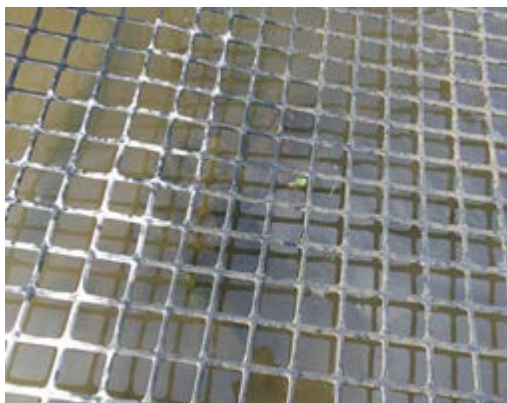


写真 22 消波堤 No. 7 の鳥害防止用トリカルネットの下で生育しているホザキノフサモ(平成 26 年 11 月 25 日)

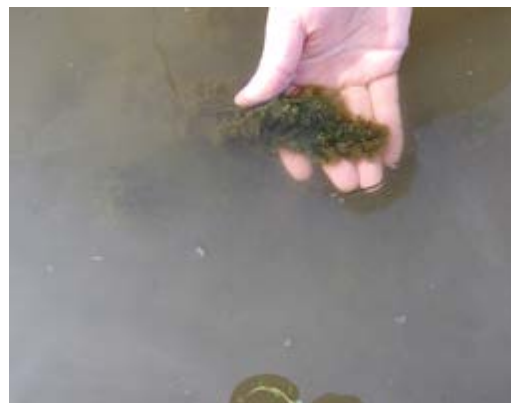


写真 23 鳥害防止用トリカルネットを外し、ホザキノフサモの生育確認(平成 26 年 11 月 25 日)

消波堤 No.7 に設置したホザキノフサモとエビモ植栽コンテナーは、設置した 9 月 22 日から 10 月 19 日(写真 24、写真 25)には鳥害が認められなかったが、10 月 27 日の調査で

は写真 26、写真 27 のように両植物とも完全になくなっていました。これらの結果より、10 月 19 日から 27 日にかけて八郎湖に飛来した水鳥により食害を受けたものと考えられる。



写真 24 消波堤 No. 7 に設置したホザキノフサモ植栽コンテナ (平成 26 年 10 月 19 日)



写真 25 消波堤 No. 7 に設置したエビモ植栽コンテナ (平成 26 年 10 月 19 日)



写真 26 消波堤 No. 7 に設置したホザキノフサモ植栽コンテナ (平成 26 年 10 月 27 日)



写真 27 消波堤 No. 7 に設置したエビモ植栽コンテナ (平成 26 年 10 月 27 日)

6-5 コイ等の魚やアメリカザリガニによる沈水植物の食害について

平成 25 年度の試験に引き続き、平成 26 年 5 月 9 日にセンニンモ、エビモおよびヒロハノエビモのマット苗をそれぞれ 3 株ずつ夜叉袋消波堤 No. 7 に移植し、食害の影響を調査した。夜叉袋消波堤 No. 7 に移植したセンニンモ、エビモおよびヒロハノエビモは移植後、3 週間近くは水中メガネでその生育が確認できたが、その後、生育が確認できなくなった。水位が低下した 9 月 30 日には、水はやや濁っているが、昨年の 9 月 10 日に撮影した写真 32 とは異なり沈水植物の生育は全く認められなかった。平成 25 年は 9 月中旬まで、植栽したセンニンモ、ホザキノフサモおよびリュウノヒゲモは食害の影響を受けなかったが、今年度は、コイ等の魚による食害を受けたのだろうか？夜叉袋消波堤内に大き



写真 28 消波堤 No. 7 に移植したヒロハノエビモのマット苗 (平成 26 年 5 月 9 日)



写真 29 消波堤 No. 7 へのマット苗の移植 (平成 26 年 5 月 9 日)



写真 30 マット苗を移植した消波堤 No. 7 にアオコ発生 (平成 26 年 8 月 4 日)



写真 31 消波堤 No. 7 に移植した 3 種類の沈水植物のマット苗の生育状況 (平成 26 年 9 月 1 日)



写真 32 平成 25 年には移植したマット苗は 9 月中旬までは順調に生育 (消波堤 No. 6、平成 25 年 9 月 10 日)



写真 33 消波堤 No. 7 に移植した 3 種類の沈水植物のマット苗は生育確認できず (平成 26 年 9 月 30 日)

なコイが侵入しているのを何回も見ているし、近くの別の消波堤では、シジミがコイの食害を受けたことを確認している。このため、本年度は移植したセンニンモ、エビモおよびヒロハノエビモのマット苗がコイ等の食害を受けたとすると、昨年は 9 月 10 日まで食害

を受けなかったのはどうしてなのか、今後、引き続き原因調査が必要である。

一方、夜叉袋消波堤 No.9(灌漑期の水深 75cm)と夜叉袋消波堤 No.6(灌漑期の水深 55cm)の食害防止枠内に植栽したエビモとセンニンモは、移植以降、2～3年間安定した生育をしている(写真 34～写真 37)。これらの結果より、エビモとセンニンモは、食害防止枠を設置すれば現在の八郎湖の水質でも、消波堤内で持続的に生育できることが確認できた。



写真 34 夜叉袋消波堤 No.9 の食害防止枠内に生育しているエビモ
(平成 26 年 11 月 17 日)



写真 35 夜叉袋消波堤 No.9 の食害防止枠内に生育しているセンニンモ
(平成 26 年 11 月 17 日)



写真 36 夜叉袋消波堤 No.6 の食害防止枠内に生育しているエビモ
(平成 26 年 11 月 17 日)



写真 37 夜叉袋消波堤 No.6 の食害防止枠内に生育しているセンニンモ
(平成 26 年 11 月 17 日)

6-6 まとめ

- 1) 牡丹川消波堤に設置した筒状構造物内に散布体バンクを撒き出し、鳥害防止用のトリカルネットを設置してその効果を調査したが、水生植物の生育期間中(6月2日から10月15日)では、鳥害は認められなかった。
- 2) ホザキノフサモとエビモ植栽コンテナを用いた鳥害試験では、10月19日～27日にかけて八

郎湖に飛来した水鳥の食害を受け、両沈水植物は消失した。

- 3) ホザキノフサモとセンニンモの植栽面より 20cm 上に鳥害防止用のトリカルネットを設置した試験区では、11 月 25 日の調査時まで両沈水植物は生育し、トリカルネットの鳥害防止効果が確認できた。
- 4) 現在の八郎湖の水質でも、食害防止柵を設置すれば、水深 55cm と 75cm の消波堤内でエビモとセンニンモは持続的に生育できることを確認した。
- 5) 平成 25 年の試験では、コイ等による食害の影響は少なかったが、平成 26 年度にはコイ等の食害が示唆される調査結果も得られたので、今後とも、コイやアメリカザリガニ等による食害調査とその効果的な対策を引き続き検討する必要がある。

7. 八郎湖における沈水植物再生試験のまとめと今後の課題

7-1. 沈水植物の生育に与える光環境の影響評価

秋田県立大学圃場内に設置した丸型水槽を用いて、遮光率を5段階に変化させ散布体バンクから沈水植物が発芽・再生する際の光強度の影響を調査した(写真1~写真10)。発芽・再生した水生植物は、無遮光の水槽1では8種、遮光率46%の水槽2では8種、遮光率68%の水槽3では9種、遮光率92%の水槽4では7種および遮光率98%の水槽5では4種の合計10種であった。採取した水生植物の乾燥重量は、無遮光の水槽1では124g、水槽2では89.2g、水槽3では80.1g、水槽4では24.6gおよび水槽5では2.9gとなり、水槽5のバイオマス量は無遮光の約2.3%となった(図1)。また、水槽5で発芽・再生した水生植物は、ヒロハノエビモ、ヒツジグサ、クログワイおよびシヤジクモ属の一種であった。牡丹川消波堤の水深と平均光透過率の回帰式より、水深100cmの光透過率を求めると2.2%となり、水槽5の光環境に近かった。これらの結果より、現在の八郎湖の水深100cmの光強度では、写真9、10のように沈水植物の生育は非常に悪いが、生育可能なことが示唆された。

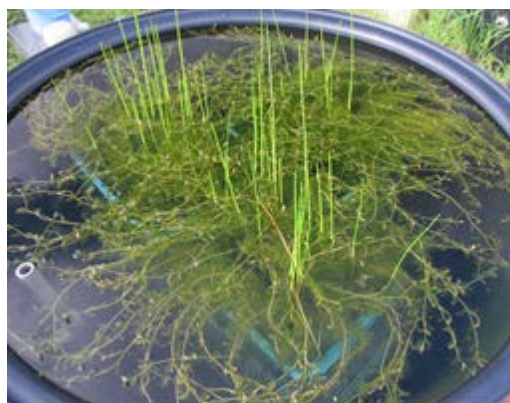


写真1 水槽1の水生植物の生育状況
(無遮光、 $1900 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、7月24日)



写真2 水槽1の水生植物の水中写真
(平成26年7月4日)



写真3 水槽2の水生植物の生育状況
(遮光率46%、 $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、7月24日)



写真4 水槽2の水生植物の水中写真
(平成26年7月4日)



写真5 水槽3の水生植物の生育状況
(遮光率 68%、 $610 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、7月24日)

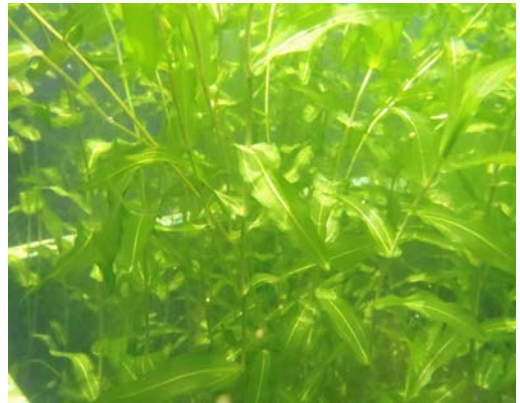


写真6 水槽3の水生植物の水中写真
(平成26年7月4日)

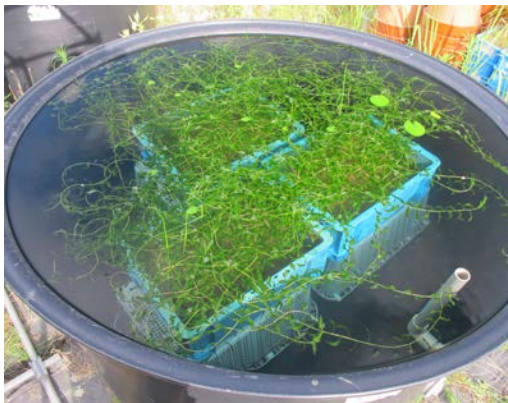


写真7 水槽4の水生植物の生育状況
(遮光率 92%、 $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、7月24日)

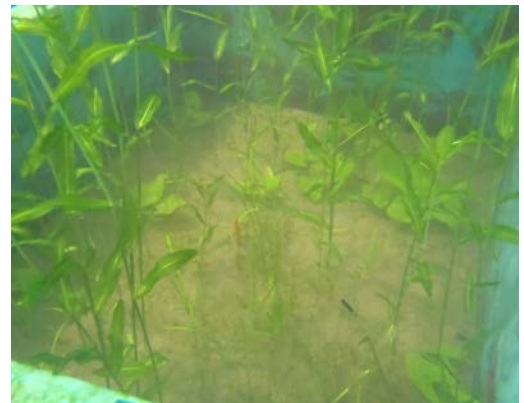


写真8 水槽4の水生植物の水中写真
(平成26年7月4日)



写真9 水槽5の水生植物の生育状況
(遮光率 98%、 $41 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、7月24日)



写真10 水槽5の水生植物の水中写真
(平成26年7月4日)

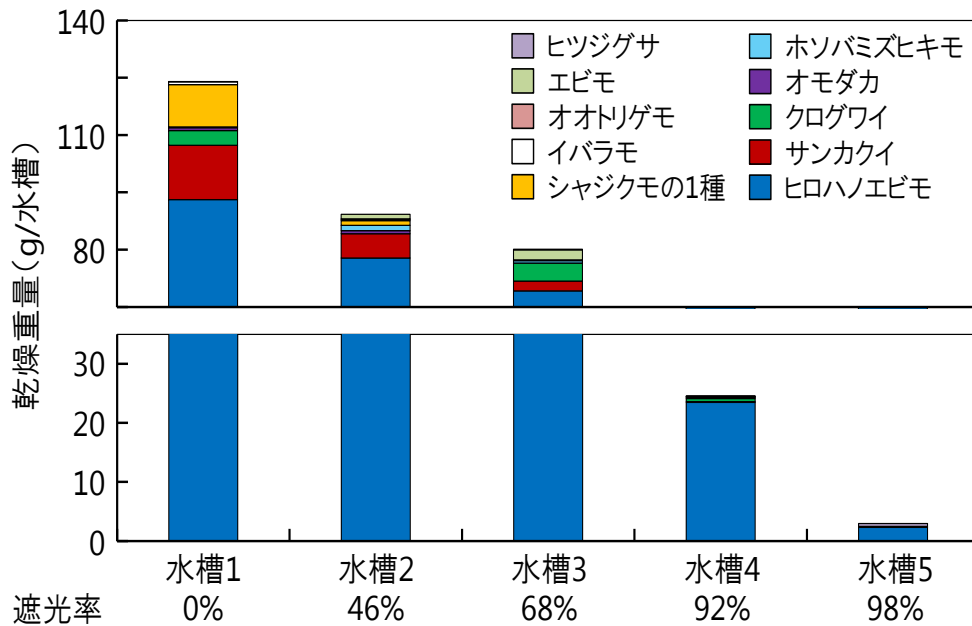


図 1 各水槽で発芽・再生した水生植物の乾燥重量 (2014 年)

7-2 建設した消波堤で沈水植物の持続的な生育が難しい要因と今後の対策

夜叉袋と牡丹川河口付近に建設した構造や水深の異なる 8 基の消波堤で、水生植物の生育調査を実施すると同時に、散布体バンクの撒き出しや秋田県立大学圃場で育苗した沈水植物のポット苗やマット苗の移植試験を行い、水生植物の発芽・再生や持続的な生育に及ぼす環境要因（濁度、水深、光量子）や波浪および食害の影響を調査し、以下の結果を得た。

- 平成 25 年と平成 26 年度に牡丹川消波堤の堤外(東部承水路)で調査した水深と光透過率の回帰式より、水深 60cm、80cm および 100cm の光透過率を求めると、それぞれ 10.0%、4.7% および 2.2% となった。また、水深 75cm の深さで測定した濁度と光透過率の回帰式より、濁度が 10mg/L、20mg/L、30mg/L および 40mg/L に高くなると、水深 75cm の地点への光透過率は、15.9%、9.0%、5.1% および 2.9% に低下することが分かった。これらの結果より、水深が 80cm 以上、濁度が 30mg/L を超えると沈水植物の生育が著しく抑制されることが示唆された。
- 水の流動性の高い L 字型消波堤や離岸型のコ字型消波堤では、土壌シードバンクを撒き出した翌年(平成 22 年)にはホソバミズヒキモの大きな群落形成された消波堤もあったが、年を経過するとともに群落は小さくなり、平成 26 年の調査時にはホソバミズヒキモの生育が認められない消波堤もあった。これらの調査結果は、水深が一定で水の流動性の高い消波堤では、波浪の高い台風時等に植物体や散布体が消波堤から流失し、沈水植物の持続的な生育が難しいことを示唆している。

3. 春先から9月上旬の灌漑期には、八郎湖の水深は非灌漑期より50cm高くする水位管理を行っている。このため、灌漑期の水深60cm、70cmおよび80cmの各消波堤は、9月中旬以降、水深が10cm、20cmおよび30cmに低下する。水深が10～20cm程度では、水面上からも沈水植物の生育状態が良く確認でき、水鳥の食害を受けやすくなる。平成26年度の調査でも、10月中旬以降にエビモとホザキノフサモが水鳥の食害を受け消滅した。また、平成25年に食害を受けた沈水植物は、地下茎等が残っていれば、次年度に再生することが期待されたため、平成26年度も継続して調査を行ったが、いずれの沈水植物も再生しなかった。
4. 冬季の水深が10～20cmになると、消波堤底面への波浪にともなう剪断力の増大や湖面氷結等により、散布体の流失や活性低下を引き起こし、次年度の群落生長に悪影響を及ぼすことが考えられた。
5. 八郎湖流域で採取した埋土種子等の散布体が包含された底質を牡丹川消波堤に撒き出し、沈水植物7種（ホソバミズヒキモ、ヤナギモ、リュウノヒゲモ、ミズオオバコ、フサモ属の一種、イバラモ属の一種、ヒルムシロ属の一種）および抽水植物1種（クログワイ）の合計8種類の水生植物とシャジクモ属の一種の発芽・再生を確認した。
6. ミズオオバコの被度は、水深60cmの消波堤AとB-1ではほぼ100%に達したが、濁度が高かった消波堤C-1では55～75%となった。一方、灌漑期の水深が80cmの消波堤D-2では小さなミズオオバコが数株しか生育せず、被度も10%を超えることはなかった。
7. 現在の八郎湖の水環境でも、食害防止柵を設置すれば、水深75cmの消波堤内でエビモとセンニンモは持続的に生育することを確認した。
8. 平成25年の試験では、コイやアメリカザリガニなどによる食害の影響は限定的であることが確認できたが、平成26年度にはコイやザリガニの食害が示唆される調査結果も得られたので、今後は、食害調査と効果的な食害防止対策を引き続き検討する必要がある。
9. 八郎湖で持続的な沈水植物の再生を図るためには、遠浅でなだらかな傾斜湖岸を水深1.0～1.5mまで造成し、その沖に波浪防止のための消波堤を建設することが必要と考えられる。また、湖底に起伏をつけると同時に台風時等の波の剪断力にも流されない大きな石や沈水型の食害防止柵または消波構造物を所々に配置し、台風時の波浪や水鳥・コイなどの食害を受けても、種子や散布体が消失することのない多様な水生植物の生育環境（生育の場）を創出することが大切である。