

応用研究論文

八郎湖における沈水植物の再生に与える環境要因の影響

尾崎保夫¹，加藤 理¹，林 紀男²，村中孝司³，岡野邦宏¹，宮田直幸¹

¹ 秋田県立大学生物資源科学部生物環境科学科

² 千葉県立中央博物館生態学・環境研究科

³ ノースアジア大学経済学部

秋田県では、八郎湖の水質改善を図るため、下水道等の普及や農地からの濁水抑制などの水環境保全対策を推進しているが、藍藻類の異常発生（アオコ）の抑制が期待したように進まず、漁業者や地域住民から、水質改善対策のさらなる強化が求められている。沈水植物は、湖沼の水環境保全や生物多様性の維持・向上に重要な役割を果たしているため、秋田県では、東部承水路に構造や水深の異なる消波堤を建設し、沈水植物等の再生による八郎湖の自然浄化機能の復元・増強を目指している。著者らは、沈水植物の再生に与える環境要因の影響を明らかにするため、大学圃場に設置した丸型水槽と構造や水深の異なる消波堤を用いて、光透過率や濁度が八郎湖流域で採取した散布体（埋土種子を含む）の発芽・再生に与える影響を調査した。その結果、光透過率 8%（平均光量子量 $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）の光環境下でも、散布体バンクから 3 種類の沈水植物が発芽・再生することを確認したが、光透過率が 2% に低下すると、水生植物の生育は著しく悪く、持続的な生育は難しいことが示唆された。一方、灌漑期の水深 80cm の消波堤 D-2（平均光透過率 4.2%）では、水生植物の生育が極めて悪かった。これらの結果より、八郎湖で沈水植物を持続的に生育させるためには、濁度を 20mg/L 以下に抑え、湖底への光透過率を 8~9% 以上に維持する必要があることが示唆された。

キーワード：沈水植物，再生，埋土種子，光の強さ，水質改善，八郎湖

八郎湖（八郎潟調整池）は、1977 年 3 月の国営八郎潟干拓事業完了後、徐々に水質汚濁が進み、2006 年には全国湖沼水質ランキングでワースト 3 位となった（佐々木，2010）。このため、秋田県では 2007 年 12 月に、湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼の指定を受け、下水道等の普及や農地からの濁水抑制などの水環境保全対策を推進している（秋田県，2008）。しかし、藍藻類の異常発生（アオコ）による悪臭発生や漁業被害などの問題解決が期待したように進まず、漁業者や地域住民から、水質改善対策のさらなる強化が求められている。

干拓前の八郎潟には、多種類の沈水植物が水深 3m 前後まで生育していた（加藤，1965）。しかし、高田、猿田及び尾崎（2007）が、2006 年に調査したところ、沈水植物は波の弱い野村港内や馬場目川河口でわずかに生育しているのみで、八郎湖内では沈水植物の

生育は確認できなかった。

沈水植物は、①水中の窒素、リンの吸収、②ミジンコなど動物プランクトンの隠れ家、③アレロパシー物質産生によるアオコなどの増殖抑制、④波浪の抑制、底泥の巻上げ防止、⑤魚の産卵や小魚の生育の場など、湖沼の水環境保全や生物多様性の維持・向上に重要な役割を果たしている（中井、山根及び細見，2000；Brock et al.，2003；林、稲森及び尾崎，2009；高村，2009）。

秋田県では八郎湖の水質改善を図るため、2009 年から東部承水路に構造や水深の異なる 10 種類の消波堤を建設（総延長 2.2 km）し、沈水植物の再生を目指しているが、これまでのところ沈水植物の再生は期待どおりに進んでいない。この原因としては、①地先干拓に伴う遠浅な湖岸の消失、②石積み護岸による波のせん断応力の増大、③八郎湖の水質汚濁

(濁度の上昇, アオコの大量発生), ④水位管理 (灌漑期の水深は, 非灌漑期より 50cm 高く管理) による湖底への光透過率の減少などが挙げられる。

散布体バンクを用いた水生植物の発芽・再生に与える光の強さの影響調査

現在の八郎湖で, 沈水植物が持続的に生育するために必要な湖底への光の到達量を明らかにするため, 丸型水槽に水生植物の埋土種子や散布体を撒き出し, 遮光率が各水生植物の発芽・再生に与える影響を調査した。

試験方法

水生植物の発芽・再生に与える光の影響を解明するため, 八郎湖流域内で採取した埋土種子を含む散布体バンクを用い, 秋田県立大学圃場内に設置した 5 基の丸型水槽 (直径 150 cm, 高さ 80 cm, 容量 1000 L) に遮光ネット (ダイオネット) 等を被せ, 水面直上に届く光の遮光率を 0%, 46%, 68%, 92% および 98% に調整した。散布体バンクは, 馬場目川河口付近の堤脚水路の底質, 八郎湖集水域内で沈水植物の種多様性・現存量ともに豊かな待入堤 (秋田市金足) の底質および大学圃場内で栽培していたヒロハノエビモの底質を容積比で約 3 : 4 : 2 の割合で混合した。この散布体バンクをコンテナ (42×32, 高さ 22cm) に 8cm の厚さに充填し, 2014 年 4 月 25 日に, 上記丸型水槽に 3 個ずつ設置して発芽・再生試験を開始した。

水質は, 水質チェッカー (WQC-22A, 東亜ディーケー株) 等により, 毎週測定すると同時に, 光量子量は, 水中光量子センサー (LI-192SA, メイワフォーシス株) を用いて, 2 週間に 1 回, 10 : 30 ~ 12 : 30 の間に測定した (表 1)。

表1 丸型水槽の遮光率と水面直上の光量子量(2014)

水槽	遮光率(%)	水面直上の光量子量 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
1	0	1900±210
2	46±2.5	1024±110
3	68±7.2	610±150
4	92±2.5	150±60
5	98±0.4	41±8.9

☆2週間に1回(5/17~7/23), 10:30~12:30の間に測定

水生植物の発芽・再生状況は, 毎週観察し, 水生植物種の同定は日本水草図鑑 (角野, 1994) 等をも

とに行った。また, 7 月 25 日の試験終了時には, 各コンテナに生育していた水生植物を種ごとに採取し, その茎葉長および湿重量と乾物重量を測定した。

試験結果と考察

収穫前日の水槽 2, 4 および 5 の水生植物の生育状況を図 1 に示した。遮光率 46% の水槽 2 では, ヒ



図1 各水槽で発芽・再生した水生植物の生育状況 (7月24日撮影)

ロハノエビモ, ホソバミズヒキモ, エビモ, サンカクイの生育が良好で, これら水生植物により水面全体がほぼ覆われていた。遮光率 92% の水槽 4 では, ヒロハノエビモとヒツジグサの茎葉が水面まで伸長していたが, 生育はあまり芳しくなかった。一方, 遮光率 98% の水槽 5 では, 発芽・再生した水生植物の生育は図 1 のように極めて悪かった。

図 2 には, 発芽・再生した 10 種類の水生植物とその乾燥重量を示した。無遮光の水槽 1 では, 再生した水生植物の種類は 8 種で, その乾燥重量は 124 g,

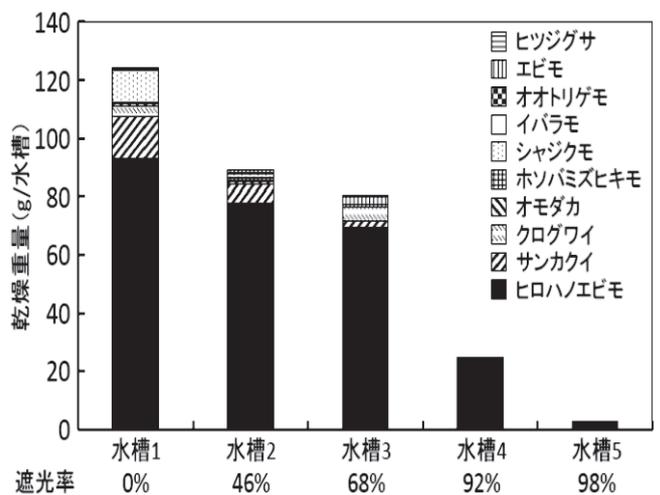


図2 各水槽で発芽・再生した水生植物の種類と乾燥重量 (2014 年)

遮光率 46% の水槽 2 では 8 種で, 乾燥重量は 89.2 g, 遮光率 68% の水槽 3 では 9 種, 80.1 g となった。一方, 遮光率 92% の水槽 4 では 7 種類の水生植物が再生したが, その乾燥重量は 24.6 g, 遮光率 98% の水

槽 5 では、4 種でその乾燥重量は 2.95g と極めて少なくなった（加藤，2015）。本試験より，遮光率 92%（平均光量子量 $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）の光環境下でも，ヒロハノエビモ，ホソバミズヒキモ，オオトリゲモ，ヒツジグサ，サンカクイ，クログアイおよびシヤジクモ属の 1 種が発芽・再生することを確認した。一方，遮光率 98%（平均光量子量 $41 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）になると，水生植物の生育は著しく悪く，持続的な生育は難しいことが示唆された。これらの結果は，ホザキノフサモやセキショウモを用いた試験結果とも整合している（Yonghong Xie, et al. 2007; Chun-Fu Zhao, et al. 2013）。

また，すべての水槽で再生したヒロハノエビモの平均草丈は，水槽 1 では 54.2cm，水槽 2 では 90.7cm，水槽 3 では 120cm，水槽 4 では 108cm および水槽 5 では 48.9cm となり，遮光率 68%（平均光量子量 $610 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）前後までは光が弱くなるに伴い草丈は長くなることが分かった（加藤，2015）。

八郎湖における散布体バンクを用いた沈水植物の再生

秋田県では，2009 年から東部承水路に水深や構造の異なる石積み消波堤を建設し，埋土種子や散布体バンクを用いた水生植物の再生を行っている（尾崎，村中及び林，2013）。1 年目には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，再生した沈水植物群落は年とともに減少し，持続的に生育させることが難しい現状にある。この原因と対策を解明するため，構造や水深の異なる消波堤を借り上げ，八郎湖流域で採取した埋土種子や散布体を撒き出し，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。

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水深や構造の異なる 4 種類の消波堤を用いた（表 2）。この内，消波堤 D-2 は，コの字形で，図 3 のように石積み消波堤は湖岸から約 2m 離岸し，消波堤内に設置した直径 20cm の塩ビ管 9 個でも水の交換ができる

表 2 牡丹川消波堤の構造と水深

消波堤	構造	堤内の水深（灌漑期）
A	コの字、閉鎖型	60 cm
B-1	コの字、塩ビ管解放型	60 cm
C-1	コの字、離岸型	60 cm
D-2	コの字、離岸・塩ビ管解放型	80 cm

☆建設場所：東部承水路の牡丹川河口付近

☆塩ビ管解放型消波堤：直径20cmの塩ビ管を9本設置

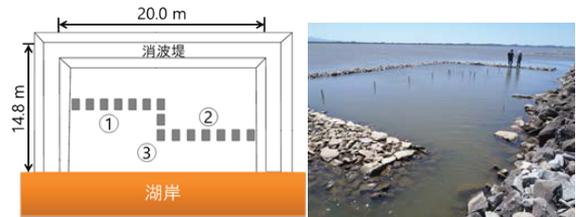


図 3 牡丹川消波堤の大きさと撒き出し位置

—左：消波堤 A の模式図、右：消波堤 D-2 の写真—

離岸型消波堤で，水深は 80cm である。

2013 年 12 月 4 日に八郎湖流域の待入堤の底質（15L），北部干拓第 1 排水機場の底質（5L）および天王東排水機場の底質（3L）をよく混合後，上記消波堤内に設置した 3 個の沈水植物栽培枠（直径 78cm，高さ 20cm）内に，コンポスターを用いて，約 5cm の厚さに撒き出した（図 3，図 4）。



図 4 牡丹川消波堤内への散布体バンクの撒き出し

—左：撒き出し（2013.12.4）、右：種子の流失を防ぐためコンポスターを 1 日設置—

調査は，2014 年 3 月 26 日～11 月 25 日の間に 20 回行った。この内，水温，溶存酸素（DO），pH，電気伝導度（EC），濁度は，水質チェッカー（WQC-22A，東亜ディーケーケー株）を用いて測定すると同時に，沈水植物栽培枠内に発芽・再生した水生植物の同定や被度調査を実施した。

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と考察

牡丹川消波堤内と消波堤外の濁度変化を図 5 に示した。調査を開始した 3 月 26 日の濁度は 12～15mg/L と低かったが，5 月 19 日と 6 月 16 日には豪雨によ

り濁度が上昇した（最高値：C-1：60mg/L）。また、アオコの発生に伴い8月4日と9月中旬から下旬に

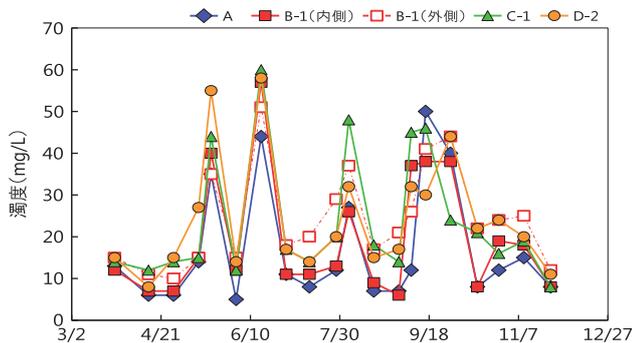


図5 各消波堤内と消波堤外の濁度変化

かけて濁度上昇が認められた（最高値，A：50mg/L）。調査期間中の平均濁度は，消波堤外の24.4mg/Lに比べ，消波堤Aでは17.0mg/L，B-1では19.6mg/L，C-1では24.1mg/LおよびD-2では24.5mg/Lとなった。これらの結果より，閉鎖性の高い消波堤AとB-1の濁度は消波堤外より低くなったが，開放度の高い消波堤C-1とD-2の濁度は消波堤外とあまり変わらないことが分かった。

4月に入り，沈水植物栽培枠内の水生植物の発芽・生育状況を試作した筒型メガネ（長さ1mの塩ビパイプにシャーレを接着）を用いて調査したが，豪雨による濁度上昇やアオコ発生等により沈水植物の生育状態をよく確認できないこともあった。しかし，8月中旬になり，八郎湖の水位が低下し始めると，水面上からでも水生植物の生育状態が確認できるようになった。

各消波堤の沈水植物栽培枠内で再生したミズオ

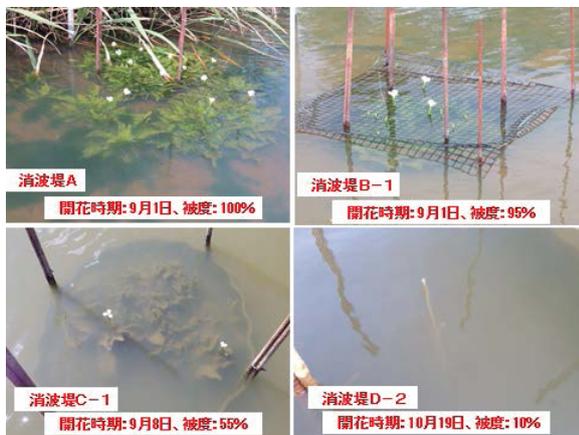


図6 各消波堤で発芽・再生したミズオオバコの開花時期と被度

オバコの生育と開花時期を比較すると図6のようになる。消波堤AとB-1内では，9月1日にはミズオオバコの花が数多く開花した。一方，消波堤C-1では，9月1日に1個の花が開花したが，消波堤D-2では10月19日になってようやく小さな花が水面まで1個伸びているのを確認した。これらの調査結果より，水深や濁度がミズオオバコの生育や開花時期に大きな影響を与えることが判明した。

図7と図8には，各消波堤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月上旬から中旬にかけて被度はほぼ100%に達した。解

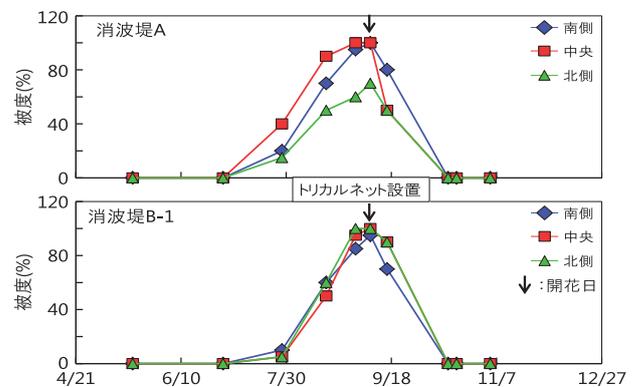


図7 消波堤AとB-1におけるミズオオバコ群落の被度変化

放型の消波堤C-1では水の濁度が高かったため，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10%以下），ミズオオバコの持続的な生育が難しいことを示唆した。

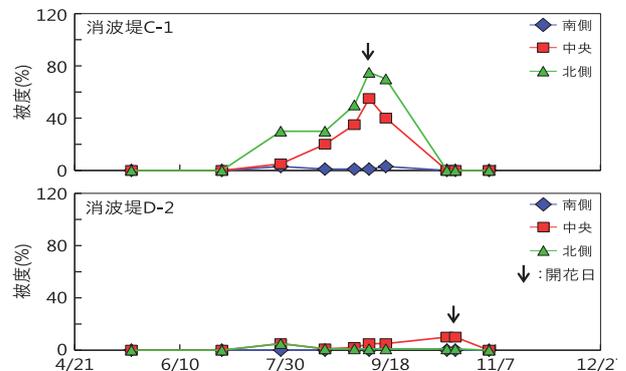


図8 消波堤C-1とD-2におけるミズオオバコ群落の被度変化

表3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。八郎湖流域で採取した底質より、調査期間中に沈水植物 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 1 種、イバラモ属の 1 種、ヒルムシロ属の 1 種）とシャジクモ属の 1 種、抽水植物のクログワ

および 40 mg/L に増加すると、光透過率はそれぞれ 9.9%, 5.1%, 2.6% とおよび 1.4% に低下することが示唆された。Middelboe と Markager (1997) は、沈水植物やシャジクモの生育に必要な光強度は、大気中の 2~15% と報告している。また、稲森 (2010)

和名	学名	消波堤内での各植物の生育確認時期
ホソバミズヒキモ	<i>Potamogeton octandrus</i> Poir.	A(7/13~8/18)、B-1(7/28~8/4)
リュウノヒゲモ	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	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> Pers.	A(7/28~9/30)、B-1(7/28~9/16)、C-1(7/28~9/30)、D-2(7/28~10/27)
ヤナギモ	<i>Potamogeton oxyphyllus</i> Miq.	B-1(5/19)
シャジクモ属の1種	<i>Chara</i> sp.	A(7/28~8/18)、B-1(7/28~8/18)、C-1(7/28~9/16)
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> Ohwi	B-1(6/30~8/18)、C-1(7/28~9/1)

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、本試験でも灌漑期の水深 80cm の消波堤 D-2 (平均光透過率 4.2%) のミズオオバコの生育は非常に悪かった。また、水深 100cm の消波堤では、濁度が 30mg/L を超えると、光透過率は 2.6% 以下となり、多くの水生植物にとっては生育の極めて難しい光環境になると推察される。

これらの結果より、八郎湖で沈水植物を持続的に生育させるためには、濁

度の合計 9 種の水生植物が発芽・再生した。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、消波堤 B-1 が 6 種、消波堤 C-1 が 7 種および消波堤 D-2 が 2 種で、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、生育も極めて悪かった。

牡丹川消波堤外における水深と光透過率の関係を図 9 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 9.4%, 4.2% および 1.9% と

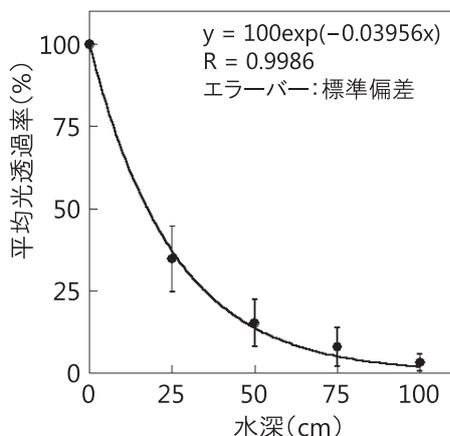


図9 牡丹川消波堤外における水深と平均光透過率の関係 (2014. 4/14~10/27)

なった。また、濁度と光透過率の関係式より、水深 100cm の光透過率は濁度が 10mg/L, 20 mg/L, 30mg/L

度を 20mg/L 以下に抑え、湖底への光透過率を 8~9% 以上に維持する必要のあることが示唆された。

八郎湖における沈水植物の食害と今後の対策

2013 年の沈水植物再生試験では、消波堤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に生育したが、八郎湖の水位が低下した 9 月中旬に水鳥の食害を受け、食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

(尾崎, 2014)。このため、2014 年には、エビモとホザキノフサモの栽培枠に図 10 のような食害防止用格子枠 (目合い約 0.6cm または 2.8cm のトリカルネット製) を取り付け、その食害防止効果を調査した。



図10 食害防止用格子枠を取り付けた沈水植物栽培枠

2014 年にも、食害防止用格子枠を取り付けていない試験区のエビモとホザキノフサモは食害により

10月中旬に消滅した。一方、食害防止用格子枠を取り付けた試験区では、両沈水植物とも試験終了時まで安定した生育を示し、上記食害防止用格子枠を設置すれば沈水植物を持続的に生育させることができることを確認した。また、2013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ったが、2014年の試験では、水鳥に加えてコイやアメリカザリガニの食害が示唆される調査結果も得られたので、引き続き、鳥類を含めた生物相調査と効果的な食害防止対策を検討する必要がある。

これらの調査結果は、八郎湖で沈水植物の持続的な再生を図るためには、濁度を 20mg/L 以下に維持すると同時に、遠浅な湖岸を深さ 1.0~1.5m まで造成し、その沖に波浪防止用の消波堤を建設して、各沈水植物の生育特性に合った生育環境を創出する必要があることを示唆している。また、湖岸の所々に台風時の波浪等でも流されない大きな石や沈水型消波堤を配置し、波浪や食害などにより沈水植物が大きな被害を受けても、種子や植物体が生存できる多様な沈水植物の生育の場を造成することも大切である。

文 献

- 秋田県(2008)。「八郎湖に係る湖沼水質保全計画(第1期)」pp.1-16(平成20年3月)
- Brock, M.A., Nielsen Daryl L., Shiel Russell J., Green John D. and Langley John D.(2003). Drought and aquatic community resilience: the role of eggs and seeds in sediments of temporary wetlands, *Freshwater Biology*, 48, 1207-1218.
- Chun-Fu Zhao, Hong-Li Li, Fang-Li Luo(2013). Effects of light heterogeneity on growth of a submerged clonal macrophyte, *Plant Species Biology*, 28, 156-164.
- 林 紀男, 稲森隆平, 尾崎保夫(2009)。「ミジンコ個体群動態に及ぼす水生植物代謝産物の影響」『日本水処理生物学会誌』45(1), 57-62.
- 稲森悠平(2010)。「河川整備基金助成事業報告書「水資源としての河川・湖沼ウォータフロント健全化のための沈水植物復元浄化新技法の開発」(22-1211-005)。
- 加藤君雄(1965)。「八郎潟の水生植物群落の分布と生産量」八郎潟学術調査会編『八郎潟の研究』pp.389-417
- 加藤 理(2015)。「八郎湖における散布体バンク等を用いた沈水植物の発芽・再生に関する研究」秋田県立大学博士前期課程学位論文, pp.1-78, 秋田県立大学.
- 角野康郎(1994)。「日本水草図鑑」文一総合出版.
- Middelboe, A. L., Markager, S. (1997). Depth limits and minimum light requirements of freshwater macrophytes, *Freshwater Biology*, 37, 553-568.
- 中井智司, 山根小雪, 細見正明(2000)。「ホザキノフサモが放出した4種のアレロパシー物質(ポリフェノール)の藻類に対する増殖抑制効果」『水環境学会誌』23(11), 726-730
- 尾崎保夫, 村中孝司, 林 紀男(2013)。「平成24年秋田県受託研究報告書「湖岸の自然浄化機能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」pp.1-49, 秋田県立大学.
- 尾崎保夫(2014)。「八郎湖の水質改善をめざした沈水植物の再生と課題」『八郎湖流域管理研究』3, 27-36, 秋田県立大学出版.
- 佐々木次郎(2010)。「八郎湖の水質保全対策について」『水環境学会誌』33(9), 287-291
- 高田 順, 猿田 基, 尾崎保夫(2007)。「秋田県八郎湖とその周辺における水生植物群落」『水草研究会誌』89, 11-20
- 高村典子(2009)。「湖沼という環境」高村典子編著『生態系再生の新しい視点—湖沼からの提案—』pp.3-48, 共立出版.
- Yonghong Xie, Wenbo Luo, Bo Ren, Feng Li(2007). Morphological and Physiological Responses to Sediment Type and Light Availability in Roots of the Submerged Plant *Myriophyllum spicatum*, *Annals of Botany*, 100, 1517-1523.

〔平成27年11月30日受付〕
〔平成27年12月10日受理〕

Effect of the Environmental Factor on the Regeneration of Submerged Aquatic Plants in Lake Hachiro

Yasuo Ozaki¹, Osamu Kato¹, Norio Hayashi², Takashi Muranaka³, Kunihiro Okano¹,
Naoyuki Miyata¹

¹ Department of Biological Environment, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University

² Department of Ecological and Environmental Sciences, Natural History Museum and Institute, Chiba

³ Department of Economics, Faculty of Economics, North Asia University

Akita Prefecture carries out a project concerning the improvement of the water environment, such as the spread of the sewage network and suppression of sediment flow from paddy fields, to promote the water quality improvement of Lake Hachiro, but cyanobacterial blooms are still observed. Therefore, fishers and the local inhabitants demand additional improvement of the water quality. Because submerged aquatic plants contribute well to the conservation of the water environment and improvement of biological diversity, Akita Prefecture built wetlands for submerged aquatic plant regeneration that were aimed for the reinforcement of the self-purification function of Lake Hachiro. To clarify, the influence of the environmental factor that germinates and regenerates the propagule banks (including seed banks), which are gathered in the Lake Hachiro basin, were investigated for a light transmission rate and turbidity using five tanks and wetlands whose depth and structure were different. As a result, three kinds of submerged aquatic plants were regenerated at a light transmission rate of 8% (mean photon $150\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), but when a light transmission rate decreased to 2%, the growth of the aquatic plants were extremely inhibited. On the other hand, in wetland D-2, in which the water depth of the irrigation period was 80cm (mean light transmission rate 4.2%), the growth rate of the aquatic plants was reduced to a great extent. For the submerged aquatic plants' sustainable growth in Lake Hachiro, the experimental results suggested that we must maintain turbidity below 20 mg/L, and a light transmission rate to the bottom of Lake Hachiro that is higher than 8–9%.

Keywords: submerged aquatic plant, regeneration, seed bank, light intensity, water quality improvement, Lake Hachiro