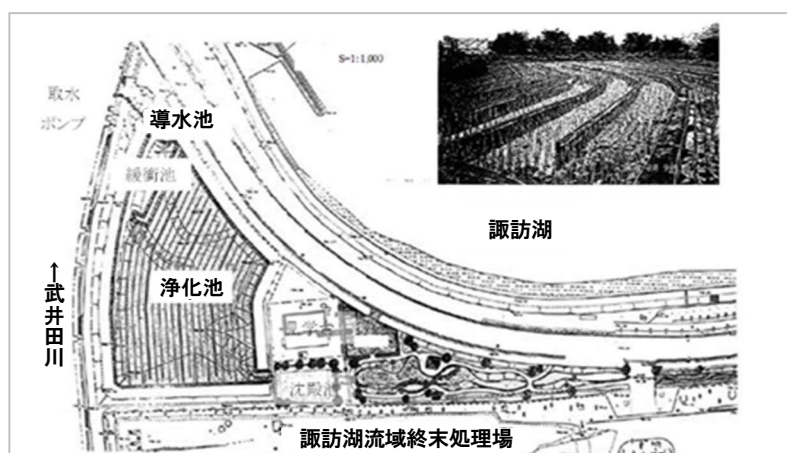


ヨシ原による水質の浄化に関する実験



見学台よりヨシ原実験圃場を望む



令和 7 年(2025 年)8 月
諏訪湖クラブ

*この報告は令和7年8月に著者が文体等を書き改めたものであり、平成9年当時の報告書そのものではありません

ヨシによる諏訪湖湖水浄化実験成果報告

◇（平成5年度～8年度総合報告）

信州大学理学部臨湖実験所 沖野外輝夫

まえがき

昭和59年秋に稼働を開始した諏訪湖流域下水道の普及率は、平成8年度には70%を越え、諏訪湖に隣接する岡谷市、下諏訪町では90%以上の高い水洗化率となっています。その結果、諏訪湖の水質も昭和50年代に比較すれば相当に改善され、アオコの発生も当時の半分程度に減少し、現在は過栄養状態を脱し、富栄養状態にまで回復しています。しかし安心はできません、ここ数年の水質の改善傾向は下水道普及率の向上にもかかわらず、鈍化し、むしろ再び悪い方向に戻る傾向すらみせているのが実情です。

その原因としては、下水道の普及地域が諏訪湖周辺の都市部から、次第に遠隔地の集落を対象とする地域に移っていることも上げられますが、新しい住宅地が下水道建設計画地域外に広がっていることも見逃すことはできません。特に、諏訪湖に近い地域での新しい住宅建設地域に対応して、既存の下水道建設計画を早期に見直すことが諏訪湖集水域での汚水発生源対策として緊急の課題として指摘されます。

一方、これまでに行われている諏訪湖の水質予測によれば、下水道計画の完成のみでは目標としている諏訪湖の環境基準(COD:3ppm)を達成することは困難とされています。そして、近年の諏訪湖水質測定値の結果もその予測が正しいかったことを証明しています。

また、全体的な水質の回復傾向にもかかわらず、期待されていた漁獲量の回復ははかばかしくなく、むしろ、さらに減少傾向にあることが問題点として浮上しています。その原因は、諏訪湖全体の生態系がきわめて不安定な状態にあり、中でも沿岸域の水生植物帯の欠落が大きく関わっている可能性が大であると指摘されています。

沿岸域での水生植物の役割は大きくは以下の二つに分けられます。

- (1)諏訪湖の湖内に生息する生物の再生産の場の提供（魚介類の産卵、稚仔魚の成長の場）
- (2)湖内水質の安定化をはかる水質浄化の場（陸域からの負荷を緩衝する場）

以上の二つの特性が総合されてはじめて、諏訪湖生態系の安定化がはかれると指摘されています。現状の対策では諏訪湖水質のみの改善が先行し、沿岸域の形態変更の見直しが遅れていました。その結果、水質の改善にも影響しているとみることができます。今後、早急に沿岸域での対策を実行することが、諏訪湖の水質改善とその目標達成にも必要不可欠と言えます。本研究が行われた平成5年度以降、沿岸域の改善に対する理解が急速に進み、実行に移されてきました。その経過には本研究の中間的な報告も大いに生かされ、沿岸域修復の機運に貢献できたことは喜ばしいことです。

沿岸域の水生植物帯の構成は、陸側からヨシ、マコモを中心とする抽水植物、アサザ、ヒルムシロ、ヒシを中心とする浮葉植物、クロモ、エビモ、ササバモを中心とする沈水植物の三点セットで、湖岸線に平行して等深線上に帯状に分布するのが特徴です。諏訪湖での過去の研究結果では、水生植物帯の先端は水深4m付近にまで達していたことが明らかにされています。その後、水質汚濁、富栄養化の影響を受けて、水生植物の成育限界は水深2.5m付近にまで後退し、諏訪湖に占める水生植物帯の面積は昭和51年時点で64haにまで減少しました。これは水生植物の分布がもっとも拡大されていた時期に比較して16.8%でしかありません。この減少の原因には湖岸の浚渫、埋め立てによって失われた抽水植物帯の消失が大きく関わっています。

水生植物はその名の示すように植物であり、水中あるいは底泥中から栄養物質である窒素、リンを吸収して成長します。

この窒素、リンの吸収体でもある水生植物の消失により水中に残された両成分は同じ植物体である植物プランクトンに吸収、利用されることになります。諏訪湖では集水域から流入する窒素、リンの

負荷が低減する以前、むしろ増加の段階で水生植物が除去され、結果として春の珪藻類、夏の藍藻類による『水の華』現象(夏はアオコの発生)を助長させることになりました。ある種の水生植物には植物プランクトンの発生を阻害する物質を排出する(アレロパシイ)ものもあり、その効果が低減したことによってさらにアオコ発生を促進させる要因を人為的に作り出す結果ともなりました。

諏訪湖の過栄養状態での極端なアオコ現象は、以上のような複合的な原因と集水域からの人為的な窒素、リンの負荷によって必然的に起こったものです。その解決策の一つには、一因となった水生植物帯の回復は不可欠であることは明らかなですが、数値的な研究結果はきわめて乏しく、科学的な説得力に欠けていたことも事実です。

本研究によるヨシ実験圃場での諏訪湖水質浄化実験は、以上のような諏訪湖での背景とともに、全国各地で行われている同様の試みを、諏訪湖という場で検証し、実用に供することを目的として行われたものです。

そこで、本研究においてはヨシ原という生物群集の生息している場を対象として、ヨシ原全体が生態系としてどのような構造と機能を有し、結果として水質にどのような影響を与えているかを解析することを重要な課題として実験計画を立て、計測を行うこととしました。すなわち、湖沼の沿岸域での水生植物の役割は、ヨシという個々の植物種が各個に浄化を行っているわけではなく、同じ場に共存する生物群集がトータルとして働いている、という認識です。内容的には物質収支が明らかにできるように、かつ生態系としてのヨシ原群集の特徴を解析することが大切であり、その目的に合わせて圃場の設計、生物の観測、水質の測定を行いました。

本研究を進めるに当たっては、その手筈を整えていただいた建設省天竜川上流工事事務所の歴代の担当の方々、現実に研究の進行に携わっていただいた長野県諏訪建設事務所の担当部局の方々、陰で研究を支えていただいた底質浄化協会の方々を始め、関係者の方々に並々ならぬご配慮をいただきました、記して感謝の意を表する次第です。また、ヨシ原実験圃場を建設するに当たっては、桜井善雄信州大学名誉教授から多くの経験を踏まえたアドバイスとヨシの植栽に当たっては直接のご指導をいただきました。また、東京農工大学農学部 細見正明助教授には有益なご助言をいただいたところです。両先生に合わせて感謝の意を表する次第です

本研究の進行には信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所が中心で行われ、この研究期間中に在籍した学部学生、大学院生、研究生の諸君には多くの援助を得ています。中でも大学院生井上博貴君、学部4年生川滝千香君、研究生森正幸氏には研究の中心として活躍していただきました。その労に大いに感謝する次第です。信州大学繊維学部 渡辺義人講師には、氏の研究室の学部学生、大学院生と共に重要な研究の部分を担当していただき、貴重な成果を上げていただきました。記して感謝の意を表する次第です。

最後に、研究を最後まで暖かく見守っていただき、われわれの自由な研究活動の場と研究費を提供していただいた関係諸機関ならびに諸氏にお礼を申し述べる次第です。

目 次

まえがき

写真 ヨシ原実験圃場のヨシの生育状況

1. ヨシ原実験圃場の概要とヨシの植栽
2. ヨシ原実験圃場内での水質の変化
3. ヨシ原実験圃場の生物群集

参考

ヨシの植え付け方法

参考資料と文献

ヨシ原実験圃場のヨシ生育状況 平成6年(1994年)5月～12月



写真-1 1994年5月18日撮影

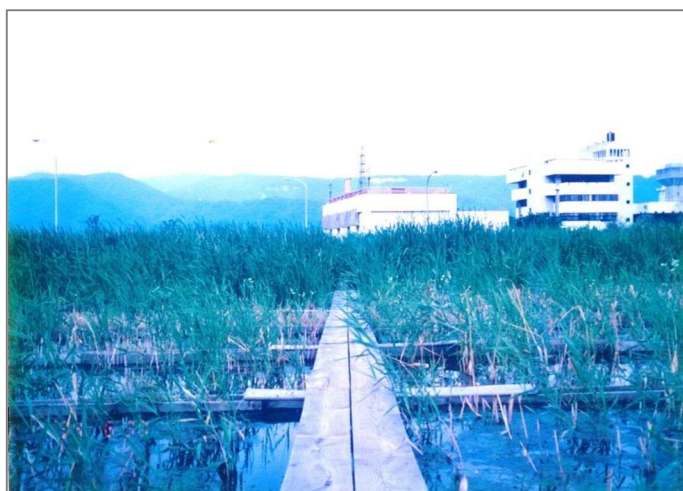


写真-2 1994年6月30日撮影



写真-3 1994年9月8日撮影



写真-4 1994年10月31日撮影



写真-5 1994年11月28日撮影



写真-6 1994年12月8日撮影

中央の板が観察用通路 手前が水路上流側(武井田川側)



写真-7 オオスズメノテッポウ



写真-8 ミズアオイ

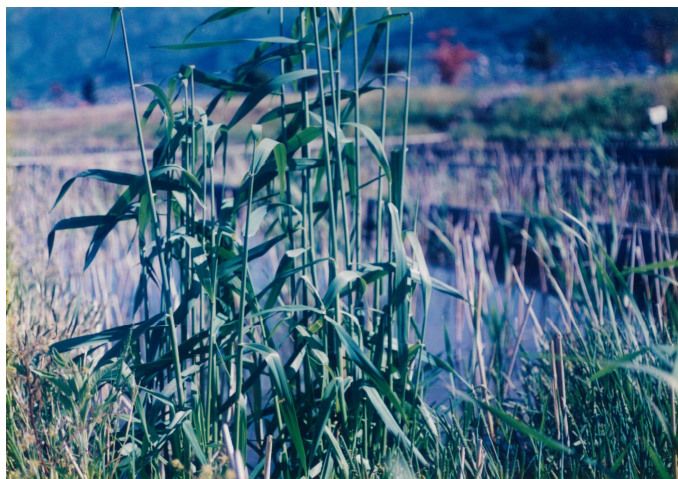


写真-9 クサヨシ



写真-10 サジオモダカ

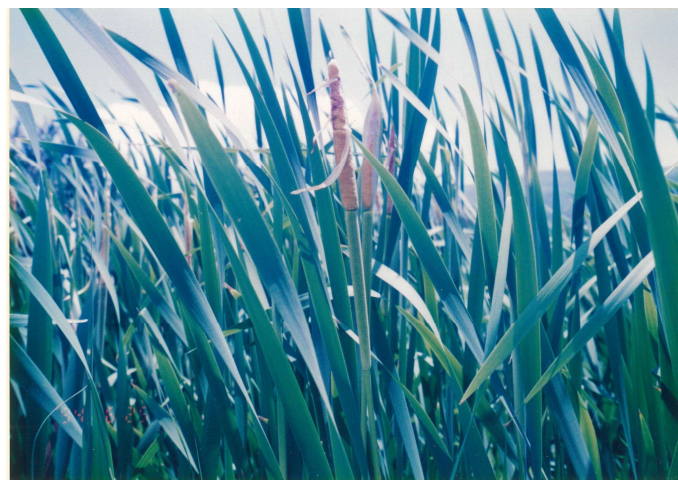


写真-11 ガマ

1. ヨシ実験圃場の概要とヨシの植栽

1-1. ヨシ実験圃場の概要

実験圃場は諏訪湖東南の岸、諏訪湖流域下水道豊田終末処理場西側に造成された。敷地面積は約 3,500 m²であり、そこに図-1 に示すようなジグザグの水路を配置した。水路の幅は約 2.5m、水路延長は約 1,500m になる。水路の仕切りは木製の板を使用し、底部には漏水を避けるためのビニールシートが敷かれている。水路の入リ口と出口のコンクリート製の水槽には三角堰を付けて、流入、流出水量が読み取れるようになっている。これらによって実験圃場内での水収支、物質収支の計算が可能になる。

底部に敷かれたビニールシートの上には湖の底泥、砂、畑土壌を一定の混合比 (4:3:3) で混ぜたものを、60cm の厚さに敷き詰めてある。 図-2

水路の入り口には流入水による洗掘を避ける目的でコンクリート製の水槽(2×2×1.5m) を設け、水路の最初の約 40m の部分については導水池としての役割を持たせるためにマコモとミクリが植えられている。

水路内への湖水の導入は、圃場の西側を流れる武井田川河口から水中ポンプにより行っている。流入水量は毎分約 200～300 リットルで、ポンプの取入れ口は魚の吸入を防止し、湖底泥を吸い上げないように、水深 50cm の位置に、吸込口を上に向けて設置されている。流出口には流入口と同様にコンクリート製の沈殿水槽を設け、そこを経由して水路内の水を外部に排出している。

水路に流入した湖水のヨシ圃場内での滞留時間について塩を投入し、電気伝導度の変化で測定した結果、最大流速が 73cm/min、最小流速で 37cm/min であった。これは実験圃場内の滞留日数に換算すると、32～64 時間(1～3 日)に相当する。

水質の測定地点は流入から 50m 部分を St.0 とし、以後約 500m 間隔で St.1, St.2, St.3 を設置し、計 4 地点で行っている。測定間隔はおおむね 4 月から 12 月まで、10 日間隔で行い、平成 5 年から 8 年にかけて行っているが、平成 5 年については圃場の造成が主体であり、水質の測定は翌年の平成 6 年からの 3 年間について行った。

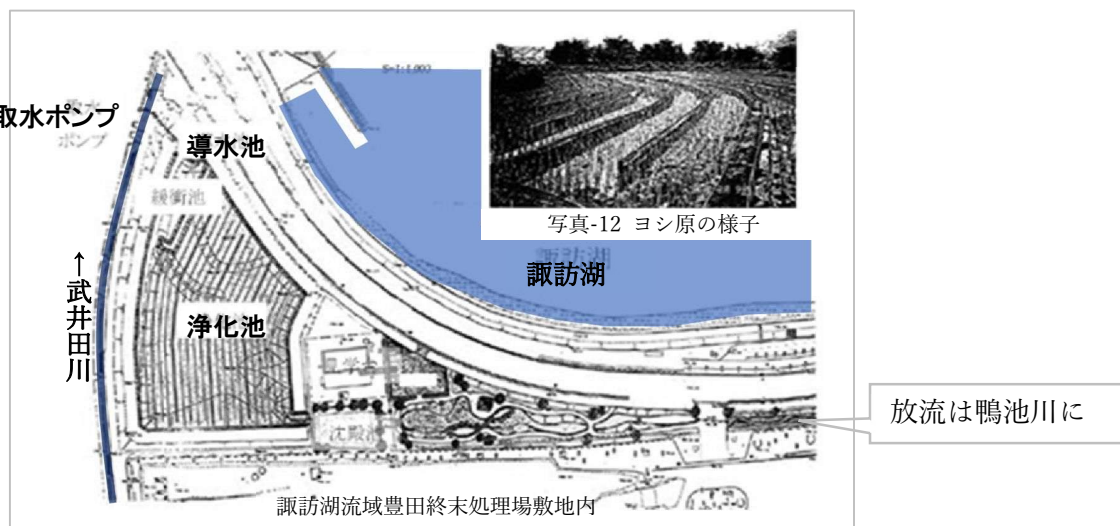


図-1 ヨシ原実験圃場の計画平面図

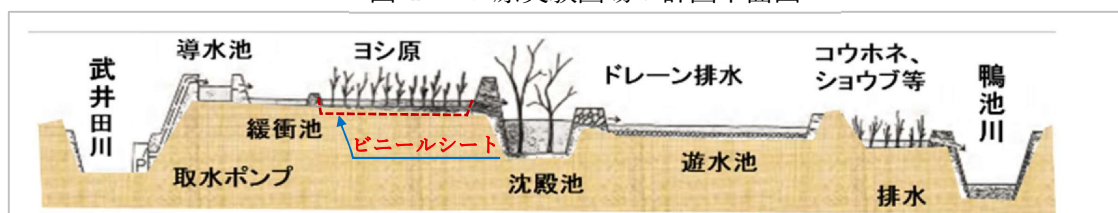


図-2 ヨシ原実験圃場の計画断面図

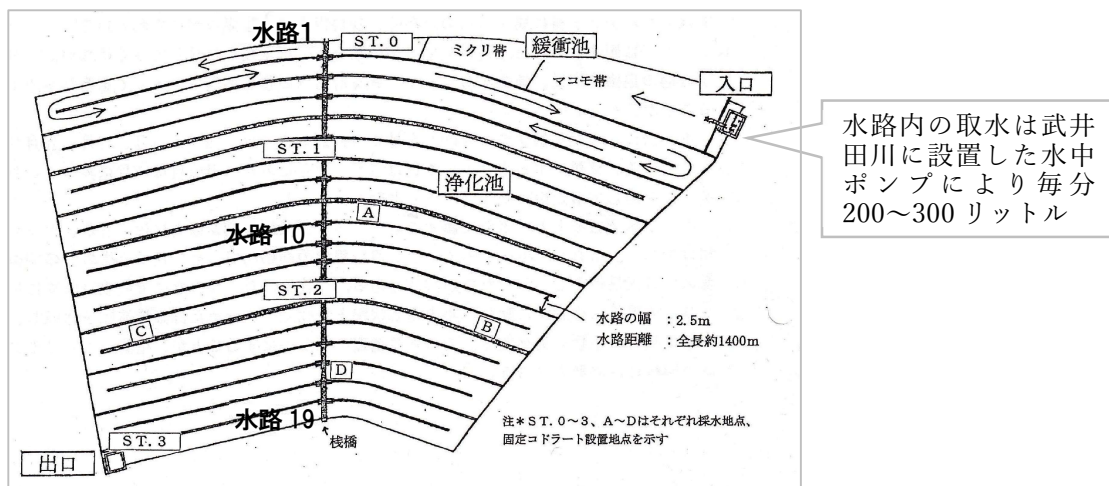


図-3 ヨシ原実験圃場の水路概念図と測定、採取地点
A,B,C,D 地点は植物の観察地点、St.0～3 は水質測定地点

1-2.ヨシの植栽

水路内に植栽されたヨシは約30cm間隔で、1か所に3株、30cmの深さに差し植えされている。植栽されたヨシは、諏訪湖最大の流入河川である上川の河川敷に自生していたものを使用している。ヨシの植えかたについては桜井先生が直接指導され、上川で春先に発芽直前の稈を採取、これを直接差し植えしている。

平成5年度に植えられたヨシは上記上川に自生していたものを春先にあらかじめ採取し、養生していたものを用いたが、圃場造成の時期が夏期から秋にかけての完成となり、水路上流部の発芽がみられなかったおおよそ半分については次年度に再度追加植栽した。

図-4は、平成5年度に植栽されたヨシの活着率を、植栽時期について、水路ごとに比較したものである。全体に時期として遅過ぎた植栽ではあるけれども、7月23日までに植えられたヨシは70～90%は翌年に出芽している。しかし、それ以後では20～40%の出芽率でしかなく、8月20日以降の場合には10%以下となっていることが分かる。

図-3に示されているA,B,C,D地点ではヨシの成長が測定された。また、25m間で測定された植生の被度についての結果が図5に示されている(平成6年7月9日測定)。

圃場内には表1に示されるように、当初多くの侵入種が出芽しており、全植生の被度でみれば水路後半は水面がほとんど植物で覆われている。しかし、肝心のヨシの植栽被度が60%以上になるのは最後の3水路のみでしかない。中間の水路では芽から発芽したガマが圧倒的に多いことが分かる。

しかし、ヨシとガマの成長を追跡してみると、図-5にあるように、ヨシがガマに遅れて成長する傾向はあるものの、最大成長時にはガマに草丈は追いつき、ガマによるヨシの成長への影響は大きくないことが知られる。その結果、平成7年度にはガマが侵入していた部分でもヨシが立派に成長し、ヨシ原としての景観が十分に形成されていた。

以上のことから、ヨシ原を造成する際にはヨシの植栽時期を6月までに終了させるように計画すべきこと、仮に造成初期にガマが混入したとしても、1年を経過すれば十分にヨシの群落が形成されるので、いたずらにガマを除去する対策を採らなくても良いということが理解できよう。

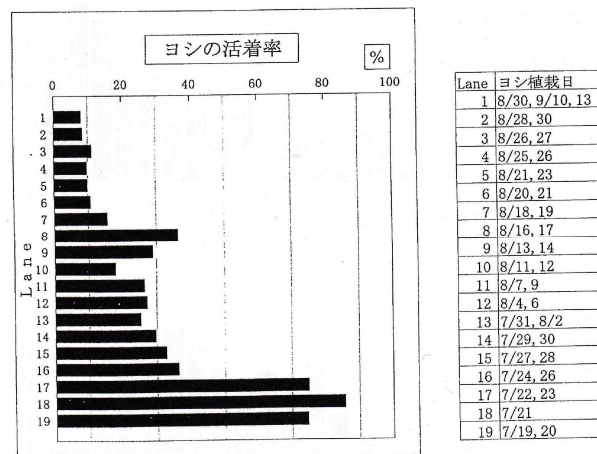


図-4 ヨシ原実験圃場の水路ごとのヨシの活着率と植栽日の関係 (平成6年5月3日測定)

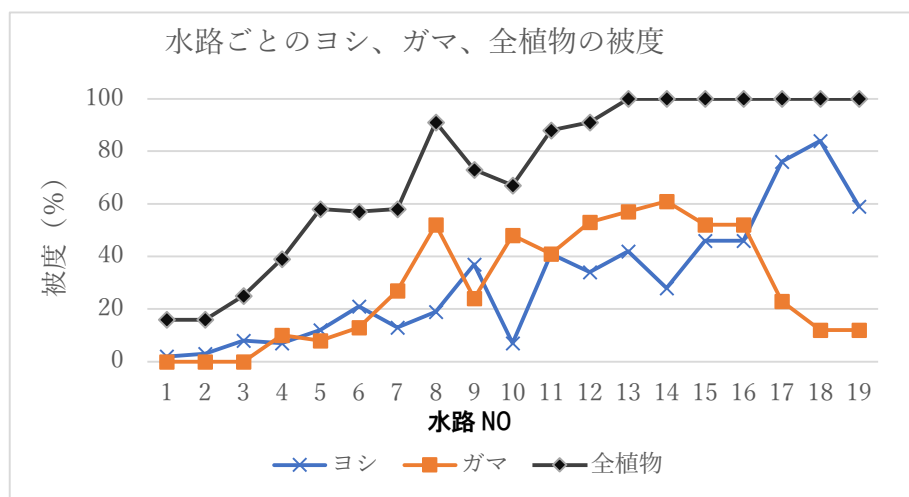


写真- 13 ガマ

図-5 水路ごとの植物の被度 (平成6年7月9日測定)

表 1.ヨシ原実験圃場に出現した植物相

植物の生活型	和 名	
抽水植物	ヨシ	<i>Phragmites australis</i>
	ガマ	<i>Typha latifolia</i>
	クサヨシ	<i>Phalaris arundinacea</i>
	サジオモダカ	<i>Alisma plantago-aquatica</i>
	エゾノサヤヌカグサ	<i>Leersia orizoides</i>
	ミズアオイ	<i>Monochoria korsakowii</i>
	マコモ	<i>Zizania latifolia</i>
沈水植物	シャジクモ	<i>Chara branuii</i>
	ミゾハコベ	<i>Elatine triandra</i>
	コカナダモ	<i>Elodea nuttallii</i>
	トリゲモ	<i>Najas minor</i>
	ホッスモ	<i>Najas graminea</i>
	エビモ	<i>Potamogeton sp</i>
	フラスコモ	<i>Nitella sp</i>
浮葉植物	ヒシ	<i>Trapa japonica</i>
浮漂植物	ウキクサ	<i>Spirodela sp</i>
陸生植物	オオスズメノテッポウ	<i>Alopecurus pratensis</i>
	アメリカセンダングサ	<i>Bidens frondosa</i>
	オギ	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>
	ギシギシ	<i>Rumex sp</i>
	イヌタデ	<i>Persicaria sp</i>



写真-14 ヨシの群生

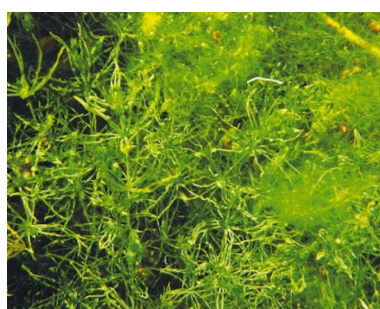


写真-15 シャジクモ



写真-16 ウキグサ

2. ヨシ原実験圃場内での水質の変化

2-1. 水温、水深について

ヨシ原が十分に形成された平成7年度を例にすると以下ようになる。水温が10℃を越えるのは4月に入ってからで、以後6月頃には20℃を越え、7月下旬には27~28℃の最高水温となる。その後8月20日頃から水温は急激に下降し、11月中旬には再び10℃以下となり、12月には4~5℃と最低を記録し、冬期には水面は氷結するが、氷下では流れは持続している。

ヨシ群落内部での水温変化の傾向も流入地点の最初の観測地点の場合と大差ない。しかし、ヨシの繁茂している区間、例えば St.0~St.1 と St.1~St.2 の各区間では、前者で最大2.8℃、後者では最大1.9℃の水温低下が生じている。これは毎年同様の傾向にあり、ヨシの葉茎による直射日光の遮蔽効果とヨシ群落での蒸散による気温の緩衝効果によるものである。

結果として、ヨシ群落が成長する時期には水中の温度環境が安定し、水中あるいは群落内の生物の生活にとっても安定した環境を維持していることが分かる。一方、冬期には枯れた植物体が大気と水面を遮断することで保温効果を高め、水温の低下を防ぐ役割を演じている。

St.0での水深はほぼ30~40cmで比較的安定していた。各地点の水深を平均値で比較してみると、St.0では35.7cm、St.1は40.2cm、St.2は36.1cm、最後のSt.3はもっとも浅く24.1cmであった。最後の地点が浅いのは平成8年度にはこの区間でヨシの刈り取りによる影響を調べたことによるもので、ヨシが繁茂した状態であれば他の地点と変わることはなかったものと考えられる。ヨシがあることで、水中に林立した程が水流を遮り、水深を深く維持すると同時に、ヨシ原群落内での水の滞留時間を増加し、浄化にプラスに働くことになる。

2-2. pH、電気伝導率

水路に導入される湖水のpHは平成7年度の場合、6.17~7.48で、春と秋に振幅が大きいという特徴がある。これは諏訪湖自身のpHの影響を受けていることによる。水路内の他の地点ではヨシの成長初期に当たる5月末までは日による格差が大きいが、ヨシ群落が安定してくる6月以降はpHも安定し、6.4~7.5程度のpHが続くようになる。

電気伝導率の場合もpHと傾向は似ている。導入される湖水の電気伝導率は161~259 μ S/cmであり、春先に高い傾向にある。ヨシ原に導入後、ほぼ500mで電気伝導率は10%弱低下し、以後安定している。すなわち、ヨシ原に導入直後の約500m間で約10%程度のイオン化物が除去され、それ以降では除去されないことを示している。いずれにしても、pHと電気伝導率はヨシ原内ではきわめて安定した状態となり、生物の生活にとってもより安定した状態を提供していることが分かる。

2-3. 溶存酸素量

ヨシ原実験圃場への取水は武井田川河口部、諏訪湖沿岸部の底層から行われていることから、6月から9月上旬にかけては導入水自体の溶存酸素量も低い傾向にある。各地点間での相対的な酸素消費量は、St.0~St.1では流入量の30%、St.1~St.2では25.9%となっている。一方、最後のSt.2~St.3の区間では逆に83.1%の酸素が増加している。

溶存酸素の消費は水中あるいは底泥中の有機物の分解によるが、底泥中での脱窒作用の場の形成に寄与することになる。St.1では溶存酸素量が1%以下の時期が調査期間中2回しか観測されていないが、現実には底泥中では6~10月の期間には酸素が不足していることが推測される。この期間中、St.1~St.2にかけて脱窒作用が活発に行われている可能性は高い。また、この期間にはヨシの成長が活発に起こり、太陽光が水面に到達することを妨げることから、水中の植物プランクトンの増殖も抑制され、溶存酸素の水中での補給が行われにくいことも溶存酸素量低下の理由の一つである。これはヨシ群落形成による水中環境条件の特徴の一つであり、脱窒作用の促進の条件ともいえる。

2-4. 主要水質項目のヨシ原実験圃場内での見掛けの浄化率

表-2 に平成 6 年と 7 年の主要な水質項目についての見掛けの浄化率を示した。流入水量、流出水量を加味せずに、流入濃度での相対的な差から計算されたもので、真の浄化率ではない。ただし、流出する際の濃度は流出先の水質に直接関係することもあり、現場実験で絶対量が把握しにくい場合の比較として示してみた。

結論としては、兩年の結果は良く一致しており、浄化率の高い項目は懸濁体成分が関係していることが分かる。浄化率の高い項目は SS(80~83%)、クロロフィル a(92~97%)、全窒素(70~74%)、硝酸態窒素(67~88%)、全リン(65~70%)が上げられるが、硝酸態窒素は溶存態のものであり、他の項目とは内容的に異なっている。全 COD の場合も最終地点では 50~60%の浄化率になっており、比較的高い数値である。

以上を総合すると、ヨシ原による水質浄化の多くはバイオフィルターとしてのものであり、ヨシの稈が水中に林立するヨシ群集の物理的な構造に大きく依存していることが分かる。一方、諏訪湖のアオコ発生の主因となる硝酸態窒素の高い浄化率は、ヨシ群落が繁茂することで生じる、水中の溶存酸素量の低下と有機基質としての懸濁態成分の底泥への補給が相俟って起こるものと考えられ、ヨシ群落の水質浄化機能として高く評価できるものとする。

2-5. ヨシ原実験圃場内での水収支と物質収支

ヨシ原実験圃場への流入水量は、使用したポンプの能力と実験初期に塩を流して測定した流量観測の結果から、およそ 250L/min と推測されていた。平成 8 年度にはこの流入、流出水量を三角堰によって測定し、ヨシ群落内での季節的な蒸発、蒸散量の変化を観測した。それによると、図 5 に示すようにヨシの成長に大きく影響され、8 月 30 日を境にしてヨシの葉から蒸散する水量が劇的に変わることが分かった。

流入水量は 245~346L/min 平均 326L/min であった。一方、流出水量は年間で 191 ~304L/min となり、流入水の 20~40%がヨシ原通過中に減量している。その季節的な傾向をみると、8 月 30 日を境にして流出水量が増加しており、ヨシの成育期間には流出水量が大幅に低下する傾向となっている。その理由はすでに述べたように、植物による蒸散の関与である。蒸散の加わる 8 月までの流出水量は 191~245L/min 平均 216L/min で、後半の 9 月以降には 264~304L/min 平均 235L/min となり 1 分間に平均 19 リットルの差があることが分かる。

以上の水収支を加味して、ヨシ原実験圃場内での物質の収支から実質の浄化率を計算すると以下のようになる。

ヨシ成育期間中(5 月~9 月)の実質の浄化率は表 3 に示したように非成育期間と比較して大きくは変わらない。SS の場合には成育期間の 87.7%に対して、非成育期間は 93.5 %とむしろ高い傾向にある。これは SS のような固形物はヨシの成育に利用されるのではなく、ヨシの稈などがバイオフィルターとして、構造的に役立っていることを示している。他の SS に関係する水質項目も同様である。例えば、全 COD の場合も、成育期間の 64.6% に対して、非成育期間は 76.2%と高い。

一方、硝酸態窒素の場合には生物活性の高い前半の方が 94.1%で、後半の 80.5%より高くなっている。同様に、リン酸態リンも若干ではあるけれども前半に除去率が高い傾向が認められる。リン酸態リンの場合には見掛け上の浄化率は低く、逆に流出傾向にあると考えられていたが、実質の浄化率は約 50%という結果は物質収支の計算によって始めて確認されたものである。同様に、溶存 COD の場合もヨシ群落からは負荷になるという結果が、見掛け上の計算からは得られていたが、今回の収支計算で実質 27%が除去されていることが示された。

表-2 平成6年～7年、2か年の主要な水質項目についての見掛けの浄化率

流下距離		0 m	500 m	1,000 m	1,500 m
水質項目	年度				
S S	1994	100	52.2	80.2	82.8
	1995	100	55.2	76.9	80.7
Chl. -a	1994	100	77.3	89.7	92.5
	1995	100	61.6	80.0	96.6
全COD	1994	100	35.9	52.2	57.2
	1995	100	46.8	51.0	52.7
溶存COD	1994	100	2.3	-9.0	-11.4
	1995	100	6.2	-0.1	-2.2
全窒素	1994	100	50.5	63.4	70.2
	1995	100	41.3	66.2	73.6
NO ₃ -N	1994	100	31.6	56.6	66.7
	1995	100	32.1	78.7	88.3
全リン	1994	100	52.6	61.9	69.8
	1995	100	53.6	59.1	65.3
溶存リン	1994	100	15.8	4.0	12.2
	1995	100	14.8	16.9	30.2

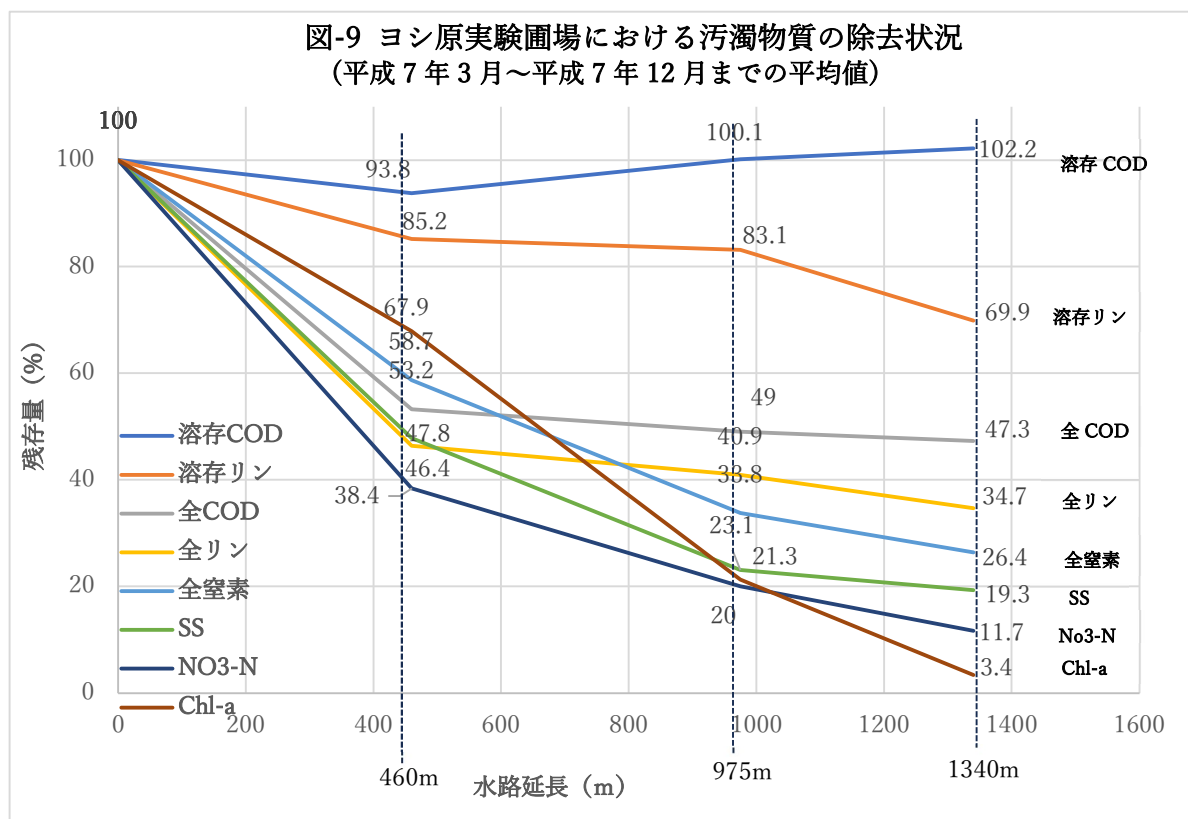
表-3 ヨシ原実験圃場での真の浄化率 (%) (平成8年度結果)

水質項目	S S	T-COD	s-COD	T-N	DTN	NH ₄ -N	NO ₃ -N	DTP	PO ₄ -P
植物成育期間	87.7	64.6	27.5	75.7	69.8	93.7	94.1	73.4	53.4
非成育期間	93.5	76.2	26.0	74.1	69.8	94.7	80.5	78.0	48.5
全期間	90.3	69.5	27.0	75.0	69.8	94.2	86.3	75.1	52.0

○汚濁物質の除去率 平成7年3月～12月(水面結氷)までの平均値の推移

表-4 ヨシ原実験圃場における汚濁物質の除去状況 (平成7年3月～平成7年12月までの平均値)

項目	項目・単位	0m	500m	1,000m	1,500m	内容の説明
全窒素	濃度 mg/l	2.44	1.49	0.86	0.69	流入水の全窒素濃度 2.44ppm は諏訪湖の目標値 0.6ppm の4倍。しかし全水路経過後は 0.69ppm とほぼ達成している。
	比率	100.0	41.3	66.2	73.6	
	除去率%		58.7	33.8	26.4	
全リン	濃度 mg/l	0.149	0.072	0.063	0.054	流入水の全リン濃度 0.149ppm は諏訪湖の目標値 0.06ppm の2倍。しかし全水路経過後は 0.054ppm と達成している。
	比率	100.0	46.4	40.9	34.7	
	除去率%		53.6	59.1	65.3	
COD	濃度 mg/l	8.12	4.49	4.14	3.84	500mより先は大きく変化が見られないのは、水鳥による底泥の攪拌、付着藻類の剥離などが考えられる。+
	比率	100.0	53.2	49.0	47.3	
	除去率%		46.8	51.0	52.7	
SS	濃度 mg/l	31.60	14.73	7.61	5.99	S S (懸濁性物質) の値のほとんどが植物性プランクトンによるもの。St. 3位置での異常値を除いた平均は 5.99ppm で除去率は 80.7 と見積もられる
	比率	100.0	47.8	23.1	19.3	
	除去率%		52.2	76.9	80.7	
Chl -a	濃度 mg/l	52.0	20.8	10.8	13.73	春から夏にかけては珪藻類、夏から秋にかけては藍藻類で占められている。水鳥による底泥の攪拌による異常値を除くと、除去率は 96.6% と高い
	比率	100.0	67.9	21.3	3.4	
	除去率%		22.1	78.7	96.6	



2-6. ヨシ群落内の窒素、リン除去における植物体の役割

ヨシ群落内での物質の除去はバイオフィルターとしての機能が大きいことについては前節で述べた。その除去量を沈殿物量として測定すると、季節的には大きく変動するものの、ヨシ原実験圃場内の地点間による差は大きくないことが確認された。沈殿量の最大は9月の $20\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ を越えるもので、最小は7月の $5\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ であった。沈殿物の炭素および窒素含量は地点による差は少なく、季節的には変化するが、リン含量は地点による差が大きかった。沈殿物の炭素含量は5～10%、窒素含量は0.4～1.5%、リン含量は0.2～0.8%であり、これを一日当たり、単位面積当たりに換算すると、炭素で $0.3\sim 1.4\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ 、窒素で $0.04\sim 0.2\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ 、リンでは $0.01\sim 0.13\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ に相当する。

一方、ヨシの現存量の最大は9月中旬に得られ、地上部の植物の最長は319cmであった。1 m^2 当たりの最大現存量は乾燥重量で3.63kgであり、最大に達した9月以降減少し、10月頃には半減し、1kg以下となる。

○発芽後のヨシの各部位の炭素、窒素、リンの含量の変化について

炭素含量は発芽後45%程度まで増加し、一定に達するが、葉の炭素含量は次第に減少する。窒素、リンの含量は発芽後次第に減少し、その傾向はリンにおいてもっとも顕著である。しかし、現存量自体は最大成長に達するまで増加し、その後減少する傾向となる。この減少は地下茎への転流によるもので、次の年の発芽に備えるためである。

ヨシ原実験圃場全体で、9月までにヨシに吸収された窒素、リンを計算すると、窒素量は170kg、リンは15kgとなる。これを5月から9月までに単位面積当たりに吸収された量に換算すると、窒素では 26.3g 、リンでは 2.16g となり、除去速度としては窒素の場合には $0.36\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ 、リンでは $0.032\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ に相当する。これまで報告されている窒素、リンの除去速度は、窒素で $0.17\sim 0.53\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ 、リンでは $0.029\sim 0.078\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ であり、本実験の結果もこの範囲に入っている。

ヨシ群落内での底泥における脱窒活性は、底泥最上層の 0～ 2 cm がもっとも高く、その下の 2～ 4 cm 層では上層の 1/3、それ以下の層では活性が認められなかった。1 年を通してのヨシ原実験圃場での脱窒活性とポテンシャル脱窒活性を測定すると、前者で 2.8～ 197mg-N/m²/day、後者で 52.6～ 306 mg-N/m²/day であり、現場での脱窒速度の Q₁₀ は、水温 5～25℃の範囲で 1.8 と求められている。以上の結果をもとにしてヨシ原実験圃場での現場の脱窒活性を推定すると 18.1～93mg-N/m²/day となり、諏訪湖湖心での 8.5 ～52.3mg-N/m²/day の範囲内であった。

以上の結果をもとにして、5 月から 9 月にかけての 150 日間のヨシ原実験圃場での窒素、リンの収支とヨシ植物帯への直接の吸収量の割合を計算すると図-10,11 のようになる。

○平成 8 年 5 月～9 月にかけてのヨシ原での窒素のリンの収支

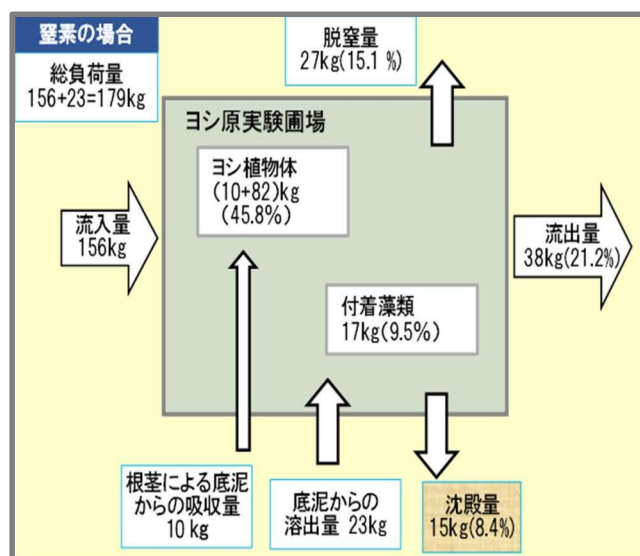


図-10 ヨシ原での窒素の収支

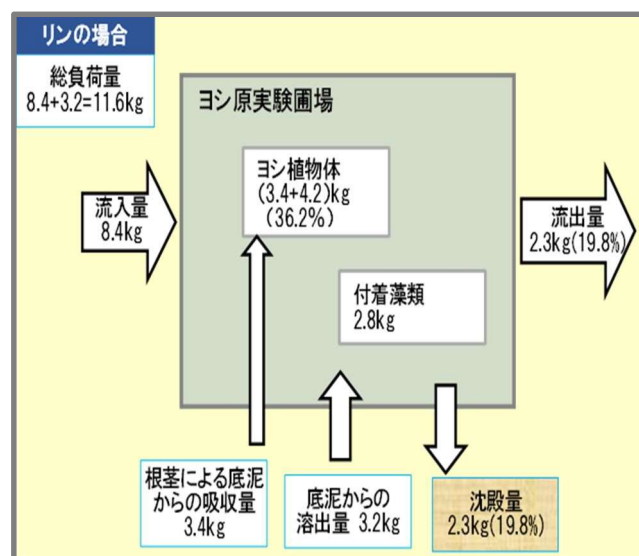
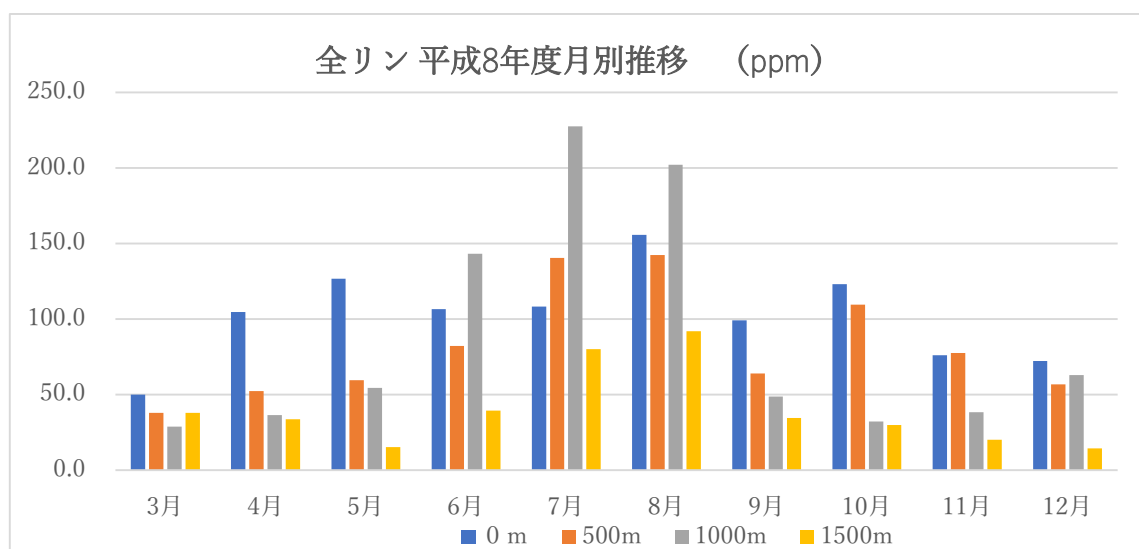
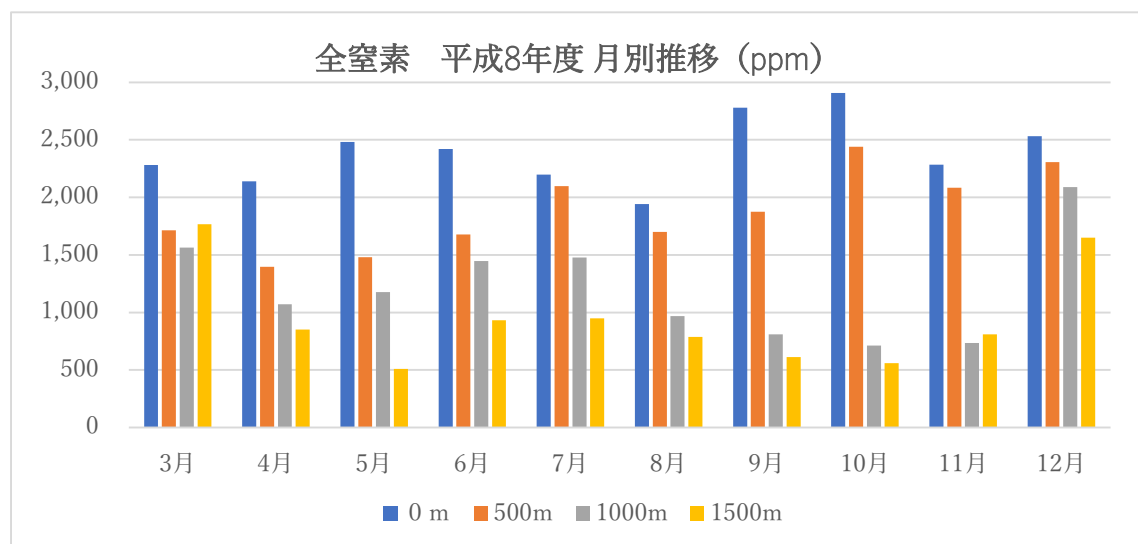
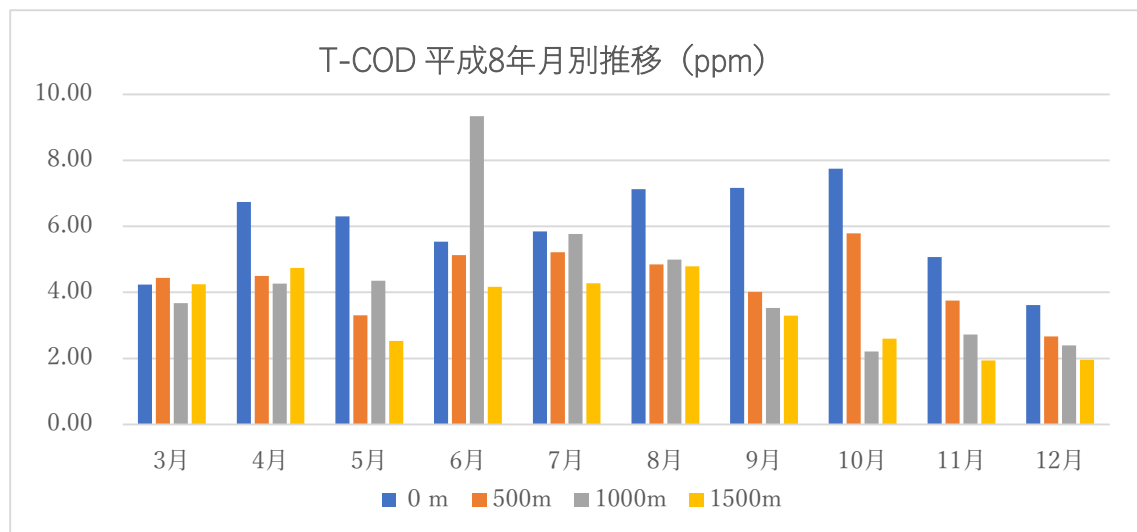


図-11 ヨシ原でのリンの収支

ヨシ原実験圃場に流入した量と底泥から溶出した量を加えた窒素、リンの負荷に対するヨシ植物体そのものに吸収され、除去された量は窒素で 45.8%、リンでは 36.2%と推定された。このことからみても、ヨシ原での浄化力はバイオフィルターによる物理的な除去を含めて、ヨシ以外の生物群集による浄化も大きく関与していることがうかがえる。ここでは、底泥からの窒素、リンの溶出量は諏訪湖の底泥からの溶出量を参考にして、ヨシ原圃場造成の際の上壤の構成比(湖底泥:畑土:砂=4:3:3)から諏訪湖の溶出量の 0.7 がヨシ原でも溶出するとして計算されている。一方、前年の枯れたヨシの各部位ごとの炭素、窒素、リンの含量は、前年に地下部に回収された残りでもあることから、2 年目の枯れた状態では以後大きな変化は認められない。また、枯れたヨシの茎は次第に折れて、消失し、10 月 までにはその 76%が折れていた。しかし、これらの折れたヨシの水中での分解はきわめて緩慢で、水質への影響は小さいことが桜井ら(1991)によって報告されている。当年に発芽し、最大成長に達したヨシからの水中への窒素、リンの溶出についての実験 結果によると、茎からの溶出は両者共にほとんどないが、葉の場合には 10 日間の水中への 倒伏によって窒素は 10%、リンは 70%が溶出することが明らかになっている。以上のことから、2 年目の枯れたヨシ植物体が水質を再汚濁する懸念は少ないと予想される。また、当年の葉が自然に水中に漬かるケースも考えにくい。しかし、春先の出水期には水位を押し上げることもなるので、刈り取り、火入れなどによる人為的な管理は必要となろう。これはヨシのように悼が立っている場合には影響が少ないが、ガマ、マコモ のように春先に植物体が倒伏するような場合には適切な管理が必要になる。

【参考】平成8年度の主な水質項目の月別推移



3. ヨシ原実験圃場の生物群集

3-1. 植物群集

ヨシ原実験圃場造成の初期に侵入した種については表 1 に示してある。造成初期には水を張っていない時期が続くため、陸生の帰化植物であるオオスズメノテッポウ、アメリカセンダングサの侵入が特に目立っていた。オオスズメノテッポウが繁茂している地点ではヨシの発芽が他の地点に比較して約 1 週間程度遅れた例も観察されている。ヨシの出芽は 4 月上旬頃から確認された。実験圃場内でのヨシの出芽は全て植栽されたヨシの稈の基部からのもので、種子からの発芽は確認されていない。また、出芽は植栽の時期によって大きく差が認められたが、出芽の確認されたヨシ稈からは、稈の基部から幾つもの稈が分枝して、ヨシ稈の密生している様子が認められている。

諏訪地方でのヨシの発芽は 4 月から 5 月にかけてが主であり、それ以降伸長成長が開始される。5 月中旬から 6 月下旬にかけての 1 日当たりの伸長速度は、平均して 2.5 cm であるが、早いものでは 5 cm 伸長したものの観察された。しかし、7 月中旬以降は伸長速度が減速し、8 月上旬には最初の出穂が確認された。実験圃場での平成 5 年のヨシの成育状態は良くなかったが、最大で 246 cm であった。ヨシ稈の密度は 9 月で 139 本/m²、11 月は 149 本/m²であり、9 月時点での平均稈長は 197 cm、11 月は 258 cm であった。その時の現存量はそれぞれ、9 月が 2.7kg/m²、11 月が 3.1 kg/m²である。9 月の現存量の 45.3% は稈で、地下部は 12.0% であったが、11 月には地下部が 24.5% に増加していた。これは、9 月から 11 月にかけてヨシの地上部にあった物質が 1 日に約 6g /m²の割合で地下部に移動(転流)したことを示している。

実験圃場水路内に出現したヨシ以外の植物は、抽水植物のガマ、クサヨシ、サジオモダカ、エゾノサヤヌカグサ、ミズアオイ、浮葉植物のヒシ、浮漂植物のウキクサ、沈水植物ではシャジクモ、ミゾハコベ、コカナダモ、フラスコモ、トリゲモ、ホッスモ、エビモ、さらに帰化種では前述のオオスズメノテッポウ、アメリカセンダングサ等、約 20 種に及んでいる。これらの季節的な成育の様相を図-12 に植物カレンダーとして示したが、ヨシ群落が安定するにしたがい、ヨシ群落内の植物相は、ガマも含めて消滅し、単純な組成になっていった。

ヨシ原実験圃場での植物カレンダー

名称	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
オオスズメノテッポー	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽				
クサヨシ		出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽		
ガマ		出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽
ヨシ		出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽
サジオモタカ		出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽
アメリカセンダングサ		出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽
シャジクモ		出芽	出芽	出芽	出芽	出芽				
ミゾハコベ				出芽	出芽	出芽	出芽			
コカナダモ					出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽
ウキクサ		出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽
マコモ (緩衝池)		出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽
ミクリ (緩衝池)		出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽	出芽

出芽

出穂

枯れ始め

図-12 植物カレンダー



写真-17 ミクリの花



写真-18 コカナダモ



写真-19 マコモ



写真-20 クサヨシ



写真-21 ガマ



写真-22 サジオモタカ

3-2. ヨシ原の微小動物群集

水路内に生息する微小動物は原生動物 12 種、ワムシ類 24 種、甲殻類 10 種である。諏訪湖湖内で同時期に観察されている種類数よりやや多く、その理由は付着性あるいは沿岸性の種が加わっていることにある。総個体数でみると、春の最大で 2,000 個体/L であり、その大半は原生動物と甲殻類で占められている(約 90%)。夏の最大も 2,000 個体/L であるが、その組成は 70%が原生動物と甲殻類である。秋には 2,500 個体/L とやや増加するが両方で 95%を占めている。これまでに得られた最大の個体数は 8,370 個体/L である。

微小動物群集の優先種を季節的にみると、ワムシ類→原生動物・甲殻類→ワムシ類→原生動物・甲殻類→ワムシ類と交互に優先グループが交替するが、諏訪湖湖内のようにワムシ類が総個体数のピークに影響することはなかった。原生動物の主要な種はカタマリヒゲマワリとタマヒゲマワリで、これらは諏訪湖から流入したものである。ワムシ類ではハネウデワムシ、カメノコウワムシ、ナガミツウデワムシが多く、これらも諏訪湖と共通する種である。甲殻類としては沿岸性のアオムキミジンコ、オカメミジンコが確認され、これらの種は水路の前半に多く、後半に行くほど減少する傾向にあった。その理由は溶存酸素量が水路後半で不足することにより、ヨシ原の安定化によって微小動物相は貧弱になる傾向が認められた。植物と同様に微小動物の季節カレンダーを作成したが目立った特徴は得られなかった。

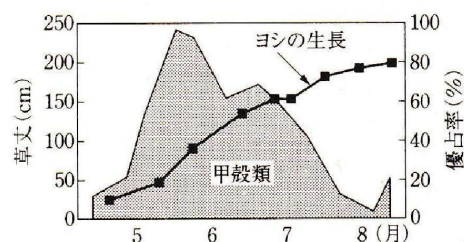


図-13 水路内の微小動物群集の分布 (荒河、1996)

3-3. ヨシ原実験圃場の昆虫相

平成7年6月から8年6月までの毎日採集による昆虫の種数は9目、36科以上に達した。個体数のもっとも多いのはハエ目であり、その中でもユスリカ科に属するものが圧倒的に多い。ユスリカ科ではオオユスリカ、アカムシユスリカなどの大型で、諏訪湖から発生する種も多いが、季節的には他のユスリカ類の多い時期もあり、それらを含めて一年中発生しているのが特徴である。次いで多いのがガ類であるが、今回は科レベルまでの分類はできていない。水生昆虫のトビケラ目も多く、シマトビケラ科に属するものが多い。甲虫目ではマルハナノミ科に属するものも多く、16科以上の水生昆虫が得られている。クモ目に属するものは4科以上で、個体数としては他種に比較して多くはないが、飛来する他の昆虫を捕獲、捕食することで、ヨシ群落内の物質循環系にとって重要な昆虫であることが分かる。

1日当たりの採集個体数が1,000を越える日があるのは、6月、7月、9月、10月の4ヶ月である。ガ類を主とするチョウ目は7月、8月に多く、甲虫目は7月に多い。これらを一年を通しての昆虫カレンダーとして図-14に示した。

トンボ類ではイトトンボ科に属するものも多く、全体の90%以上に達するが、ヤンマの類は少ない。これら昆虫を含めて、ヨシ原群集内の動物相を、その種類と生息域の関係を含めた群集構造として示したのが図-15である。今後は、ヨシ原の水中での物質収支に加えてヨシ原群集に生息する動物群集の出現状況と食物関係を含めた群集構造図を作成し、ヨシ原群集内の生物の相互関係、その物質循環を明らかにすることが、生態系としてのヨシ原の解析には必要となろう。

○ヨシ原実験圃場での昆虫カレンダー

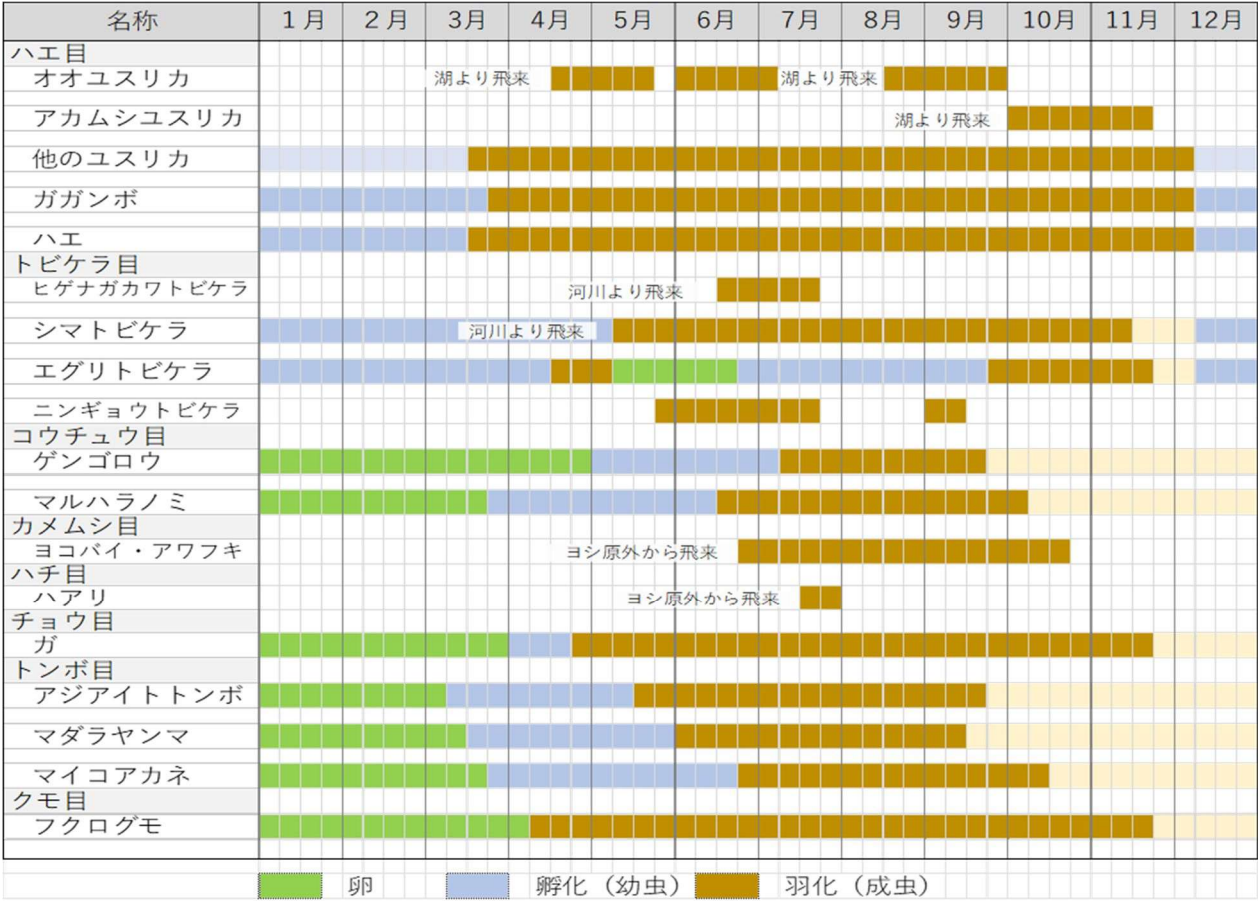


図-14 昆虫カレンダー

○ヨシ原実験圃場動物群集

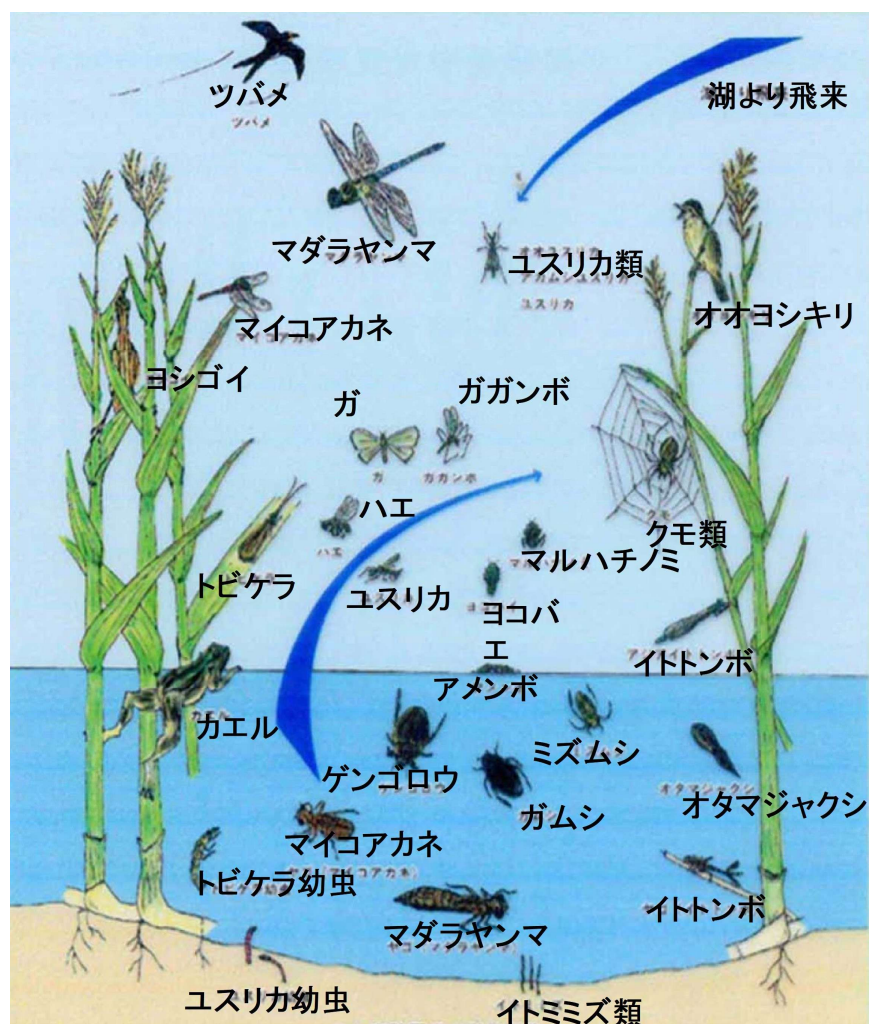


図-15 ヨシ原実験圃場に生息する生物群 作図：森正幸氏 1997 年

○現在のヨシ原実験圃場

ヨシ原実験圃場はその後ビオトープとしての池が整備されました。ヨシが植えられ池には様々な生物が生息しています。



写真-23 跡地利用で整備されたビオトープ



写真-24 池に生息する生物調査

【参考】 ヨシの植え付け方法 「抽水植物群落復元技術の現状と課題」桜井善雄編 1984 年より引用
ヨシの茎の根元にショベルを斜めに踏み込んで切り取る。その場合、新根や新芽の原基がたくさんある根元の節間の詰まった部分をつけて切り取ることが大切である。

植え付ける場所は、陸地から水深 20～30 cm の水中まで可能である。(下の写真参考)

植える時は直径 2.5～3 cm の棒を土の中に 20～30 cm の深さに打ち込み、その中に 2～3 本のヨシ苗を入れ周りを足で踏んで土を圧着させる。陸上の水分が少ない時は注水すると良い。植え付けの間隔は 50 cm で狭く植える必要は無い。茎が活着した後に枯れるが、間もなく根元から新芽が出て秋までに数本の茎が立ち地下茎が広がる。

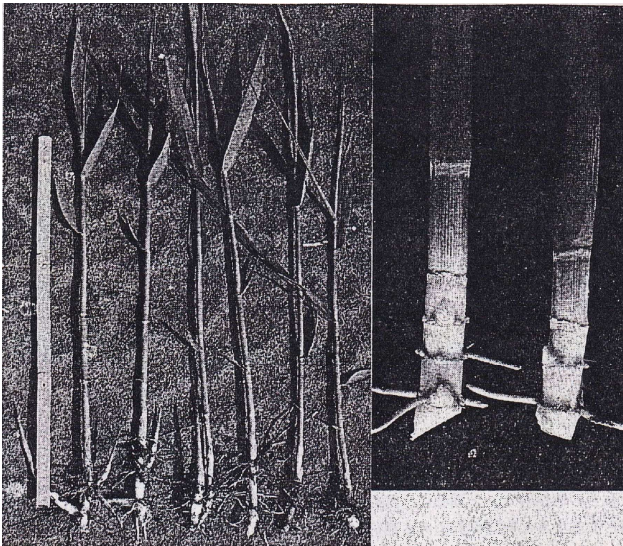


写真-25 茎植え用のヨシ苗
新根や新芽の原基がたくさんある根元の節間の詰まった部分（写真に葉鞘をはいで示した）をつけて切り取ることが大切である。

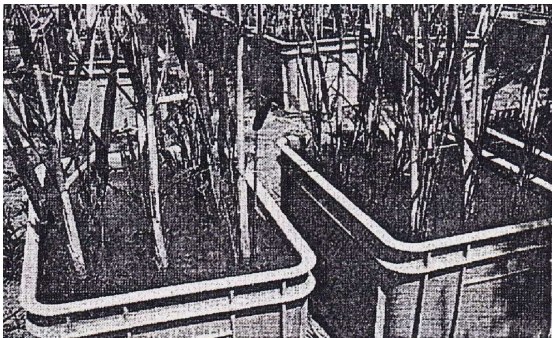


写真-26 茎植えしたヨシの植え付け 1 か月後の状況
植えた茎は枯れ、根元から何本もの新芽が出ている。（撮影 6 月中旬）

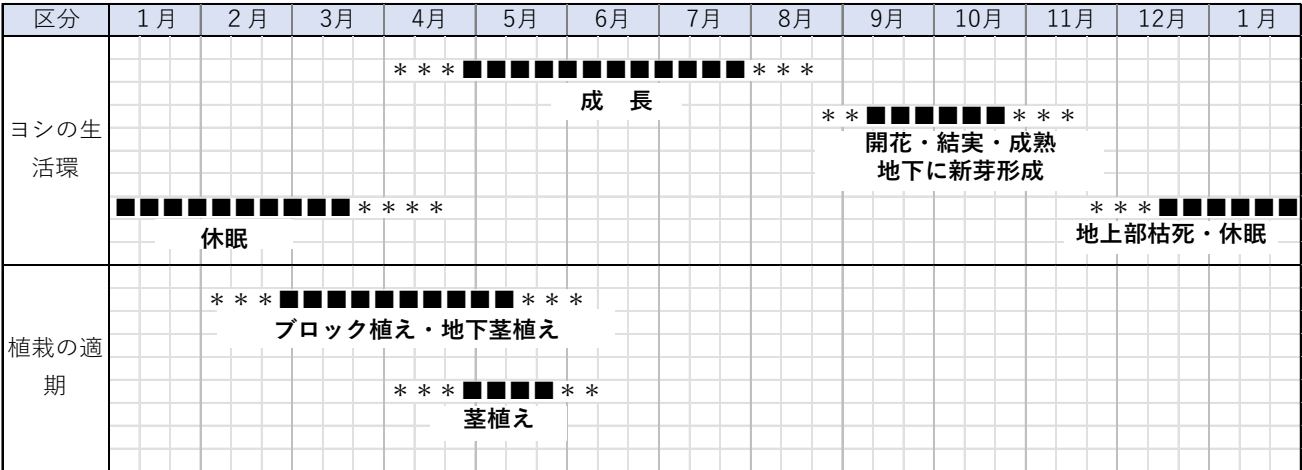


図-16 ヨシの生活環と植栽の適期

今回の実験結果から

- ・ 諏訪湖周辺でヨシ原を造成する際には、その植栽時期を 6 月までに完了させる。
- ・ 仮に造成初期にガマなどの移入植物が混入しても 1 年を経過すれば十分にヨシ群落が形成されることが確認された。

参考資料と文献

- 「平成 5 年度水生植物浄化調査業務委託報告書」社団法人 底質浄化協会
「平成 6 年度水生植物浄化調査業務委託報告書」社団法人 底質浄化協会
「平成 7 年度水生植物浄化調査業務委託報告書」社団法人 底質浄化協会
「平成 8 年度水生植物浄化調査業務委託報告書」社団法人 底質浄化協会
「抽水植物群落復元技術の現状と課題」桜井善雄編 1984 年
「湖沼の生態学」沖野外輝夫著 2002 年
「川と湖と生き物」林秀剛・宇和紘・沖野外輝夫編著 1992 年
「諏訪湖おけるヨシ群落の成長と構造」沖野外輝夫・長田正夫 1985 年
「アオコが消えた諏訪湖」沖野外輝夫・花里孝幸 信濃毎日新聞社 2005 年
「陸水と人間活動」門司正三・高井康雄 1984 年
「生物機能による環境修復」石田祐三郎・日野明徳編 1996 年
「アーバンクボタ No36 (特集；諏訪湖)」株式会社クボタ 1997 年

「ヨシ原による水質の浄化に関する実験」

(非売品)

この冊子は信毎賞を受賞したことを
記念して作成したものです
編集 沖野外輝夫

発行：令和 7 年 8 月

諏訪湖クラブ事務局

〒392-0017 諏訪市城南二丁目 2362

TEL/FAX 0266-58-0490

E-mail e-suwa-info@lake.gr.jp

<https://suwako-club.com/about.html>