

# 地域循環型水環境保全システムのためのバイオマス利用技術における 炭化ヨシの評価

## 要旨

1. はじめに
2. 植栽水質浄化システムの開発経緯
  - 2.1 地域循環型水環境保全システムのめざすもの
  - 2.2 ヨシを活用した水質浄化の技術的課題と本研究の位置付け
3. 実験方法
  - 3.1 バイオマス資源として質の高いヨシを得るための環境条件の検討方法
  - 3.2 水質浄化水路充填材としての炭化ヨシの機能評価に関する実験方法
4. 結果および考察
  - 4.1 戻り取りの有無がヨシの質に与える影響
  - 4.2 水路による窒素・リンの浄化能力
  - 4.3 ヨシの生育に与える植栽基盤の影響
5. おわりに

## 参考文献

岩手県立大学総合政策学部 山田一裕

地域循環型の水環境保全システムを構築するうえで地域にある身近な素材を活用していくことは重要である。本研究では、従来から水質浄化機能について検討されてきたヨシ植栽浄化方法において、その施設で得られる資源であるヨシの水処理材(充填材)への適用について検討した。得られた成果は下記の通りである。

- 1) 感潮域のヨシ原において、刈り取り区と非刈り取り区を設定し、ヨシの質へ影響について検討した。ヨシの質そのものには大きな違いはなかったが、土壤・土壤水について、非刈り取り区で土壤水のORPが-200mVに達する地点もあり、ヨシの系外排出がされていないことによる有機物汚濁が懸念された。また、土壤水はあまり潮汐の影響を受けておらず、しかも塩分濃度の高い状態であった。
- 2) ヨシ殻・炭化ヨシを充填した浸透流方式によるヨシ植栽浄化水路において、人工下水2次処理水 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ で20mg/l、 $\text{PO}_4\text{-P}$ で2mg/l) の処理能力を検討した。7月から11月にかけ、表面積負荷  $0.2\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  (植栽区間の5mを対象) で実施したところ、窒素については植栽をしていない対照系では除去率が30%程度であり、植栽をした水路では50~80%を示した。リンの除去率は植栽の有無にかかわらず80%以上 (植栽1年目を除く) を示した。また、窒素の除去速度はおおむね  $2\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 、リンの除去速度はおおむね  $0.3\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$  程度であった。炭化ヨシ充填水路は植栽後数ヶ月間の結果だったので、他水路と単純に比較はできないものの若干低めの結果となった。
- 3) ヨシ植栽水路においてヨシの生育を検討したところ、植栽1年目より2年目の方が自然界でのヨシと同等に育った。またその生育においてヨシ殻・炭化ヨシによる障害は認められなかった。以上の結果から、さらに検討を統ければ炭化ヨシの機能について十分把握ができると考えられる。

## 1. はじめに

わが国における水環境の改善は期待するほど進んでいない。水質汚濁に係わる環境基準のうち、健康項目（人の健康の保護に関するもの）にかかる有害物質による汚染はほぼ解消されているが、生活環境項目（生活環境の保全に関するもの）については、その環境基準の達成率が横ばいからやや低下傾向にある。平成16年度の環境基準達成率は、湖沼43.8%、河川85.1%、海域76.9%であった<sup>1)</sup>。とくに湖沼での達成率が著しく低いのは、生活排水等による有機汚濁と、栄養塩類である窒素およびリン等に由来する富栄養化の進行が主たる原因である。

湖沼や内湾は閉鎖性が強いために汚濁物質が蓄積しやすいため、従来からその対策が図られてきた。一方、河川では、生活雑排水などが直接排出される水域でもあることから下水道整備などが進められ、地方の中小河川を除いては水質改善が成されている。河川の環境基準達成率も上向きであること、本来開放系である河川では富栄養化対策は取られてこなかった。しかし、その原因となる栄養塩類は農地や下水2時処理水由來で常時流入している。そのため近年、汚濁問題として閉鎖性水域ほど顕在化していないものの、河床の付着藻類や生物膜の増殖と剥離に伴う局所的な汚濁が発生していることから、河川水質管理上懸念されている<sup>2)</sup>。

水域への汚濁負荷には点源負荷と面源負荷がある。点源負荷については、生活雑排水が約3割未処理放流されていることと、窒素やリンが除去できる高度処理に対応した下水処理施設の普及率が普及人口の約1割程度であることから、早急な対策が求められている。また、面源負荷についても、排出源が特定しにくい農畜産排水や山林などからの栄養塩類の水域への流出に対して、流入前か水域内で直接浄化が求められている。

処理システムの開発においては、地球温暖化の防止にも貢献できるよう、省エネで廃棄物（汚泥）発生量が少なく、経済的な新しいシステムで対応できることが望ましい<sup>3)</sup>。

農業排水など特定できない地点からの排水を処理するためには従来の排水処理施設とは異なる処理システムを作り上げていく必要がある。

富栄養化の原因となる窒素・リンや面源負荷対策は緒についたばかりである。これらは、汚泥発生量が大きく、窒素除去にも限界のある従来の大規模排水処理技術では対応しにくく、また費用も引き合わない。すなわち、小規模施設や面源からの栄養塩負荷は、経済的な新しい方法で対応することが望ましい。

さらに、利水上の理由で水質だけを議論するのではなく、開発や治水工事によって失われた水辺の自然環境・景観に対しても配慮することが必要になってきており、川岸の植栽やビオトープづくりなどの多自然型川づくりが進められている。

そこで本研究では、栄養塩類の除去と水辺の景観形成に寄与できる水生植物を用いた水質浄化システムの開発を検討した。

## 2. 植栽水質浄化システムの開発経緯

### 2.1 地域循環型水環境保全システムのめざすもの

循環・共生に配慮しながら環境の改善・修復を実現できる技術として提案されているものに生態工学（エコテクノロジー）がある。河川であるなら多自然型護岸工法もその一つといえる。

生態工学は、太陽エネルギーなど自然エネルギーに支えられた生態系において物質循環や食物連鎖機能を用いて汚染物質を浄化する技術であるため、季節や環境要因に左右されやすく効率的でない場合もある。しかし、省エネであり、景観をつくり、得られた生物資源を有効に使うことも可能である。例えば、図2・1のように地域の水環境対策に応用すると、まず点源負荷について地域社会で発生した汚水は排水処理施設で処理され、処理水は水域、汚泥は農林業へ転用される。つぎに面源負荷として農林業から発生した汚水は直接浄化施設で浄化され、生産物は地域社会へ、処理水は水域に放流される。それ以外の面源負荷に対しては水域内の直接浄化施設（植物を使った浄化施設など）あるいは漁業などによる生産物の回収によって浄化される。エコテクノロジーの活用によって地域社会と農林水産業が結び付き、循環共生を視野に入れた地域完結型の水環境対策が可能となる<sup>3)</sup>。

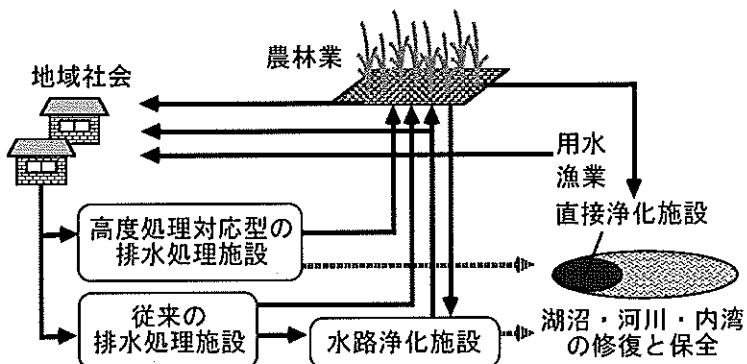


図2・1 地域における循環型水環境対策の概念図

## 2.2 ヨシを活用した水質浄化の技術的課題と本研究の位置付け

### 2.2.1 水生植物による水質浄化方法の特徴と課題

水域浄化法のうち、植物による浄化方法は、成長とともに水域からの汚濁物質（有機物や窒素・リンなど）を分解・吸収し、さらに生物多様性の確保や景観にも配慮できる技術であると期待されている。水生植物のうち、ヨシ・マコモ等の抽水植物を利用するもの、アザガ・ホテアオイ等の浮葉・浮水植物を利用するもの、クロモ等の沈水植物を利用するものに大きく3種類に分けられる。

水生植物の浄化作用は、植物そのものが栄養物を吸収するものと、水に浸かっている植物体の表面に付着したり、土の中にいる微生物群集による汚濁物質の分解・吸収によるものと考えられる。さらに、多くの水生植物の根には先端部まで通気組織が発達しているため、水上に出ている茎から運ばれた酸素が根のまわり（根圏）にも供給され、土中の有機物の分解を促進させるという働きもある。

つぎに、水生植物による水質浄化においての留意点を述べる。植物は生き物であることから、

- 1) 季節変化が大きく工学的管理に馴染みにくい
- 2) 広い面積が必要
- 3) 枯死した植物の回収方法と二次汚染（生育した植物自身が有機物汚染源となること）
- 4) 回収植物の後処理が必要

などが考えられる。そのため、今後水生植物を用いた水質浄化を行う場合、以下の検討が必要である。

- ・処理施設の面積が小さく、年間を通して効果を持続できる
- ・対象とする水生植物を適切に管理（植え付け、植栽量、刈り取り）する
- ・回収した水生植物の処理・利用方法を検討する

水生植物による水質浄化方法は、自然の浄化機能を活用した方法であり、回収物の有効利用による新たな物質循環を構築して農村地域等の水質改善を図ることが求められている。

## 2.2.2 ヨシを用いた水質浄化方法の現状と課題

水質浄化に利用できる水生植物として早期から研究<sup>4)~11)</sup>されていたのはヨシである。ヨシは、全国の池沼や河川の低湿地に群生する大形の多年草である。5~6月頃にかけて生長が最も早く、8月初めには高さ3mにも達する。その後11月頃に枯死が始まり2月中旬頃から倒伏する。また広塩性であるので河口域や汽水域でも生長する。一方で、ヨシの質を維持しながら吸収された汚濁物質の系外排除を確実に行うためには毎年の刈り取りが必要であり、必然的に産出されるヨシの利活用を検討しておかなければならない。従来から、その茎は茅葺きの屋根材、よしず、工芸品などに利用されていたが、最近では非木材パルプの原料としても利用されている。

ヨシ原での水質浄化機能を模式的に図2・2に示す。ヨシは根茎を作るので、固形物（SS）のろ過を行なうのと同時に微生物の増殖に必要な場（すみ家）を与える。また、光合成で生成した酸素を体内の通気組織を通じて根へ輸送する能力に優れており、根から放出される酸素によって好気的となった根圏における活発な硝化-脱窒により、他の植物に比べて優れた窒素除去能力を有している<sup>12)</sup>。

浄化方法は構造面から大きく2つに分けることができる。植栽された地表面に水を流して浄化する「表面流方式」と植栽基盤中に水を浸透させて浄化する「浸透流方式」である。これまで表面流方式の知見が多くあったが、この方式を実規模化すると広大な面積が必要になる。そのため、より狭い面積でも効果を發揮できる浸透流方式が有望である。ただし、基盤中に水を流すことから目詰まりを起こすなどして浄化能力が落ちてしまう問題がある。中村ら（2001）<sup>13)</sup>によれば、レキや人工メディアをろ材（充填材）とした浸透流方式は表面流方式に比べて窒素除去能力も高く、面積も3分の1程度で賄えるなど効果があったものの、ろ材の種類によっては短絡流が生じていた。また、透水性の高い網状担体を使っても、ヨシの生育が悪かったり、リンの除去を考えると吸着除去できる担体（砂など）を用いた方が効果の高い場合がある<sup>14)</sup>。

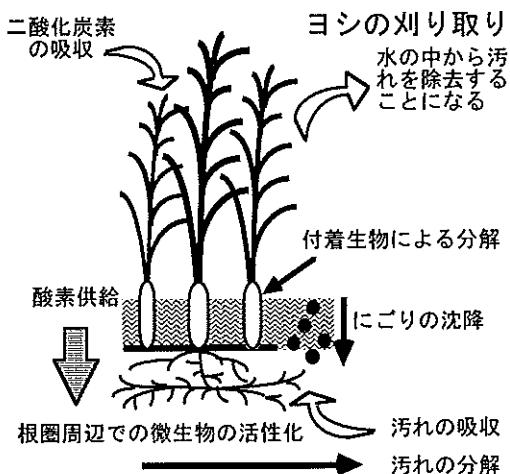


図2・2 ヨシによる水質浄化機能の模式図

そこで植栽基盤の充填材として、現地ですぐ手に入る素材であるヨシ殻（枯れヨシを細かく切ったもの）が考えられる。ヨシの構造の特徴である中空構造が壊れないように切断すれば、ヨシは通水性の高い有用微生物の付着担体となりえる。砂とヨシ殻を混ぜることで通水性を確保しながら担体による吸着効果も期待できる。また、川西ら（1995）<sup>15)</sup>によれば、稲わらを土壤中に単層状に投入した場合、稲わらからその成分である有機物が溶出し、土壤浸透水中の硝酸性窒素除去（脱窒）に効果があった。ヨシは稲わらに比べて水に強く、有機物の溶出も緩やかではあろうが、同様な効果が検討できる。さらに、ヨシ殻を炭化して多孔質化させれば、吸着力などの機能性も高めることができる。そのため、水質浄化水路においてヨシの植栽とヨシ殻・炭化ヨシを充填材にすれば、刈り取りによって回収されるヨシバイオマスを活用しながら水質浄化の機能向上が図れる循環型の処理システムが提案できる。

以上のことから、本研究の目的は、ヨシ植栽浄化水路の基盤（充填材）としてヨシ殻および炭化ヨシを用いた場合の水質浄化機能を評価することである。

### 3. 実験方法

本研究は大きく2つの研究からなる。1つ目は、バイオマス資源として質の高いヨシを得るために環境条件の検討。2つ目は、水質浄化水路充填材としての炭化ヨシの機能評価である。以下にそれぞれの検討方法について示す。

#### 3.1 バイオマス資源として質の高いヨシを得るために環境条件の検討方法

ヨシの質を左右するものとして、刈り取りの有無と水質（塩分）条件が経験的に知られている。淡水域および汽水域でそれぞれ毎年刈り取りがされている所とそうでない所のヨシを選び、各ヨシの生

育環境を調査する予定であったが、刈り取り業者の業務上、淡水域で刈り取り有無の適地が選定できなかったため、本研究では汽水域での調査において実施している。写真3・1に調査区域の全景を示す。

選定した調査区は、刈り取り業者に依頼して刈り取り有無の区分けをしておいた北上川河口（宮城県北上町・河北町）から1～2km上流の河岸域のヨシ原である。それぞれ200m×200m程度の区画（約5ha）である。非刈り取り区は過去6年ほどヨシ刈りをしていない。2003年5月から2004年2月まで2ヶ月に1回程度の頻度で、それぞれの区域において無作為に3ヵ所選んで50cm四方のコドラートを設定しヨシ・土壤・土壤水の採取を行ない、分析に供した。ヨシは、コドラート内のすべてを採取した。土壤は、採土器にて表面から20cmの深さを採取し、均一混合試料とした。土壤水は、干潮時に地表から30cm深さの所から土壤溶液採取器で1時間吸引し、採取した。これらを定点観測試料とした。8月には大潮時に土壤水の24時間調査を実施し、栄養塩類濃度や塩分濃度、酸化還元電位の測定を行なった。



写真3・1 調査地点（2003年11月7日、非刈り取り区から刈り取り区方向）

### 3.2 水質浄化水路充填材としての炭化ヨシの機能評価に関する実験方法

浄化水路は、小岩井農牧株式会社の協力の下、同社圃場の一角に設置した。浄化水路は、長さ5m（実質的には10mとしている）×幅0.25m×高さ0.6m（充填材の深さは0.5mとなる）の水路を6本用意した（図3・1）。地表面を重機で20cm掘り下げ、水路に沿って側面を板で囲い、杭で板を支え、断水用のシートを張っている。その上に、担体（砂、ヨシ殻など）を充填し（写真3・2）、浸透流れ方式の浄化水路とした。植栽は、ポットで育ててあったヨシ株を1m区間で3つずつ植え込み、1m<sup>2</sup>あたり100本程度になるよう設定した。

充填材の内容は下記の通りである。（ ）内の%は容積比を示す。5m水路（水路往路）に0.625m<sup>3</sup>の担体が入っている。30%で0.19m<sup>3</sup>、70%で0.44m<sup>3</sup>、35%で0.22m<sup>3</sup>となる。ただし、担体の充填割合を変えた水質浄化の補完的水路として、復路としてさらに5mの水路と同じ容積で設定しており、上述の水路と連続した水路となっている。充填材には、北上川河口で採取したヨシを5～10cm程度に切断して用いた。炭化ヨシも同程度の大きさである。ただし、水路Eおよび水路Fに用いる予定の炭化ヨシを初年

度に所定量作成することができなかつたため、まずは水路A～Dで実験を開始し、2年目から水路Eおよび水路Fでの試験も開始した。水路の全景を写真3・3に示す。

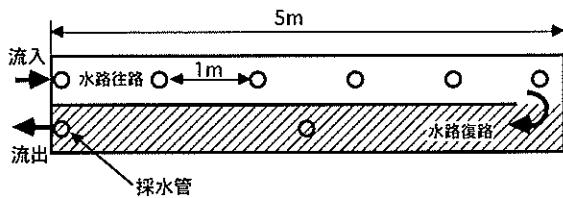


図3・1 実験水路概略図

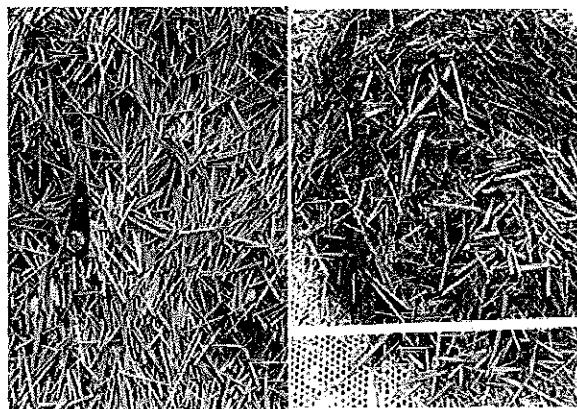


写真3・2 ヨシ殻（左）と炭化ヨシ（右）

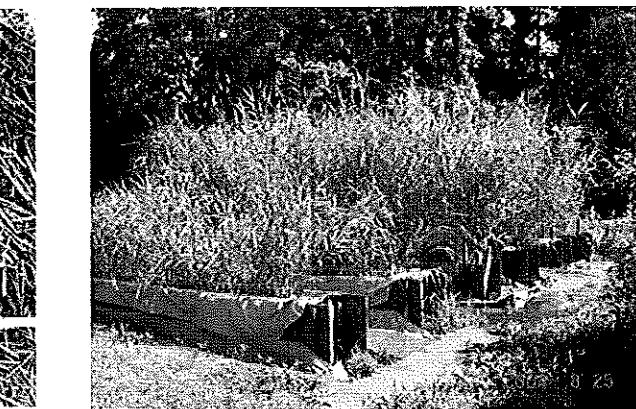


写真3・3 水路全景（2004年8月25日、奥より水路A～F）

#### 【担体の充填割合】

	<水路往路>	<水路復路>
水路A	… 5m (枯ヨシ30%+砂70%+ヨシ植栽)	-5m (枯ヨシ30%+砂70%)
水路B	… 5m (枯ヨシ30%+砂70%)	-5m (枯ヨシ30%+砂70%)
水路C	… 5m (枯ヨシ70%+砂30%+ヨシ植栽)	-5m (枯ヨシ70%+砂30%)
水路D	… 5m (砂100%+ヨシ植栽)	-5m (枯ヨシ70%+砂30%)
水路E	… 5m (炭化ヨシ30%+砂70%+ヨシ植栽)	-5m (炭化ヨシ15%+砂85%)
水路F	… 5m (砂100%+ヨシ植栽)	-5m (砂100%)

実験水路に流す水は、近くの小川から取水する。小川水はパイプで調整タンクに導水したあと、混合槽において、大学で作成した実験試水濃縮液(人工下水2次処理水)と混ぜ合わせ、自然流下で実験水路に流れるようにしている。混ぜ合わせたあとに、 $\text{NH}_4\text{-N}$ で20mg/l、 $\text{PO}_4\text{-P}$ で2mg/l、アルカリ度で200mg/l程度 (pHはややアルカリ) となるように混合比を調整する。濃縮液の調整には、塩化アンモニウム、リン酸二水素カリウム、炭酸水素ナトリウムを用いた。水面積負荷（水路往路のみ）は、 $0.2\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ となるように水量を設定した。すなわち、1水路に対して $0.25\text{m}^3/\text{d}$ （約10.4ℓ/hr）の水量負荷、窒素負荷

は4g/m<sup>2</sup>/d、リン負荷は0.4g/m<sup>2</sup>/d（水路往復ではそれぞれ2分の1の負荷）となる。水理学的平均滞留時間は、砂の空隙率を30%、枯れヨシの空隙率を90%とした場合、概算で0.75日（砂100%）～1.8日（枯れヨシ70%+砂30%）となる。

6月末に実験水路が整備できたので、ヨシの生育状況を見ながら実験を予定していた。ヨシの生長データを取っていたが、2003年夏の天候不順のためヨシの生育が思わしくなかった。そのため、水質データを取り始めたのが8月末からであり、その後、2週間おきに採水して分析に供した。

実験試水の濃縮液は、1週間に1度の頻度、800を消費すると仮定して、140倍（理論的には131倍）で準備した。濃縮液成分の濃度は、NH<sub>4</sub>-Nが2.8g/l、PO<sub>4</sub>-Pが0.28g/lとした。

実験期間中は、実験開始から2週間ごとに流入出水と充填材中（水路1mおきに採水用のパイプが埋め込まれている）の水を採取して、水質分析するとともに、現地でもpHやORP（酸化還元電位）、水温など、ヨシの生育についてはヨシ高さなどを月に1度の頻度で観察した。なお、2004年度においては本研究終了時点では季節的にヨシを切れなかつたので、ヨシバイオマスについては2003年度の結果を中心に検討した。

### 3.3 測定項目

・水質：現地観察項目の他、無機態栄養塩類（アンモニア態窒素、亜硝酸・硝酸態窒素、リン酸態リン）、TOCなどを測定した。栄養塩類の測定には、ブランルーベ社製のトラックス800を用いた。TOCには、島津理化器械（株）社製のTOC-5000を用いた。その他の測定方法は、下水試験法に準拠した。基本的に北上川河口で採取した試料も同様の方法を用いて測定した。

・植栽ヨシの生長度：現地でのヨシ高さ観察の他、2003年度分についてはヨシの乾燥重量、ヨシ生体中の炭素（TC）、窒素・リン含有量を測定した。乾燥重量は、ヨシを80°C、48時間乾燥後の重量を用いた。ヨシ生体中の炭素は、乾燥させたヨシをブレンダーで粉碎後、島津製のTOC-5000A（SOLID SAMPLE MODULE SSM-5000A）を用いて測定した。全窒素・全リン含有量も同様の試料をブロックダイジェスターに設置した分解チューブに入れ、濃硫酸を加えて300°C、1時間加熱後、過酸化水素水を加えてさらに加熱して分解した後、東亜DKK社製のTNP-10を用いて測定した。

## 4. 結果および考察

### 4.1 剪り取りの有無がヨシの質に与える影響

表4・1に刈り取り区と非刈り取り区とのヨシの生育量（両区とも3カ所の平均値）を示す。新しく芽生えたヨシ（表中「ヨシ」）の高さでみる生育のみならば両区とも差はない。しかしながら、5月頃から明らかかなように、単位面積あたりの本数で比べると非刈り取り区は刈り取り区のほぼ倍の本数（新しく生えたヨシと昨年から残っている枯れヨシ）が存在する。2月頃になると前年度からのヨシがほぼ

倒伏するのか、本数・乾燥重量ともに同程度になっている。このことは、枯れヨシが倒伏して、土壤への有機物負荷となっていることを示す。そこで、土壤の強熱減量を測定した。表4・1に測定値（両区とも3カ所の平均値）を示したが、両区での明らかな差はなかった。一方、ORPにおいては非刈り取り区の方がマイナスの高い値を示すことが多く、とくに非刈り取り区Cでは-200mVを超えることもあった。土壤の嫌気化が進み、ヨシが枯死した所ではORPが-350mVに達するとの報告<sup>16)</sup>もあり、非刈り取りによる有機物負荷の影響が懸念される。さらに、調査中、非刈り取り区では硫化水素臭を強く感じ、簡易測定による溶存態硫化物濃度は3mg/lであった。

表4・1 北上川河口のヨシの生育状況

採取日	採取地	ヨシ	生育密度 本/m <sup>2</sup>	高さ cm	茎部 乾燥重量 g-dry/m <sup>2</sup>	炭素 含有率 %	土壤の 強熱減量 %
2003. 5. 24	刈り取り区	ヨシ	143	65	254	--	6.6
	非刈り取り区	ヨシ	133	84	282	--	5.5
		枯れヨシ	135	122 (191)	401	--	
2003. 6. 14	刈り取り区	ヨシ	155	120	596	46.1	6.3
	非刈り取り区	ヨシ	117	119	423	42.2	11.1
		枯れヨシ	152	125 (199)	477	49	
2003. 8. 11	刈り取り区	ヨシ	137	146	634	40.9	10.0
	非刈り取り区	ヨシ	92	154	472	--	8.6
		枯れヨシ	80	112	299	--	
2003. 10. 4	刈り取り区	ヨシ	163	151 (221)	737	45.5	9.7
	非刈り取り区	ヨシ	233	131 (233)	912	49.5	10.0
2003. 12. 6	刈り取り区	ヨシ	148	158 (219)	532	39	11.3*
	非刈り取り区	ヨシ	243	154 (232)	970	36.8	8.3*
2004. 2. 22	刈り取り区	ヨシ	172	149 (225)	787	41.1	10.2
	非刈り取り区	ヨシ	187	147 (233)	831	42.8	9.4

注1) 2003年10月、12月、2004年2月についてはヨシと枯れヨシの区別はしていない

注2) 括弧内の数字は穂のあるヨシのみ計測した場合の平均値

注3) 炭素含有率の計測は、刈り取り区はA地点、非刈り取り区はC地点のヨシのみ

注4) 土壤の強熱減量のうち、12月6日に表記した数値は11月8日に採取したもの

また、表4・2に潮汐に伴うヨシ原表流水および土壤水の水質変化（両区とも3カ所の平均値）を示した。電気伝導度（EC）を見ると、大潮にもかかわらず土壤中の水質変化は表流水とは異なり、あまり変化をしていない。両区とも表流水は同時刻であれば大体同じECであったが、土壤水では非刈り取り区の方が全体的に高い値であった。しかも土壤水は河川水と比べて高塩分状態にあるといえる。ORPに

ついても同様なことがいえるが、24時間調査においても非刈り取り区ではマイナスの高い値を示していた。

つぎに、ヨシの炭素含有率を用いて質的な差があるのかどうかを検討した。表4・1中の炭素含有率を見るかぎり、用途の多い刈り取り時期（12月～翌年3月）の茎部の含有率に差は見られなかった。生育中のヨシの力学的挙動については、辻本（1996）<sup>17)</sup>によるヨシの曲げ剛性実測の調査例があるが、成分だけでなく枯死後の強度について今後検討しておく必要がある。

今回の調査では、刈り取りの有無によって生育状況と土壤環境に差異が見られた部分もあったが、ヨシの質の差に言及できる結果は得られなかった。しかし、以上の調査の他に、日本でも有数のヨシ原である、渡瀬遊水池、霞ヶ浦浮島、琵琶湖内湖（円山町）、筑後川河口でヨシ刈り取りを営んでいる業者への聞き取りから、汽水産のヨシに比べて淡水産は、例えば茅葺き材として持ちが悪いことが経験的に知られていることを聞いた<sup>18)</sup>。そのため、水質浄化水路充填材としての強度を考える場合、汽水産が適当であることが推測された。

表4・2 潮汐に伴うヨシ原表流水・土壤水の水質変化  
(2003年8月15-16日、大潮)

調査地点	時刻	表流水			土壤水		
		水深 cm	EC μS/cm	ORP mV	EC μS/cm	ORP mV	TOC mg/l
	時：分						
刈り取り区	11:30	-	-	-	2163	-65	29.8
	14:30	9	2433	90	3063	-63	26.2
	17:30	44	1477	122	3427	-77	16.2
	22:30	2	2100	66	3660	-68	14.1
	5:30	50	883	108	3800	-72	11.4
	9:00	6	1473	74	3757	-75	10.8
	12:00	-	-	-	3443	-48	9.5
非刈り取り区	11:30	-	-	-	3823	-92	24.8
	14:30	2	2310	-	6330	-110	23.5
	17:30	39	2330	95	6890	-118	19.8
	22:30	5	1495	38	7630	-123	32.8
	5:30	40	1550	93	8767	-119	23.4
	9:00	7	1415	39	8793	-116	18.5
	12:00	-	-	-	8610	-52	24.6

## 4.2 水路による窒素・リンの浄化能力

まず、本実験では、大学で人工下水2次処理水の濃縮液を作り、現地に設置した微量ポンプによる濃縮液の滴下とレベル調整で注入した小川水とを貯留槽（300ℓ）で混ぜ合わせた。そのため、各水路に排水される段階（流入水）で所定の濃度をはずれる場合もあった。表4・3に小川水および流入水の平均水質を示しておく。小川水にはわずかながら硝酸態窒素が含まれていた。不定期にBOD（生物化学的酸素要求量）も測定したが1mg/l以下であった。

表4・3 小川水および流入水（水路C）の平均濃度

	水温 °C	pH	EC μ/cm	TOC mg/l	NH <sub>4</sub> -N mg/l	NO <sub>x</sub> -N mg/l	PO <sub>4</sub> -P mg/l
小川水	5~22	7.7	143	1.63	0.05	1.41	0.28
流入水（水路C）	3~23	7.9	535	2.16	16.23	2.67	3.39

### 4.2.1 窒素の浄化能力

#### 1) 窒素除去率の季節変化

まず、表4・4に各水路の無機態窒素およびリン酸態リンの平均除去率を示す。ここで、無機態窒素とはアンモニア態窒素濃度と亜硝酸・硝酸態窒素濃度を合わせたものである。窒素の場合、往路だけよりも水路全体での除去率の方が高くなかった。一部、極端に水質が悪く除去率を下げてしまった2003年の水路A（水路全体）と2004年の水路Eおよび水路F（往路）について異常値を除いて除去率を算出したところ、それぞれ32.0%、40.8%、59.0%となった。

表4・4 各水路の無機態窒素およびリン酸態リンの平均除去率

実施時期	地点	無機態窒素除去率 (%)						リン酸態リン除去率 (%)					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
2003 年度	往路	74.6	32.1	27.1	41.6			95.7	90.5	92.3	68.8		
	水路全体	17.1*	39.9	56.4	71.1			82.4	78.2	99.9	98.4		
2004 年度	往路	79.5	31.1	54.9	59.0	21.2*	18.2*	89.5	75.0	96.9	89.3	38.9	47.0
	水路全体	60.7	18.5	87.8	92.3	52.3	29.2	93.3	59.3	97.0	97.1	77.4	52.3

注) \*印の算出には異常値も含まれる

実験期間は、汚水を流し始めた7月初旬から11月までであり、10月末までは水温は10°C以上維持していた。また、水面積負荷としては既往の研究に比べて低い水準に設定をしており、窒素除去に大きな障害はなかったと思われる。往路のみを見た場合、水路Aの除去率が高かった。砂のみの水路Dと比べても効果は高かったと言える。対照系として設置した水路Bより、植栽を施した水路の方が除去率は高かった。しかしながら、水路全体では水路Dの方が水路Aよりも良い結果になった。復路には同じようにヨシ殻を充填していたので、ヨシ殻の影響とは考えにくいが、今後継続した検討が必要である。おむね、既往の研究で示された除去率の範囲であった。

炭化ヨシを入れた水路Eについて、その対照系となる水路Fと比べてみると、往路と水路全体とでは異なるものの、担体としての効果を確認できた。また、ヨシの育ちが同程度の2003年度の水路A～Dと比べても遜色はなかった。

つぎに、各水路の除去率の季節変化を図4・1（往路）、図4・2（水路全体）に示す。2003年は冷夏、2004年は猛暑となり気象の変化が激しい2年間であったが、ヨシ殻を混ぜた水路Aと水路Cは水路D（砂のみ）と比べても季節を通して同等以上に機能していた。初冬の10～11月は除去率が落ちることもあったが、実験期間中においては問題がなく処理性能を発揮した。2004年度も同様な結果であった。水路E（炭化ヨシ）は除去率が全体的に安定していなかったため、平均除去率も下がってしまった。

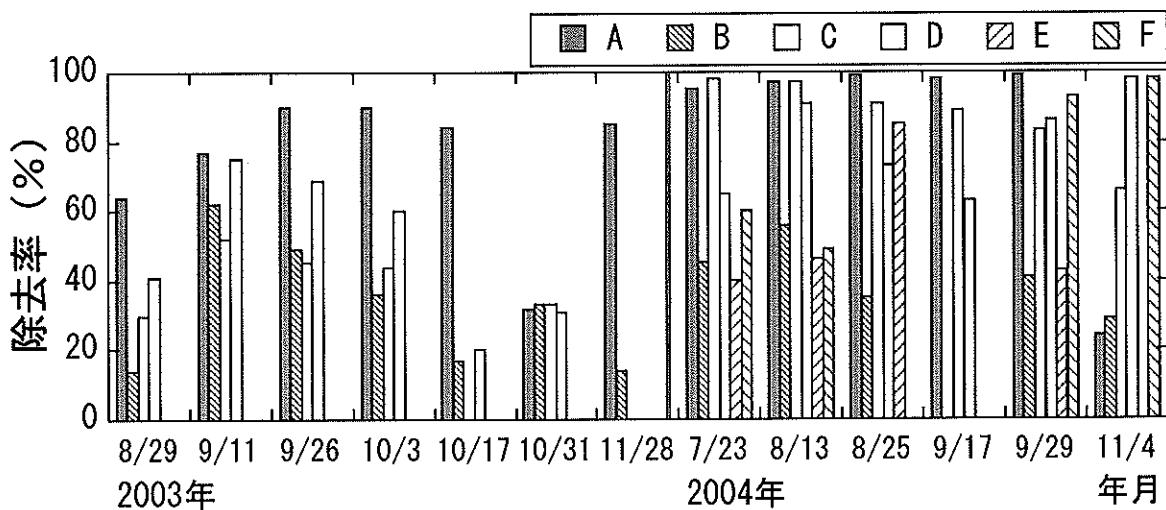


図4・1 窒素除去率の季節変化（往路）

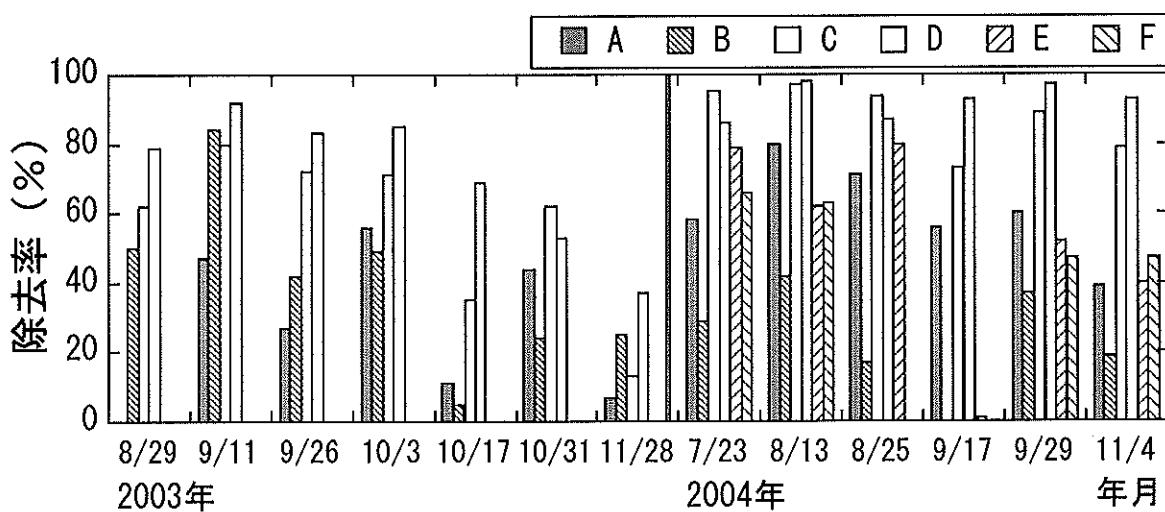


図4・2 窒素除去率の季節変化（水路全体）

## 2) 水路内の窒素の挙動

窒素除去を効果的に除去するためには、微生物に硝化を促す好気環境と脱窒を促す嫌気環境が必要である。各水路とも流入水によって基盤に送り込まれた酸素は速やかに消費され、水路を数m流れるうちにORPはマイナスの値を示した。汚水中に有機物か、または充填材中に有機物が存在すれば脱窒時の水素供与体としても利用できる。そこで、図4・3および図4・4に2004年9月29日（水路中の水温は18℃前後）の各水路の流れ方向の窒素の形態変化を示す。ヨシの育ち方が異なるので、水路A-Dと水路EおよびFとに分けて図示した。流入水中のアンモニア態窒素濃度にばらつきが見られるものの、水路Bを除いてその濃度は5m地点（往路）までに5mg/l以下にまで低下した。亜硝酸・硝酸態窒素は流入水中にも数mg/l程度含まれていたが、流下中5mg/l以上に上昇することも少なく、低濃度で推移した。ただし、往路である5~10mにおいて一部硝化が進んだのか、濃度の上昇が水路AおよびBで見られた。また、水路EおよびFについては、往路においてあまり硝化が進まなかったのか、両水路とも10mg/l前後で推移した。亜硝酸・硝酸態窒素濃度も5mg/l程度で変化がなかった。

一方、ヨシ殻を埋めることで、枯れヨシ中の窒素およびリン成分が溶出して、除去率に影響を与える可能性もある。しかしながら、ヨシ中の窒素含有率はおよそ2%、リンは0.1%程度<sup>19)</sup>であり、微量であることと、実際に溶出試験をおこなった細川ら（1991）<sup>20)</sup>は、枯れヨシからの溶出量は大きくなないと報告している。そのため、今回の充填についても、除去率が高く維持できたこともあり、溶出による影響はさほどなかったものと思われる。有機物であるTOCについても、全水路の往路、復路とも、流入水濃度の倍程度である、2~5mg/lであり、極端な溶出は認められなかった。また、往路（5m地点）における各水路の平均TOC濃度（2004年度）は水路Aから順に3.5mg/l、2.7mg/l、3.2mg/l、3.4mg/l、2.6mg/l、2.9mg/lであった。炭の効果が出たのか水路Eで低い傾向にあった。

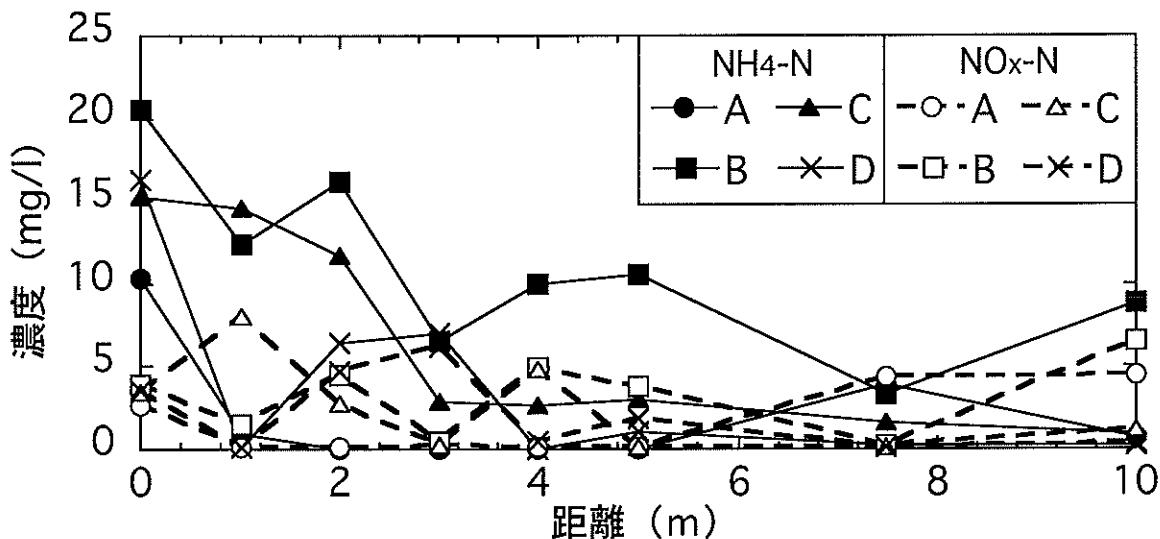


図4・3 水路（A～B）内の窒素の挙動

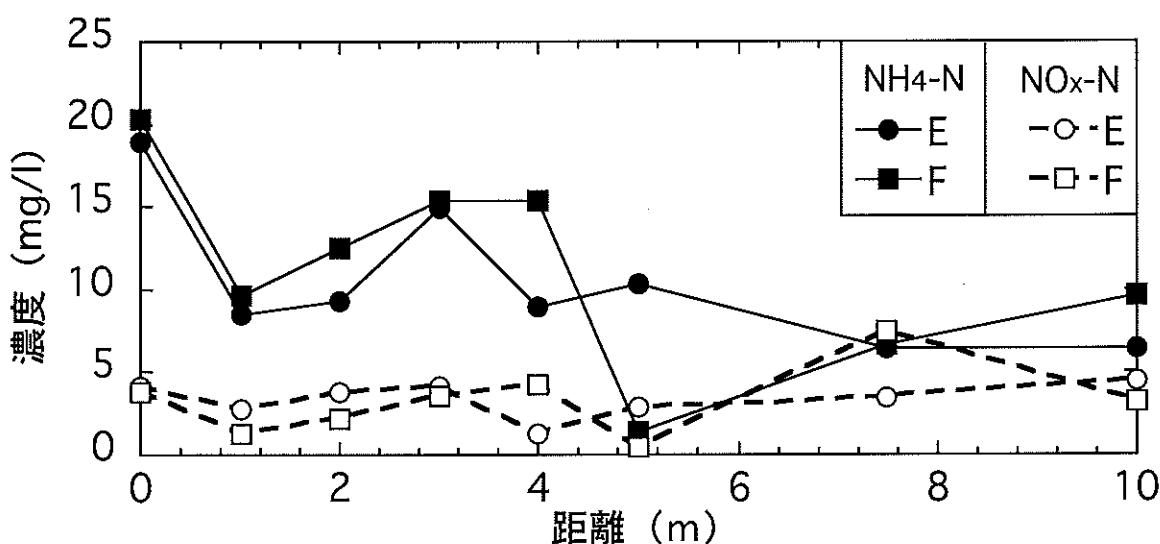


図4・4 水路（E,F）内の窒素の挙動

ここで、単純に窒素負荷 $4\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ に各水路（往路）の無機態窒素除去率（表4・4中の2004年度）を掛けて窒素除去速度を算出すると、水路Aから順に $3.2\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 、 $1.2\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 、 $2.2\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 、 $2.4\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 、 $1.6\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ （補正值）、 $2.4\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ （補正值）となり、総じて $2\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ の除去速度だった。

#### 4.2.3 リンの浄化能力

##### 1) リン除去率の季節変化

リン除去率の季節変化を図4・5（往路）、図4・6（水路全体）に示す。表4・4にも示したように、平均値で見ても高除去率が得られ、季節を通して安定していた。ただし、水路EとFにおいては変動が大きかった。ヨシ殻を入れていない水路Bにおいても良く除去されていたので、とくにヨシ殻の効果があったとは言えない。リンの除去はヨシへの吸収よりも充填材への吸着除去の方が大きいと考えられるので、今後の推移を見守る必要がある。また、窒素と同様にリン除去速度を求めるとき、水路Aから順に $0.36\text{g/m}^2/\text{d}$ 、 $0.30\text{g/m}^2/\text{d}$ 、 $0.39\text{g/m}^2/\text{d}$ 、 $0.36\text{g/m}^2/\text{d}$ 、 $0.18\text{g/m}^2/\text{d}$ （除去率を44.9%に補正）、 $0.28\text{g/m}^2/\text{d}$ （除去率を71.2%に補正）となった。全体的には $0.3\text{g/m}^2/\text{d}$ 程度の除去速度であったが、水路Eのみ低くなつた。ただし、水路EとFは処理水質濃度にばらつきがあったので、さらにデータを蓄積する必要はある。

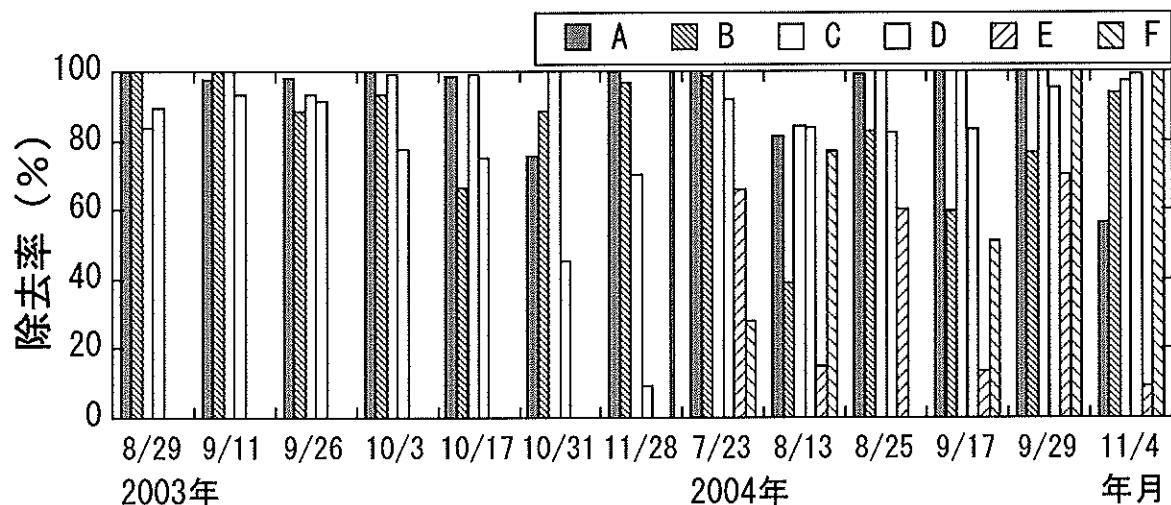


図4・5 リン除去率の季節変化（往路）

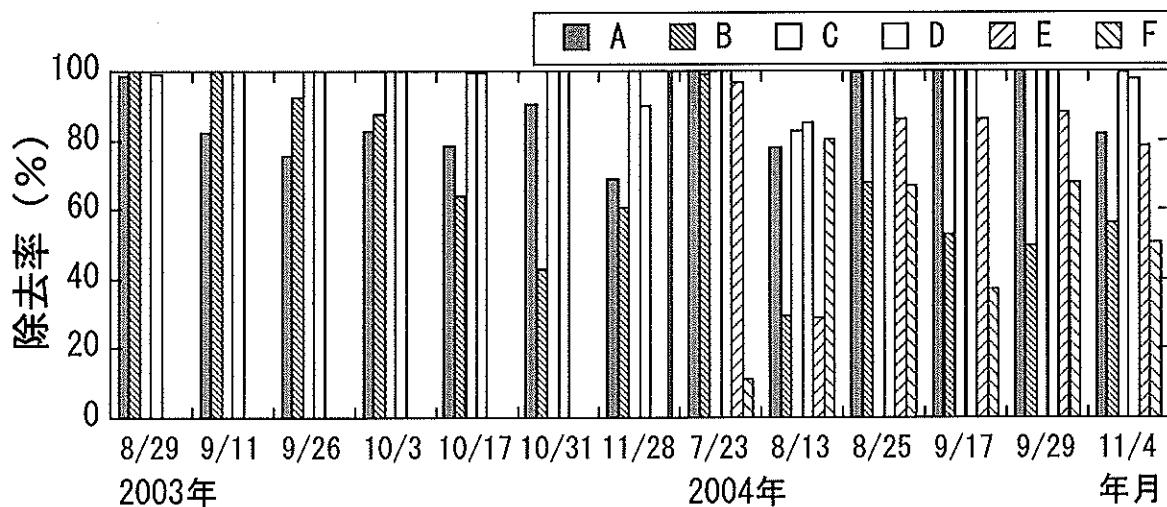


図4・6 リン除去率の季節変化（水路全体）

#### 4.3 ヨシの生育に与える植栽基盤の影響

ヨシ植栽浄化水路の検討のなかで、植栽基盤として用いられた担体として砂・レキ・人工メディア（ビニル製の網状のようなもの等）・ヤシ纖維などがある。浸透流方式の水路において水質浄化の効果を上げるのであれば透水性に高い担体を用いて担体や根茎の表面に付着した微生物による分解を促進させた方がよい。さらに、単位面積あたりの処理量も大きくなる可能性もある。一方で、ヨシは高さ3mにも生育するが、根を張る深さはせいぜい1mぐらいなので、気象条件やそもそも基盤としてはヨシの生育に不安定な環境を与えててしまう。生育が十分でなければ回収後の資源としての価値も低くなり、また生育途中で病気がちであると十分な浄化能力も期待できない。

そこで、本研究では、健全なヨシの生育を確保しつつ透水性を高めるために、砂に身近な素材として回収される枯れヨシを混入させ、植栽基盤として活用できるかどうかを検討してみた。実験方法3・2で示したように、植栽をした水路の場合、水路Aには水路容積に対して30%、水路Cには70%、水路Dは0%のヨシ殻を混入させてある（すべて往路について）。このため、水路Cがヨシの生育にとって一番不安定な環境と考えられる。

表4・5に各水路のヨシの生育（高さ）について示した。5mに植栽した各水路（往路）を1mずつ区切り、それぞれの区画で高さが上位のもの5つを選んで計測し、その後、水路全体で平均値などを算出した。その結果、2003年6月（試験開始は7月）植栽時には80cm程度のものが枯死始めた2003年10月末には125cm程度まで生育した。通常のヨシの生育高さとしては低いので、冷夏の影響を受けたのではないかと考えたが、2004年度に植栽した水路E・Fの2004年10月末の生育高さも160cm前後であることから、植栽直後の根の張り方が不十分なために生育が思わしくなかったと考えられる。水路A～Dは順調に生育し、2004年7月にはすでに200cm前後に達し、10月末には250cm前後まで生育した。また、2004年に植

栽した水路Eと水路Fについて、砂のみであった水路Fに対して遜色のない育ちをしていることから、炭化ヨシを充填材に用いても生育には問題がないと判断できた。

各水路で高さを比較した場合、水路D（充填材は砂のみ）のヨシの生育が一番良かった。また、水路Cや水路Dに比べて水路Aのヨシが低かったものの、充填したヨシ殻の混入割合は水路Cの方が高いので、ヨシ殻を混入させてもヨシの生育にとくに影響がないものと判断できる。さらに、各水路の汚水流入地点と5m地点でのヨシの高さ（2003年10月）を比べると、水路Aでそれぞれ116cm、133cm、水路Cで116cm、118cm、水路Dで132cm、132cm、となった。同様に、2004年度（2004年10月）においても、水路Aで272cm、238cm、水路Cで253cm、250cm、水路Dで256cm、252cm、水路Eで180cm、148cm、水路Fで140cm、151cm、となった。栄養塩類濃度の高い流入地点の方が生育がとくに良いわけでもなく、5mの間では差は生じなかった。高さに影響を与えるのは植栽直後などの根の張り不足や環境変化の不適応によるものと考えられる。2年目以降では問題がなかったので、本研究のような植栽を施す場合には複数年の検討が必要である。

表 4・5 各水路のヨシ生育状況

測定日	水路	A	C	D	E	F
2003. 7. 9	平均 cm	86	79	80		
	最大 cm	115	125	97		
2003. 8. 1	平均	95	87	92		
	最大	133	141	125		
2003. 8. 28	平均	109	99	108		
	最大	148	159	133		
2003. 9. 26	平均	123	118	114		
	最大	156	168	146		
2003. 10. 30	平均	125	120	127		
	最大	158	171	145		
2004. 7. 9	平均	188	205	204	82	80
	最大	203	233	237	96	96
2004. 7. 23	平均	202	215	215	91	87
	最大	229	246	253	110	107
2004. 8. 20	平均	233	246	250	123	116
	最大	269	269	286	159	140
2004. 9. 29	平均	241	257	269	162	143
	最大	285	282	299	196	173
2004. 10. 29	平均	240	255	267	169	143
	最大	283	277	296	200	173

つぎに、回収されたバイオマスを比較してみる。表4・6に示したように1年目では1m<sup>2</sup>あたり350～860gのヨシが回収できた。植栽時から比べても回収時の本数は3～4.6倍に増えていた。回収時の平均高さ・平均茎径、重量は、全ヨシを計測し算出したものである。外観的には通常のものより細く短いヨシが多くた。2003年10月4日に調査した北上川河口のヨシでは、1平方メートルあたり163本、茎径（地表から10cmの部分）は5.7cm、乾燥重量843g、1本あたりの重量が6.9gであった。一方、実験水路のヨシは水路Dでもそれぞれ490本、3.7cm、858g、1.75gであり、全体のバイオマスとしては同等であったが、1本1本は貧弱な様子がうかがえる。2年目はヨシの高さも十分であるので、問題のない生育と考えている。

表4・6 各水路で回収されたヨシバイオマス

水路	植栽時		回収時				
	本数	面積あたり 本数 本 本/m <sup>2</sup>	本数	面積あたり 本数 本 本/m <sup>2</sup>	平均 高さ cm	平均 茎径 mm	面積あたり 重量 g/m <sup>2</sup>
					cm	mm	
2003年6月時点			2003年11月時点				
A	117	94	361	289	50	3.5	347
C	125	100	574	459	53	3.6	636
D	158	126	612	490	65	3.7	858
2004年6月時点							
A	272	218					
C	233	186					
D	268	214					
E	166	133					
F	180	144					

## 5. おわりに

地域循環型の水環境保全システムを構築するうえで地域にある身近な素材を活用していくことは重要である。しかもそれが水質浄化施設で活用できるのであればその利用方法や条件などについて検討しておかなくてはならない。本研究では、従来より水質浄化機能について検討されてきたヨシ植栽浄化方法において、その施設で得られる資源であるヨシの水処理材（副素材）への適用について検討した。得られた成果は下記の通りである。

- 1) 北上川河口のヨシ原において、刈り取り区と非刈り取り区を設定し、ヨシの質へ影響について検討

- したところ、ヨシの質そのものには大きな違いはなかったが、両区の土壤・土壤水には違いが見られ、非刈り取り区ではヨシの形骸排出がされていないことによる有機物汚濁が懸念された。
- 2) ヨシ殻・炭化ヨシを充填したヨシ植栽浄化水路を用いて、人工下水 2 次処理水の処理能力を検討したところ、窒素については植栽をしていない対照系よりも植栽をした水路の方が窒素除去率は高かった。窒素の除去速度はおおむね  $2\text{g/m}^2/\text{d}$ 、リンの除去速度はおおむね  $0.3\text{g/m}^2/\text{d}$  程度であった。炭化ヨシ充填水路は植栽後数ヶ月間の結果であったので、他水路と単純に比較はできないものの若干低めの結果となった。
- 3) ヨシ植栽水路においてヨシの生育を検討したところ、植栽 1 年目より 2 年目の方が自然界でのヨシと同等に育った。またその生育においてヨシ殻・炭化ヨシによる障害は認められなかった。

#### 謝辞

本研究を進めるなかで、北上川河口での調査でご協力いただいた熊谷貞好さん、熊谷秋雄さん、炭化ヨシの製作にご協力いただいた津田勇虎さん、実験水路や調査、水質分析などを担当してくれた岩手県立大学総合政策学科の辻盛生さん、同学部の野尻修次さん、米田圭介さん、東北大学大学院工学研究科の小船井千恵さん、藤林恵さん、その他多くの方にお世話になった。ここに記して感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 環境省編 (2004) 環境白書 (平成 16 年版) , ぎょうせい, 282p.
- 2) (財) 河川環境管理財団 (2003) 栄養塩類濃度が河川水質環境に及ぼす影響に関する研究報告書, 195p.
- 3) 山田一裕・徐開欽・須藤隆一 (1997) 循環と共生をめざした水環境の復元技術, 日本水処理生物学会誌, 33 (2), pp. 47-54.
- 4) R. M. Gersberg et al. (1986) Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands, Water Research, 20, pp. 363-368
- 5) 堀江毅・細川恭史・三好英一・関根好幸 (1987) 植物体 (ヨシ) による浄化能力の検討, 港湾技術研究資料, 591, pp. 1-18
- 6) Takeda Satoshi・Kurihara Yasushi (1988) The effects of the reed, *Phragmites australis* (Trin.), on substratum grain-size distribution in a salt marsh, J. of the Oceanographical Society of Japan, 44, pp. 103-112
- 7) 細見正明・須藤隆一 (1990) 湿地による水質浄化, 用水と廃水, 32 (8), pp. 716-719
- 8) 細川恭史・三好英一・古川恵太 (1991) ヨシ原による水質浄化の特性, 港湾技術研究所報告, 30 (1), pp. 205-237
- 9) R. Perfler and R. Haberl (1993) Actual Experience with the use of reed bed system for wastewater

treatment in single households, Water Science Technology, 28 (10), pp. 141-148

- 10) 細見正明 (1994) 内陸湿地における自然浄化のメカニズムと浄化機能の積極的利用, 水環境学会誌, 17 (3), pp. 9-13
- 11) 田畠真佐子・加藤聰子・川村晶・鈴木潤三・鈴木静夫 (1996) ヨシ植栽水路における河川水中の窒素・リンの除去効果, 水環境学会誌, 19 (4), pp. 331-338
- 12) K. K. Moorhead and K. R. Reddy (1988) Oxygen transport through selected aquatic macrophytes, Journal of Environmental quality, 17 (1), pp. 138-142
- 13) 中村圭吾・三木理・島谷幸宏 (2001) 実大規模の浸透流方式湿地浄化法の開発とその評価, 土木学会論文集, No. 678/VII-19, pp. 81-92
- 14) 塩田勉・山田一裕・千葉信男・須藤隆一 (1999) ヨシ植栽水路における充填坦体の空隙率が水路の窒素・リン除去能力に及ぼす影響, 水環境学会誌, 22 (6), pp. 505-510
- 15) 川西琢也・姜志恒・稻垣道弘・清水宣明・林良茂 (1995) 稲わらを利用した土壤浸透水からの窒素除去, 水環境学会誌, 18 (12), pp. 993-1000
- 16) 桜井義雄 (2001) 河口堰とヨシ群落 (水の風景), 月刊「水」, 42 (5), No. 595, p. 41
- 17) 辻本哲郎 (1996) 河川水理学的立場からの植生調査, 「河川生態環境評価基準の体系化に関する研究報告書」, (財) 河川環境管理財団, p. 38
- 18) 山田一裕 (2003) 水環境保全の立場から見たヨシ原・茅場保全の課題と展望, 「すぐれた自然環境としての葦原・茅場の保全活用調査III」、(財) 日本ナショナルトラスト, p. 57-68
- 19) 細井由彦・城戸由能・三木理弘・角田政毅 (1998) 刈り取りによる栄養塩除去を目的とした由の成長過程に関する現地観測, 土木学会論文集, No. 594/VII-7, pp. 45-55
- 20) 細川恭史・三好英一 (1991) 枯れヨシからの栄養塩再溶出速度の測定, 環境システム研究, 19, pp. 106-111

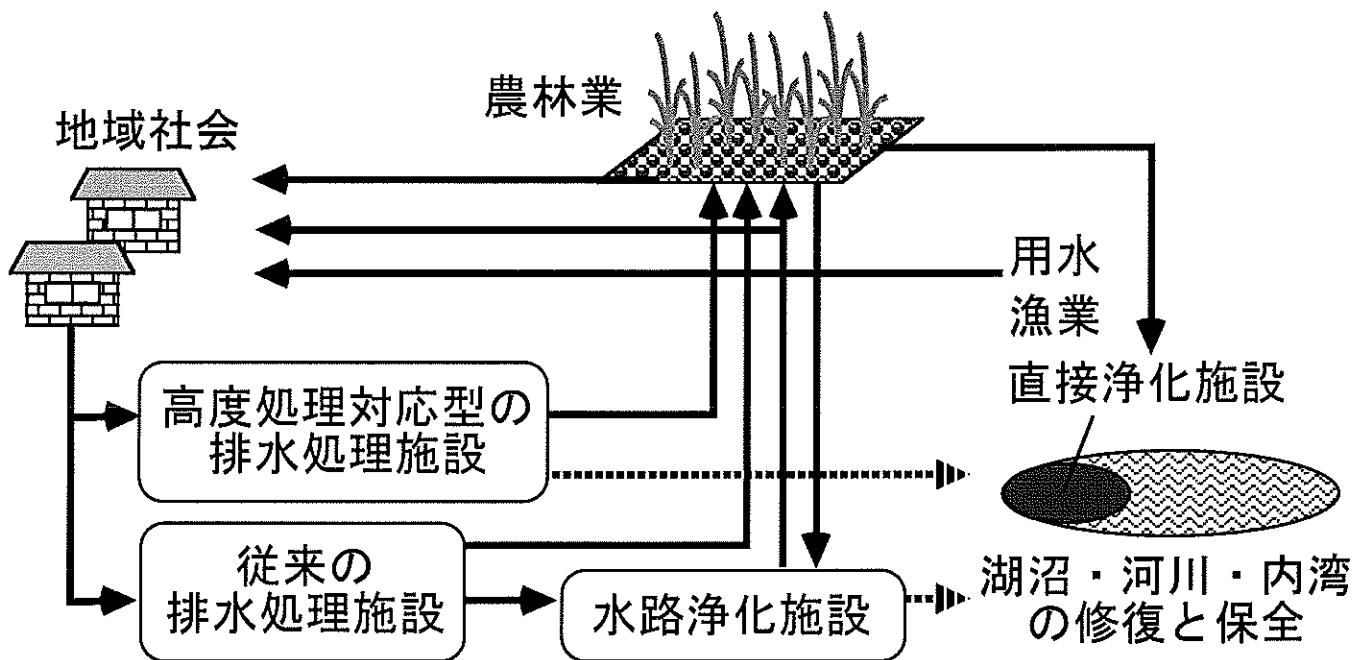


図2-1

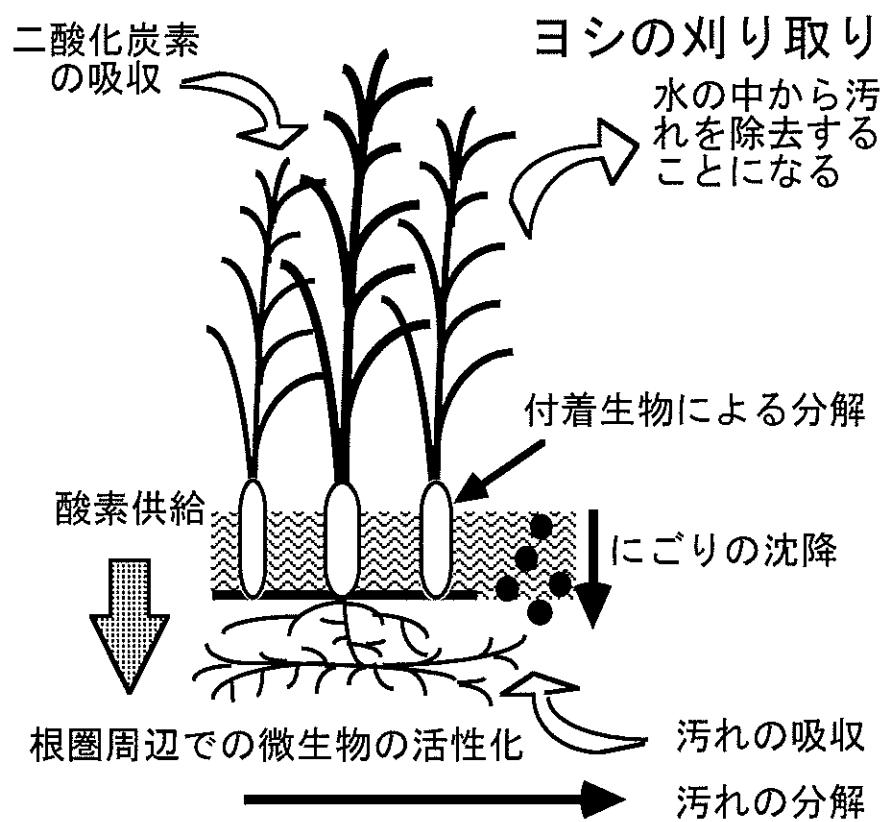


図2-2



写真3・3

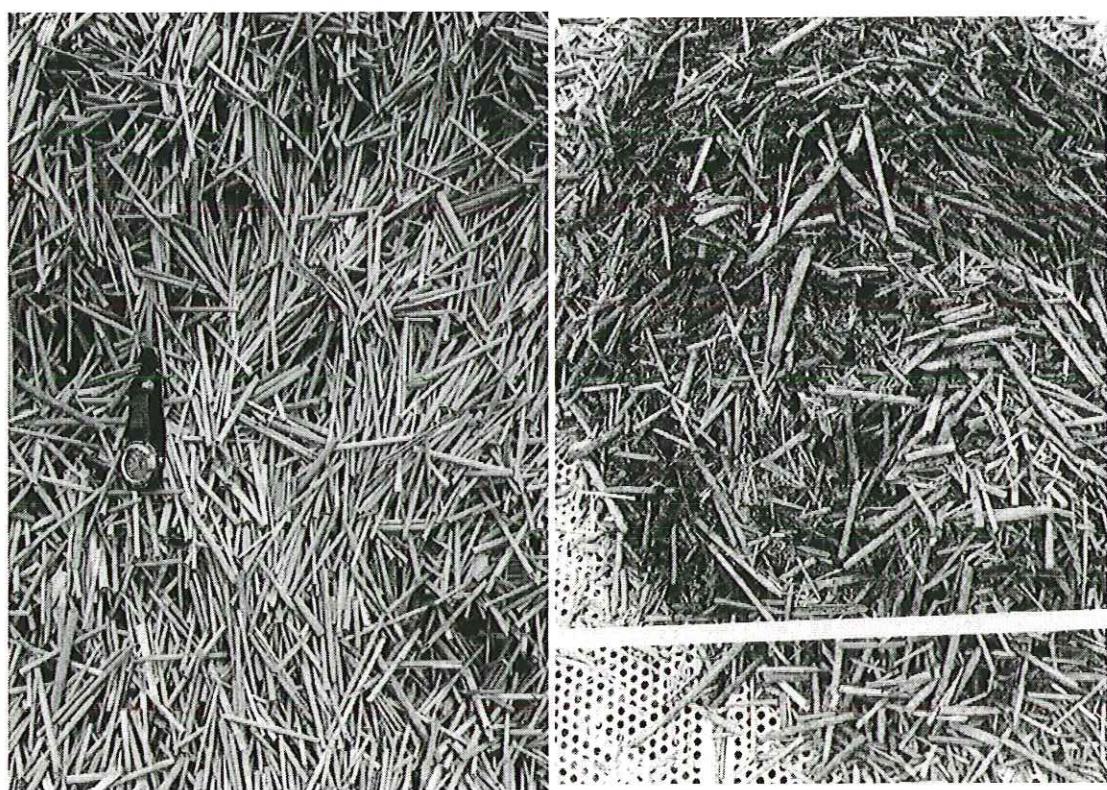


写真3・2

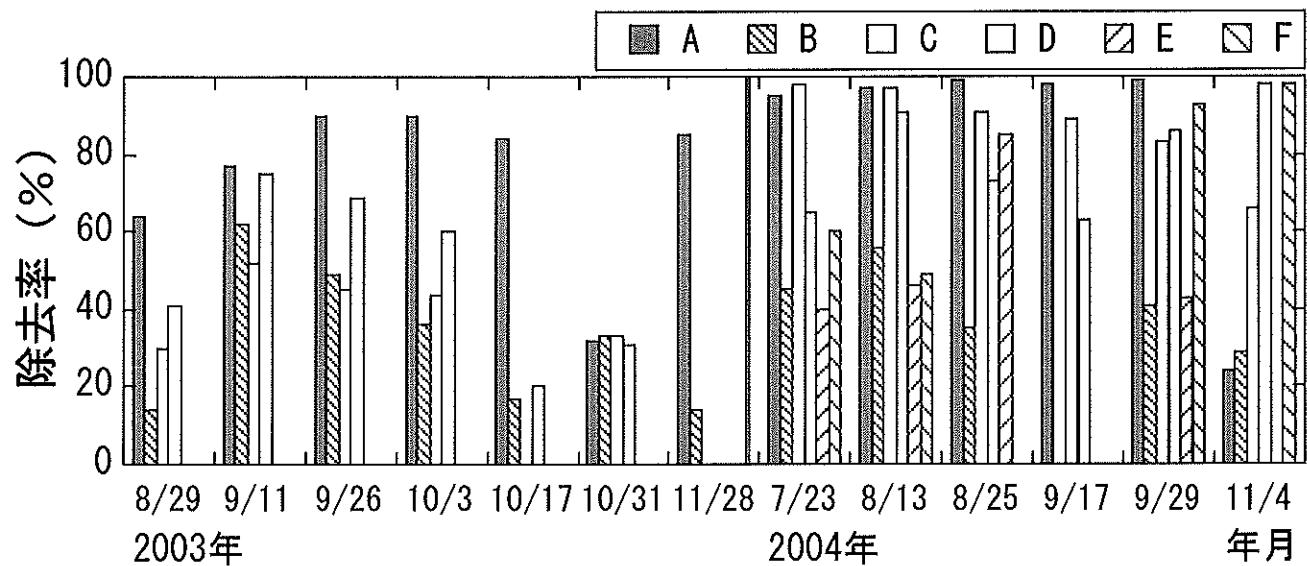


図4・1 窒素除去率の季節変化（往路）

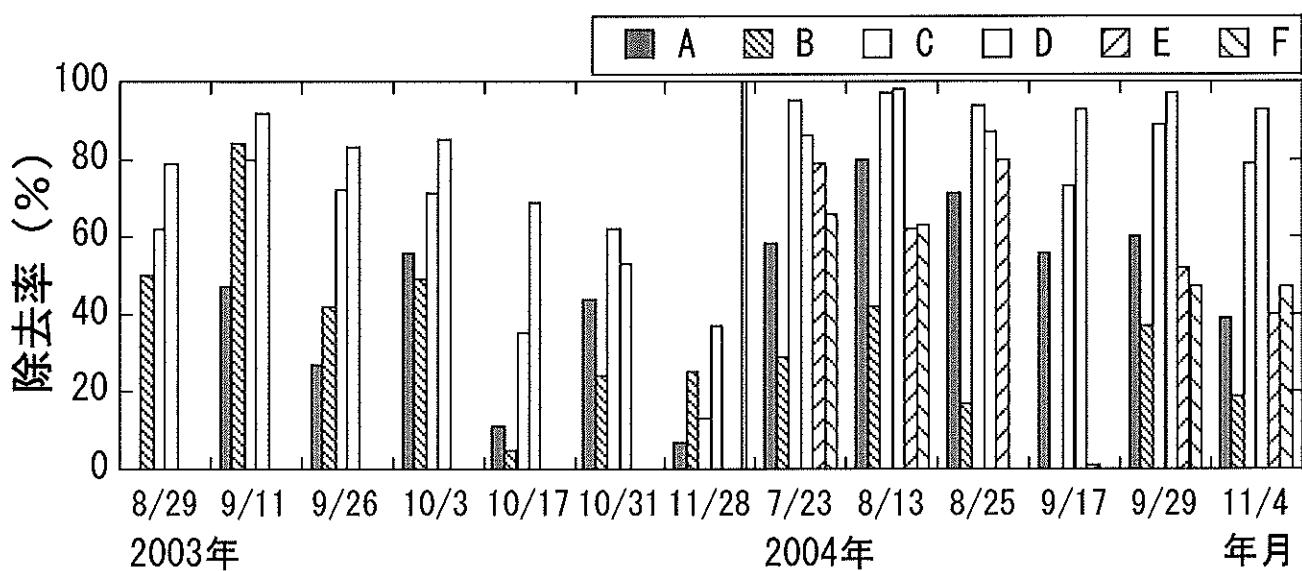


図4・2 窒素除去率の季節変化（水路全体）

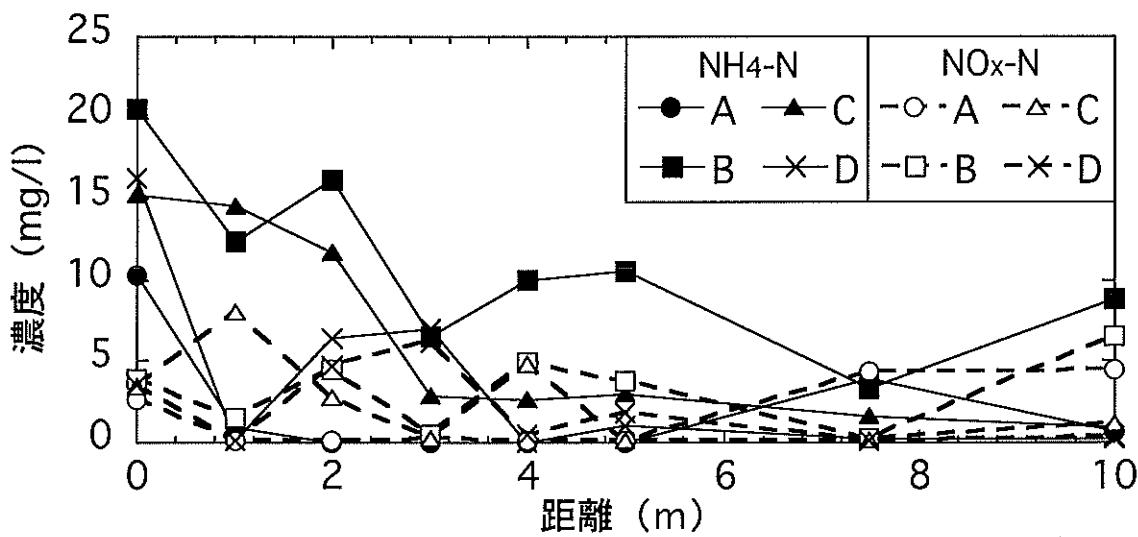


図4・3 水路 (A~B) 内の窒素の挙動

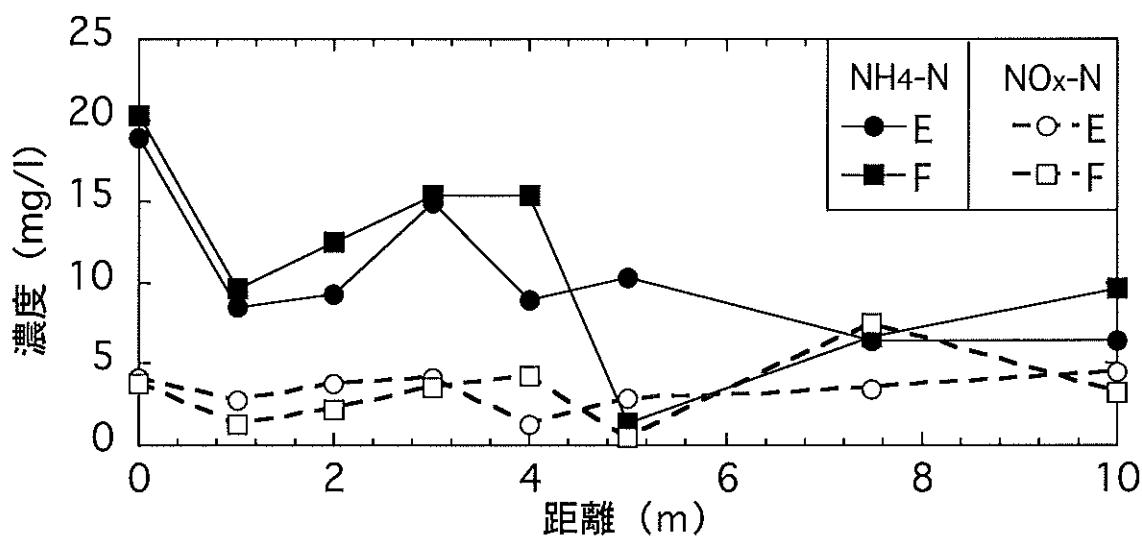


図4・4 水路 (E,F) 内の窒素の挙動



写真3・1

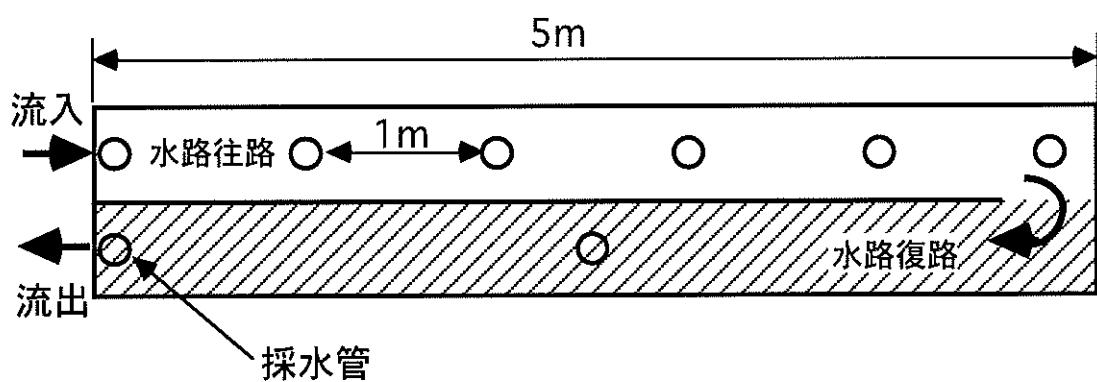


図3・1

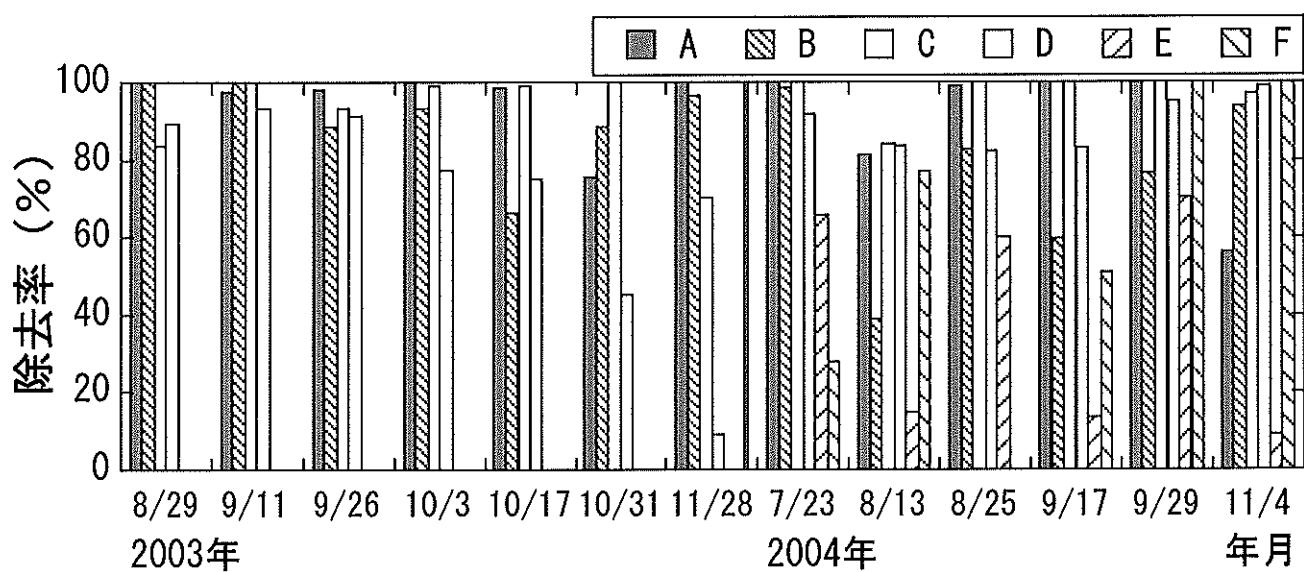


図4・5 リン除去率の季節変化（往路）

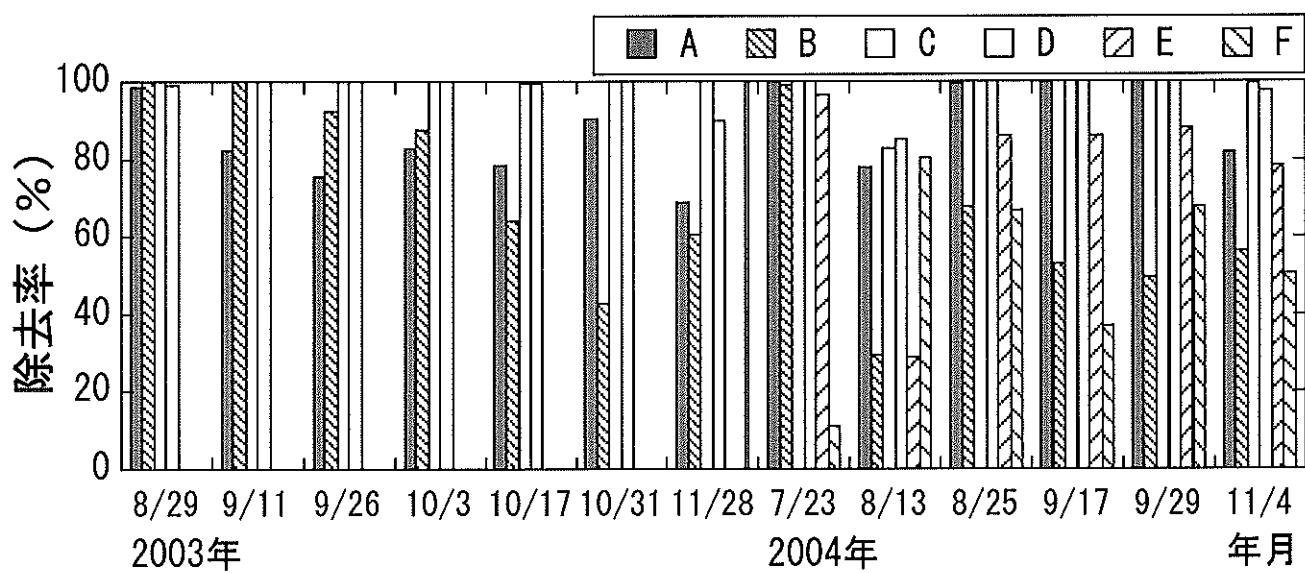


図4・6 リン除去率の季節変化（水路全体）

表4・1 北上川河口のヨシの生育状況

採取日	採取地	ヨシ	生育密度 本/m <sup>2</sup>	高さ cm	茎部乾燥 重量 g-dry/m <sup>2</sup>	炭素含有 率 %	土壤の強熱減 量
							%
2003. 5. 24	刈り取り区	ヨシ	143	65	254	-	6.6
	非刈り取り区	ヨシ	133	84	282	-	5.5
		枯れヨシ	135	122 (191)	401	-	
2003. 6. 14	刈り取り区	ヨシ	155	120	596	46.1	6.3
	非刈り取り区	ヨシ	117	119	423	42.2	11.1
		枯れヨシ	152	125 (199)	477	49	
2003. 8. 11	刈り取り区	ヨシ	137	146	634	40.9	10.0
	非刈り取り区	ヨシ	92	154	472	-	8.6
		枯れヨシ	80	112	299	-	
2003. 10. 4	刈り取り区	ヨシ	163	151 (221)	737	45.5	9.7
	非刈り取り区	ヨシ	233	131 (233)	912	49.5	10.0
2003. 12. 6	刈り取り区	ヨシ	148	158 (219)	532	39	11.3*
	非刈り取り区	ヨシ	243	154 (232)	970	36.8	8.3*
2004. 2. 22	刈り取り区	ヨシ	172	149 (225)	787	41.1	10.2
	非刈り取り区	ヨシ	187	147 (233)	831	42.8	9.4

注1) 2003年10月、12月、2004年2月についてはヨシと枯れヨシの区別はしていない

注2) 括弧内の数字は穂のあるヨシのみ計測した場合の平均値

注3) 炭素含有率の計測は、刈り取り区はA地点、非刈り取り区はC地点のヨシのみ

注4) 土壌の強熱減量のうち、12月6日に表記した数値は11月8日に採取したもの

表4・2 潮汐に伴うヨシ原表流水・土壤水の水質変化  
(2003年8月15-16日、大潮)

調査地点	時刻	表流水			土壤水		
		水深 cm	EC μS/cm	ORP mV	EC μS/cm	ORP mV	TOC mg/l
	時：分						
刈り取り区	11:30	-	-	-	2163	-65	29.8
	14:30	9	2433	90	3063	-63	26.2
	17:30	44	1477	122	3427	-77	16.2
	22:30	2	2100	66	3660	-68	14.1
	5:30	50	883	108	3800	-72	11.4
	9:00	6	1473	74	3757	-75	10.8
	12:00	-	-	-	3443	-48	9.5
非刈り取り区	11:30	-	-	-	3823	-92	24.8
	14:30	2	2310	-	6330	-110	23.5
	17:30	39	2330	95	6890	-118	19.8
	22:30	5	1495	38	7630	-123	32.8
	5:30	40	1550	93	8767	-119	23.4
	9:00	7	1415	39	8793	-116	18.5
	12:00	-	-	-	8610	-52	24.6

表4・3 小川水および流入水(水路C)の平均濃度

	水温 °C	pH	EC μ/cm	TOC mg/l	NH <sub>4</sub> -N mg/l	NO <sub>x</sub> -N mg/l	PO <sub>4</sub> -P mg/l
小川水	5～22	7.7	143	1.63	0.05	1.41	0.28
流入水 (水路C)	3～23	7.9	535	2.16	16.23	2.67	3.39

表4・4 各水路の無機態窒素およびリン酸態リンの平均除去率

実施時期	地点	無機態窒素除去率 (%)						リン酸態リン除去率 (%)					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
2003年度	往路	74.6	32.1	27.1	41.6			95.7	90.5	92.3	68.8		
	水路全体	17.1	39.9	56.4	71.1			82.4	78.2	99.9	98.4		
2004年度	往路	79.5	31.1	54.9	59.0	21.2	18.2	89.5	75.0	96.9	89.3	38.9	47.0
	水路全体	60.7	18.5	87.8	92.3	52.3	29.2	93.3	59.3	97.0	97.1	77.4	52.3

表4・5 各水路のヨシ生育状況

測定日	水路	A	C	D	E	F
2003.7.9	平均 cm	86	79	80		
	最大 cm	115	125	97		
2003.8.1	平均	95	87	92		
	最大	133	141	125		
2003.8.28	平均	109	99	108		
	最大	148	159	133		
2003.9.26	平均	123	118	114		
	最大	156	168	146		
2003.10.30	平均	125	120	127		
	最大	158	171	145		
2004.7.9	平均	188	205	204	82	80
	最大	203	233	237	96	96
2004.7.23	平均	202	215	215	91	87
	最大	229	246	253	110	107
2004.8.20	平均	233	246	250	123	116
	最大	269	269	286	159	140
2004.9.29	平均	241	257	269	162	143
	最大	285	282	299	196	173
2004.10.29	平均	240	255	267	169	143
	最大	283	277	296	200	173

表4・6 各水路で回収されたヨシバイオマス

水路	植栽時		回収時					
	面積 本数	あたり 本数	面積 本数	あたり 本数	平均高 さ	平均茎 径	面積 あたり 重量	
					cm	mm		
	本	本/m <sup>2</sup>	本	本/m <sup>2</sup>			g/m <sup>2</sup>	
2003年6月時点	2003年11月時点							
A	117	94	361	289	50	3.5	347	
C	125	100	574	459	53	3.6	636	
D	158	126	612	490	65	3.7	858	
2004年6月時点								
A	272	218						
C	233	186						
D	268	214						
E	166	133						
F	180	144						