

刈り取りによる栄養塩除去を目的とした ヨシの成長過程に関する現地観測

細井由彦¹・城戸由能²・三木理弘³・角田政毅⁴

¹正会員 工博 鳥取大学教授 工学部社会開発システム工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目)

²正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部社会開発システム工学科

³正会員 工修 (株)ウエスコ

⁴学生会員 鳥取大学大学院博士前期課程

ヨシによる栄養塩の吸収及びその刈り取り除去による水質浄化を念頭において、ヨシ原の管理方法を考えるために、刈り取りを含めたヨシの成長過程に関する現地観測を行った。

現地ヨシ原において、春に芽吹いてから枯死するまでの間の、背丈、重量、栄養塩含有量の変化や、種々の時期の刈り取り後の再成長過程について観測を行った。地上部の現存量は夏季まで増加しその後減少すること、栄養塩は春に最大でその後とくにリンにおいて急激な現象が見られることその他、草丈の分布や成長速度等に関する詳細な結果が得られた。これらをもとに最適な刈り取り時期や、その費用に関する検討が行われた。

Key Words : aquatic plant, nutrient removal, optimum harvest, reeds, wetland

1. 緒言

湖沼の富栄養化が至る所で問題となっているが、その主たる原因物質である窒素やリンなどの栄養塩類の削減には、種々困難な問題が存在している。下水道整備が行われている地域でさえ、処理工程において高度処理プロセスの設置が必要になる。さらに雨天時に農地や都市から流出する、ノンポイント汚濁源に対しては有効な対策がない。そのような中で水生植物を利用した水質浄化法が、低コストの直接浄化法として種々研究が行われている。

湿地に生育するヨシ原もそのひとつとして注目されている。このような水生植物群落には、水質浄化だけでなく、生物生息の場や侵食の防止といった面からの効用も期待される。滋賀県においては平成4年に「琵琶湖ヨシ群落保全条例」が施行され、その保全のための取り組みが行われている。

ヨシ原の水質保全の機能としては、群落内における流れの停滞による沈殿作用、水中茎に付着している微生物による分解作用、ヨシ自身による栄養塩の吸収作用、さらに地上茎の中空部を通して運ばれた酸素により根毛周辺で硝化が起こり、それに接する嫌気領域で脱窒が行われること等が考えられる。脱

窒以外の作用で水域から実際に栄養塩を除去するためには、ヨシの刈り取りを行い、群落を適切に管理することが必要である。そのためにはヨシ群落の生育特性を知る必要がある。

ヨシの生育に関しては、これまでも栄養塩の循環に関する生態学的立場からの検討^{1),2)}、ヨシ群落の生育や全般的な浄化量の見積もり及びそれをもとにした浄化帯の設計法に関する検討^{3),4),5)}等が行われてきている。しかしながら自然環境下では条件も一定ではなく、植物故の多様性もあいまって、不明な点が多く残されており、種々のフィールドにおける観測の積み重ねがまだまだ求められている。本研究ではヨシ原を管理するための手法を考えるために、詳細なヨシの成育に関する知見を得ることを目的とし、ヨシ原における現地観測を行った。ここでは年間を通してのヨシの地上部の生育の特性や、水質管理上最も関心が持たれる、栄養塩の量等について述べる。

2. 研究方法

(1) 現地観測の方法

観測対象としたのは、鳥取県福部村にある休耕田

表-1 連続観測の概要

ケース	観測時期	観測条件
CASE-A	1995年3月23日～1996年1月22日	観測開始時に領域内の全てのヨシを刈り取る。
CASE-B	1995年3月23日～1996年1月22日	観測開始時に領域内の全てのヨシを刈り取る。
CASE-C	1996年4月10日～11月14日	観測開始時に領域内に新たに出芽している生体以外の全ての枯死体を刈り取る。
CASE-D	1996年4月10日～11月14日	観測開始の1年前に領域内の全てのヨシを刈り取った。(CASE-Aの領域)
CASE-E	1996年4月10日～11月14日	領域内を刈り取られたことはない。

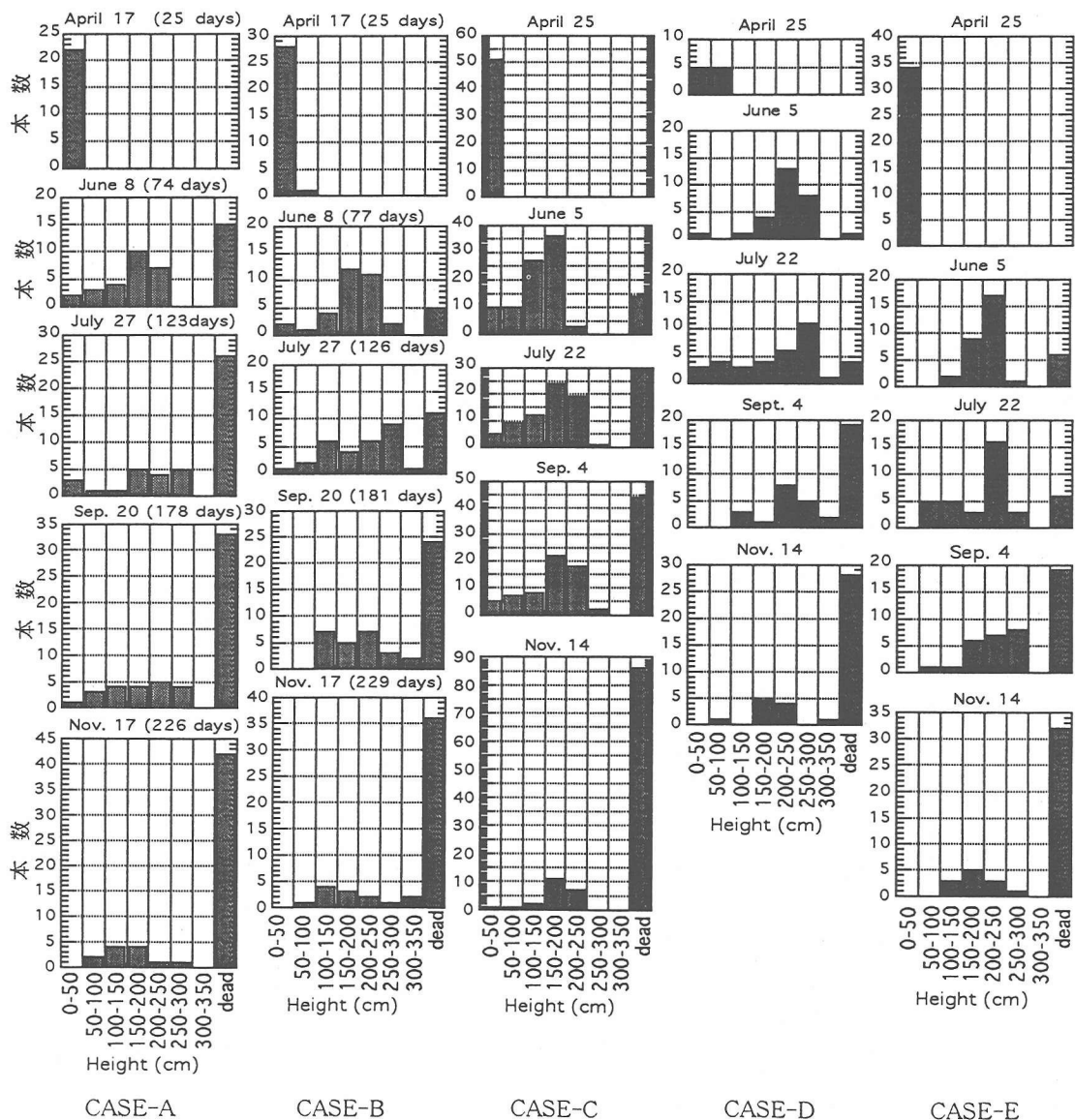


図-1 草丈の分布

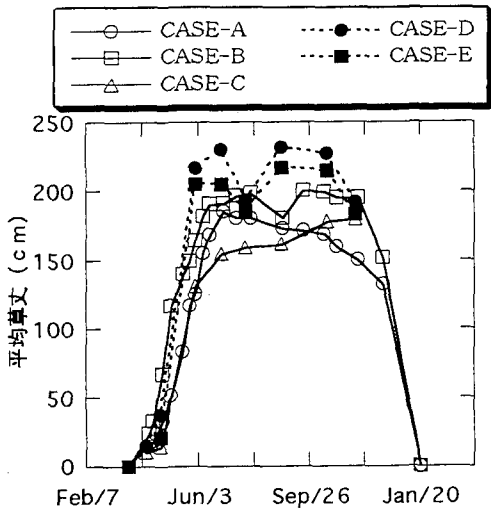


図-2 平均草丈の変化

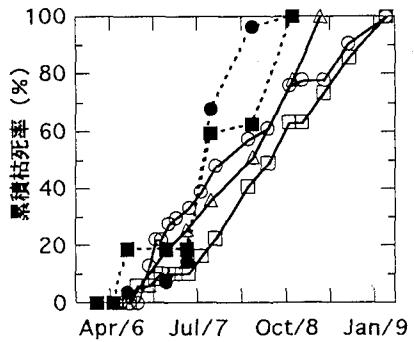
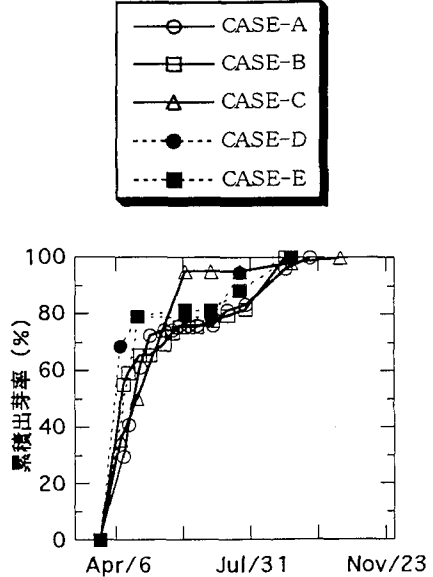


図-3 累積の出芽率と枯死率

のヨシ原である。約10年前から休耕しており、現在はヨシ(*Phragmites australis*)が生育している。

1994年より観測を行っているが、ここに報告するのは、1995年と1996年に行った結果である。ヨシ原内に50cm四方の観測プロットを設け、そこに生育するシュートの出芽から枯死するまでを観察した。春の出芽時期より出芽してくるシュートに番号をつけ、ほぼ2週間～1カ月の間隔でそれらの草丈を記録した。このような観測は1995年には2箇所、1996年には3箇所で行った。これらをCASE-A～Eとする。それぞれの観測の概要を表-1に示す。

さらに生育の途中で刈り取った場合の影響を見るために、それぞれの年において、3月に刈り取りを行った後、シュートを形成し始め成長している途中の5, 6, 7, 8月のそれぞれに刈り取りを行った。これらをそれぞれ、CASE-95/5, 95/6, 95/7, 95/8, 96/5, 96/6, 96/7, 96/8とする。以上はヨシ原に生育している状態で継続的に行った観測であり、連続観測とよぶ。

連続観測ではヨシのシュートを非破壊で観測しており、その重量や栄養塩量などを求めることはできない。そこで刈り取り等に関して連続観測と同じ条件の領域を近くに別につくっておき、連続観測と同じ日に、そこに生育しているヨシを刈り取って持ち帰り、背丈の他に重量や栄養塩含有量を測定した。

(2) 採取して持ち帰ったヨシの分析

刈り取って実験室に持ち帰ったヨシは1本ずつ草丈と湿重量を測定した。その後1つのプロットから採取された全てのヨシを茎と葉に分けて集め、細かく裁断して乾燥機にて乾燥させ、乾燥重量を求め

た。乾燥後の試料はガラス乳鉢にてすりつぶして粉状にし、窒素及びリンの含有量を測定した。

3. 観測結果

(1) 通年観測の結果

a) 草丈の変化

各ケースの草丈の分布の変化を図-1に示す。CASE-A,Bでは観測日の他に刈り取りった日からの経過日数も示している。4月中はほとんどのものが50cm以下であるが、6月になると2mを超えるものもあり、1～2.5mの範囲に多くのものが分布するようになる。またすでに6月には枯れた茎がかなり存在している。

図-2は生体の平均草丈を示している。いずれの場合も6月中旬頃に最大となり、そのまま持続して10月初旬頃から枯死が増えて減少を始める。1月には値は0になっており全て枯死している。

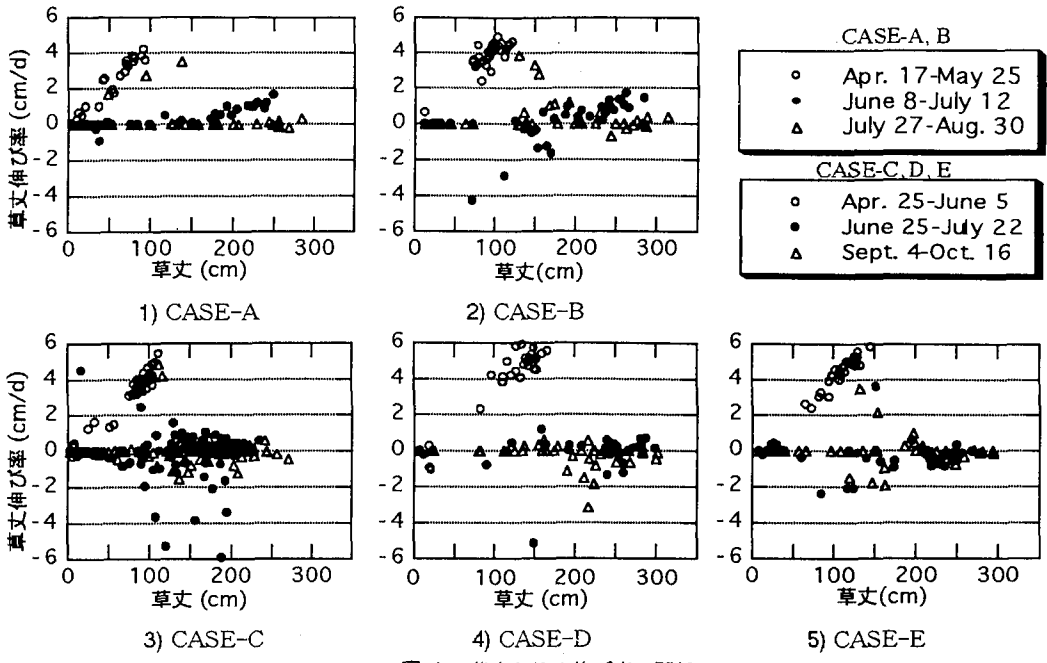


図-4 草丈とその伸び率の関係

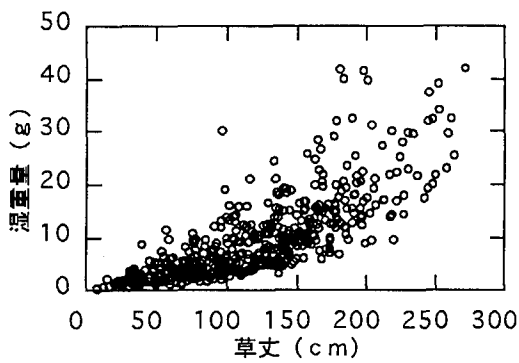


図-5 草丈と湿重量の関係の例

b) シュートの形成と枯死

累積の出芽本数と枯死本数の割合を図-3に示す。80%程度が7月始め頃までに出芽している。一方枯死は6月頃より増え始め同じような割合で枯れていく。図-1,3より、図-2において生体ヨシの平均草丈が6月中旬頃からほぼ一定値を続けるのは、出芽・成長と枯死とがバランスする事によることがわかる。

図-4は草丈とその増加速度の関係を生3期に区分して見たものである。草丈が150cm位までのものは丈に比例した速さでのびている。しかし時期が遅くなると伸びないものも増えてくる。とくに50cm以下のものは6月以降あまり伸びない。6月頃までに50cmに達しているものは伸び続けるものが多い。

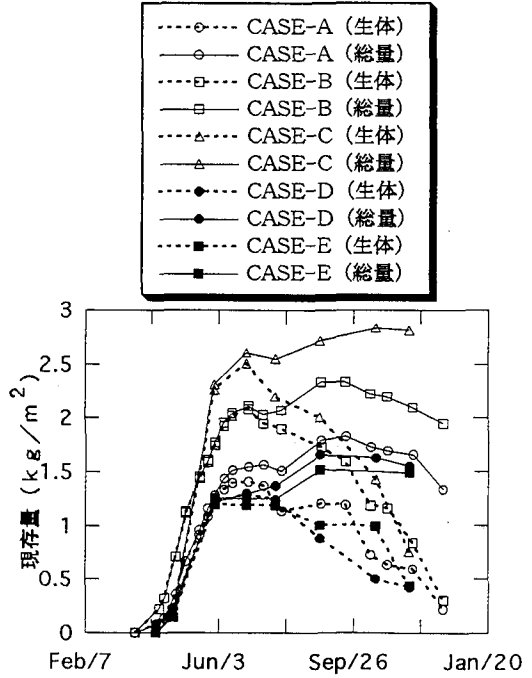


図-6 地上部現存量の変化

ただし6~7月には折れるものも多く、それらは草丈50~200cmに多く分布している。2mを超えるものが伸び続けるのは7月中旬程度までである。

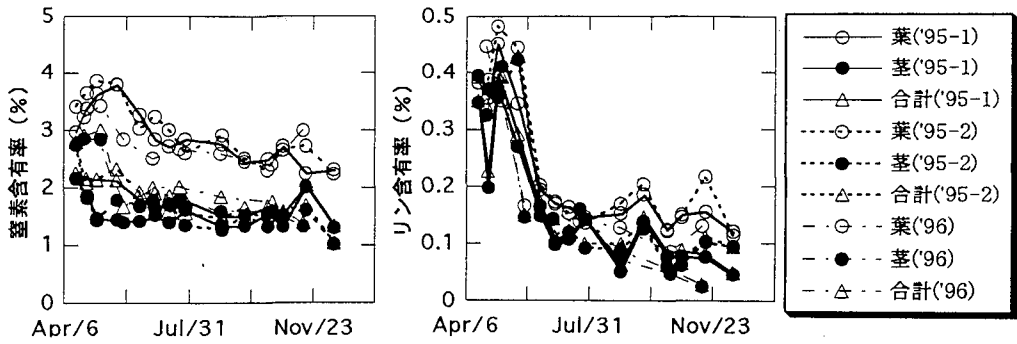


図-7 ヨシ地上部の栄養塩の含有率

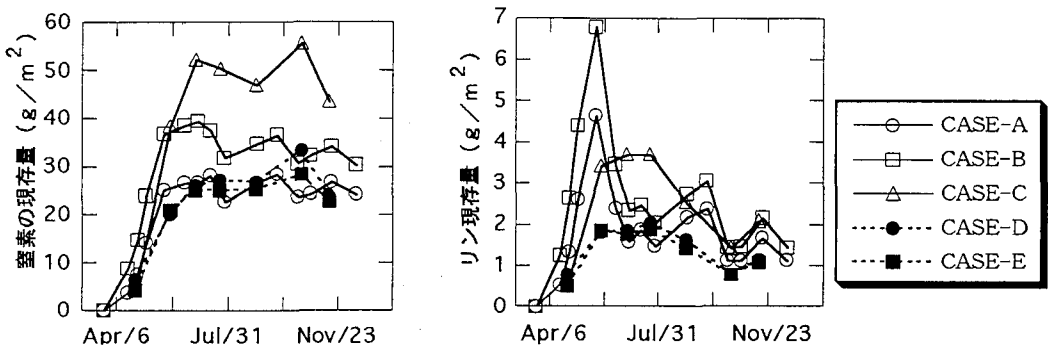


図-8 ヨシ地上部の栄養塩現存量

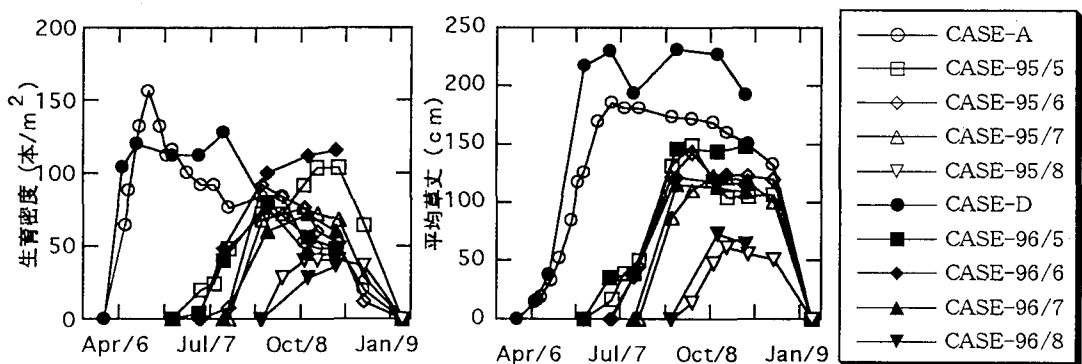


図-9 中途刈り取り後の生育の様子

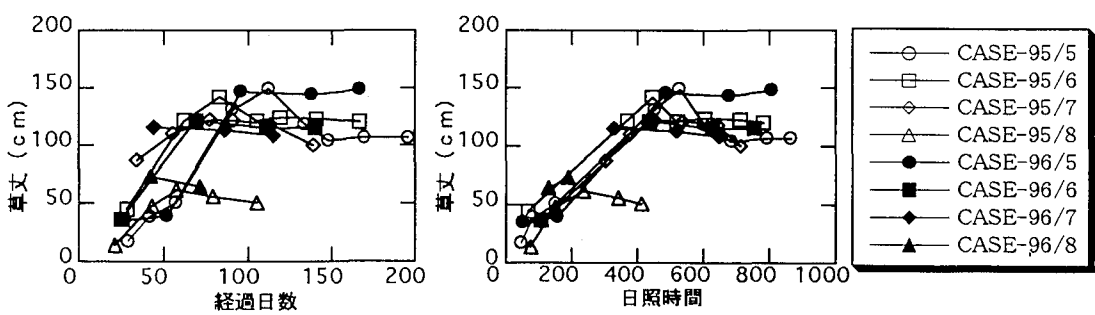


図-10 中途刈り取り後の草丈の成長

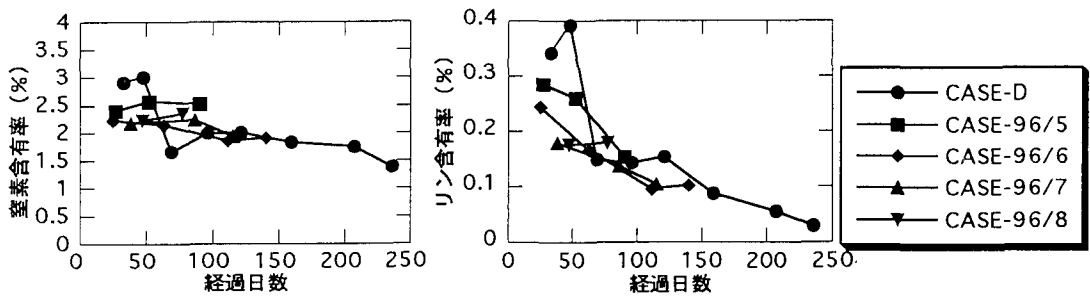


図-11 中途刈り取り後の栄養塩含有率

c) 地上部現存量の変化

連続観測の結果より地上部の現存量を求めることを考える。細川ら⁵⁾は草丈と湿重量の関係を別途求めておき、その関係を利用して現存量を推定している。ここにおいても同様の方法を用いることを考え、採取して持ちかえったシュートより、草丈と湿重量の関係を求めた。その一例を図-5に示した。本図は1996年の生体に関するものである。季節の影響も考え、各採取日ごとの整理も行ってみたが、傾向としては全てをまとめて整理しても大差がなかった。本データを用いて、草丈と湿重量との関係を一次式で近似した。さらに湿重量と乾燥重量の関係を求め、草丈より現存量を求めた。その結果を図-6に示す。なお以降現存量はすべて乾重量で表している。

夏季を過ぎると生体の現存量が減少する。草丈当たりの重量は枯死体より生体の方が大きかったので、総現存量も停滞から減少に転じる傾向が見られる。このように8月頃に地上部の現存量が最大になる傾向は、Suzuki et al.⁶⁾の報告など、いくつかの観測でも認められている。

d) 栄養塩含有量

窒素とリンの含有率の変化を図-7に示す。95年には観測のたびに2ヶ所で、96年には1ヶ所で採取を行った。いずれも春に最大でその後減少するが、とくにリンでその傾向が顕著に見られる。窒素は葉の方が茎より含有率が高い。リンにおいてもそのような兆候があるものの、あまり大きな差は見られない。Suzuki et al.の観測でも成長初期に窒素、リンの含有量が高く徐々に低下することが報告されているが、低下のしかたが両者とも緩やかである。一方Graneli⁸⁾の観測ではリンの含有率が急速に減少する傾向が見られる。いずれにしても、成長初期に高い濃度となりその後減少する特徴は、これまでの種々の観測において、一致してみられるところである。

葉と茎を合わせた刈り取ったシュートの重量当たりの窒素及びリンの含有率の結果と、先に求めた現存量より、ヨシの地上部の栄養塩含有量を求めると

図-8となる。春から夏にかけて現存量の増加と栄養塩含有率の減少が相まって、栄養塩量はいったん増加後夏季にほぼ一定となり、秋から冬に向けてとくにリンにおいて減少が顕著に見られた。

(2) 中途刈り取りの影響

a) 刈り取り後の成育状況

中途刈り取り後に形成したシュートの生育密度と平均草丈を図-9に示す。平均草丈は刈り取りを行わなかった場合に比べて低く、とくに8月に刈り取った場合には極端に低くなっている。一方生育密度は、刈り取り後も再び増え始め、刈り取りを行わなかった場合と同じくらいになるまで増加して、以後は刈り取りなしの場合とほぼ同じ傾向を示した。

平均草丈の変化を、刈り取り後の経過日数及び総日照時間で整理した結果を比較して図-10に示す。経過日数が50日以内の早い時期を見ると、7月に刈り取ったものが最も早く伸びるのに対し、5月に刈り取ったものは遅れる傾向にあった。これを総日照時間で見ると、いずれの場合もほぼ同じ傾向を示すようになり、日照時間が草丈の伸びに影響を及ぼしていると考えられる。さらに平均草丈は日照時間が500時間程度になると最大に達している。図-2で示されたCASE-A~Eについても総日照時間を調べてみたところ、7月初旬に500時間となっていた。これより春先に出芽したものについても、草丈と日照時間の関係においては同じことが言え、合計日照時間が500時間程度になると、草丈が最大に達すると考えられる。

b) 現存量及び栄養塩含有量

図-11は中途刈り取り後に出芽したものの栄養塩含有率である。暦日による整理も行ってみたが、よりまとまりのよかった刈り取り後の経過日数により示している。これによれば栄養塩含有率は、刈り取り時期に関わらず、その後の経過日数によってほぼ同様の値を示す。ただし、とくにリンにおいて顕著であるが、成長初期においては、春に近いものほど含有率が高くなる。

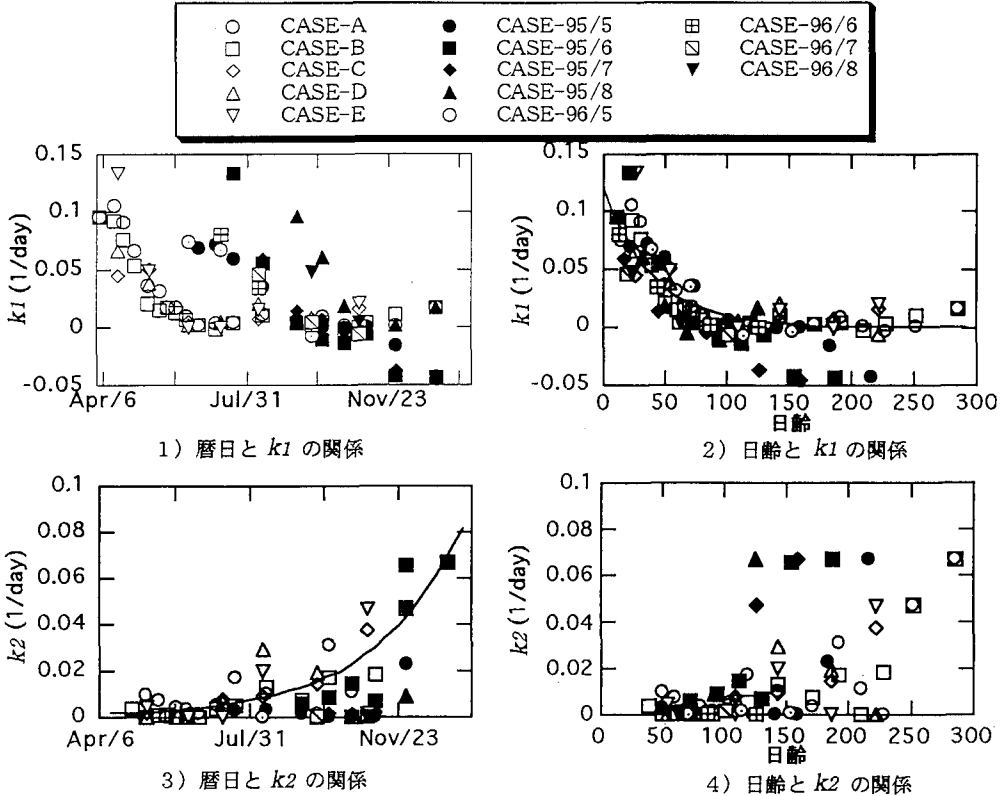


図-12 暦日及び日齢で整理した k_1, k_2

(3) ヨシ群落の生育特性

ヨシ群落の地上部の変化を以下のような単純なモデルで考えてみる。

$$dM/dt = k_1M - k_2M \quad (1)$$

$$dN/dt = \alpha k_2M \quad (2)$$

ここで M, N はそれぞれ単位面積当たりの生体及び枯死体のヨシの乾燥重量、 k_1, k_2 はそれぞれ比成長速度、比枯死速度である。 α は生体から枯死体への重量の換算係数である。

観測結果を式(1),(2)に適用して、観測日間の k_1, k_2 を求めた。その結果を刈り取り後の経過日数すなわちヨシ群落の日齢と、観測時期すなわち暦日のそれぞれで整理した結果を、図-12に示す。 k_1 において一部負の値が見られるのは、折れたりすることによって生体量が減少したことを示している。

中途刈り取りを行った場合も含めて k_1 は日齢で整理した場合の方が、暦日で整理するよりよくまとまっていることが分かる。これに対し k_2 は暦日で整理の方がまとまりがよいようである。これより、ヨシ群落の成長は刈り取り後の日数すなわちヨシの

日齢に強く依存しており、日齢が増加すると成長率は減少し、100日を超えるとほとんど成長が止まることがわかる。一方、枯死は暦日すなわち季節に強く依存しており、9月に入ると急速に増大する。また k_1 の負の値の部分だけは日齢よりも暦日の方がまとまりがよく(横軸に対するプロットのばらつきが小さい)、折れや倒伏等による減少は外部的影響によるものが大きいことを示していると考えられる。

(4) 考察

草丈と伸び率との関係より、50cm以下のものは6月以後あまり伸びなくなる傾向が見られた。図-1からもわかるように、6月頃になるとかなり丈の高いものが増加してきて、低いものは日照が十分得られないことがその原因として考えられる。平均草丈が日照時間でよくまとめられることと併せて考えると、草丈の伸びと日照との間には、密接な関係があることが予想される。

50~200cmの草丈のものは6,7月に折れるものも多く存在する。群落としての死滅係数や負の増殖係数が、日齢より暦日との関係が強いことや、上記の日照不足により成長不足が起こる可能性をも考慮

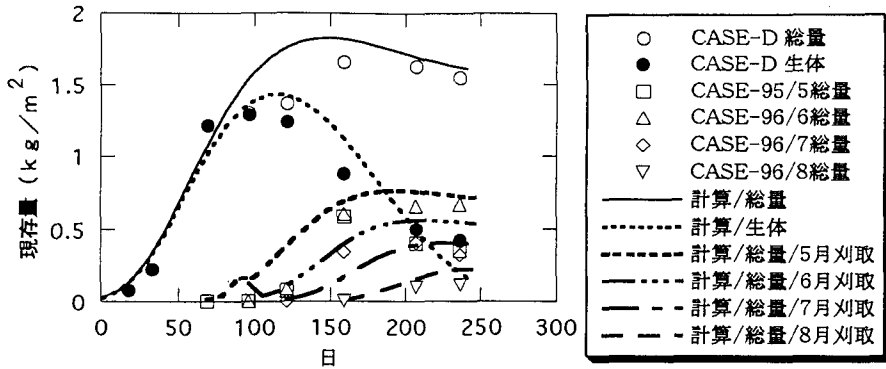
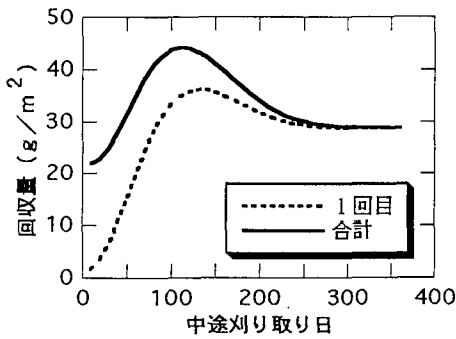


図-13 シミュレーションと観測の結果の比較



a)窒素回収量

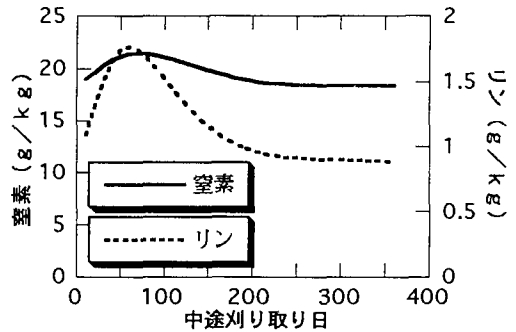
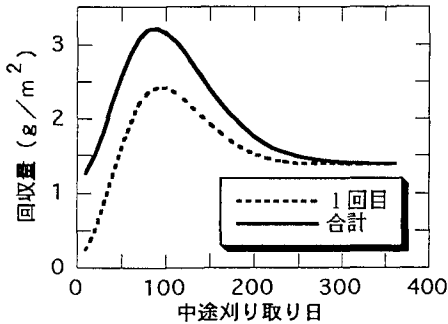


図-15 ヨシ重量あたり栄養塩回収量



b)リン回収量

図-14 中途刈り取り実施による年間栄養塩回収量

すると、増殖の阻害や枯死は気候や天候などの外部環境条件に大きく依存しているものと考えられる。

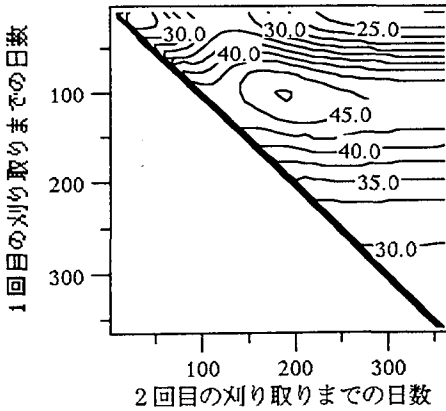
中途刈り取り後の生育密度は、刈り取りを行わなかった場合と同程度まで増加した後、それとよく似た曲線を描くことは、平均草丈の傾向とは異なっており、注目し得る結果である。草丈等に関わりなく、各時期において生育密度はほぼ決まっており、刈り取り後はそれにしたがう形で発芽してくることが考えられる。

中途刈り取り後も窒素、リンの含有率は、経過日数に対して刈り取らない場合とほぼ同様の傾向を示す。春先の地上部の成長には、地下茎に貯蔵されていた炭水化物や、栄養塩の移送によるところが大きいという説が、ほぼ一般的である^{7),9)}。中途刈り取り後の成長初期の窒素、リン含有率が春先の成長時と同じ傾向を示すことや、茎密度も同じ規模に向かうことから、出芽、成長が春先と同じ機構によるものとするれば、やはり地下茎からの窒素、リンの移送による貢献が大きい可能性がある。しかし中途刈り取りを行った頃には、すでに地下における貯蔵が少なくなっているため、大きな草丈の成長にまでは至らないということが考えられる。

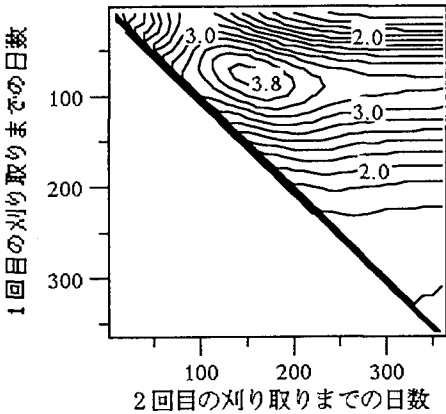
4. ヨシ原の刈り取りに関する検討

(1) 刈り取り時期について

これまでの結果を総合的に考慮してヨシ原の効率的な刈り取りについて考える。そのためにヨシ地上部の挙動に関する簡単な数値シミュレーションを行った。基礎式としては式(1),(2)を用いることとし、 k_1 , k_2 についてはそれぞれ図-12 2),3)中に示す



a) 窒素



b) リン

図-16 2回中途刈り取りを行う場合の
栄養塩回収量 (g/m²)

ようにカーブフィッティングして以下のように定めた。

$$k_1 = 0.12 \exp(-0.025\tau) \quad (3)$$

$$k_2 = 0.0014 \exp(0.0014t) \quad (4)$$

ここで τ , t はそれぞれ刈り取り後の経過日数と最初の生育開始からの経過日数である。

これをもとに計算した結果を、1996年の観測では代表的な結果を示していると考えられるCASE-D及び中途刈り取りを行った後の成育状況と比較したものが図-13である。なお中途刈り取り分については総量のみ示している。ほぼ妥当な再現が行えているものと考えて以後検討を進める。

ヨシ地上部の栄養塩含有率については、図-11の結果をもとに窒素については直線で、リンについては初期の急激な減少の特徴をとらえて指数関数でカーブフィッティングを行いそれぞれ次式とした。

$$CN = 2.5 - 0.004\tau \quad (5)$$

$$CP = 0.4 \exp(-0.01\tau) \quad (6)$$

ここでCN, CPはそれぞれ窒素, リンの含有率(%)である。栄養塩含有率は生体では変化していくが、枯死した後は変化がないと仮定する。また物理的な倒伏, 水没による回帰は起こらないものと仮定する。

本研究で行ったように、ヨシ群落をまず春に刈り取り、もう一度年度内に刈り取り、翌年また同じ時期に刈り取るとする。春以降の刈り取りの時期により、年間の栄養塩の回収量がどのように変化するかを計算した結果を図-14に示す。図中「1回目」とは、春の刈り取り以後成長を始めてから1回目の刈り取りのことを指し、「合計」とはこれと翌年の春の刈り取りとを合わせた回収量を示している。ここでは行った観測にあわせて春の刈り取りを3月23日に行うものとし、これを日数の原点としている。

窒素については110日目(7月中旬頃)頃に最高となる。すなわちこの頃に刈り取ると、1回目の刈り取り分だけではなく、その後の成長もかなり見込むことができ、年間の合計量が多くなる。250日目以降はほとんど一定となり、1回だけの刈り取り(すなわち366日目に1回目を行う)と効果は変わらない。

一方リンにおいては、90日目頃に中途刈りを行うと、年間総回収量が最大となる。また回収量のピークのとがり方が窒素に比べてするどくなる。このことはリンにおいては、成長開始直後にとくに高い含有率を示すことと、成長の著しい時期をうまく組み合わせることで、より回収効果が上がることを示している。ちなみに図は省略したが、バイオマスが最大となるのは、120日目頃に中途刈り取りを行う場合である。したがってリンでは、ヨシの成長よりも早目の刈り取りが有効である。

図-15は栄養塩の回収量を、ヨシの乾燥重量あたりで示したものである。50~80日目くらいで中途刈り取りを実施すると、ヨシの処分量に対して有効に栄養塩が回収できる。

さらに中途刈り取りを2回行い、年間計3回の刈り取りを行う場合に、刈り取り日の組み合わせで、年間回収量がどのようになるかを示したものが図-16である。縦軸が1回目の刈り取り日、横軸が2回目の刈り取り日を示している。ここでも最初の春の刈り取りは3月23日に行うとしている。

窒素では100日目前後で第1回目の刈り取りを行い、第2回目を200日目頃に行えば、高い回収量が得られる。リンでは75日目前後で第1回目を実施し、150日目頃に第2回目を行うととくに効果的である。

いずれの場合にも、第1回目の刈り取り時期がとくに重要であることが示されている。最大値の値も図-14に示されるものとそれほど違いはなく、通常は1回の中途刈り取りで十分であると考えられる。ただし図-14において、366日目の値と、最大値を比較すればわかるように、年間1回と、中途刈り取りを1回行う場合では、回収量は窒素で1.5倍、リンでは2倍以上の開きがある。

ここでは、5において触れるような、刈り取りの継続により起こる可能性のある、出芽に対する影響については考慮していない。しかし本研究で行った2年間の観測では、刈り取りが次の成長に影響を及ぼすような結果は認められなかった。刈り取り面積が小さかったことも、その一つの理由であると考えられる。すなわちこの程度の刈り取りでは、地下部における栄養の貯蔵には、ほとんど影響が無いものと考えられる。

(2) 費用について

ヨシ原の維持管理は単に栄養塩の回収だけではなく種々の意味を持っていると考えられるが、ここでは栄養塩回収の点だけにしぼって、刈り取りに伴う費用に関する若干の検討を行う。

単位面積当たりの刈り取りに要する人件費 P_x (円/ m^2)は次式で表される。

$$P_x = P/E \quad (7)$$

ここで P 、 E はそれぞれ人件費(円/日)、刈り取り効率(m^2 /日)である。

一方刈り取ったヨシの運搬費 P_y (円/kg)は、運搬を10トントラックにより1日で行うとすると、つぎのようになる。

$$P_y = Q T/10000 \quad (8)$$

ここで Q および T はそれぞれトラックの人件費を含む運搬費(円/hr)、運搬時間(hr)である。

以上より単位面積当たりのコスト C (円/ m^2)はつぎのようになる。

$$C = n P_x + P_y W_n \quad (9)$$

ここで n および W_n はそれぞれ刈り取り回数及び単位面積当たりの年間の刈り取られた全てのヨシの湿重量(kg/ m^2)である。

図-14に見られるように、年2回の刈り取りで、ヨシの重量あたりの栄養塩回収量が最も効率的であると考えられる。70日目に刈り取りを行う場合について考える。Pとして5000円/日、Eについては約30 m^2 という値が報告されているが¹⁰⁾、これはボラ

ンティア的なもので、時間や労働力にも制約があると考えられるので、この値をもとに、50 m^2 /日、100 m^2 /日の2ケースを考えてみる。Qは6670円/h、Tは8時間とする。

以上の設定のもとに計算を行った結果は次のようになる。

$E=50m^2$ /日のとき

刈り取り費用 214.3円/ m^2

窒素 1 tあたり 564万円

リン 1 tあたり 6955万円

$E=100m^2$ /日のとき

刈り取り費用 114.3円/ m^2

窒素 1 tあたり 301万円

リン 1 tあたり 3710万円

これがどの程度のものであるかを見るために、高度処理施設を建設することを考える。人口20万人で1人1日250Lの排水がある都市を考え、窒素については循環式硝化脱窒法(N除去率70%)、リンについては凝集剤添加活性汚泥法(P除去率80%)を用いるものとする。1人1日あたりの窒素、リン排出量をそれぞれ12g、1.2gとする。耐用年数を30年として、文献11)にしたがって建設費及び維持管理費を計算した。なお割引率は考慮していない。その結果、窒素1tあたり18万円、リン1tあたり117万円となった。さきの $E=100m^2$ /日の場合をこれと比較すると、窒素は17倍、リンは32倍となる。

ヨシ原は本来水を浄化する機能だけを有しているものではないし、必要な浄化量に対応させていくだけでもヨシ原を増やすことができるわけでもない。またここでは刈り取ったヨシの処理費用までは考慮していない。したがって上記の結果をどのように評価するかは難しい問題であり、一つの目安として、ヨシ原を刈り取ることによる浄化の費用は、高度処理施設による場合の数十倍であると述べるにとどめておく。

5. 結言

本論文では、現地ヨシ原におけるヨシの、地上部の成長に関する観測結果について述べた。個々のシュートに対する観測を行った結果、これまでよりも詳しい、ヨシ群落の挙動に関する知見を得ることができた。さらにその結果をもとに、刈り取りによる栄養塩の回収効果について若干の検討を行った。本観測の対象としたのは、通常時は根本が冠水していない、いわゆる陸ヨシである。

ヨシの刈り取りとそれによる栄養塩除去効果については種々の論がある。冬季に刈り取ることにより春先の出芽が促進されるという説¹⁰⁾や、夏に刈り取ると翌年以後の成長に悪影響を及ぼす¹²⁾という意見

もある。また刈り取った切り口が水面下に没するような場合には、地下部への酸素の運搬が阻害され、翌年の成長が減少するという報告もされている¹³⁾。いずれにしてもヨシ原については、比較的古くから研究が行われてはいるが、環境条件による結果のばらつきもあり、十分にわかっていないことが多い。また秋以降の枯死体からの落葉や、倒伏して水没したもののからの栄養塩回帰の影響等については、ここでは検討していない。水域生態系モデルによる数値シミュレーションもさかんに行われているが¹⁴⁾、パラメータに関する情報が不足しており、かつその精度の向上も求められている。今後さらに詳細なデータの検討を行うとともに、水ヨシについても観測を行っていく予定である。

謝辞：本研究の一部はウエスコ土木技術振興基金の助成を受けて進められたことを付記し謝意を表す。また研究実施にあたり協力を得た元鳥取大学学生高松徹氏（現小松建設工業株式会社）及び観測に協力していただいた社会開発システム工学科開発情報工学研究室の諸氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) C. H. Williams: Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands : a theoretical and applied perspective, *Freshwater Biology*, Vol.15, pp.391-431, 1985.
- 2) W. Graneli and D. Solander: Influence of aquatic macrophytes on phosphorus cycling in lakes, *Hydrobiologia*, No.170, pp.245-366, 1988.
- 3) 鈴木孝男他：塩性湿地，栗原康編著，河口沿岸域の生態学とエコテクノロジー，東海大学出版会，pp.142-149, 1988.
- 4) 細見正明，須藤隆一：湿地による生活排水の浄化，水質汚濁研究，14巻10号，pp.674-681, 1991.
- 5) 細川恭史，三好英一，古川恵太：ヨシ原による水質の浄化，運輸省港湾技術研究所報告，30巻，1号，pp.205-237, 1991.
- 6) T. Suzuki, W.G. Ariyawathie and Y. Kurihara: Amplification of total dry matter, nitrogen and phosphorus removal from stands of *Phragmites australis* by harvesting and reharvesting regenerated shoots, *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, Lewis Publisher Co., pp.530-535, 1989.
- 7) M.J.H.A. van der Linden: Nitrogen Economy of Reed Vegetation in the Zuidelijk, Flevoland polder. I.-Distribution of nitrogen among shoots and rhizomes during the growing season and loss of nitrogen due to fire management, *Acta Oecologia Oecol. Plant.*, Vol.1, pp.219-230, 1980.
- 8) W. Graneli: Standing crop and mineral content for reed in Sweden-management of reed stands to maximize harvestable biomass. *First European Workshop on Aquatic Macrophytes*, 1983. .
- 9) R.T. Prentki, T.D. Gustafson and M.S. Adams: Nutrient movements in lakeshore marshes, *Freshwater wetlands. Ecological Processes and Management Potential*, R.E. Good, D.F. Whigham and R.L. Simpson eds., Academic Press, pp.169-194, 1978.
- 10) 大西正章：湖辺ルネッサンス～大津のヨシ作戦～，環境システム研究，Vol.23, pp.627-648, 1995.
- 11) 建設省下水道部：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説，日本下水道協会，1993.
- 12) 吉良竜夫：ヨシの生態おぼえがき，滋賀県琵琶湖研究所所報，9号，pp.29-37, 1991.
- 13) Y. Kurihara and T. Suzuki: Effects of harvesting on regeneration and biological production of *Phragmites australis* in wetlands, *Proceedings of International Symposium on the Hydrology of Wetlands in Temperate and Cold Regions*, Vol.1, pp.6-8, 1988.
- 14) 浅枝隆，チュオング・ボン・バン，有田正光：富栄養化した浅い湖沼における水生植物（マクロファイト）のモデル化と藻類の増殖に与える影響の検討，水工学論文集，第41巻，pp.421-426, 1997.

(1997.6.9 受付)

FIELD OBSERVATION ON REED HARVEST AND REGROWTH WITH RESPECT TO NUTRIENT REMOVAL

Yoshihiko HOSOI, Yoshinobu KIDO, Masahiro MIKI and Masataka SUMIDA

In order to manipulate the preservation and management of reed communities, from the aspect of water purification, the characteristics of reeds life span are indispensable. In this study, field observation of the reed community was carried out. The growth and aging process, regeneration after harvest, and nutrient contents of reed tissue were examined. Reed shoots grow significantly until summer and nutrient contents were maximum in spring. Height distribution and growth rate were precisely investigated. On the basis of these results, nutrient removal efficiency by harvesting was estimated and its cost was analyzed.