夏季の刈取りがヨシ (*Phragmites australis*) の生長に及ぼす影響

湯 谷 賢太郎* 浅 枝 隆* シロミ カルナラツヌ*

Effects of Summer Harvesting on the Growth of *Phragmites australis*

Kentaro YUTANI*, Takashi ASAEDA* and Shiromi KARUNARATNE*

* Department of Environmental Science and Human Engineering, Saitama University, 255 Shimo-okubo, Saitama, Saitama, 338-8570, Japan

Abstract

Growth performance of a wetland species, *Phragmites australis* in a swampy section was investigated focusing on the effects of summer harvesting. Communities harvested in June, the time of rapid growth and minimum rhizome reserves, were compared with non-harvesting communities and those harvested in July, when shoot was growing slowly and rhizomes already recovered.

Harvesting markedly decreased shoots and buds diameters, the spatial leaf density, and increased total production, if harvested in July particularly, and buds density. Rhizome biomass and rhizome bulk density decreased after harvesting. However, with July cut communities, rhizome biomass and rhizome bulk density were recharged at November. In June cut communities, on the other hand, only rhizome bulk density was recovered because of their high mortality rate.

These results were particularly useful in the management of reed swamp such as harvesting in June causes the suppression of reeds and, in late July to early August, removes nutrients from the ground.

Key words : *Phragmites australis*, harvesting, rhizome reserves, bulk density, wetlands management

1. は じ め に

ヨシ (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel) は世界中の水辺に生える最も一般的な抽水植物であり¹⁾, 昔から様々な用途に利用されてきた²⁻⁴⁾。ヨシには河川や湖沼の護岸侵食防止機能や水質浄化機能があり, また, 野生生物の棲家となる機能も備えていることから, 社会的, 生態学的に重要な植物であるといえる⁵⁻⁷⁾。

湖岸等に発達したヨシ群落は, 多くの野生生物にとって外敵から身を隠す格好の場所であり, 生活史の一部でヨシ原を利用する野鳥は多い。さらに, 稚魚の期間をヨシ原のような抽水植物群落内で過ごす魚も多い。このことは, ヨーロッパでのヨシの大量枯死現象(DIE-BACK)に伴って, 野鳥や魚の個体数が激減した⁸⁾ことから, 特に近年注目を集めているヨシ原の機能である。

ヨシは非常に拡大能力の強い植物である⁹⁾。そのため, ヨシ原は上記のように野生生物の棲家となる一方, 水深の浅い湿地などでは, 開水面が無くなるほどにヨシが繁殖してしまい, 開水面を必要とする生物の生存に悪影響を及ぼすこともある。イギリスのミンズミア野鳥保護区では, 除

草剤を用いてヨシを抑制する試みが行われていた¹⁰⁾。

夏季における刈取りは, ヨシの個体サイズやヨシ原の面積をコントロールするための伝統的な方法である。刈取りは効率の悪い方法であるにもかかわらず, 除草剤の散布や重機による除去と比較して生態系に与える影響が小さいため, ヨシ原の管理上重要な方法であるといえる¹¹⁾。さらに, 葉茎を刈取ることによって水中の栄養塩を除去する試みもあり¹²⁾, ヨシ原管理法としての刈取りの定量的な評価が求められている。

ヨシは多年生の植物であり, 日本のような温帯地方では冬には地上部は枯れるが, 地下茎は生きており越冬する。春に萌芽した葉茎は, 生長初期においては地下茎の物質を用いて生長し, それに伴い地下茎の物質貯蔵量は低下する。その後, 光合成が主たる生産手段となると, 葉茎で生産された物質は地下茎に送り返され, 地下茎の物質貯蔵量が回復する¹³⁾。このヨシの生物活動によって, 地下茎のバイオマスは年間を通して変動することが知られている。そのため, 刈取りの影響は, 刈取りを行う時点での地下茎の状態に影響を受けるものと推測される。しかし, 過去の夏季における刈取りの影響に関する研究では, 葉茎の再生形態に

* 埼玉大学大学院理工学研究科 〒338-8570 さいたま市下大久保255

注目したもの¹⁵⁾、刈取りによる植生変化に注目したもの^{16, 17)}はあるものの、刈取り時期と地下茎の状態との関係に注目したものは少ない¹⁸⁾。さらに、刈取り後に葉茎と地下茎の観測を同時に行った例は無い。そのため、本研究では、刈取り時期の違いによるヨシへの影響を、地下茎の状態の違いに着目して観測を行った。

2. 方 法

2.1 観測地点

観測は埼玉県さいたま市の荒川河川敷内にある秋ヶ瀬公園内の湿地にて行った。秋ヶ瀬公園は荒川の河川敷内に位置しており、荒川に隣接してレクリエーション施設などが整備されている。およそ1000m²の観測地点は、単一でほぼ一様なヨシ群落に覆われている。ヨシ群落は形成後10年以上が経過していると予想され、平衡状態にあるものと考えられる。

観測期間中の水位は地上20cmから地下50cmまでの間であった。ただし、水に浸かっている状態は長くは続かず、4月から11月の間の地下水位は地上±10cm程度であった。観測地点の地質は均質で、表層はやわらかく有機質に富む粘土質のロームであり、地下50cm程度の深さに固い粘土の層が存在していた。そのため、地下茎のすべてはこのローム層内に存在していた。なお、2000年11月に測定した表層水の全窒素、全リン、PH、電気伝導率、および塩分濃度の平均値はそれぞれ、0.424mg・l⁻¹、0.021mg・l⁻¹、5.84、0.19ms・cm⁻¹、0%であった。

2.2 観測方法

1999年の5月から11月にかけて、観測に適切な時期と葉茎の刈取り高さ、必要最小限のサンプル数、試料採取時の面積と地下茎採取時の深さ、その他の必要な知識を得るための予備観測を実施した。

観測地点のヨシ原を面積の等しい3つの区域に分け、3分の1は対照区として刈取りを行わず、残りの2つの区域では2000年6月1日、7月3日にそれぞれ葉茎の刈取りを実施した（以下、それぞれ地点Ⅰ、地点Ⅱ、地点Ⅲと記す）。1999年に行った予備観測により、6月は葉茎生長速度が大きい地下茎バイオマスが最小であり、7月は葉茎生長速度が小さいものの、地下茎バイオマスはその最大量を示す8月と最小値を示す6月との中間程度に位置することが分かっている。

刈取りには園芸用の選定バサミを使用した。また、刈取りに際しては、刈取り後の切り株が水没するのを防止するため、地上30cm程度で刈取り、刈取った葉茎はリターの堆積による悪影響を避けるために、観測地点からすべて取り除いた。

2.3 試料の採取

予備観測の結果を元に、試料の採取は月一度、各地点から3つずつ、計9つの試料を1回のサンプリングで採取した。葉茎の試料は均質で同様な葉茎密度の0.125m² (0.25×0.5 m) の範囲から採取し、地下茎及び根は、葉茎を採取した同じ地点の地下60cmまで採取した。葉茎の試料の採取は2000年の4月から10月まで行った。試料の採取は葉茎の生長が開始する2000年4月3日に開始した。4月28日に再びサンプリングを行い、5月以降は観測地点の水位が高く試料の採取が困難な場合を除き、月一度の間隔で実施した。

葉茎は地表面ではさみを用いて切り取り、ビニル袋に入れて研究室に持ち帰り、葉茎高さ、直径、葉の枚数を計測し、その後、乾燥重量を測定した。また、毎回のサンプリング時には上記の葉茎試料の他に、各地点から5本程度の葉茎を採取し、葉の面積を測定した。葉の面積の測定には自動面積計（林電工 AAM-7）を用いた。面積測定後の葉は乾燥重量を測定し、葉の面積密度（葉の単位面積あたりの乾燥重量）を算出した。

地下茎及び根は、シャベルを用いて葉茎を採取した地点の真下から採取した。なお、サンプリングに際しては、将来のサンプリングに影響を残さないように、周囲へのダメージが最小になるように注意した。予備観測により、地下茎の95%以上が表層40cmに含まれていることが確認されたものの、サンプリングの際には、土を60cm以上の深さでブロック状に掘り出し、極力地下茎に傷をつけることを避けた。得られた試料は土ごとビニル袋に入れて実験室に持ち帰り、ジェット水流とふるいを用いて土を洗い流した。

毎回のサンプリング時に地下茎の容積重を測定した¹⁹⁾。傷の無い地下茎の一部を両端に節を残すようにナイフで切り出し、地下茎容積重測定用の試料とした。地下茎体積の測定は、水を張ったメスシリンダー内に地下茎を挿入し、水の増加分より測定した（V）。また、体積測定後には乾燥重量を測定した（W）。地下茎容積重はW/Vと定義した。

地下茎容積重測定用の試料を得た残りの試料は、生きている地下茎および枯れている地下茎に分けて乾燥重量を測定した。11月に行ったサンプリングでは、地下茎に芽の形成が多く確認されたため、芽の面積密度、芽の直径、芽のバイオマスについても測定した。

すべての試料に関して、乾燥重量は5cm前後に切った後、85℃で定量になるまで乾燥させた後に測定した。

2.4 データの解析

得られた各地点間のデータは、Kruskal-Wallis法（one-factor ANOVA, nonparametric method）により検定を行った。

3. 結 果

一回目の観測は4月3日に行った。この時点において、す

Fig. 1 Seasonal changes in average shoots heights at site I (◆), II (●) and III (▲). Error bars provide S.D. and are represented in only upper side.

で10%程度の葉茎は萌芽し、2~6cm程度生長していた。1次葉茎の萌芽は6月までにほぼ終了し、7月以降には2次葉茎の萌芽が確認された。

3. 1 地上部 (葉茎)

Fig. 1に、平均の葉茎高さの変化を示す。地点Ⅰにおいて、葉茎は萌芽後急速に生長し、萌芽後およそ3か月で平均220cmにまで生長した。また、7月以降には2次葉茎の萌芽も観測された。Fig. 1中で7月以降に平均の葉茎高さが減少しているのは2次葉茎の萌芽によるためである。なお、葉茎高さの最大値は9月7日に観測された332cmであった。すべての観測地点において、11月には葉茎が完全に枯死した。

地点Ⅱ、地点Ⅲのどちらにおいても、刈取り一か月後には2次葉茎の萌芽が観測された。地点Ⅱ、地点Ⅲの2次葉茎は共に、11月に枯死するまで生長を続けた。その生長速度は地点Ⅰ (4月から7月) が $2.55\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ であったのに対し、地点Ⅱ (6月から10月) では $0.71\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 、地点Ⅲ (7月から10月) では $0.95\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ であった。地点Ⅱと比較して地点Ⅲの葉茎の方が生長速度は速く、刈り取り後の時間経過では地点Ⅲの方が短いにもかかわらず、10月の時点では同程度の高さまで生長した。

Fig. 2には、それぞれの観測地点において観測された、葉茎のバイオマスの変化を示してある。バイオマスの変化においても、高さの変化と同様に10月の時点で地点Ⅱ、地点Ⅲのバイオマスが同程度であることが観測された。バイオマスの増加速度は地点Ⅰ (4月から7月) が $14.00\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ であったのに対し、地点Ⅱ (6月から10月) では $5.36\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 、地点Ⅲ (7月から10月) では $6.37\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ であった。また、Fig. 2には刈取り時点のバイオマスに、再生した2次葉茎のバイオマスを加えた各地点の正味の総生産量を示してある。地点Ⅲでは刈取り後に再生した葉茎バイオマスと刈取り時点の葉茎バイオマスの合計が、地点Ⅰの最大値 (7月) と比較しておよそ40%増加した。

Fig. 3には、各地点の葉茎一本当たりの、平均の生きている葉の枚数の変化を示してある。地点Ⅰでは萌芽後から7月までほぼ一定の速度で葉の枚数は増加し、7月3日の観測時には葉茎一本当たり8枚の葉をつけていた。地点Ⅰでは7月以降に、枯死の進行と共に生きている葉の枚数は減少した。地点ⅡおよびⅢでは、生きている葉の枚数は萌芽後ほぼ一定の速度で増加し続け、11月下旬に枯死する直前まで葉の枚数は増加し続けた。

Table 1には、葉茎の本数 (面積密度)、直径、葉の面積密度を示してある。葉茎の本数は地点Ⅰでは5月から10月の平均値を、地点Ⅱ、地点Ⅲでは9月から10月の平均値をそれぞれ示してある。地点Ⅰの葉茎密度は $102.06 \pm 23.24\text{m}^{-2}$ であったのに対し、地点Ⅱ、地点Ⅲでは葉茎密度は減少し、それぞれ 76.00 ± 27.13 、 $72.00 \pm 10.12\text{m}^{-2}$ であった。しかし、地点Ⅱと地点Ⅲの間に優位な差は確認できなかった。

茎の地面直上部の直径は萌芽後一か月程度で変化しなくなる¹¹⁾ことから、茎の直径に関しては萌芽一か月後以降の平均値を示してある。地点Ⅰの茎の直径は $6.00 \pm 1.27\text{mm}$ であったのに対し、地点Ⅱ、地点Ⅲ共に刈取りの影響により直径が減少した。減少率では地点Ⅲよりも地点Ⅱのほうが大きく、地点Ⅲの減少率が15%程度であるのに対し、地点Ⅱの直径の減少率は35%程度であった ($P < 0.0001$)。

Fig. 2 Seasonal changes in average shoots biomass at site I (◆), II (●) and III (▲), and total net production (shoots biomass) at site II (○) and III (△). Only the mean values without the S.D. are shown to increase the clarity.

Fig. 3 Seasonal changes in average number of leaves per shoot at site I (◆), II (●) and III (▲). Error bars indicate S.D. and are represented in only the upper side.

Table 1 Comparison of average shoots densities, shoots diameters and spatial densities of leaves ($\pm$ S.D.). Average shoots densities from May to October (at site I) and from September to October (at site II and III) were provided. Shoots diameters were provided as the average values from one month after the emergence. As average values of spatial densities of leaves, the values of two month after emergence were provided.

	Shoots Density (m^{-2})	Shoots Diameter (mm)	Spatial Density of Leaves ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$)
SITE I	102.06 ± 23.24	6.00 ± 1.27	6.12 ± 0.46
SITE II	76.00 ± 27.13	3.93 ± 1.11	5.17 ± 0.60
SITE III	72.00 ± 10.12	5.15 ± 1.06	5.92 ± 0.33

Fig. 4 Seasonal changes in average living and dead rhizomes biomass. Living rhizome at site I (◆), II (●) and III (▲); Dead rhizome at site I (◇), II (○) and III (△). Only the mean values without the S.D. are shown to increase the clarity. The value at site III in July is by calibration.

Fig. 5 Seasonal changes of rhizome bulk density at site I (◆), II (●) and III (▲). Only the mean values without the S.D. are shown to increase the clarity.

葉の面積密度は、それぞれの観測地点において、萌芽後およそ二か月後の平均値を示してある（地点Ⅰ:6月2日、地点Ⅱ:7月31日、地点Ⅲ:9月7日）。萌芽後の同程度の時期で比較すると、地点Ⅱ、地点Ⅲ共に葉の面積密度の減少が確認された。特に地点Ⅰと地点Ⅲでは有意な差は確認されなかったのに対し、地点Ⅱと他の2つの観測地点では有意な差が見られた（ $P < 0.0001$ ）。

3. 2 地下部

3. 2. 1 地下茎バイオマスの変化

Fig. 4に、地下茎のバイオマスの年間変化を示す。最初の地下茎のサンプリングは葉茎が急速に生長する直前の4月3日に行った。7月と9月には観測地点の水位が高く、バイオマスの測定のための十分なサンプリングが行えなかったためにデータが得られていない。

地点Ⅰにおいて地下茎に蓄えられた物質は葉茎の急速

な生長のために消費され、各地点ともに5月まで一定の割合で減少した。生きている地下茎の平均のバイオマスは4月上旬に $2190\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ であったものが、5月上旬には初期の値と比較して44%減少し、 $1222\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ にまで減少した。同じ期間に枯れた地下茎のバイオマスは $114\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ から $255\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ にまで増加した。5月以降は地下茎のバイオマスはほぼ一定の速度で増加し、8月までに初期のバイオマスと同程度の $2077\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ にまで増加した。新しい地下茎は6月上旬に形成が開始したが、新しい地下茎のバイオマスはそれ自体それほど有意なものではなかった。

Fig. 4には地点Ⅱおよび地点Ⅲの地下茎のバイオマスの変化も示してある。春の葉茎生長期には地点Ⅱ、地点Ⅲのバイオマスは地点Ⅰと同様な減少傾向を示すことがわかる。バイオマスの減少割合は4月から5月の期間に地点Ⅱ、地点Ⅲでそれぞれ16.1, 30.3%であった。地点Ⅰで観測された枯れ地下茎の増加と同様のものが地点ⅡおよびⅢにおいても4月から5月の期間において確認された。

地点Ⅱの刈取りを実施した6月において、同地点の地下茎バイオマスは $1651\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。地点Ⅲの刈取りを実施した7月は、雨季のためサンプリングを行うことができなかった。そのため、Fig. 4に示した地点Ⅲの7月のバイオマスは実際に2000年に計測したものではなく、5月から6月までの増加速度がその後も継続されると仮定して導いたものである。1999年に実施した予備調査時において、同時期に観測された地下茎のバイオマスの平均値は $2141\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ であるため、今回算出した $1904\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ という値は多少小さく見積もられている可能性がある。

8月においては、地点Ⅱおよび地点Ⅲの地下茎のバイオマスはそれぞれ 1527 , $1661\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ となり、刈取り時のバイオマスと比較して減少したことがわかる。地点Ⅲの地下茎のバイオマスが8月以降緩やかな回復傾向を示し、 $1834\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ （初期値の88%）にまで回復したのに対し、地点Ⅱではバイオマスは減少を続け、11月上旬には $1237\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ （初期値の68%）にまで減少した。

3. 2. 2 地下茎容積重の変化

地下茎のバイオマスの変化は、地下茎の代謝による消費と他の部分への（からの）輸送、枯死による減少を含むのに対し、地下茎容積重の変化は代謝による消費と他の部分への（からの）輸送のみを表している。

Fig. 5には、各地点において観測された地下茎容積重の変化を示す。測定開始時の4月28日から5月10日にかけて、地点Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ共に地下茎容積重は減少した。その減少割合はそれぞれ、23.4, 22.0, 19.6%であり、各地点間で同程度の減少が見られた。地点Ⅰでは6月以降に地下茎容積重が増加を開始し、11月の時点で4月の観測開始時と同程度まで地下茎容積重が回復した。

地点Ⅱでは、6月の刈取り後から地下茎容積重が減少し始め、8月に最小値を記録した。8月の最小値は5月に記録した値よりも5.4%程度低い値であった。地点Ⅱでは8月以降に地下茎容積重は回復を開始し、11月の時点で地点Ⅰと同程度となった。この地点Ⅱにおける8月以降の地下茎容積重の回復は、地下茎バイオマスの変化とは異なる傾向であった。地点Ⅲにおいても、7月の刈取り直後から地下茎容積重は減少し、9月以降に回復した。地点Ⅲにおいても11月の時点で値は、地点Ⅰと同程度であった。

3. 2. 3 芽の形成

Table 2には11月の観測時に得られた芽の密度、直径、バイオマスの測定結果を示してある。ヨシは芽により越冬し、秋に形成された芽が翌年に萌芽するため、11月の観測結果は翌年のヨシ群落の規模を予測するのに役立つ。芽のバイオマスに関しては地点Ⅱ、地点Ⅲ共に45%程度の減少が見られたものの、地点Ⅱと地点Ⅲとの間に有意な差は確認されなかった。それに対し芽の直径に関しては各観測地点間に優位な差が確認され ($P<0.0001$)、刈取りによる直径の減少割合は地点Ⅱが14%、地点Ⅲが33%であった。芽の密度では地点ⅠとⅢの間に優位な差は見られなかったものの、地点Ⅱでは芽の密度の増加が見られた。

4. 考 察

刈取りや野焼きは伝統的なヨシ原管理手法であり、以前から多くの研究がなされてきた^{14-18, 20-22)}。Toorn & Mook²⁰⁾は3月20日前後にヨシ原で野焼きをした場合はヨシへの影響はないが、4月中旬ではその影響が最大になると報告している。ヨシは枝分かれして生長する事は無く、葉茎の直径は芽の直径から変化しない¹³⁾。そのため、葉茎(芽)の先端の分裂組織が失われた場合、その影響は小さな側方芽の形成と生長が優先するという形で現れる^{14, 15)}。そのため、その翌年は細く高密度なヨシに置き換わる¹⁴⁾。このことは、本研究の地点Ⅱにおいて観測された芽に関する結果と一致する(Table 2)。しかしながら、Toorn²¹⁾は遅い時期の刈取りが前述のような影響に寄与しないことも指摘している。本研究においても7月に刈取りを実施した地点Ⅲでは最終的なバイオマスは地点Ⅰと同程度であり、地点Ⅱと比較して影響は少なかった。しかし、地点Ⅲにおいても、芽の直径に関しては明らかな影響が確認されており、翌年の葉茎の形成に影響を及ぼすことが考えられる。

Fig. 2, Fig. 3を見ると、刈取り後に萌芽した2次葉茎は枯死する直前まで生長を続けたことが分かる。ヨシは一般的に成熟して穂をつけると地上部の葉茎は枯死することから¹³⁾、地点ⅡおよびⅢの葉茎は成熟しなかったと考えられる。これは、刈取り後の萌芽によって失われた地下茎の貯蔵を回復するために、枯死する直前まで光合成による生産を続けていたためであると考えられる。

夏季の刈取りがヨシに与える影響に関する研究は早くからなされていたが^{14, 21, 22)}、地下茎の貯蔵に関する年間変化はあまり注目されてこなかった。特に、日本のような冬の季節を持つ温帯地域では、地下茎の物質貯蔵能力は、ヨシ群落の安定性や生存能力を決定する重要な要素である

²³⁾。芽の直径の減少と密度の増加は地点Ⅲよりも地点Ⅱの方が大きかった。この事実は、刈取りの影響が刈取り時期に影響されることを示している。本研究において、地点Ⅱを刈取った6月と、地点Ⅲを刈取った7月とでは、地点Ⅲを刈取った7月の方が地下茎の物質貯蔵量は大きかった(Fig. 4, Fig. 5)。このことより、刈取りの影響は、刈取りを行う時点の地下茎の物質貯蔵量に左右されることが考えられる。前田²⁴⁾は各地で行われた刈取りの影響をよくまとめているが、植物の生長が気候に左右されるために、刈取り日時での議論ではばらつきが目立つ。そのため、前田も地下茎の炭水化物量が刈取りの影響を決定すると予測している。

地下茎のバイオマスの変化は地下茎の代謝による消費と他の部分への(からの)輸送、枯死による減少を含むのに対し、地下茎容積重の変化は代謝による消費と他の部分への(からの)輸送のみを表している。Fig. 4とFig. 5を比較すると、地点Ⅱの変化に違いが見られる。地下茎バイオマスは8月以降減少しているのに対して、地下茎容積重は地点Ⅰと同程度まで増加している。これは、地下茎バイオマスの減少が地下茎の枯死によるものであり、地下茎容積重の増加は、生き残った地下茎に葉茎からの光合成生産物が優先的に輸送されたためであると考えられる。しかし、地下茎バイオマスが減少している6月から11月の期間に、枯死地下茎の増加は見られなかった。この理由として、枯死した地下茎が速やかに分解されてしまったということが考えられる。地点Ⅱの地下茎バイオマスが減少をはじめた6月以降は気温が高いため、分解速度も速いことが考えられる。そのため、枯死した地下茎は土壤中に残らず分解してしまったと考えられる。

4. 1 湿地管理法および栄養塩除去の手段としての刈取りを考える

刈取りの影響は、刈取られたヨシ群落が細く密なヨシ群落に置き換わるという形で現れた(Table 2)。さらにその影響の大きさは、刈取る時期によって異なることが分かった。今回刈取りを行った6月は葉茎生長速度が大きいが地下茎バイオマスが最小であり、7月は葉茎生長速度が小さいものの、地下茎バイオマスはその最大量を示す8月と最小値を示す6月との中間程度に位置する。そのため、刈取り時期による影響は、地下茎の物質貯蔵の差による影響であると考えられる。

本研究の結果から、ヨシの抑制を目的に刈取りを行う場合、地下茎の物質貯蔵量が最も少ないと考えられる時期に行うのが効果的であると思われる。さらに、毎年刈取りを実施することによって、より効率的にヨシを抑制できるものと考えられる。

それに対し、栄養塩の除去を目的として刈取りを行う場合、刈取られた葉茎のバイオマスが最大になり、なおかつ翌年も同じ生産力が維持されなければならない。本研究において、7月に刈取りを行った地点Ⅲの場合、11月の時点で芽の直径の減少が見られたものの、地下茎のバイオマスは地点Ⅰと同程度まで回復しており、刈取りによる影響は少ないものと考えられる。このことは、著者による翌年の観測において、地下茎バイオマスと葉茎バイオマスが地点Ⅰと地点Ⅲで差がないことより確認されている(未発表データ)。また、地点Ⅲでは刈取り後に再生した2次葉茎と、刈取った葉茎のバイオマスを合計した正味の年間生産

Table 2 Comparison of average buds densities, buds diameters and buds biomass $\pm$ S.D. sampled in November.

	Buds Density (m ⁻²)	Buds Diameter (mm)	Buds Biomass (mg.m ⁻²)
SITE I	108 $\pm$ 37	7.54 $\pm$ 1.73	29.20 $\pm$ 0.244
SITE II	120 $\pm$ 68	5.05 $\pm$ 1.47	16.98 $\pm$ 0.138
SITE III	102 $\pm$ 17	6.48 $\pm$ 1.91	16.32 $\pm$ 0.226

量が、地点Ⅰと比較して40%以上増加していた。この現象は、栄養塩の除去を目的に刈取りを行う場合に、非常に有利である。

刈取りによる影響を残さないことを優先するならば、冬期に刈取りを行うことが考えられる¹⁶⁾。しかし、冬期の刈取りでは、葉茎の養分の多くは地下茎に送り返されており、栄養塩除去効率を高める事ができない。また、葉茎が枯死していると多くの葉は落ちてしまい、取り除くことのできる絶対量が減少してしまう。本研究においても、10月の葉茎バイオマスの値は、7月の値の約4分の3程度であった (Fig. 2)。

以上の結果から考えると、栄養塩の除去を目的に刈取りを行う場合、翌年に影響を残さず、取り除けるバイオマス量が最大となるような刈取り時期は、本研究における7月であるといえる。7月の時点で、地下茎のバイオマスは最小値と最大値の中間程度まで回復していた。また、7月以降には2次葉茎の萌芽が確認されており、ヨシの地下茎が、この時点で既に芽を保有していることを示している。このこととも、ヨシの葉茎再生に優位に働くと考えられる。つまり、地下茎バイオマスが二分の一程度回復し、なおかつ地下茎に芽が形成されている時点が、栄養塩除去を目的に刈取りを行う場合の最適時期と考えられる。

本研究の結果を考慮し、刈取りに最適な時期を決めるには、ある時点の地下茎の物質貯蔵量を知る必要がある。当然、ヨシの地下茎物質貯蔵量は気候、土壌条件 (栄養塩濃度、湛水深、他) 等の影響を受ける。そのため、対象地点が変化した場合の、本研究の適応性が問題となるわけであるが、幸運なことに、現在、ヨシの生長や地上部と地下部間の物質輸送を表現する高精度なモデルが開発されている¹²⁾。シュミレーションモデル等の手法を適応することにより、本研究の結果はより一般的になると考えられる。

5. お わ り に

本研究により、刈取りがヨシに与える影響が明らかとなり、ヨシの抑制と栄養塩除去の手段として、刈取りが有効でありことが示された。さらに、除草剤や重機を用いた刈取り以外の手法による湿地管理においても、その実施時期による有効性を議論する際に、貴重な資料となると思われる。

しかし、ヨシは多年生植物であるため、刈取りの影響を完全に把握するためには、複数年にわたる観測が必要である。この事実は著者自身も認識しており、継続してモニタリングを実施している。また、本研究においては、刈取り時期を6月と7月に限定しており、他の時期における刈取りの影響に関する研究も必要と考えられ、今後の課題といえる。

(原稿受付 2001年8月27日)

(原稿受理 2001年12月18日)

参 考 文 献

- 1) Clevering, O. A. and Lissner, J. (1999) Taxonomy, chromosome numbers, clonal diversity and population dynamics of *Phragmites australis*, *Aquatic Botany*, **64**, 185-208.
- 2) Nevel, B. E., Hanganu, J. and Griffin, C. R. (1997) Reed harvesting in the Danube Delta, Romania: Is it sustainable?, *Wildlife Society Bulletin*, **25**(1), 117-124.
- 3) Graneli, W. (1984) Reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel as an Energy Source in Sweden, *Biomass*, **4**, 183-208.
- 4) Kiviat, E., Hamilton, E. (2001) *Phragmites* use by Native North Americans, *Aquatic Botany*, **69**, 341-357.
- 5) Hocking P. J. (1989) Seasonal Dynamics of Production, and Nutrient Accumulation and Cycling by *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel in a Nutrient enriched Swamp in Inland Australia. I. Whole Plant, *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **40**, 421-444.
- 6) Hocking P. J. (1989) Seasonal Dynamics of Production, and Nutrient Accumulation and Cycling by *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel in a Nutrient enriched Swamp in Inland Australia. II. Individual Shoots, *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **40**, 445-464.
- 7) Ho, Y. H. (1979) Shoot development and production studies of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel in Scottish lochs, *Hydrobiologia*, **64**, 215-222.
- 8) Ostendorp, W. (1989) 'Die-back, of reeds in Europe A critical review of literature, *Aquatic Botany*, **35**, 5-26.
- 9) Haslam S. M. (1970) The Development of Annual Population in *Phragmites communis* Trin., *Ann. Bot.*, **34**, 571-591.
- 10) ハーバート・アクセル (1995) よみがえった野鳥の楽園, 245pp, 平凡社, 東京.
- 11) Husak, S. (1978) Control of reed and reed mace stand by cutting. In *Pond Littoral Ecosystem*. Ed. D. Dykijova & J. Kvet, Springer-Verlag, Berlin. Ecological Studies, **28**, pp404-408.
- 12) 田中規夫, 浅枝隆, Karunaratne, S., 谷本勝利 (2001) ヨシの生長解析に基づく栄養塩除去量の評価, *ダム工学*, **11**(1), 26-39.
- 13) Haslam, S. M. (1969) The development of shoots in *Phragmites communis* Trin., *Ann. Bot.*, **33**, 695-609.
- 14) Haslam, S. M. (1969) The Development and Emergent of Buds in *Phragmites communis* Trin., *Ann. bot.*, **33**, 289-301.
- 15) 内田泰三, 丸山純孝 (1999) 刈取り高さがヨシ (*Phragmites australis* (Cav.) Trin.) の再生反応に及ぼす影響, *日本緑化工学会誌*, **24**(3・4), 162-174.
- 16) Gryseels, M. (1989) Nature Management Experiments in a Derelict Reedmarsh. I: Effects of Winter Cutting, *Biological Conservation*, **47**, 171-193.
- 17) Gryseels, M. (1989) Nature Management Experiments in a Derelict Reedmarsh. II: Effects of Summer Mowing, *Biological Conservation*, **48**, 85-99.
- 18) Weisner, S. E. B. and Granéli, W. (1989) Influence of substrate conditions on the growth of *Phragmites australis* after a reduction in oxygen transport to below-ground parts, *Aquatic Botany*, **35**, 71-80.
- 19) Fiala, K. (1976) Underground organs of *Phragmites communis*, their growth, biomass and net production, *Folia Geobot. Phytotax.*, **11**, 225-259.
- 20) Toorn, J. Van der and Mook, J. (1982) The influence of environmental factors and management on stand of *Phragmites australis* 1. Effects of burning, frost and insect damage on shoot density and shoot size, *Journal of Applied Ecology*, **19**, 477-499.
- 21) Toorn, J. Van der (1979) Effect of cutting on reed performance, *Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Afd. Natuurkunde, Tweede reeks* **73**, 335-339.
- 22) Kvét, J. (1971) Growth analysis approach to the production ecology of reedswamp plant communities, *Hidrobiologia*, **t. 12**, 15-40.
- 23) Klimes, L., Klimesova, J. and Cizkova, H. (1999) Carbohydrate storage in rhizome of *Phragmites australis*: the effect of altitude and rhizome age, *Aquatic Botany*, **64**, 105-110.
- 24) 前田修 (1982) § IV ヨシとヨシ地, 「水利用計画への環境科学的接近に関する研究」 (筑波大学大学院環境科学研究科琵琶湖プロジェクト事務局編), pp.115-117, 国際科学振興財団, 桜村.