

河川に発達したミクリ(*Sparganium erectum*)群落の 葉茎の生長特性および流れ場の応答

ANNUAL GROWTH PATTERN OF *SPARGANIUM ERECTUM* AND ITS EFFECTS ON THE STREAM CURRENT AND SUBSTRATE MATERIALS

太田 純一¹・小池 直行¹・浅枝 隆²・藤野 毅³

Junichi OTA, Naoyuki KOIKE, Takashi ASaeda and Takeshi FUJINO

¹学生非会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

²正会員 工博 埼玉大学教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

³正会員 学博 埼玉大学助教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

Sparganium erectum, mikuri in Japanese, is an endangered species in local areas. Characteristics of annual growth pattern was observed in a small stream separately between above- and belowground biomass, and new and old shoots. Succeeding upward and downward material translocation was recognized from between above- and below ground biomass from spring to summer, and at the time of new shoot formation in autumn. The new shoots hibernate under water then grow rapidly in spring. Therefore, warm temperature in winter is particularly important for this species.

Many shoots collapse in August, then stuck the current in the community. The velocity extremely reduces inside the community because of the collapse of shoots, then an amount of silt is accumulated in a short time on the bottom. As the species has the strong tolerance in the anoxic sediments, it is presumably one of strategies to develop a community by accumulating silt inside the community.

Key Words : *Sparganium erectum*, Emergent plants, sedimentation, stream plants, shoot collapse

1. はじめに

ミクリ (*Sparganium erectum*) は多年生の抽水植物であり、河川や湖沼、池や放水路などの浅水域に群落を構成して生息している。戦後、わが国における社会基盤整備によって急激に自然環境が改変されたために、抽水植物群落の生息地が消失するとともに生息環境の悪化に伴って衰退していることを受けて、ミクリもその群落数が各地に部分的に点在するほどに減少してしまい、現在ではレッドデータブックにおいて準絶滅危惧種に指定される希少種である。また、対象とした元荒川は水源を埼玉県水産試験場の湧水に求め、水産試験場の閉鎖と共に、今後の動向が懸念されている。

さて、水生植物周辺の流況は単に円柱周辺の流れでは近似できないことが近年の研究で明らかになってき

ている^{1),2)}。そのため、抽水植物群落においても周辺の流況は様々な場所で測定されているが^{3),4)}、ミクリのように群落全体が顕著な倒伏を示す群落においては、群落前後でどのような変化が生ずるかについてはほとんど明らかにされていない。

そこで本研究ではまず、1)ミクリがこの場所で急激に群落を拡大した原因を明らかにし、今後のこの河川の利用のあり方に対する指針を与えること、2)特に顕著な倒伏を示す抽水植物群落周辺に生ずる流況の変化、堆積物に与える影響の把握を目的として、ミクリの生長・繁殖の過程および倒伏後の群落内外の流速や堆積物変化を測定し、ミクリの生長戦略を考察した。

2. 観測地概要

観測地は埼玉県熊谷市久下ー佐谷田間を流れる元荒川上流部（N36°07'51"， E139°24'02"及びN36°07'32"， E139°24'27"）である．元荒川は熊谷市から行田市の市街地にかけて荒川に沿って流れており，忍川や星川，野通川と合流して蓮田市を流れ，岩槻市，越谷市の幅が狭い流域を通して中川に合流する，全長約60 kmの荒川水系の1級河川である．

ミクリが群生する範囲は最上流部から約5 kmの区間であり，その区間の中流域から下流域にかけて礫河床となり河岸部にはヨシやキショウブなども生息し，河道中央部にはエビモやコカナダモ，セキシウモなどが生息している．水温と水深は湧水を起源とすることもあり，年間を通して $14.5 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ ， $60.5 \pm 4.5\text{cm}$ とそれほど変化しない．水質に関しては，T-N（全窒素），T-P（全リン）， $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ （アンモニア態窒素）， $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ （硝酸態窒素）， $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ （リン酸態リン）の各濃度を測定した．結果の平均値±標準偏差は順に， 1.742 ± 0.451 ， 0.084 ± 0.035 ， 0.202 ± 0.051 ， 0.651 ± 0.142 ， $0.047 \pm 0.010\text{mg/l}$ であり，リンが窒素に比べて数倍少ないことから，この区間は植物にとってリン制限となっていることがうかがえる．

上流の滞留部（流速：夏季， $3.7 \pm 1.5\text{cm/sec}$ 冬季， $16.1 \pm 4.8\text{ cm/sec}$ ）においてミクリが優占していたため，2004年4月から2005年1月にかけて，その流域の約30mの区間を対象に生長観測を行った．また，この観測結果を元に2005年4月以降，滞留部の観測地点から下流約1kmの流速の速い地点（以下，流れ場とする．ミクリ群落周辺部の流速： $44.1 \pm 8.3\text{ cm/sec}$ ）のミクリ群落の観測を行った．

3. 観測方法

(1) 滞留部での生長観測

生長観測は2004年4月から2005年1月まで月1回以上の頻度で計11回行った．毎回の観測では，葉茎の本数がほぼ均等な領域を岸から離れたところで選び， 0.125 m^2 （ $0.25\text{m} \times 0.50\text{m}$ ）となるコドラートを3箇所設定し，1箇所ずつ4本の支柱を立ててその周囲を深さ方向に約40cm程度シャベルで掘り，葉茎と地下茎の構造を不攪乱土柱として取り出してビニール袋に収納した．また，河川の表層水を1lの容量でPPボトルに採取し，水深についてスタッフを用いて計測し，水深5 cmの水温を棒温度計で計測した．また，流速は河幅の中央において表面から5 cmの水深で電磁流速計（TOKYO KISOKU SF-5511）を用いて測定した．採取した試料は実験室まで速やかに搬送し，水は吸引濾過をした後，冷凍庫に保存した．持ち帰った試料は，葉茎や地下茎及び根の周りに付着している土などの汚れを洗い落とした．地上部の試料については，まず採取する段階で葉茎が直立

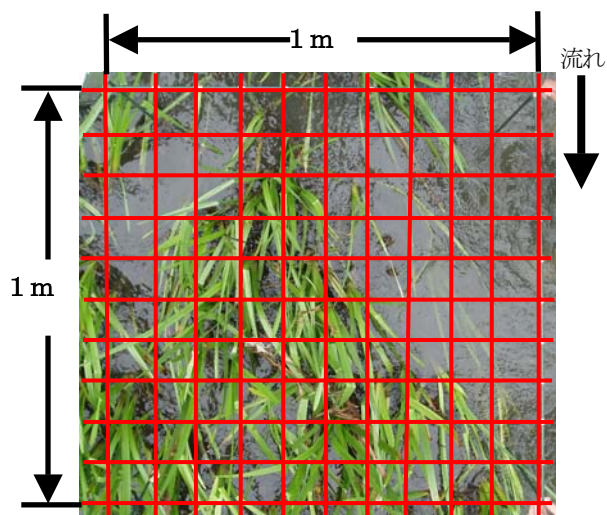


写真-1 写真（10cm間隔メッシュ）

しているもの（Emergent）と沈水しているもの（Submerged）をシールで分け，さらに，生きているもの（Live）と死んでいるもの（Dead）に大別した．また，果実（Fruit）の有無によっても葉茎を分類した．地上部の試料の分類後，葉茎の根元付近で地下部と切り分けた．地下部の試料についても生きているもの（Lived）と死んでいるもの（Dead）に大別した後，その構造から，葉茎を支持する基礎（SB）とSBの側方に伸びている地下茎（HR）に分類し，SBや地下茎から発生する根（Root）とに切り分けた．

地上部の試料については，葉茎の本数，高さ，根元付近の長径，葉の枚数，果実の個数と直径及び種子の個数について計測した．地下部の試料については，SBの個数と直径，HRの本数と直径，芽の個数と，その長さ及び長径を計測した．計測が終わった全ての試料は， 85°C に設定した乾燥炉に入れ，72時間を目安に定量になるまで乾燥させた後，それぞれの試料の重量を測定して，これと採取面積からバイオマスに換算した．

乾燥重量を測定し終えた全ての試料の一部は，ミルを用いて破碎して分析用の粉末試料とした．分類された各試料に対して，TNC（Total Non-structural Carbohydrate，総非構造型炭水化物），T-C（Total Carbohydrate）について濃度を測定した．TNCはアミラーゼによる抽出及びフェノール硫酸法を，T-CはCHNコーダー（YANAKO MT-5）を使用した．

観測地の水質に関しては，採取した表層水からT-N（Total Nitrogen，全窒素），T-P（Total Phosphorus，全リン）， $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ （アンモニア態窒素）， $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ （硝酸態窒素）， $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ （リン酸態リン）の各濃度を分析により測定した．それぞれの水質項目は，酸化分解及びUV試験法，酸化分解及びモリブデン青吸光光度法，インドフェノール法，硫酸ヒドラジン還元法，モリブデン青吸光光度法によって定量した⁵⁾．

(2) 流れ場での観測

成長観測を行った場所から約1km下流の $44.1 \pm 8.3 \text{ cm/sec}$ 程度の流れのある場所のミクリ群落において任意で1m四方を3箇所選定し、それぞれメッシュ状に10cm間隔で、葉茎密度、流速、水深を測定し、それぞれの分布を求めた(写真-1)。なお、流速は倒伏が生じているミクリについて倒伏修復前、倒伏修復後と計2回測定した。水深については倒伏修復前に1回測定し、倒伏修復後から10日後に1回測定した。また、ミクリ群落がある比較的流速が遅い箇所での河床とミクリ群落のない比較的流速が速い箇所での河床の土を採取し、試料採取後、1つの試料を2つに分け、それぞれ、85℃に設定した乾燥炉と600℃に設定した乾燥炉に入れた。なお、85℃に設定した乾燥炉に入れた試料は粒径加積曲線を、もう1方の乾燥炉に入れた試料は、強熱減量による有機物量を求めた。

4. 結果

(1) 滞留部での生長観測

観測期間内では毎回、流速を測定した。そのうち、1月、3月、4月、7月、9月、11月の平均流速値±標準偏差は順に、 18.5 ± 1.4 、 17.6 ± 1.2 、 12.3 ± 2.3 、 1.1 ± 0.2 、 3.1 ± 0.5 、 $7.1 \pm 1.5 \text{ cm/sec}$ であった。

図-1 は各部位のバイオマスの月変化を表している。グラフ上の中央線より上が地上部を、下が地下部を示しており、どちらも正の値である。生きている地上部バイオマスは6月下旬にピークを迎え、 $3100 \pm 290 \text{ gD.W./m}^2$ となった。その後、倒伏があり、6月下旬から7月下旬にかけて急激に減少し、 $1100 \pm 200 \text{ gD.W./m}^2$ まで減った。一方、同じ時期の枯死している地上部の増加量は約 1000 gD.W./m^2 であり、生きている地上部の減少量の半分程度しかなかった。

生きている地下部は5月頃から増加し始め、地上部の倒伏直後は増加しなかったが、その後増加し、8月下旬にピークを迎えた。9月から10月にかけて減少したが、二次葉茎の倒伏後、11月下旬に再びピークを迎えた。

図-2 は生きている葉茎1本あたりの高さの変化を表している。3月下旬から直立する葉茎は勢い良く伸び、6月下旬には平均約 247.8 cm となった。この間の生長速度は 1.62 cm/day であった。その後、倒伏したが、8月下旬まで生きている直立葉茎の高さに急激な変化は見られなかった。8月下旬以降になると直立葉茎は枯れ始めたため、その高さは低くなった。9月下旬以降に残った直立葉茎は、6月下旬頃まで沈水葉茎だったものが生長した葉茎であり、11月下旬まではほぼ変わらなかったが、以降は枯死の影響で減少した。3次葉茎は11月上旬から萌芽し、徐々にその高さは高くなり、1月下旬に約 12 cm となったが、それ以上は生長せず、沈水状態で越冬した。

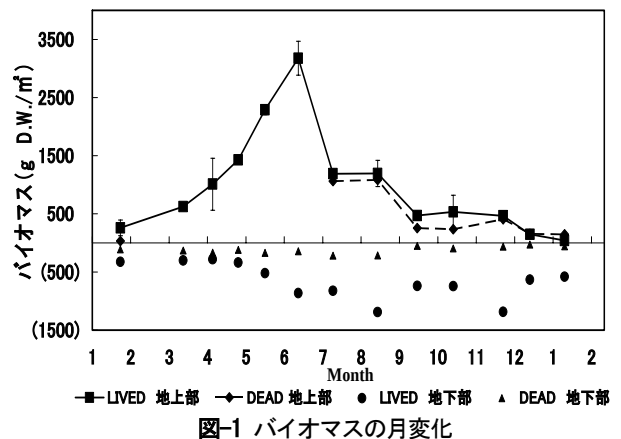


図-1 バイオマスの月変化

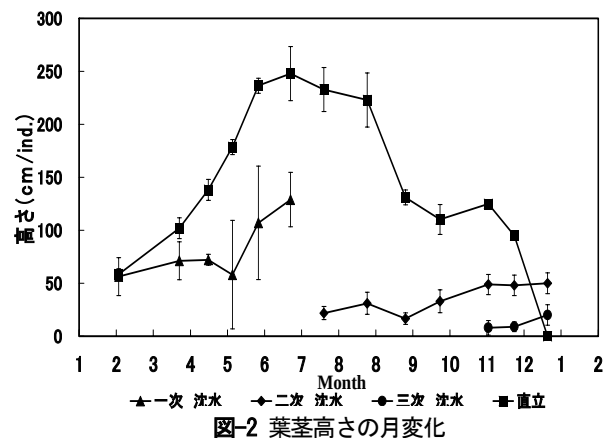


図-2 葉茎高さの月変化

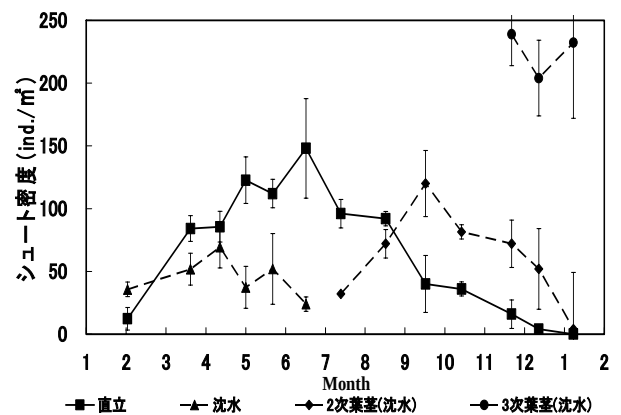


図-3 葉茎密度の月変化

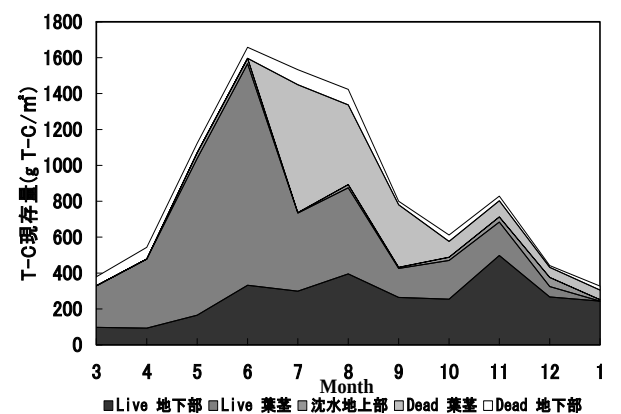


図-4 TCの現存量の月変化

図-3 は単位面積あたりの葉茎の本数、すなわち葉茎密度の変化を表している。4月から6月にかけて、沈水している葉茎が生長したことにより、直立している葉茎は6月下旬にピークを迎えた。その後、倒伏したため急激な減少が見られ、9月から10月にかけてもさらに減少した。しかし、直立している葉茎の減少に伴い、新たな2次葉茎の数が増加した。10月以降になると、直立している葉茎及び2次葉茎の倒伏後、また新たに3次葉茎の増加が見られた。なお、本観測地では種子繁殖は確認できず、2次葉茎・3次葉茎共に地下茎（HR）繁殖であった。

図-4 は炭素に関してミクリ群落内での現存量を合計して表したものである。生きている葉茎及び地下部は、それぞれ増加割合は異なるが、4月から6月にかけて増加している。ところが、倒伏後、生きている葉茎の現存量は急速に減少したにもかかわらず、生きている地下部の現存量はほとんど減少しなかった。7月から8月にかけて、生きている地下部の現存量は1つ目のピークを迎え、8月から10月にかけて2次葉茎（沈水地上部）の増加に伴い減少した。その後、生きている地下部は10月から11月にかけて増加しているが、11月以降は3次葉茎（沈水地上部）の増加に伴い減少した。

図-5 はミクリのTNC現存量の変化を表している。TNC現存量はバイオマスに大きく依存して変化しているとみられ、生きている葉茎のTNC現存量が多いことがわかる。7月にピークを迎え、ピーク後、減少が進み、それに伴い、生きている地下部のTNC現存量の増加が進んでいるのが分かる。生きている地下部のTNC現存量のピークを迎えた8月～9月以降、減少に伴い、再び、生きている葉茎のTNC現存量の増加が進み、10月～11月にかけて2度目のピークを迎えている。11月以降も同様のサイクルを繰り返しているのがわかる。

(2) 流れ場での観測

図-6 はミクリ群落内・外の土を粒径別に振り分け、粒径加積曲線を示したものである。0.250mm以下の土粒子は、ミクリ群落内・外で、それぞれ全体重量の53.1±0.3%、27.1±1.2%であり、有意な差があった（t-test, $p<0.001$ ）。また、0.063mm以下の土粒子（細粒分）はミクリ群落内では全体重量の7.4±0.7%占めているのに対し、群落外では0.4±0.5%と約15倍の値を示し有意な差があった（t-test, $p<0.001$ ）。

表-1 はミクリ群落周辺部の土の強熱減量を示したものである。ミクリ群落内の倒伏修復前・後と比較すると修復前には10.4±0.5%、倒伏後は3.2±0.2%と有意に異なり（t-test, $p<0.001$ ）、有機物量が70%近く減少するという結果になった。また、ミクリ群落内・外と比較すると、群落内の方は有機物量が多いことが分かる（t-test, $p<0.001$ ）。

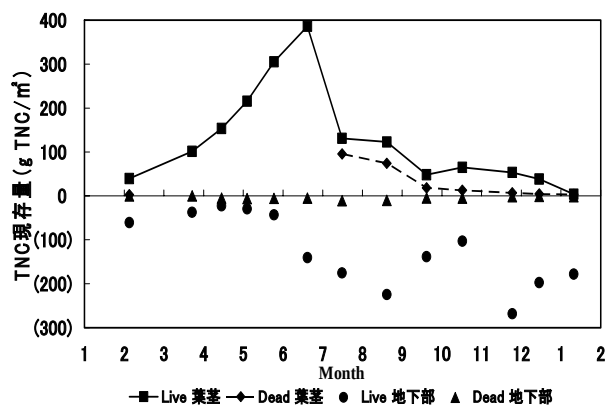


図-5 TNCの現存量の月変化

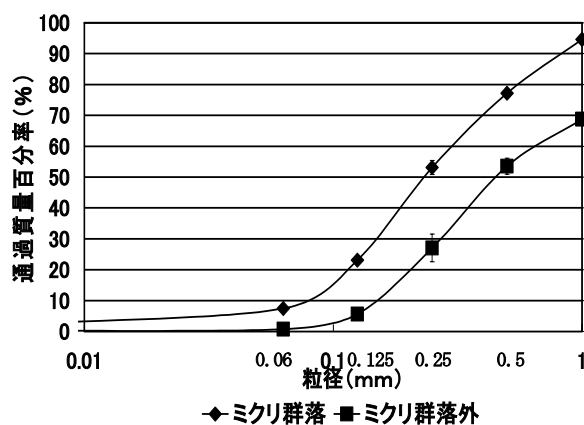


図-6 ミクリ群落周辺の土の粒径加積曲線

表-1 ミクリ群落周辺の土の強熱減量

ミクリ群落内	倒伏修復前	倒伏修復10日後
強熱減量(%)	10.42±0.49	3.23±0.18
	ミクリ群落内	ミクリ群落外
強熱減量(%)	10.42±0.49	1.52±0.18

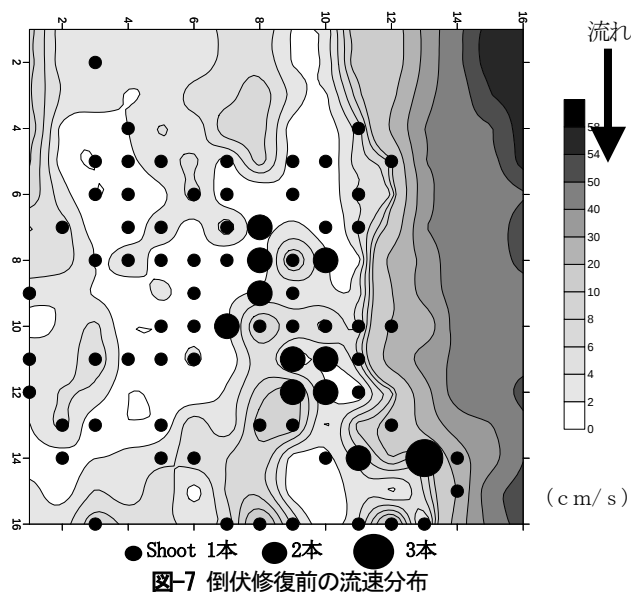


図-7 倒伏修復前の流速分布

図-7は倒伏を修復する前の葉茎分布と流速分布を示しており、図-8は倒伏を修復した後の葉茎分布と流速分布を示している。

葉茎のない場においては、倒伏修復前に比べ、修復後は流速が速くなったのに対し、葉茎が存在する場では、逆の現象が確認できた。具体的な値は、流入部の修復前・後は、それぞれ 56.5 ± 0.6 , 46.0 ± 0.0 cm/secであり、流出部の修復前・後は、それぞれ 3.2 ± 0.5 , 7.5 ± 1.3 cm/secであった。倒伏修復前・後において葉茎のない場及び葉茎が存在する場で流速に有意な差がみられた (t-test, $p < 0.001$)。

図-9、図-10はミクリ群落における葉茎分布と水深分布を示している。浅い水域と深い水域において有意な差が確認できた (t-test, $p < 0.001$)。すなわち、浅い水域には葉茎が密集しており、深くなるにしたがって葉茎は粗になっている。また、水深においても倒伏修復前・後で有意な差が確認できた (t-test, $p < 0.001$)。倒伏修復10日後、葉茎のない場においては浅くなり、葉茎が存在する場では深くなった (t-test, $p < 0.001$)。

5. 考察

(1) 滞留部での生長観測

ミクリの葉茎が生長した時期にあたる4月から6月下旬にかけて、葉茎は、その本数、高さ、バイオマスともに増加していった。一方、地下部のバイオマス、TNC現存量は減少していたことから、地下部から地上部へ物質の輸送があったと推測される。また、4月から6月にかけての地下部でのTNC現存量は減少した後増加し、T-C現存量は緩やかに増加していることから、少なからず、地上部から地下部へ物質の輸送が行われ、地下茎の構造性炭水化物への利用があったと考えられ、ヨシ等にみられる抽水植物特有の傾向を示している^{6),7)}。

6月下旬の倒伏後から8月下旬にかけて、葉茎のバイオマス、本数、TNC現存量は急速に減少したが、地下部のバイオマス、TNC現存量は逆に急増したことから、この時期には地上部から地下部への物質の輸送があったと推測される。同様な傾向はマコモにおいても見られる現象である⁸⁾。また、倒伏後、地下茎でのT-C現存量も増加していることから、葉茎の光合成による生産が行われていたと考えられる。

8月下旬から10月下旬にかけては、2次葉茎の萌芽・生長に伴い、地下茎のバイオマス、TNC現存量、T-C現存量が減少したことから、他種と比較してより多くの貯蔵物質が2次葉茎のために使われたと考えられる。また、2次及び3次葉茎の増減と地下茎のバイオマスの増減・T-C現存量の増減を比較すると、1次葉茎減少後には2次葉茎が萌芽し、その本数の増加に伴い地下茎のバ

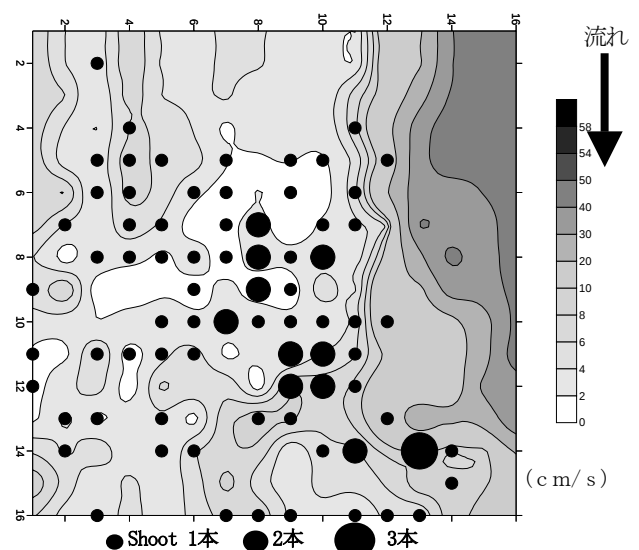


図-8 倒伏修復直後の流速分布

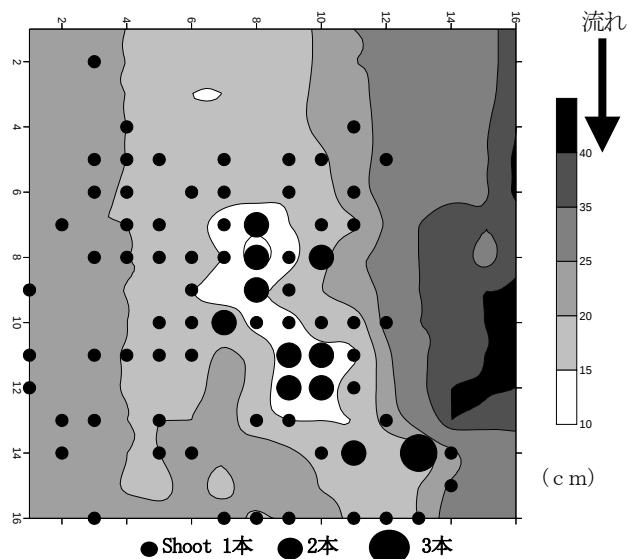


図-9 倒伏修復前の水深分布

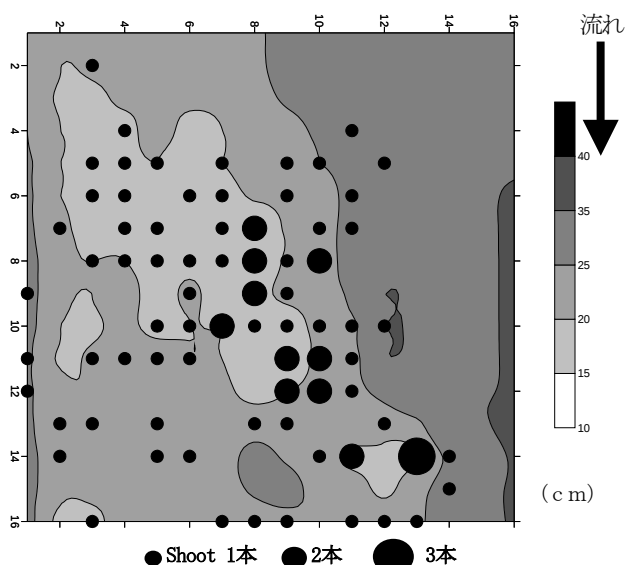


図-10 倒伏修復10日後の水深分布

イオマス及びT-C現存量が減少したが、11月から12月にかけて2次葉茎を用いて光合成を行い、地下茎は2度目のピークを迎え、その貯蔵物質を用いて3次葉茎を萌芽させたと考えられる。

特徴的な点は、その後、11月下旬にかけて地下茎のバイオマス、TNC残存量、T-C現存量が増加した点である。これは、元荒川の河川水は湧水を起源としていることから、観測区間の水温が $14.5 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ と一年を通してほぼ一定であり、沈水状態で生長した2次葉茎の光合成による生産があったものと考えられ、さらに、その生産物を3次葉茎の出芽に用いたと考えられる。その後、3次葉茎を生長させ、春先より前に小規模ながら沈水状態の葉茎で群落を形成しているものと考えられる。

(2) 群落内部における細粒土砂の堆積

従来、沈水植物群落においては細粒の土砂が堆積することが多く報告されている^{8),9)}。しかし、抽水植物における詳細な観測結果は少なくとも主要なジャーナルにおける報告はみられない⁴⁾。今回、ミクリ群落内における細粒分の割合に明確な差が確認された(t-test, $p < 0.001$)。これは、群落が倒伏を起こす事で、流速が遅くなり、それが細粒分の堆積をより促進させることを示している。こうした細粒分が堆積することは、ミクリの生育にとって極めて都合の良いことであり、ミクリは倒伏を起こすことで、ミクリ自身にとって住みよい環境を創造していると考えられる。

(3) 倒伏とミクリの生存戦略の関係

1年を通し、ミクリ群落で2度の倒伏がみられた。6月中旬に起きた1次葉茎の倒伏後および10月下旬に起きた2次葉茎の倒伏後に、次の世代の葉茎が萌芽している。

1つの要因には倒伏による流速の変化が考えられる。本実験により、ミクリ群落が倒伏を起こす事で、流速が遅くなり、それが細粒分の堆積をより促進させることも確認されたことから、ミクリ群落が倒伏することで流速が抑制され、粒径の小さい土が堆積し地下茎が生長しやすい環境が整ったためと思われる。

また、1つに1次葉茎の倒伏後、生きている葉茎のバイオマス及び本数は急激に減少したにもかかわらず、枯死した葉茎のバイオマスは急激には増加しなかった。これは、葉茎下部が空気を豊富に含んでおり、スポンジのように水を吸収しやすい構造をしているため、分解速度が速かったと考えられる。つまり、倒伏により葉茎密度を減少させ、光合成ができる環境を整え、2次葉茎の萌芽・生長に繋がったと考えられる。これは、生きている地下部のバイオマスの増加は、倒伏直後は伸び悩んだが、その後には1つ目のピークを迎えた(図-1)ことから示唆できる。さらに、倒伏を起こすことで、光環境を独占し、他種の進入を阻んでいると考えられる。

2次葉茎倒伏後、3次葉茎が萌芽・生長し、春先より前に小規模ながら沈水状態の葉茎で群落を形成している。観測地である熊谷市は冬場に日照条件が良く、元荒川の河川水は湧水を起源としているため、冬場は外気より水温が高いため、ある程度葉茎を形成していても群落全体として光合成生産と呼吸との均衡が保たれているものと思われる。この行動は、他種よりも先に水面から出て寡占空間を形成して光環境を有利なものとし、群落を安定化させる生存戦略のひとつであると思われる。

以上のことから、倒伏を起こすことで次の世代のために周りを自身にとって繁殖しやすい環境に形成し、確実に光合成を行うことで効率良く2次葉茎や3次葉茎の生長を促し、常に群落を維持し続ける生活史及び形態を持っている種であることがわかった。

参考文献

- 1) Sand-Jensen, K. (2005) Aquatic plants are open flexible structures- a reply to Sukhodolov, *Freshwater Biology*, 50, 196-198.
- 2) Sand-Jensen K. (2003) Drag and reconfiguration of freshwater macrophytes. *Freshwater Biology*, 48, 271-283
- 3) Power P. (1996) Effects of current velocity and substrate composition on growth of Texas wild rice (*Zizania texana*). *Aquatic Botany*, 55, 199-204.
- 4) T. Asaeda, T. Fujino, & J. Manatunge (2005) Morphological adaptations of emergent plants to water flow: a case study with *Typha angustifolia*, *Zizania latifolia* and *Phragmites australis*, *Freshwater Biology* (in press).
- 5) 那須義和, 水の分析 (第4版) 182, 253, 269 (株)化学同人(1966)
- 6) Sierup, H.H. (1978) Biomass and primary production in a *Phragmites communis* Trin swamp in North Jutland, Denmark. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 20, 94-99.
- 7) Asaeda, T., Manatunge, J., Roberts, J., Hai, D.H. (2005) Seasonal dynamics of resource translocation between the aboveground organs and age-specific rhizome segments of *Phragmites australis*, *Environmental & Experimental Botany*, (in press).
- 8) Asaeda, T., Than, H., N, Manatunge, J. & Fujino, T. (2004) The effects of flowing water and organic matter on the spatial distribution of submerged macrophytes, *J. Freshwater Ecology*, 19, 401-405.
- 9) Sand-Jensen, K. (1998) Influence of submerged macrophytes on sediment composition and near-bed flow in lowland stream, *Freshwater Biology*, 39, 663-679.

(2005. 9. 30受付)