

元荒川上流部のミクリ群落の生態及び機能と流水に与える影響の調査

要旨

ミクリは、近年河川工事等で急激に減少し、各地の絶滅危惧種の中に名を連ねてきている。元荒川上流は、埼玉県水産試験場からの豊富な放流水を下に、天然記念物ムサシトミヨの生息地として知られ、その下流域には大きなミクリ群落形成している。しかし、10年程前にはこうした大規模な群落は見られず、近年急速に発達した。一方、発達したミクリ群落が河道を覆うことから、河川の流れを圧迫する懸念から毎年刈り取りが行われ、一時は長い区間に渡って発達した群落は徐々に減少しつつある。このことは上流に生息するムサシトミヨにも少なからず影響があることが懸念され、また、河川水質にも影響があることが予想される。

本研究は、ミクリ群落の生態及び機能と流水に与える影響の調査を行った。ミクリは倒伏や沈水状態というように、群落形態を変化させ周辺の流況を変化させることで、群落内に栄養塩を豊富に含んだ有機土砂の堆積を促している。特に倒伏後の土壌中の栄養塩濃度の増加は、ミクリの分解速度が速いことと関連し、観測地より上流のミクリの葉茎が枯死したものが観測地に堆積することに起因していることが考えられる。さらに、ミクリは倒伏を起こすことで次世代葉茎の生長の際に優位な環境を形成していることが分かった。河川の上流部であることから、外的要因に対して流量が比較的安定的であるため、大規模な出水が生じることはなくミクリ由来の有機土壌が下流側に堆積しやすく、それらが群落を拡大させるための新たな基盤を形成する際に役立っている。元荒川は湧水起源であることから水温が年間を通して $14.5 \pm 3.5^\circ\text{C}$ と一定であり、冬場は外気よりも暖かく沈水状態で越冬出来る環境である。ミクリの発達の原因として、ここでは長い日照時間と水産試験場からの湧水のために冬でも水温が高く、長い沈水期を持つことがミクリにとって極めて良好な環境であることがわかった。

このように、元荒川上流域のミクリ群落は、重要な役割を果たしていることが予想されるものの、都市化された環境の中でその取り扱いについては河川閉塞に与える影響などと一緒に考えられなければならない問題である。

目 次

1. はじめに（研究の目的）	1
2. 調査	2
2. 1 調査場所	
2. 2 調査方法	
2. 2. 1 生長観測	
2. 2. 2 分解実験	
2. 2. 3 流水部の土壌堆積に関する観測	
2. 3 観測期間中の気象	
3. 結果	6
3. 1 ミクリの生長観測	
3. 1. 1 葉茎長さ	
3. 1. 2 葉茎密度	
3. 1. 3 乾燥重量の変化	
3. 1. 4 分解実験	
3. 2 流水部のミクリ群落における土壌堆積に関する結果	
3. 2. 1 沈水葉茎の抽水化、抽水葉茎の倒伏による土壌表面の変化および流速分布の変化	
3. 2. 2 倒伏を修復したときの流速・水深の変化	
3. 2. 3 観測期間中の流況の変化	
3. 2. 4 土壌の有機物量および栄養塩濃度の変化とミクリの栄養塩現存量の変化	
4. 考察	28
4. 1 各年のバイオマス、葉茎密度、葉茎長さの比較	
4. 2 ミクリの分解特性	
4. 3 ミクリの形態とバイオマスの関係	
4. 4 土壌の堆積、侵食速度と流速の関係	
4. 5 流水部におけるミクリの地上部バイオマスと群落内・外の流速の関係	
4. 6 流水部の群落周辺における流況の変化とミクリの生長との関係	
4. 7 流水部の群落周辺における流況の変化と群落内の土壌堆積の関係	
4. 8 ミクリの生長と流水部の流況の変化及びミクリ群落内の土壌堆積の関係	
4. 9 ミクリ群落により捕捉される有機物及び栄養塩量	
4. 10 有機土壌堆積による生長促進への影響	
4. 11 植物間の生息環境の比較	
5. まとめ	46
参考文献	47

1. はじめに（研究の目的）

ミクリは、かつては日本中いたる所に見られた抽水植物であるが、近年河川工事等で急激に減少し、各地の絶滅危惧種の中に名を連ねてきている。埼玉県においてもこれは例外ではなく、大きな問題になりつつある。さて、元荒川上流は、埼玉県水産試験場からの豊富な放流水を下に、天然記念物ムサシトミヨの生息地として知られ、その下流域には大きなミクリ群落形成している。しかし、10年程前にはこうした大規模な群落は見られず、近年急速に発達したものと考えられる。この原因を調査するうち、ここでは長い日照時間と水産試験場からの湧水のために冬でも水温が高く、長い沈水期をもつこのミクリにとって極めて良好な環境が作られていること、これが、ミクリ群落が急速に発達した原因であると考えている。ところが、ミクリ群落が河道を覆うことから、河川の流れを圧迫する懸念から毎年刈り取りが行われ、一時は長い区間に渡って発達した群落が徐々に減少しつつある。また、試験場の閉鎖と共に湧水もなくなると考えられる。このことは上流に生息するムサシトミヨにも少なからず影響があることが懸念され、また、河川水質にも影響があることが予想される。このように、元荒川上流域のミクリ群落は、重要な役割を果たしていることが予想されるものの、都市化された環境の中でその取り扱いについては河川閉塞に与える影響などと一緒に考えられなければならない問題である。

以上のようなことから、以下のようなことを本研究の目的とする。

- 1) ミクリの生活史を定量的に把握、ミクリ群落がこの区域に発達した原因を明確にする。また、水産試験場からの湧水の影響を明確にする。
 - 2) ミクリ群落が存在することによる河川閉塞の程度を計測、さらにこれが河床の構成材料に与える影響を把握する。
- また、それによってミクリ群落が河川水質に与える影響を把握する。

2. 調査

2. 1 調査場所

観測地は埼玉県熊谷市久下-佐谷田間を流れる元荒川上流部 (N36° 07' 51" , E139° 24' 02" , **写真 2-1**) 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過して中川に合流する、全長約 60 km の 1 級河川である。地下水の湧水を起源とする最上流部では、日本で唯一存在が確認され、貴重種として埼玉県指定天然記念物に位置づけられている、ムサシトミヨというトゲウオ科の魚がミクリ群落を隠れ場や休息の場として利用しながら生息している。

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、セキショウモなどが生息している。対象区間の河幅は約 4.5 m で、河床は観測地の上流から枯葉や木の枝などが運ばれてくる他、生活排水が流れ込んでいるため、有機質に富む泥状の土が 15~30 cm ほど堆積し、さらに深い部分では砂や礫質が層を成していた。

上流の湛水部(流速:夏季 3.7 ± 1.5 cm/s(夏季) 16.1 ± 4.8 cm/s(冬季), 年間平均水深: 60.5 ± 4.5 cm, **写真 2-2**) とそこから下流約 1km の流速の速い地点 (以下、流水部とする。ミクリ群落周辺部の流速: 44.1 ± 8.3 cm/s , 年間平均水深 22.0 ± 7.93 cm, **写真 2-3**) でミクリが優占していたため、ミクリ群落の観測を行った。



写真 2-1 観測地の航空写真



写真 2-2 湛水部



写真 2-3 流水部

2. 2 調査方法

2. 2. 1 生長観測

生長観測は湛水部では2004年2月から2006年11月まで、流水部では2005年4月から2006年11月まで月1回程度の頻度で観測を行なった。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、方形枠を用いて0.125 m² (0.25m×0.50m) となる範囲を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なるべく崩さないように試料を塊状に取り出してビニール袋に入れた。また、河川の表層水を1 lの容量でPPボトルに採取したほか、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 KEISOKU SF-5511)を用いて測定した。底質の試料は観測を行うたびに、湛水部についてはミクリ群落内の表層土を流水部についてはミクリ群落内とミクリ群落の無い比較的流速が速い箇所での河床の表層土を採取した。なお、予備観測として2006年12月15日に、深さごとの土壌中の栄養塩濃度を求めるために円柱状にミクリ群落内の土壌を採取した。

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。持ち帰った植物試料は、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、葉茎の色や損傷状況から判断して生きているもの(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色や触った感触などから損傷状況を判断して、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(Stem Base 以下、SBとする。)とSBの側方に伸びている地下茎(Horizontal Rhizome 以下、HRとする。)に分類し、SBや地下茎から発生する根(Root)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、ミルを用いて破砕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、T-C、T-N及びT-Pについて濃度を測定した。T-C及びT-NはCHNコーダー(YANAKO MT-5)を使用し、T-Pは酸化分解及びモリブデン青吸光光度法によって定量した¹⁾。

底質の各試料に関しては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、乾燥密度、湿潤密度、粒径加積曲線、T-C含有率、T-N含有率、T-P含有率、BAP(Bioavailable Phosphorus)含有率、及び強熱減量を測定した。T-C、T-N、及びT-Pは植物体と同様な方法で、BAPは炭酸水素ナトリウム分解によるモリブデン青吸光光度法²⁾を、強熱減量は温度600°C、強熱時間30分に設定したマッフル炉(EYLA TMF-2200)を使用し定量した。なお、これらの諸項目に対して有意な差があるかどうかを状況に応じて比較する際に検定ソフト(Microsoft EXCEL-2003)を使用し、t検定を行い確認した。水質はT-N、T-P、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-Pの各濃度を、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¹⁾。

2. 2. 2 分解実験

分解実験では、まず、2004年9月に生長観測区間外から試料を採取した。葉茎の下部は、葉茎の上部に比べ、表面の葉緑体色素の層が薄く、内部の海綿体組織が大きいという構造の違いが見られたため、葉茎上部、葉茎下部、地下部の3つに分類した。試料は、切り口から養分が染み出ないように切り口をシリコンボンドで塞いだ後、各50個をそれぞれリターバッグ（目の大きさが1辺1mmのポリエチレン製のメッシュバッグ）に入れ、採取翌日に生長観測区間の下流側に固定した。また、自然状態と同条件にするために、葉茎上部は水面に浮いた状態、葉茎下部は河床に沈んだ状態、地下部は河床に埋めた状態で固定した。

試料回収は固定した日を実験開始日とし、3日後、10日後、20日後、30日後、60日後、90日後、120日後と、2005年1月までの期間に計8回行い、毎回、各部位ごとに5袋ずつを回収した。回収した試料は、車で実験室まで速やかに搬送し、リターバッグから取り出した後、土など汚れを洗い落とした。その後、それらの試料は、85℃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、それぞれの試料の乾燥重量を測定し、分解による重量残存率を求めた。

2. 2. 3 流水部の土壌堆積に関する観測

流水部のミクリ群落の周辺部において任意で1.6m四方を1箇所選定し、メッシュ状に10cm間隔で、葉茎の本数、流速、水深を測定し、それぞれの分布を求めた。そして、得られた葉茎分布から群落外と群落内の境界線となる線を引き、葉茎がある側を群落内と葉茎がない側を群落外と定義した（写真2-4）。

さらに、観測エリアを通る場所において河川の横断方向に10cm間隔で水深と水深5cmの流速を測定し、元荒川の流量の概算値、観測点エリアを通過する流量、及びそれらの比（以下、流量比とする。）、観測点エリア内における群落内・外の単位幅流量、及びそれらの比（以下、単位幅流量比）を求めた。そして、また、水深分布から群落内・外に堆積した土壌の高さ、葉茎分布から群落内の葉茎密度を求めた。なお、流速、水深、流量、流量比の変化に対して有意な差があるかどうかを検定ソフト（Microsoft EXCEL-2003）を使用し、t検定を行い確認した。

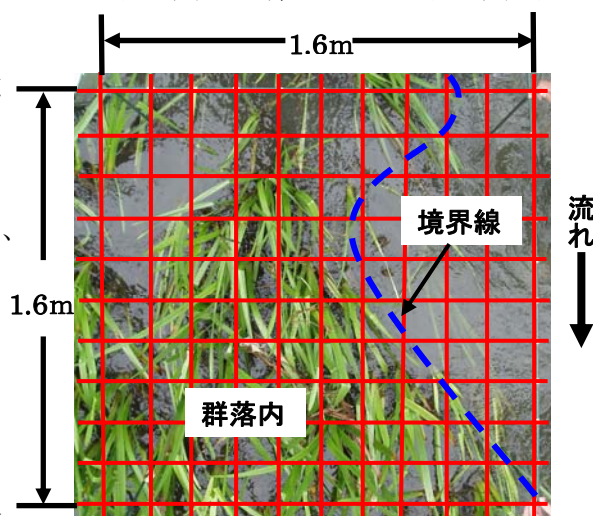


写真2-4 10cm間隔メッシュ

さらに、この結果をもとに群落内の単位面積あたりに堆積した土壌の体積を求め、これに堆積した土壌の栄養塩濃度、湿潤密度及び乾燥密度の分析結果を加味して群落内に堆積する土壌によって流入する窒素及びリンの概算値を求めた。なお、侵食した場合には観測を行った日を基準にして、1つ前に観測した時に採取した土壌を侵食した土壌と仮定し、堆積した時の計算方法と同様な方法で系外に流出する窒素及びリンの概算値を求めた。

観測期間について2005年9月から2006年11月まで計12回行った。なお、2005年9月の観測についてはミクリ群落の倒伏が生じており、倒伏による土壌堆積の影響を調べるために流速は倒伏が生じているミクリについて倒伏を人為的に修復する前後で計2回測定した。そして、水深については倒伏を人為的に修復する前に1回測定し、さらに倒伏を人為的に修復してから10日後

に1回測定した。また、流水部での観測地点ではミクリの他に、セキショウモ、ヨシ、クレソンが他の植物と比較して群落面積が大きかったので2006年1月25日に予備観測として、ミクリ、セキショウモ、ヨシ、クレソンの群落内の水深5cmの平均流速、平均水深を計測した。また、それぞれの植物の群落内の表層土を採取し、表層土の粒径加積曲線、T-C含有率、T-N含有率を測定した。

2.3 観測期間中の気象

図2-1は熊谷市の気象台測候所で観測された、2004年2月1日から2006年11月30日までの月間日照時間と月降水量の推移を表したものである。2004年、2005年及び2006年のそれぞれの4月1日から7月31日までの合計の日照時間を比較すると2004年は約795時間、2005年は666時間、2006年は440時間となり、2006年は日照時間が極端に少なかった。

図2-2に熊谷市の気象台測候所で観測された、2005年9月1日から2006年10月31日までの日降水量と時間降水量を示す。日降水量で30mm以上になった日についてまとめると、2005年9月5日に日間降水量42.5mm（時間降水量は20mm）、2006年5月20日に日間降水量53.5mm（時間降水量は50mm）、2006年6月16日に日間降水量40mm（最大1時間降水量は11.5mm）、2006年7月17日に日降水量50.5mm（最大1時間降水量は17.5mm）、2006年7月18日に日間降水量38mm（最大1時間降水量は5mm）、2006年7月19日に日間降水量40mm（時間降水量は6mm）、2006年7月19日に日降水量40mm（時間降水量は6mm）、2006年8月17日に日降水量43mm（時間降水量は30mm）、2006年9月26日に日間降水量36.5mm（時間降水量は10mm）、2006年9月26日に日間降水量36.5mm（時間降水量は10mm）、2006年10月6日に日間降水量139.5mm（時間降水量は13mm）、2006年10月24日に日間降水量139.5mm（時間降水量は9mm）となっている。

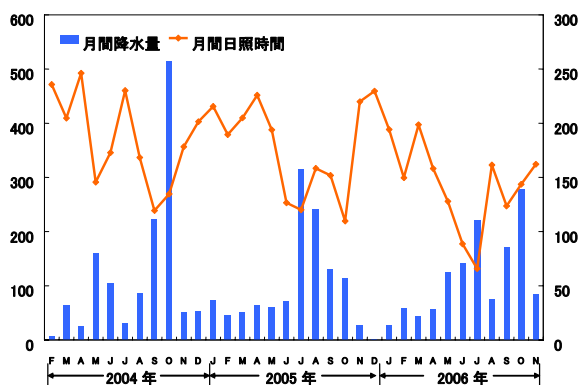


図2-1 観測期間中の月降水量と月間日照時間

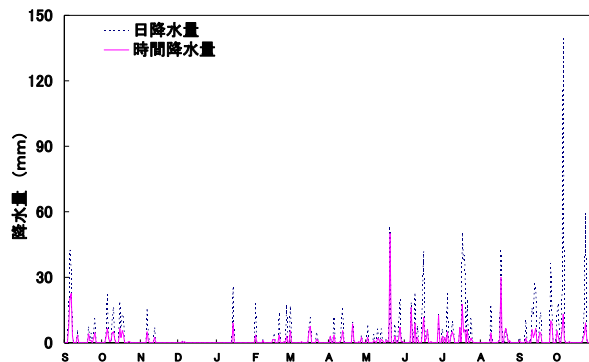


図2-2 日降水量と時間降水量

3. 観測結果

3. 1 ミクリの生長観測

ミクリは生活史の中で、沈水状態にある時期と、抽水状態にある時期を有する。冬季は沈水状態で越冬し、春になって抽水状態に移行する。ただし、本研究で明らかになったこととして、ほとんどの葉茎が抽水状態に移行した後、一旦、抽水葉茎が倒伏、その後、それまで沈水状態にあった葉茎が抽水状態に移行することが確認された。

3. 1. 1 葉茎長さ

図 3-1 は湛水部および流水部の各観測地点の生きている葉茎 1 本あたりの長さの変化を表している。ここでは、抽水葉茎は春季に抽水状態にあった葉茎を 1 次抽水葉茎と定義し、夏季に沈水状態から抽水状態に移行したものを抽水 2 次、冬季に沈水状態から抽水状態に移行した葉茎を 3 次抽水と定義している。ここでは、2005 年の結果を中心に、他の年と比較をしながらまとめる。

沈水葉茎については春季に沈水状態だったものを 1 次沈水葉茎と定義し、以降、新しい沈水葉茎が発芽するのに応じて 2 次、3 次と定義した。葉茎高さの年間を通してのサイクルは観測を開始してから毎年同じであるため、ここでは 2005 年 1 月から 2006 年 1 月までの葉茎長さについての結果をまとめる。

a) 湛水部

2005 年 1 月 17 日から 2005 年 3 月 25 日の期間においては、ミクリは沈水状態で越冬することが確認された。しかし、その期間にも生長を続け、沈水葉茎の長さは約 $20.0 \pm 9.56\text{cm}$ から $45.6 \pm 6.21\text{cm}$ になった。2005 年 3 月 25 日時点で沈水型だった葉茎は抽水型となり急激に伸びて、葉茎長さは、2005 年 7 月 30 日には約 $178 \pm 24.1\text{cm}$ となった。なお、他の年の冬季から夏季における葉茎の長さの推移は、まず 2004 年の抽水 1 次葉茎は 2004 年 2 月 5 日時点で $58.6 \pm 5.15\text{cm}$ であったものが、2004 年 6 月 23 日には 25.6cm となり、同年の沈水 1 次葉茎は 2004 年 2 月 5 日時点で $56.3 \pm 14.2\text{cm}$ であったものが、2004 年 6 月 23 日には $116 \pm 29.2\text{cm}$ となった。次に、2006 年の抽水 1 次葉茎は 2006 年 3 月 31 日時点で $82.9 \pm 11.7\text{cm}$ であったのが、2006 年 6 月 8 日には $199 \pm 20.8\text{cm}$ となり、同年の沈水 1 次葉茎は 2006 年 3 月 31 日時点で $31.2 \pm 14.9\text{cm}$ であったのが、2006 年 6 月 8 日には $68.6 \pm 47.6\text{cm}$ となった。

2005 年 7 月 30 日に群落の倒伏が確認され、8 月下旬まで倒伏状態は続いた。なお、他の年の冬季から夏季における葉茎の長さの推移は、まず 2004 年の抽水 1 次葉茎は 2004 年 2 月 5 日時点で $58.6 \pm 5.15\text{cm}$ であったものが、2004 年 6 月 23 日には 25.6cm となり、同年の沈水 1 次葉茎は 2004 年 2 月 5 日時点で $56.3 \pm 14.2\text{cm}$ であったものが、2004 年 6 月 23 日には $116 \pm 29.2\text{cm}$ となった。次に、2006 年の抽水 1 次葉茎は 2006 年 3 月 31 日時点で $82.9 \pm 11.7\text{cm}$ であったものが、2006 年 6 月 8 日には $199 \pm 20.8\text{cm}$ となり、同年の沈水 1 次葉茎は 2006 年 3 月 31 日時点で $31.2 \pm 14.9\text{cm}$ であったものが、2006 年 6 月 8 日には $68.6 \pm 47.6\text{cm}$ となった。なお、2004 年、2006 年の夏季に倒伏が確認された月日を見てみると、2004 年 6 月 23 日、2006 年 6 月 8 日に群落の倒伏が確認されている。また、各年とも倒伏前後に沈水 2 次葉茎の発芽が確認されている。

夏季の倒伏後、それまで沈水 1 次葉茎だったものが抽水 2 次葉茎となった。2005 年 7 月 30 日時点で沈水 1 次葉茎の長さは約 $86.1 \pm 21.4\text{cm}$ であったが、2005 年 8 月 30 日には抽水 2 次葉茎と

なり、その長さは約 $141 \pm 19.5 \text{ cm}$ となった。なお、他の年の倒伏後の抽水 2 次葉茎の長さはまず 2004 年では 7 月 20 日時点で $233 \pm 20.7 \text{ cm}$ となっており、2006 年では、8 月 3 日時点で $158 \pm 17.2 \text{ cm}$ となっている。

2005 年 9 月以降、抽水 2 次葉茎の長さについて見てみると、次第に減少していき、2005 年 12 月 5 日には約 $80.7 \pm 8.66 \text{ cm}$ となり年間を通して 2 回目の倒伏が確認された。なお、2004 年の冬季に倒伏が確認された月日を見てみると、2004 年 11 月 30 日に群落の倒伏が確認されており、その時点の抽水 2 次葉茎の長さは $125 \pm 0.00 \text{ cm}$ となっている。

2005 年 12 月 5 日から 2006 年 1 月 10 日の期間において、沈水 2 次葉茎だった一部の葉茎が抽水 3 次葉茎となった。2005 年 12 月 5 日時点で沈水 2 次葉茎の長さは約 $51.0 \pm 8.66 \text{ cm}$ であったものが、2006 年 1 月 10 日には抽水葉茎 3 次葉茎となっており、その長さは約 $80.7 \pm 0.00 \text{ cm}$ となった。なお、2004 年の倒伏確認時の 11 月 30 日時点で沈水 2 次葉茎の長さは約 $48.8 \pm 9.41 \text{ cm}$ であったものが、2004 年 12 月 21 日にはこの 1 部の葉茎が抽水 3 次葉茎となり、その長さは $95.0 \pm 0.00 \text{ cm}$ となった。また、各年、各地点で 2 回目の群落の倒伏が確認された前後の期間に沈水 3 次葉茎の発芽が確認されている。

b) 流水部

2005 年 4 月 25 日時点で抽水 1 次葉茎の長さは約 $120 \pm 18.3 \text{ cm}$ であったものが、2005 年 7 月 30 日には約 $174 \pm 18.3 \text{ cm}$ となり、2005 年 8 月 6 日に倒伏が確認された。流水部では 2006 年 6 月 8 日に倒伏が確認されている。なお、他の年の冬季から夏季における葉茎の長さの推移は、2006 年の抽水 1 次葉茎は 2006 年 3 月 31 日時点で $83.7 \pm 11.5 \text{ cm}$ であったものが、2006 年 6 月 8 日には $190 \pm 15.6 \text{ cm}$ となり、同年の沈水 1 次葉茎は 2006 年 3 月 31 日時点で $53.3 \pm 15.7 \text{ cm}$ であったものが、2006 年 6 月 8 日には $71.5 \pm 61.0 \text{ cm}$ となった。

2005 年 8 月 30 日時点で沈水 1 次葉茎の長さは約 $66.8 \pm 27.2 \text{ cm}$ であったものが、2005 年 9 月 15 日には抽水 2 次葉茎となり、その長さは平均 $109 \pm 13.7 \text{ cm}$ となった。なお、2006 年の倒伏後の抽水 2 次葉茎の長さは $147 \pm 19.4 \text{ cm}$ となっている。また、各年とも倒伏前後に沈水 2 次葉茎の発芽が確認されている。

その後、抽水葉茎の長さはそれほど変化せず、2005 年 12 月 5 日時点で抽水 2 次葉茎の長さは約 $112 \pm 22.5 \text{ cm}$ となり、年間を通して 2 回目の倒伏が確認された。そして、2005 年 12 月 5 日時点で沈水 2 次葉茎の長さは約 $42.8 \pm 0.30 \text{ cm}$ であったものが、2006 年 1 月 10 日には抽水葉茎 3 次葉茎となり、その長さは約 $76.3 \pm 0.00 \text{ cm}$ となった。

3. 1. 2 葉茎密度

図 3-2 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。ここでは全観測期間についての結果をまとめる。

a) 湛水部

2004 年 2 月 5 日から 2004 年 5 月 7 日の期間、抽水 1 次葉茎は大幅に増加し、2004 年 2 月 5 日時点で約 $12 \pm 9 \text{ 本/m}^2$ から 2004 年 5 月 7 日には約 $123 \pm 19 \text{ 本/m}^2$ と増加のピークを迎えた。その後、倒伏が確認され、抽水 1 次葉茎の葉茎密度は減少し、2004 年 6 月 23 日で約 $98 \pm 29 \text{ 本/m}^2$ となった。この期間、沈水 1 次葉茎は 2004 年 2 月 5 日に約 $36 \pm 6 \text{ 本/m}^2$ 、2004 年 4 月 17 日に約 $36 \pm 6 \text{ 本/m}^2$ であったものが、2004 年 7 月 20 日には約 $32 \pm 0 \text{ 本/m}^2$ となった。

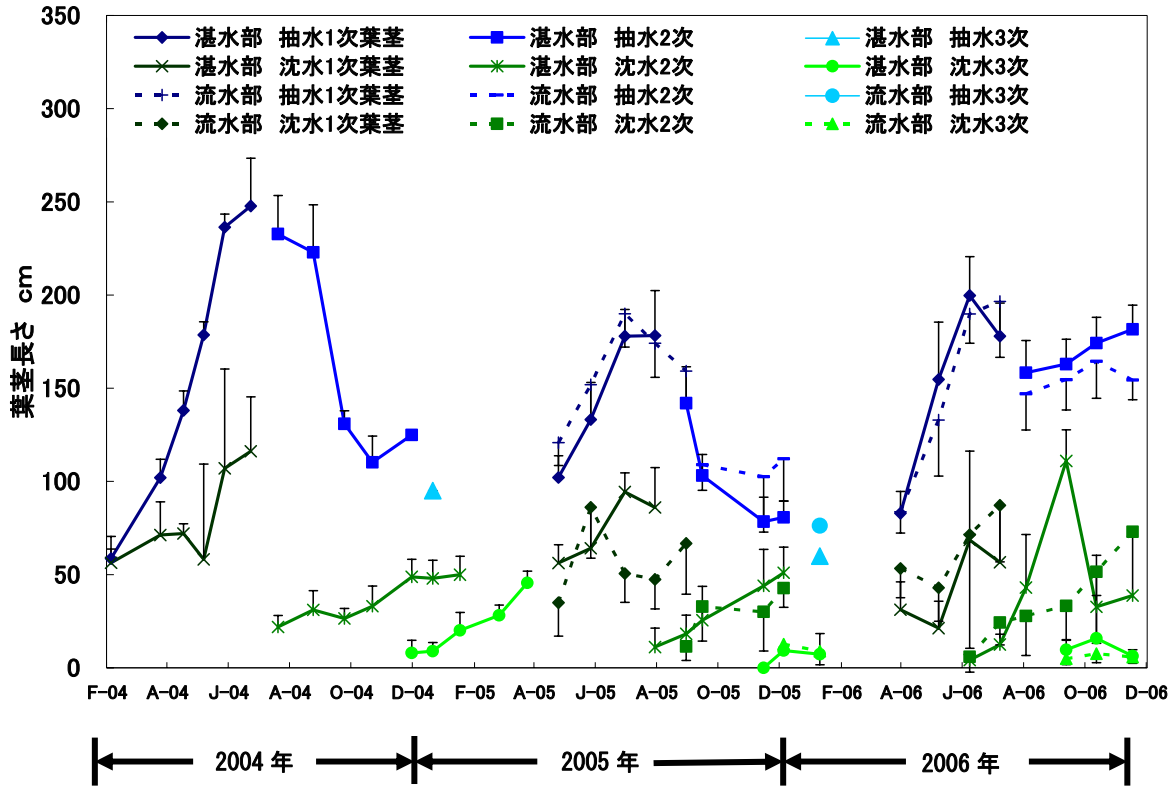


図 3-1 各地点の葉茎長さの月変化

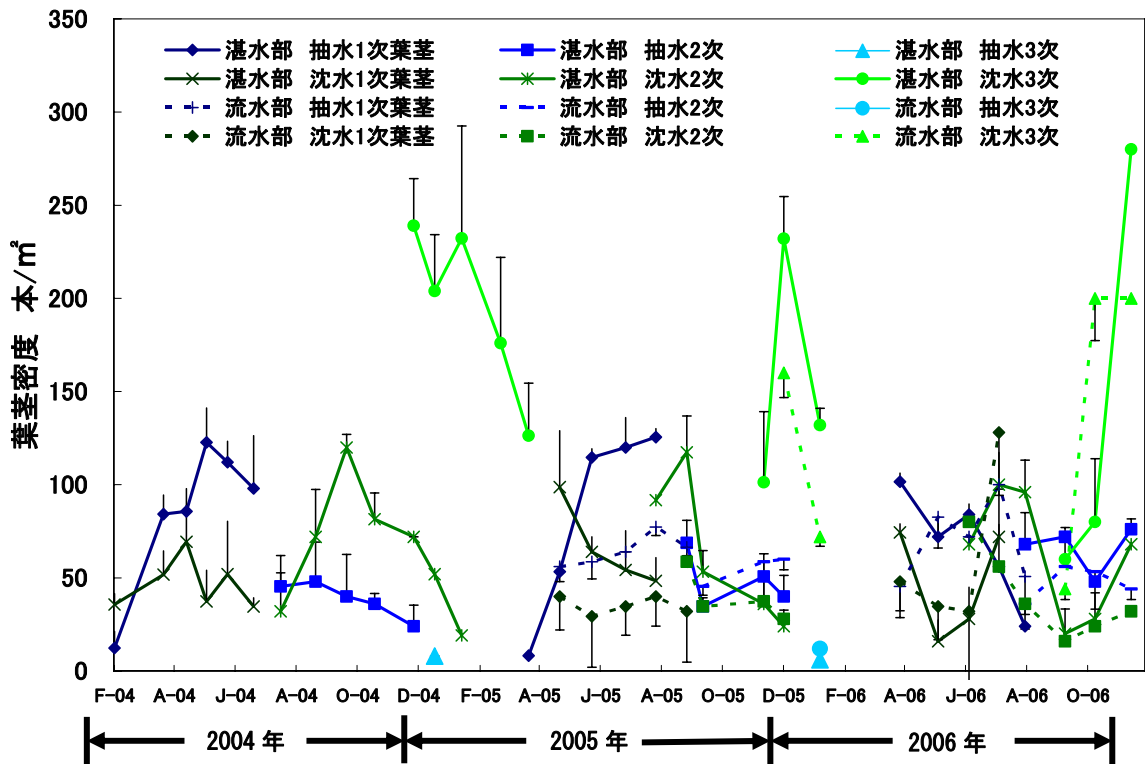


図 3-2 各地点の葉茎密度の変化

抽水2次葉茎は2004年8月24日から11月30日の期間にかけて緩やかな減少傾向をみせ、2004年8月24日の 48 ± 22 本/㎡であったものが、11月30日の 24 ± 12 本/㎡となった。沈水2次葉茎は2004年8月24日に 48 ± 22 本/㎡であり、10月22日には 36 ± 6 本/㎡とピークを迎え、以降、減少し、11月30日時点では 24 ± 12 本/㎡となった。2005年1月17日から3月25日の期間において、沈水3次葉茎の密度は 232 ± 64 本/㎡であったものが 128 ± 29 本/㎡となり次第に減少していった。2005年4月25日から1回目の倒伏が起きた7月30日の期間において、抽水1次葉茎は 54 ± 5 本/㎡から 126 ± 5 本/㎡まで増加した。さらに、同期間の沈水1次葉茎密度の変化について見てみると、 99 ± 34 本/㎡であったものが 49 ± 13 本/㎡となり減少した。

2005年8月30日から年間を通じて2回目の倒伏が確認された12月5日の期間において、まず抽水2次葉茎について見てみると、2005年8月30日時点で 69 ± 12 本/㎡をピークに増減を繰り返していき、12月5日には 40 ± 12 本/㎡まで減少した。次に、同期間の沈水2次葉茎について見てみると、8月30日の時点で約 118 ± 13 本/㎡をピークに次第に減少していき12月5日には 24 ± 14 本/㎡となった。2005年12月5日から2006年1月10日の期間において、沈水3次葉茎については 232 ± 23 本/㎡であったものが 132 ± 9 本/㎡まで減少した。抽水3次葉茎については2006年1月10日の時点で 6.0 ± 0 本となっていた。2006年3月31日から8月3日の期間、抽水1次葉茎は 102 ± 5 本/㎡であったものが 24 ± 0 本/㎡まで減少した。そして、沈水1次葉茎は、3月31日に 75 ± 5 本/㎡、5月8日に 18 ± 12 本/㎡、7月9日に 72 ± 12 本/㎡となった。

抽水2次葉茎は2006年8月3日時点で 68 ± 17 本/㎡であったものが、その後、増減を繰り返しながら、11月17日時点で 76 ± 6 本/㎡となり増加した。なお、沈水2次葉茎については、2006年7月9日で 100 ± 63 本/㎡、9月12日で 20 ± 6 本/㎡と減少し、11月17日には 68 ± 6 本/㎡と増加した。沈水3次葉茎は2006年9月12日時点で 60 ± 17 本/㎡から11月17日には 280 ± 0 本/㎡と大きく増加した。

b) 流水部

2005年4月25日から1回目の倒伏が起きた7月30日の期間において、抽水1次葉茎は約 54 ± 5 本/㎡であったものが約 126 ± 5 本/㎡となり増加した。さらに、同期間の沈水1次葉茎密度の変化について見てみると、約 40 ± 8 本/㎡から約 40 ± 8 本/㎡と、この間多少の増減を繰り返しながら全体としては変わらない傾向にあった。

2005年8月30日から年間を通じて2回目の倒伏が確認された12月5日の期間において、抽水2次葉茎について見てみると9月15日時点で 46 ± 5 本/㎡をピークに増減を繰り返しながら12月中旬には 60 ± 6 本/㎡となった。そして、同期間の沈水2次葉茎について見てみると、9月15日時点で約 59 ± 5 本/㎡をピークに12月5日には 28 ± 4 本/㎡まで減少した。

2006年3月31日から8月3日の期間、抽水1次葉茎は3月31日において 46 ± 17 本/㎡、7月9日で 100 ± 6 本/㎡、8月3日で 51 ± 29 本/㎡と、この期間増加減少を繰り返した。なお、同期間の沈水1次葉茎は、6月8日の 32 ± 12 本/㎡から7月9日の 128 ± 23 本/㎡と大幅に増加した。抽水2次葉茎は8月3日時点で 36 ± 6 本/㎡であったものが、その後、増加傾向を示して、11月17日時点で 44 ± 6 本/㎡となった。そして、沈水2次葉茎は6月8日時点で 80 ± 0 本/㎡であったものが、9月12日で 16 ± 0 本/㎡と減少し、11月17日では 32 ± 12 本/㎡と増加した。また、沈水3次葉茎は9月12日に 44 ± 6 本/㎡から、11月17日に 200 ± 12 本/㎡と大きく増加傾向を示した。

3. 1. 3 乾燥重量の変化

図3-3は湛水部、流水部それぞれの生きている地上部と地下部のバイオマスの月変化を、図3-4は湛水部、流水部それぞれの枯死した地上部と地下部のバイオマスの月変化を表している。葉茎長さと同様に、2005年の結果を中心に他の年と比較しながら結果をまとめる。

a) 湛水部

生きている地上部バイオマスは2005年1月17日で $79.4 \pm 27.3 \text{ gD.W./m}^2$ であったものが、倒伏が確認された7月30日には $3620 \pm 589 \text{ gD.W./m}^2$ と年間を通じてのピークとなった。なお、他の年においては2004年6月23日に $3310 \pm 356 \text{ gD.W./m}^2$ 、2006年6月8日に $966 \pm 156 \text{ gD.W./m}^2$ となっている。地下部バイオマスについては、2005年6月30日に $1270 \pm 303 \text{ gD.W./m}^2$ と1回目のピークを迎えている。なお、他の年において地下部バイオマスの1回目のピークは2004年8月24日に $1030 \pm 200 \text{ gD.W./m}^2$ 、9月12日に $479 \pm 130 \text{ gD.W./m}^2$ となっている。

枯死した地上部バイオマスについて見てみると、2005年1月17日から9月15日の期間において、8月30日に $889 \pm 53.0 \text{ gD.W./m}^2$ と1回目の倒伏に応じて年間を通じてのピークとなり、その後、急激に減少し、9月15日には湛水部では $139 \pm 48.0 \text{ gD.W./m}^2$ 、流水部では $120 \pm 19.0 \text{ gD.W./m}^2$ となった。なお、他の年において1回目のピークは2004年7月20日に $1030 \pm 47.6 \text{ gD.W./m}^2$ 、2006年9月12日に $479 \pm 130 \text{ gD.W./m}^2$ となっている。2005年9月15日から2回目の倒伏が確認された12月5日までの期間において、生きている地上部バイオマスは次第に減少していき12月5日には $286 \pm 20.0 \text{ gD.W./m}^2$ となった。同期間の地下部バイオマスについては12月5日に $940 \pm 211 \text{ gD.W./m}^2$ と年間を通じて2回目のピークとなった。なお、2004年の2回目の地下部バイオマスのピークを比較すると、11月30日に $1190 \pm 150 \text{ gD.W./m}^2$ となっている。

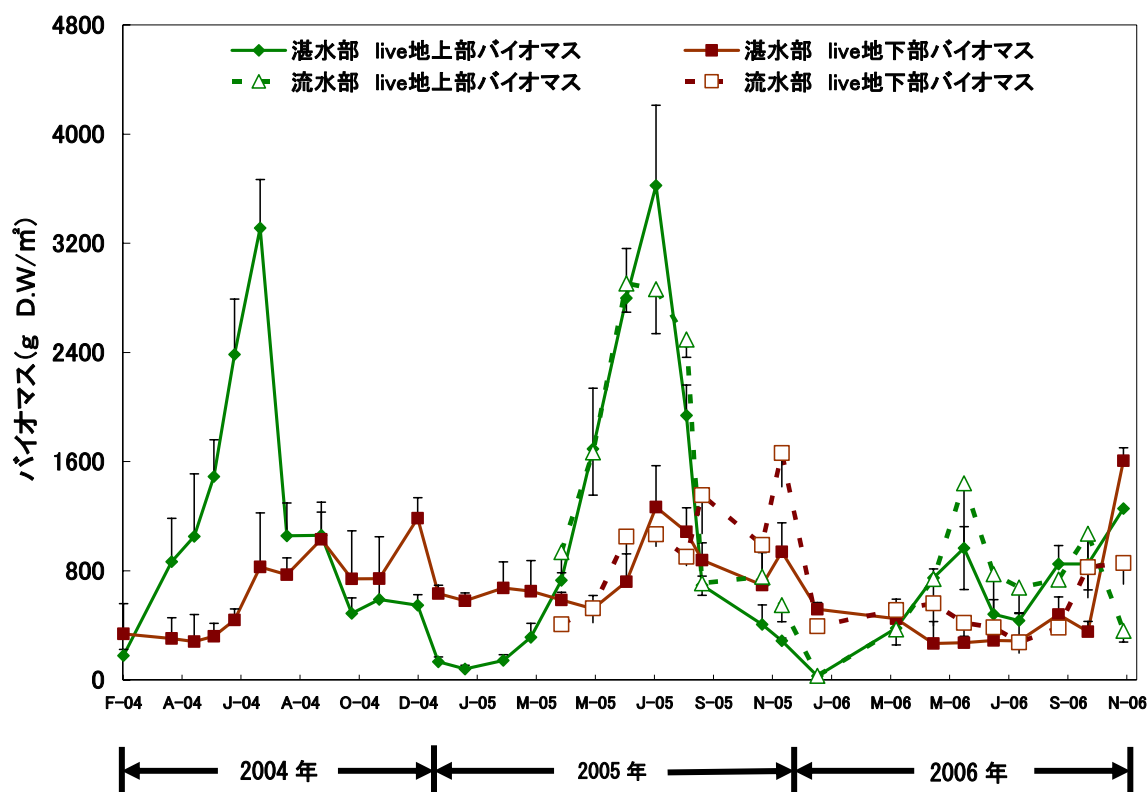


図3-3 各地点の生きている地上部と地下部の月変化

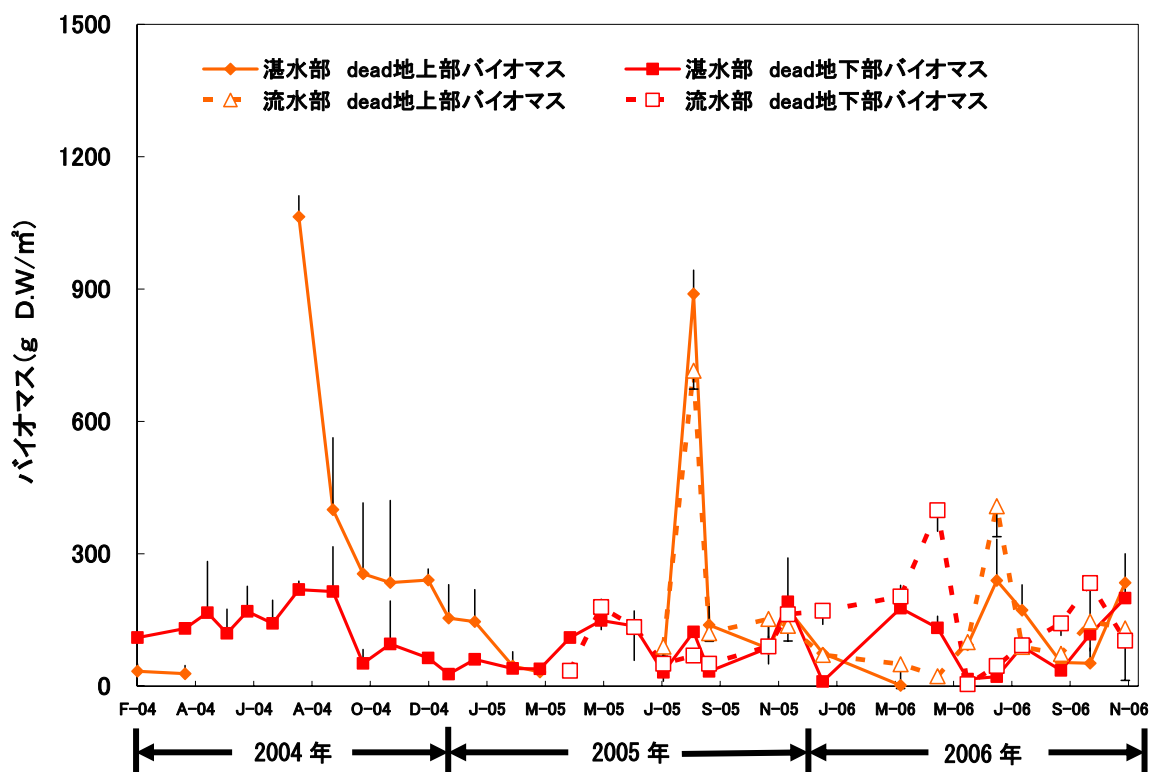


図 3-4 各地点の枯死した地上部と地下部のバイオマスの月変化

2005年12月5日から2006年1月10日の期間においては、生きている地上部バイオマスと地下部バイオマスは減少していった。2006年1月10日時点で、生きている地上部バイオマスは 28.0 ± 9.21 gD.W./m²、生きている地下部バイオマスは 517 ± 50.3 gD.W./m²となった。

なお、2004年の2回目の倒伏前後のバイオマスの推移は、まず地上部バイオマスは2004年11月30日時点で 547 ± 77.1 gD.W./m²であったのが、2004年12月21日には 133 ± 35.9 gD.W./m²となった。一方、地下部バイオマスは2004年11月30日時点で 632 ± 62.4 gD.W./m²であったのが、2004年12月21日には 579 ± 57.0 gD.W./m²となっている。

b) 流水部

まず、2005年4月25日から2005年9月12日の期間において、2005年4月25日時点で 936 ± 207 gD.W./m²であったものが、倒伏が確認される約2ヶ月前の6月30日には 2910 ± 211 gD.W./m²となり年間を通じての1回目のピークとなった。なお、他の年において地上部バイオマスのピークは2006年6月8日に 1410 ± 509 gD.W./m²となっている。

地下部バイオマスについては、2005年1月17日から2005年9月15日の期間において、2005年9月15日に 1350 ± 281 gD.W./m²と1回目のピークを迎えている。なお、他の年において地下部バイオマスの1回目のピークは2006年5月8日に 561 ± 166 gD.W./m²となっている。ここで、枯死した地上部バイオマスについて見てみると、2005年1月17日から2005年9月15日の期間において、2005年8月30日に 715 ± 42 gD.W./m²と、1回目の倒伏に応じて年間を通じてのピークとなり、その後、急激に減少し、2005年9月15日には 120 ± 19.0 gD.W./m²となった。なお、他

の年において枯死した地上部バイオマスの1回目のピークは2006年7月8日に $240 \pm 93.5 \text{ gD.W./m}^2$ となっている。

2005年9月15日から2回目の倒伏が確認された2005年12月5日までの期間において、生きている地上部バイオマスは2005年11月15日に $756 \pm 20.9 \text{ gD.W./m}^2$ と2回目のピークを迎えたあと、2005年12月5日には $548 \pm 123 \text{ gD.W./m}^2$ まで減少した。同期間の地下部バイオマスについては2005年12月5日に $1660 \pm 248 \text{ gD.W./m}^2$ と、年間を通じて2回目のピークとなった。

2005年12月5日から2006年1月10日の期間においては、生きている地上部バイオマスと地下部バイオマスは減少していった。2006年1月10日時点で、生きている地上部バイオマスは $29.4 \pm 7.83 \text{ gD.W./m}^2$ 、生きている地下部バイオマスは $393 \pm 24.8 \text{ gD.W./m}^2$ となった。

3. 1. 4 分解実験

図3-5は分解実験における各部位の重量残存率の推移を表している。尚、重量残存率は実験開始日の乾燥重量を100%とした時の、各採取日における乾燥重量の割合である。実験開始日から3日後には、それぞれの部位において顕著な差が見られた。各部位における3日後の減少割合は、葉茎上部が10%、葉茎下部が70%、地下部が30%であり、葉茎下部は葉茎上部に比べ、減少が早いことがわかる。また、葉茎下部においては、実験開始日から30日後には原型を留めていないことが確認された。

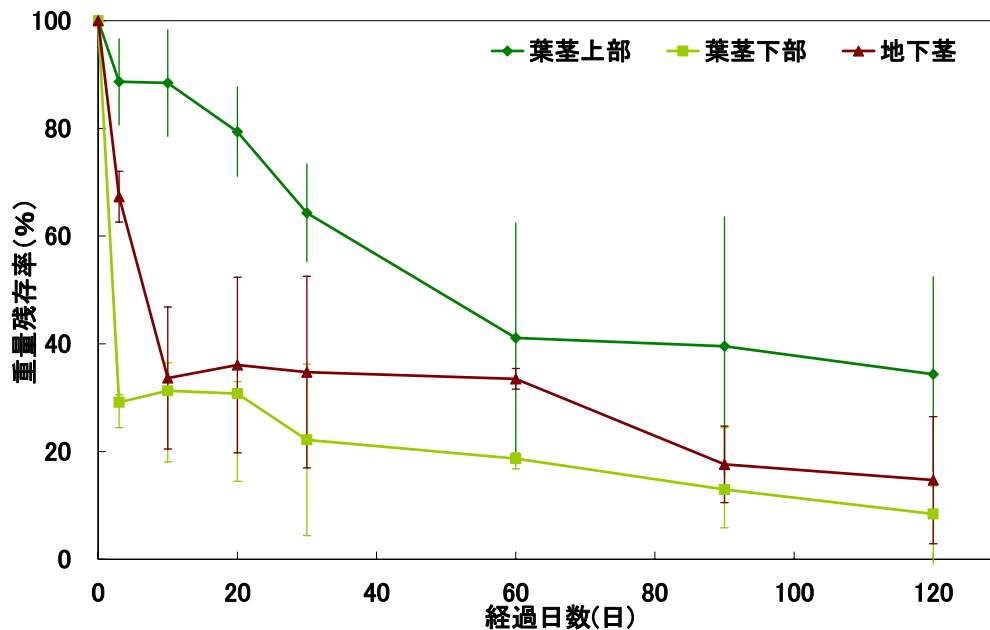


図3-5 重量残存率の推移

3. 2 流水部のミクリ群落における土壌の堆積・侵食に関する結果

3. 2. 1 沈水葉茎の抽水化、抽水葉茎の倒伏による土壌表面の変化および流速分布の変化

図3-6に流水部のミクリ群落周辺部の観測において葉茎分布に応じて群落内と群落外に定義した後、群落内・外の表層5cmの平均流速を示し、図3-7に同様な方法で定義した後の群落内と群落外の土壌の堆積高さを、図3-8に群落内と定義した場所での抽水葉茎密度の月変化を示す。なお、

各図とも 2005 年 9 月 15 日のデータは倒伏を修復した後の流速と水深の値を元に算出したものである。そして、**図 3-9** に各ステージにおける観測期間中の観測毎の流速分布図、水深分布図及び葉茎分布を示す。なお、水深分布図は観測日より水位の変動が若干あるため、2005 年 9 月 15 日観測時の水位を基準にして、そこから河床までの距離を算出して作成したものである。また、2006 年 3 月 31 日の流速分布は観測時に計測機のトラブルにより、不備が生じ、分布図が作成できなかったため、平均流速のみを示す。

2005 年 9 月 15 日から 11 月 15 日の期間は、ミクリの生長サイクルでは 2005 年 9 月 5 日時点で倒伏していた葉茎の枯死・分解過程であり、沈水葉茎の抽水化の期間である。2005 年 9 月 15 日時点の群落内の平均流速は $5.00 \pm 3.25 \text{cm/s}$ であったが、2005 年 11 月 15 日には $5.50 \pm 7.91 \text{cm/s}$ と増加し（ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$ ）、土壌が平均 $0.42 \pm 6.51 \text{cm}$ 堆積した（ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$ ）。一方、群落外の流速はこの間 $25.5 \pm 16.9 \text{cm/s}$ から $21.9 \pm 15.1 \text{cm/s}$ と減少し（ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$ ）、土壌が $0.97 \pm 2.39 \text{cm}$ 侵食された（ $t\text{-test}: p < 0.001$ ）。なお、2005 年 9 月 15 日、11 月 15 日時点の葉茎密度は $52 \text{本}/\text{m}^2$ であった。

2005 年 11 月 15 日から 12 月 5 日の期間は抽水葉茎が生長し、2005 年 12 月 5 日時点でミクリ群落の 2 回目の倒伏が確認された期間である。2005 年 11 月 15 日と 12 月 5 日を比較すると、12 月 5 日時点で群落内の平均流速は $1.76 \pm 4.59 \text{cm/s}$ と減少し（ $t\text{-test}: p < 0.01$ ）、この期間に土壌が平均 $5.75 \pm 4.21 \text{cm}$ 堆積した（ $t\text{-test}: p < 0.01$ ）。一方、群落外の流速は 12 月 5 日時点で $24.5 \pm 19.2 \text{cm/s}$ と増加したが（ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$ ）、土壌が $2.44 \pm 2.38 \text{cm}$ 堆積した（ $t\text{-test}: p < 0.001$ ）。なお、12 月 5 日時点での葉茎密度は $54 \text{本}/\text{m}^2$ であった。

2005 年 12 月 5 日から 2006 年 1 月 10 日はミクリの生長サイクルでは倒伏した葉茎が枯死・分解する期間である。2006 年 1 月 10 日の群落内の平均流速は $15.3 \pm 7.30 \text{cm/s}$ と 12 月 5 日時点と比較し急激に増加し（ $t\text{-test}: p < 0.01$ ）、群落内の土壌もこの期間に平均 $4.66 \pm 4.71 \text{cm}$ 侵食された（ $t\text{-test}: p < 0.01$ ）。一方、群落外の流速も 2006 年 1 月 10 日時点で $40.9 \pm 14.4 \text{cm/s}$ と増加し（ $t\text{-test}: p < 0.001$ ）、土壌が $0.37 \pm 3.27 \text{cm}$ 侵食された（ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$ ）。なお、1 月 10 日時点での葉茎密度は $54 \text{本}/\text{m}^2$ であった。

ここで、**図 3-10** に 2005 年 9 月 15 日から 2006 年 1 月 10 日までの期間の群落内の粒径の推移を示す。2005 年 9 月 15 日から 12 月 5 日の期間においては、群落内に土砂が堆積するのに応じて、次第に粒径が細くなり（粒径 0.125mm 以下の通過百分率：9 月約 23% 12 月約 55% $t\text{-test}: p < 0.001$ ）、一方、12 月 5 日から 2006 年 1 月 10 日においては、群落内の土砂が侵食されるのに応じて粒径が粗くなったのが確認された（粒径 0.125mm 以下の通過百分率：12 月約 55% 1 月約 28% $t\text{-test}: p < 0.001$ ）。

2006 年 1 月 10 日から 2006 年 3 月 31 日の期間はミクリの生長サイクルでは葉茎が沈水状態で越冬する期間である。この期間では、2006 年 3 月 31 日時点で群落内の平均流速は $4.73 \pm 2.50 \text{cm/s}$ と 1 月 10 日時点の流速と比較して急激に減少し（ $t\text{-test}: p < 0.001$ ）、土壌も $11.6 \pm 5.23 \text{cm}$ と顕著な堆積を示した（ $t\text{-test}: p < 0.001$ ）。一方、群落外の平均流速も 3 月 31 日時点で $18.4 \pm 9.22 \text{cm/s}$ と急激に減少し（ $t\text{-test}: p < 0.001$ ）、土壌が $1.89 \pm 3.65 \text{cm}$ 侵食された（ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$ ）。なお、3 月 31 日時点での葉茎密度は $123 \text{本}/\text{m}^2$ であった。

2006 年 3 月 31 日から 5 月 8 日の期間はミクリの生長サイクルでは沈水葉茎が抽水化する期間である。この期間では、2006 年 5 月 8 日時点で群落内の平均流速が $5.67 \pm 7.64 \text{cm/s}$ と増加し（た

だし、平均値の有意な差はなし t -test: $p>0.05$ 、分散は有意な差あり f -test: $p<0.05$)、群落内の土壌は 7.49 ± 4.01 cm 侵食された (t -test: $p<0.001$)。一方、群落外の流速は 5 月 8 日時点で 26.0 ± 14.5 cm/s と増加し (t -test: $p<0.001$)、土壌は 5.32 ± 3.39 cm 侵食された (t -test: $p<0.001$)。なお、5 月 8 日時点での葉茎密度は 128 本/ m^2 と観測期間中のピークであった。

2006 年 5 月 8 日から 6 月 8 日の期間はミクリの生長サイクルでは、抽水葉茎が活発に生長し、6 月 8 日時点で倒伏が確認された期間である。この期間では、6 月 8 日時点で、群落内の流速は 3.10 ± 2.97 cm と減少したが (t -test: $p<0.001$)、土壌は 3.24 ± 3.92 cm 侵食された (t -test: $p<0.001$)。一方、群落外の流速は 6 月 8 日時点で 7.07 ± 5.00 cm/s と減少し (t -test: $p<0.001$)、土壌は平均 0.05 ± 1.79 cm 堆積した (ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$)。なお、6 月 8 日時点での葉茎密度は 126 本/ m^2 であった。

2006 年 6 月 8 日から 7 月 8 日の期間はミクリの生長サイクルでは抽水葉茎が倒伏している期間である。この期間では、7 月 8 日時点で、群落内の流速は 2.81 ± 1.36 cm/s と減少し (ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$)、土壌は 3.11 ± 5.10 cm (t -test: $p<0.001$) と顕著に堆積した。一方、群落外の流速は 7 月 8 日時点で 8.44 ± 7.06 cm/s と増加し (ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$)、土壌は平均 3.80 ± 2.59 cm 侵食された (t -test: $p<0.001$)。なお、7 月 8 日時点での葉茎密度は 84 本/ m^2 であった。

2006 年 7 月 8 日から 8 月 3 日の期間はミクリの生長サイクルでは倒伏した抽水葉茎が枯死・分解し、沈水葉茎が抽水葉茎へ移行する期間である。この期間では、8 月 3 日時点で、群落内の流速は 2.93 ± 1.44 cm/s と増加し (ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$)、土壌は 0.09 ± 4.48 cm 堆積した (ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$)。一方、群落外の流速は 8 月 3 日時点で 10.3 ± 5.76 cm/s と増加し (ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$)、土壌は平均 3.99 ± 2.15 cm 堆積した (t -test: $p<0.001$)。なお、8 月 3 日時点での葉茎密度は 73 本/ m^2 であった。

ここで、**図 3-11** に 2006 年 3 月 31 日から 2006 年 8 月 3 日までの期間の群落内の粒径の推移を示す。2006 年 6 月以降の期間においては倒伏により土砂の堆積が確認されるのに応じて、粒径が細くなったのが確認された (粒径 0.125mm 以下の通過百分率: 2006 年 6 月約 24% 8 月約 45% t -test: $p<0.001$)。

2006 年 8 月 3 日から 9 月 12 日の期間はミクリの生長サイクルでは抽水葉茎が生長する期間である。この期間では、9 月 12 日時点で、群落内の流速は 2.28 ± 1.59 cm/s と減少し (t -test: $p<0.001$)、土壌は 1.30 ± 7.24 cm 堆積した (t -test: $p<0.001$)。一方、群落外の流速は 9 月 12 日時点で 12.7 ± 10.3 cm/s と増加し (t -test: $p<0.001$)、土壌は平均 3.16 ± 3.54 cm 侵食された (t -test: $p<0.05$)。なお、9 月 12 日時点での葉茎密度は 59 本/ m^2 であった。

2006 年 9 月 12 日から 10 月 12 日の期間はミクリの生長サイクルでは抽水葉茎が生長する期間である。この期間では、10 月 12 日時点で、群落内の流速は 1.67 ± 1.59 cm/s と減少し (t -test: $p<0.05$)、土壌は 0.87 ± 5.86 cm 堆積した (ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$)。一方、群落外の流速は 9 月 12 日時点で 12.7 ± 10.3 cm/s と増加し (ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$)、土壌は平均 3.16 ± 3.54 cm 侵食された (t -test: $p<0.001$)。なお、10 月 12 日時点での葉茎密度は 64 本/ m^2 であった。

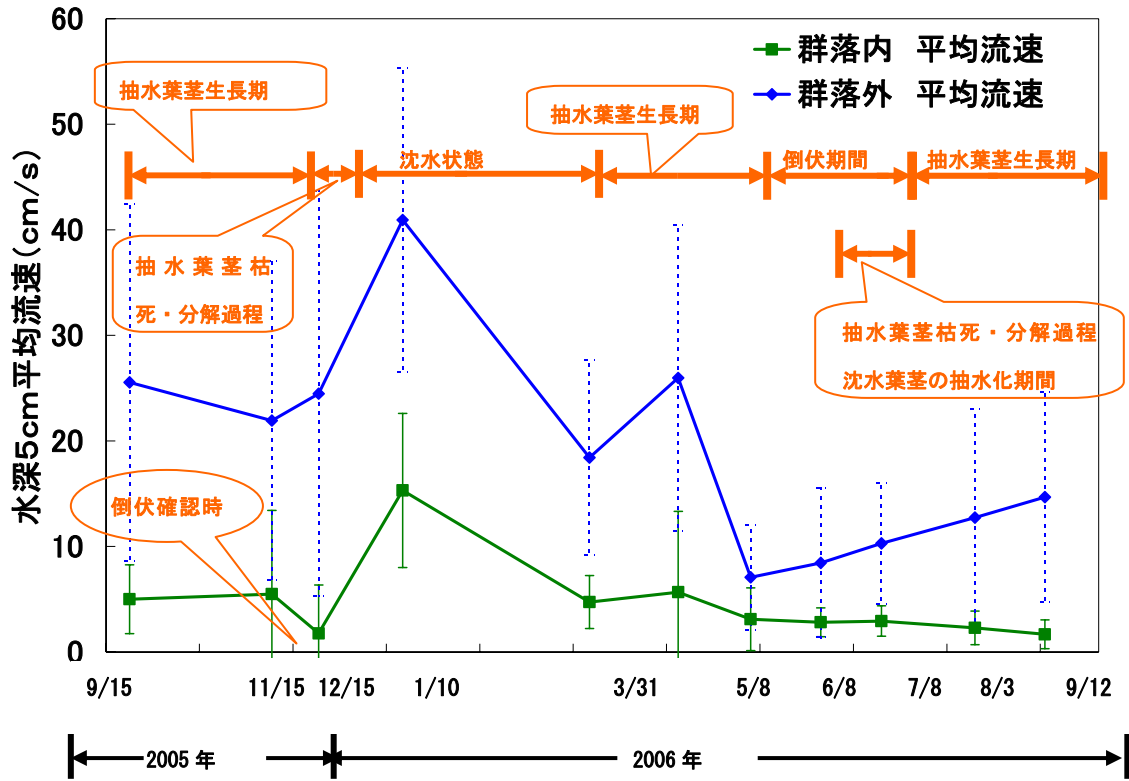


図 3-6 水深 5cm の平均流速の推移

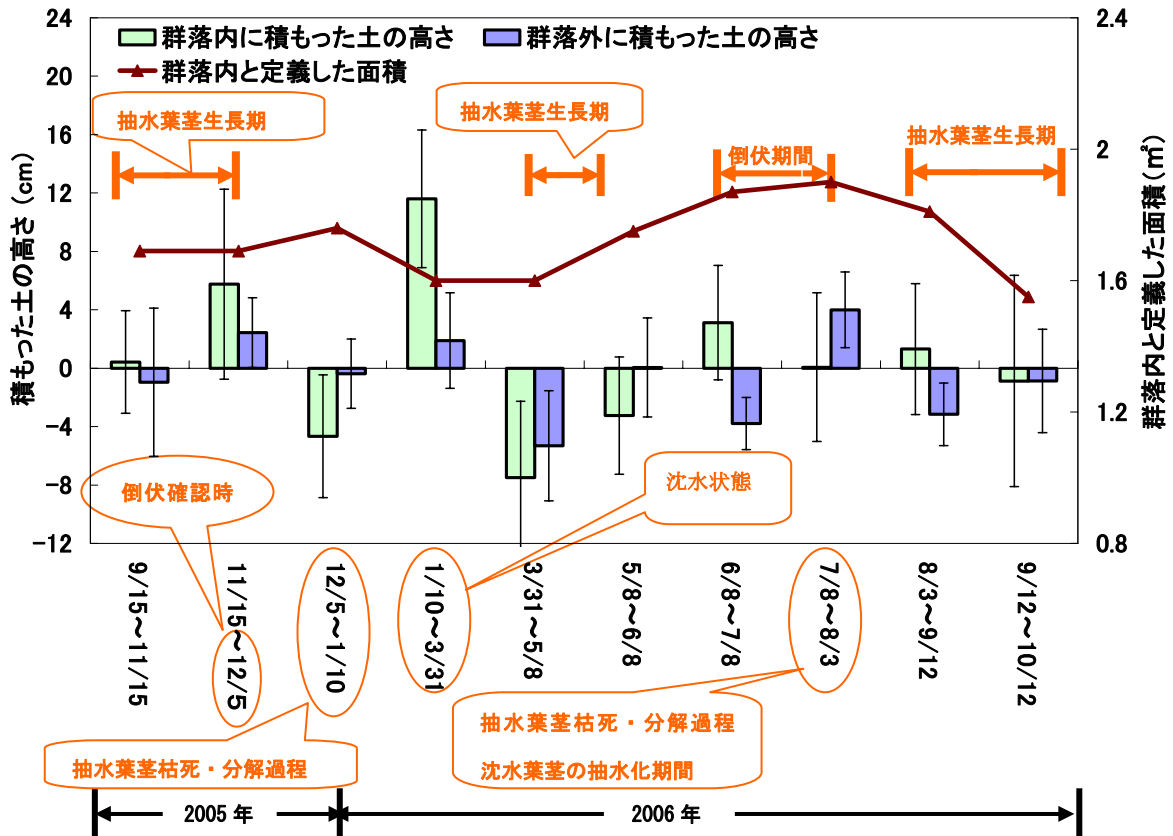


図 3-7 ミクリ群落周辺部の土壌の堆積状況

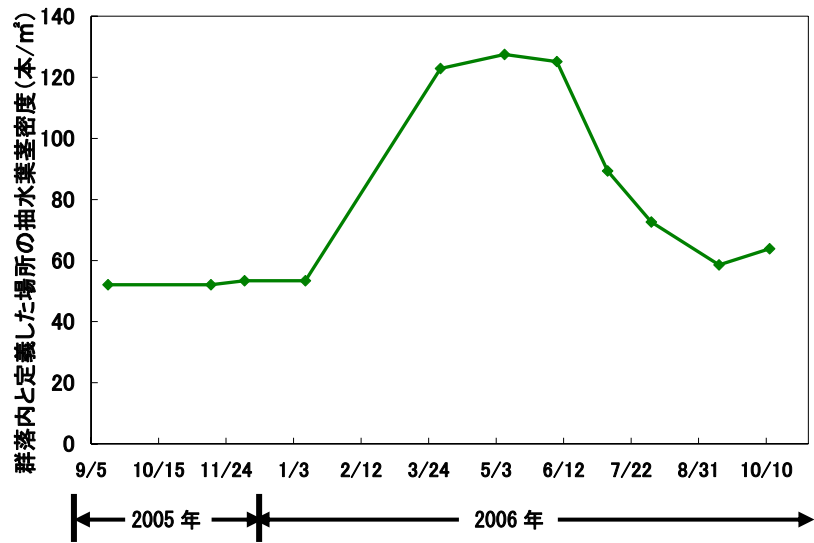
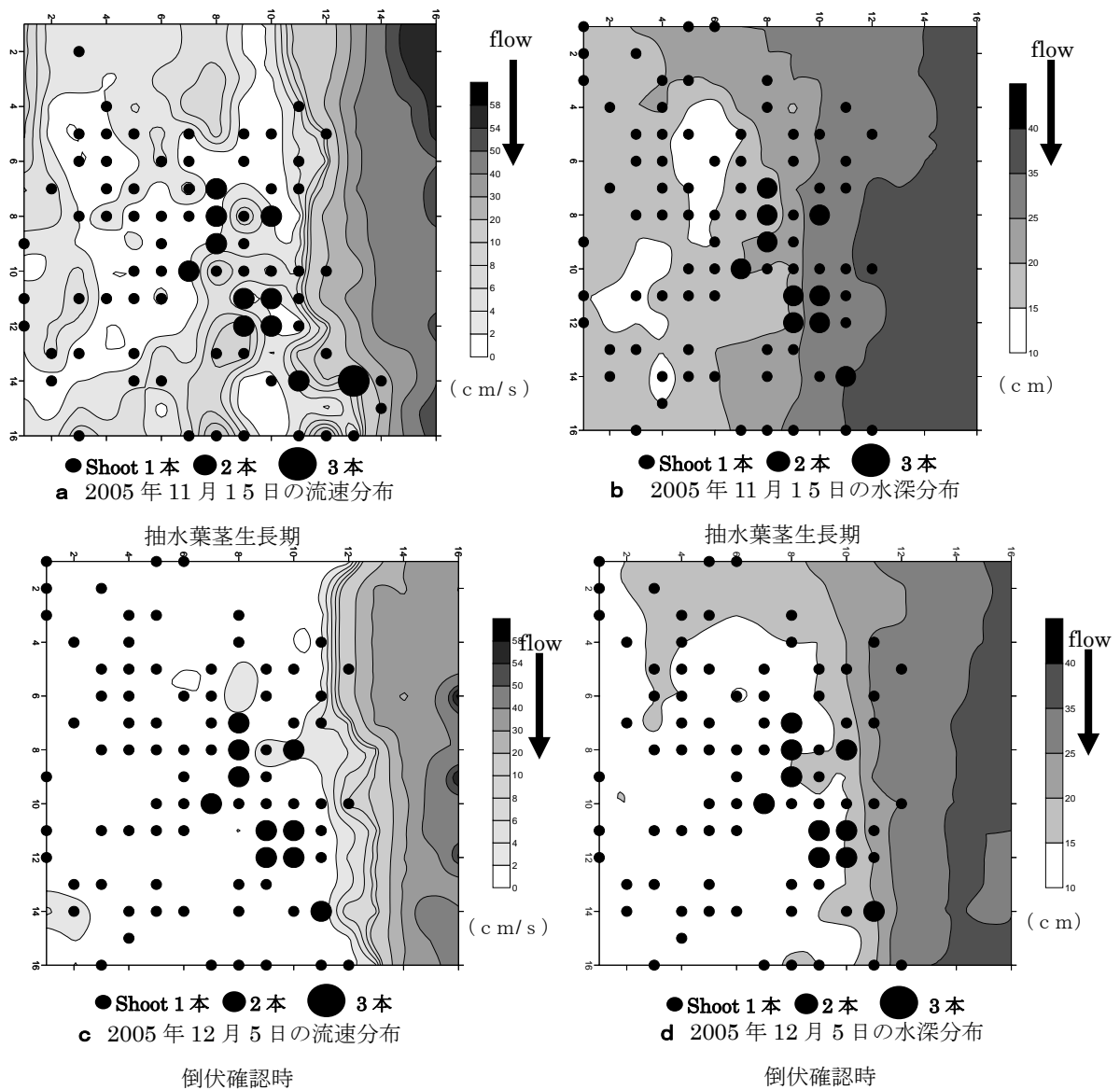
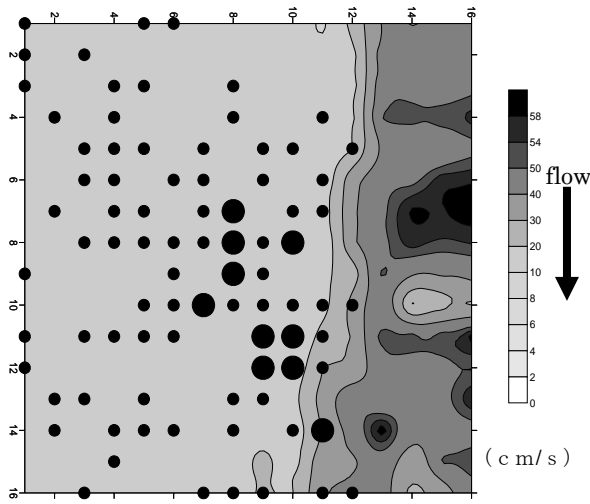


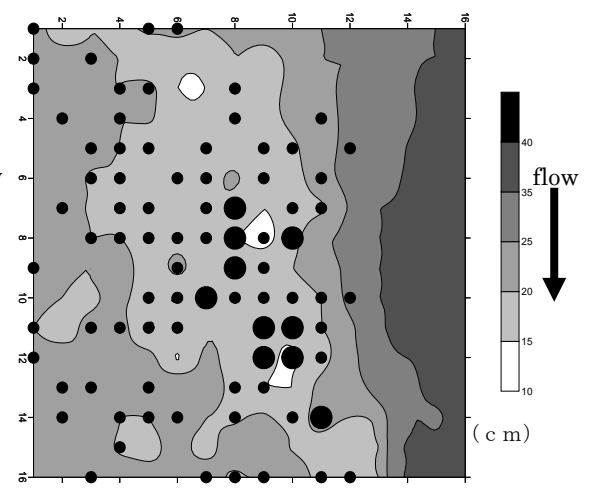
図 3-8 群落内と定義した場所の抽水葉茎密度の月変化





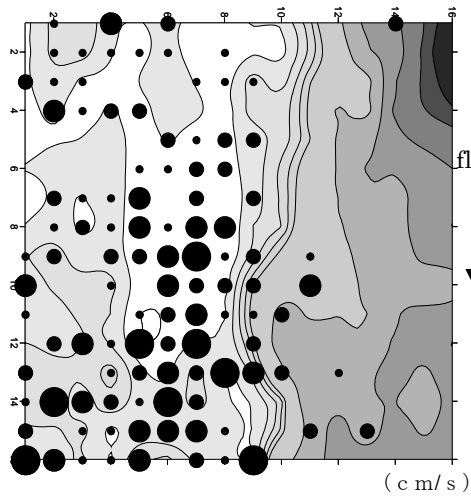
● Shoot 1本 ● 2本 ● 3本
e 2006年1月10日の流速分布

枯死・分解過程時



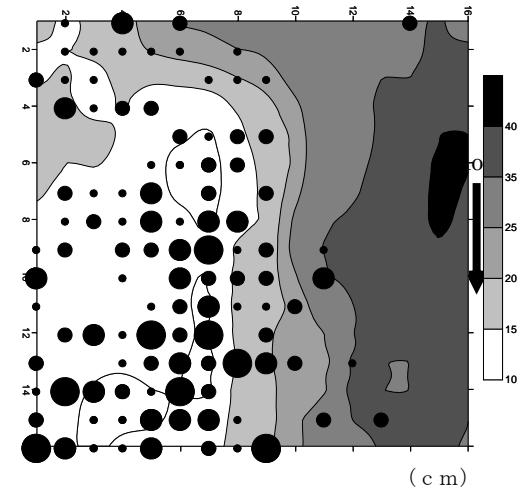
● Shoot 1本 ● 2本 ● 3本
f 2006年1月10日の水深分布

枯死・分解過程時



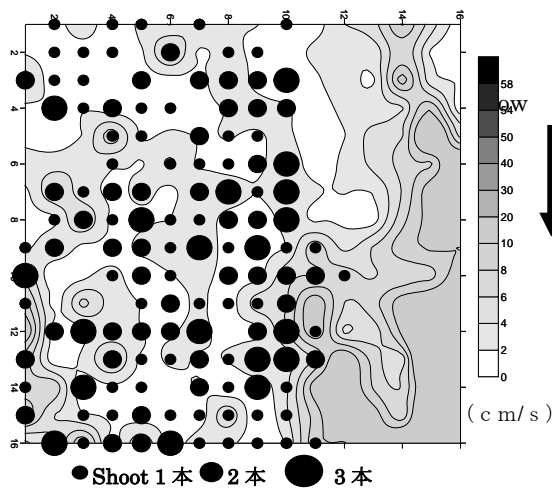
● Shoot 1本 ● 2本 ● 3本
h 2006年5月8日流速分布

抽水葉茎生長過程



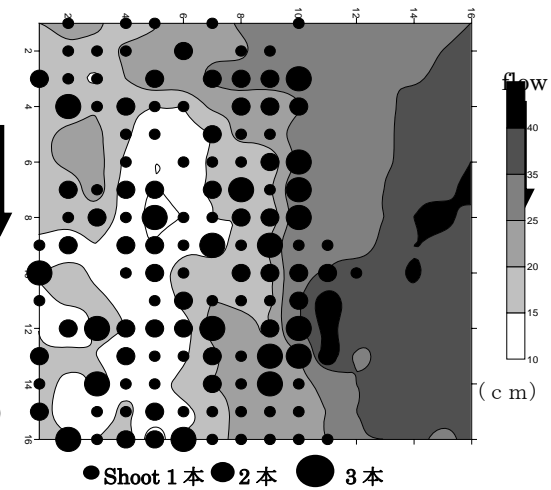
i 2006年5月8日水深分布

抽水葉茎生長過程



● Shoot 1本 ● 2本 ● 3本
j 2006年6月8日流速分布

倒伏確認時



● Shoot 1本 ● 2本 ● 3本
k 2006年6月8日水深分布

倒伏確認時

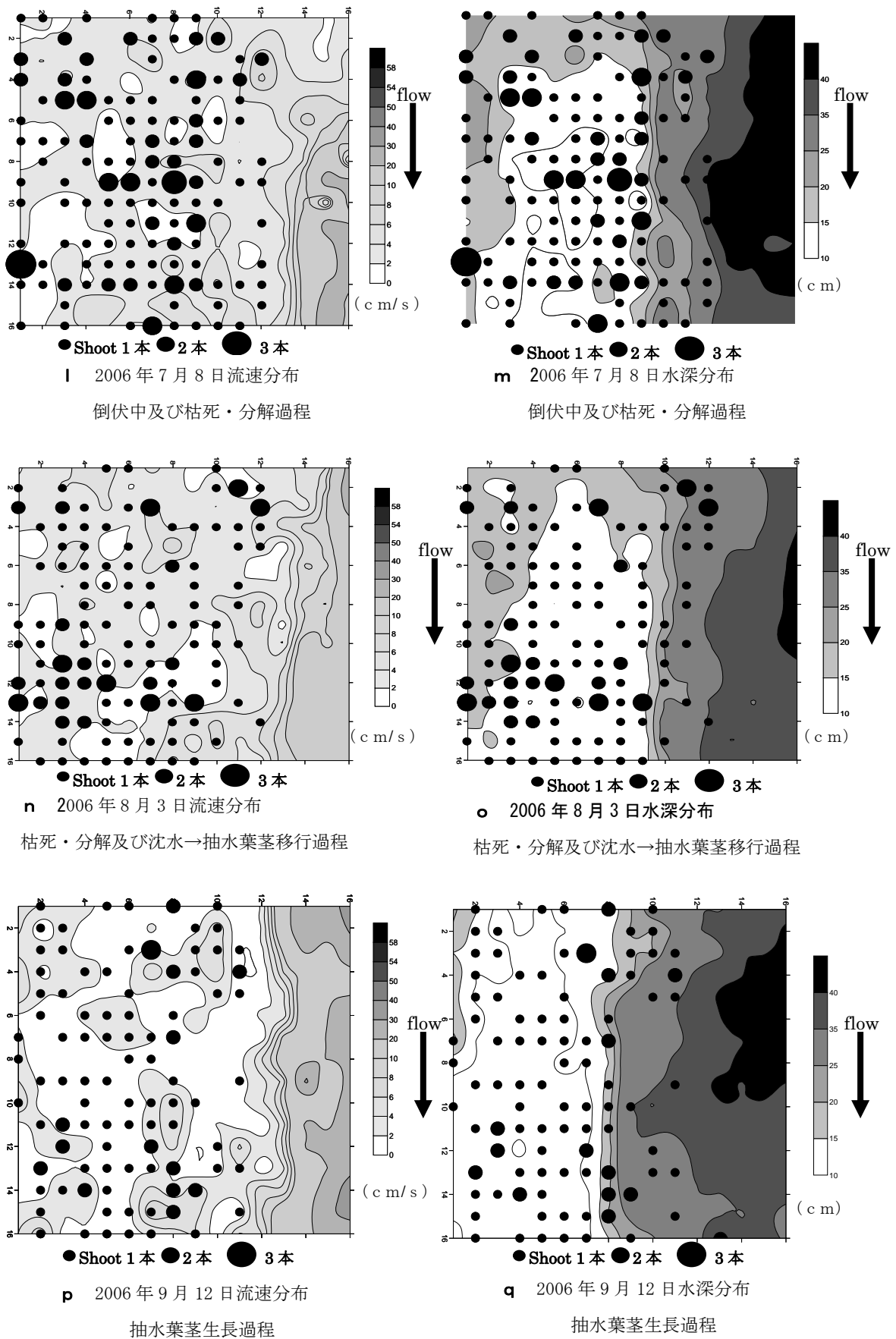


図3-9 各ステージにおける観測点の流速分布と水深分布

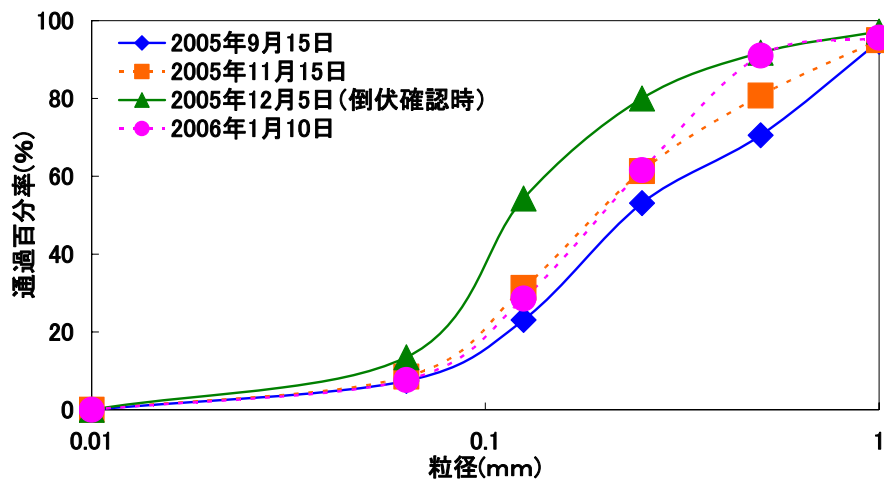


図 3-10 2005 年 9 月 15 日から 2006 年 1 月 10 日の群落内の土壌の粒径の推移

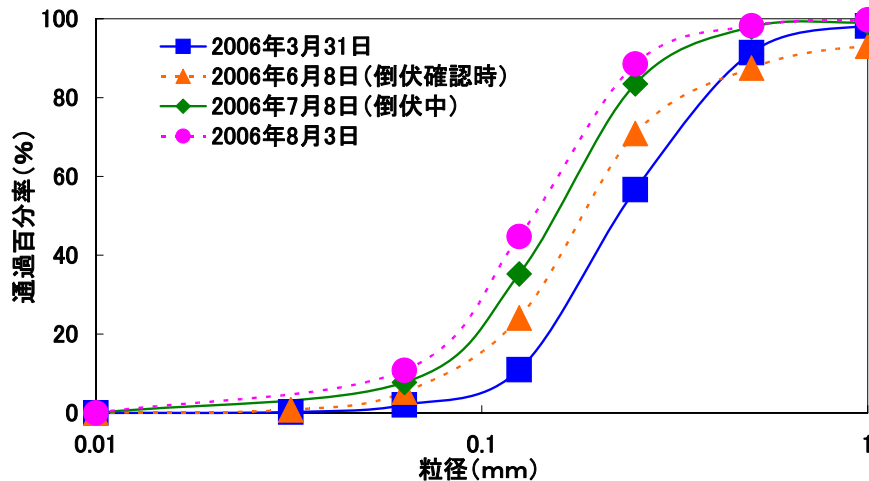


図 3-11 2006 年 3 月 31 日から 2006 年 8 月 3 日の群落内の土壌の粒径の推移

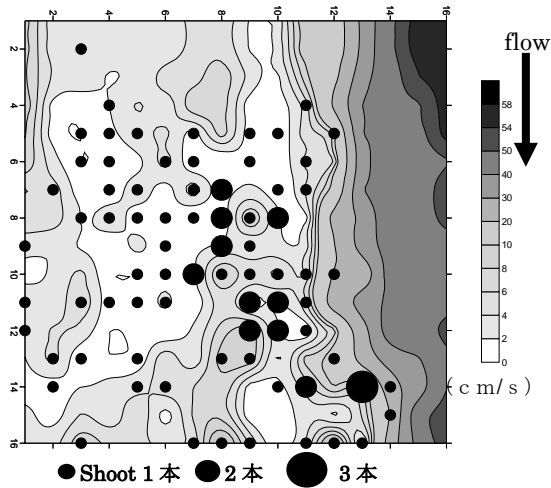
3. 2. 2 倒伏を人為的に修復したときの流速・水深の変化

2005 年 9 月 5 日に流水部のミクリ群落の倒伏が確認された。そして、図 3-12 はこの時点の観測点における倒伏を修復する前の葉茎分布と流速分布を、図 3-13 は同じく同地点の倒伏を修復した直後の葉茎分布と流速分布を示している。なお、図中の葉茎のない右側を群落外と定義している。

群落外においては、倒伏修復前に比べ、修復後は流速が速くなったのに対し、群落内では、逆の現象が確認できた。具体的な値は、群落外の修復前・後は、それぞれ 48.2 ± 7.4 、 25.5 ± 16.9 cm/s であり、群落内の修復前・後は、それぞれ 2.84 ± 2.34 、 5.00 ± 3.25 cm/s であった。倒伏修復前・後において群落外と群落内では流速に有意な差がみられた (t -test, $p < 0.001$)。

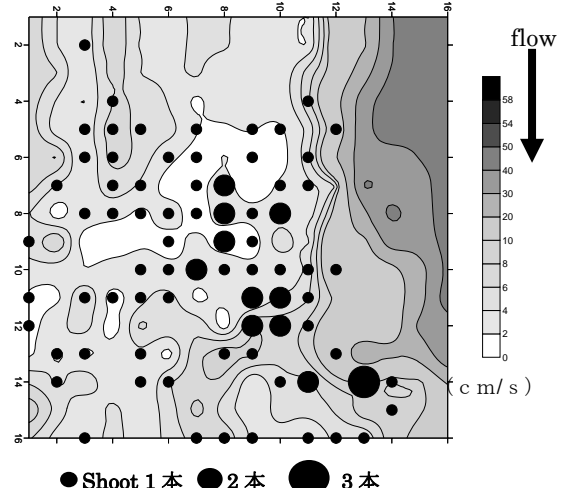
図 3-14 は倒伏が確認された 2005 年 9 月 5 日の、図 3-15 は倒伏修復をしてから 10 日後の 9 月 15 日の観測点における葉茎分布と水深分布をそれぞれ示している。葉茎分布について浅い水域と深い水域において有意な差が確認できた (t -test, $p < 0.001$)。すなわち、浅い水域には葉茎が密集し

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、群落内では 1.98 ± 3.51 cm に深くなり、群落外では 1.71 ± 5.07 cm 深くなったが、**図 3-14** と **図 3-15** を比較して分かるように、観測点の右側の群落外では顕著に浅くなったのが分かる。



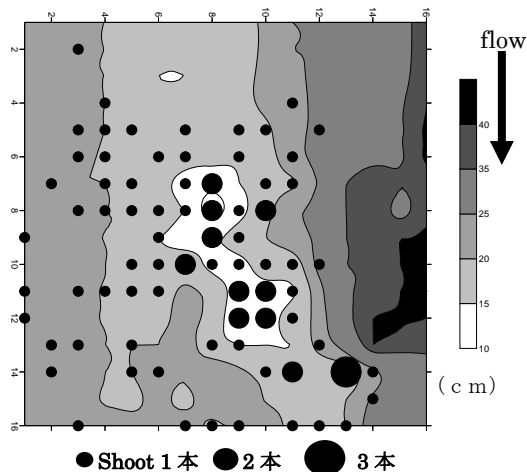
● Shoot 1本 ● 2本 ● 3本

図 3-12 倒伏修復前の流速分布



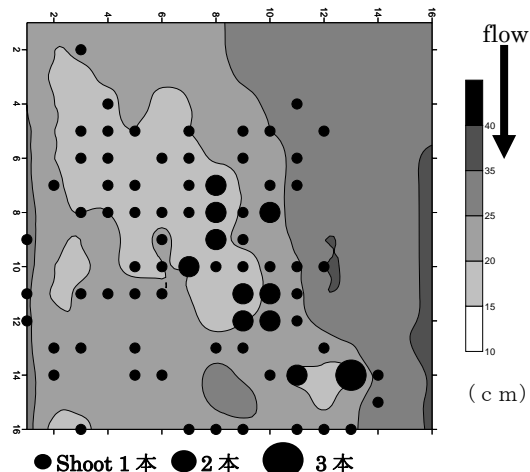
● Shoot 1本 ● 2本 ● 3本

図 3-13 倒伏修復直後の流速分布



● Shoot 1本 ● 2本 ● 3本

図 3-14 倒伏修復前の水深分布



● Shoot 1本 ● 2本 ● 3本

図 3-15 倒伏修復 10 日後の水深分布

3. 2. 3 観測期間中の流況の変化

図 3-16 に土壌堆積に関する観測期間中の流水部の観測点の 2005 年 9 月 15 日の水位を基準とした時の観測時の水位の差を示す。2005 年 9 月の 2005 年 12 月の期間は、観測時における水位の変化はそれほど確認されなかったものの、2005 年 3 月 31 日以降、水位は次第に増加していき、2006 年 6 月 8 日には 15 cm 水位が上昇し、2006 年 7 月 8 日に 13 cm まで減少した後、再び上昇し 2006 年 8 月 3 日は 15.2 cm となった。以降、水位は次第に減少していき、2006 年 10 月 12 日には 4.8 cm となった。

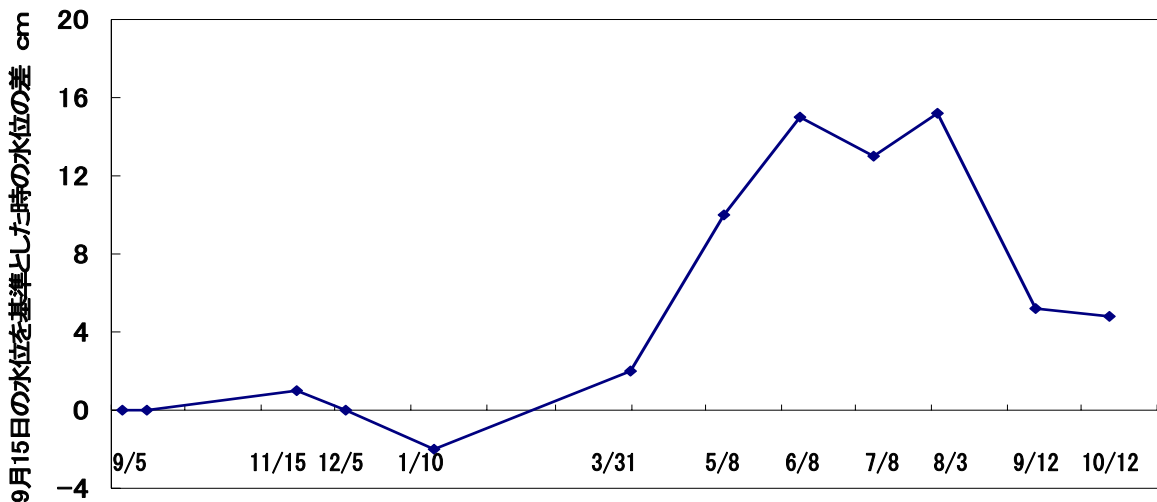


図 3-16 観測期間中の水位の月変化

図 3-17 に流水部で測定された元荒川の流量、観測点を横断方向に対し通過する流量及び、それらの比の推移を示す。倒伏修復実験期間である 2005 年 9 月 5 日から 2005 年 9 月 15 日の期間では、元荒川の流量は $176 \pm 27.6 \text{ l/s}$ から $229 \pm 81.2 \text{ l/s}$ と増加した(ただし、有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)。そして、観測点エリアの流量は $34.6 \pm 6.00 \text{ l/s}$ から $55.6 \pm 15.4 \text{ l/s}$ と増加した(ただし、有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)。また、流量比は $19.7 \pm 0.32\%$ から $24.2 \pm 2.18\%$ と増加した(ただし、有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)。

2005 年 9 月 15 日から 2005 年 11 月 15 日の期間では、元荒川の流量は $246 \pm 45.9 \text{ l/s}$ に増加し(ただし、有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)、また、観測点エリアの流量も $60.8 \pm 10.6 \text{ l/s}$ と増加し(ただし、有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)、流量比も $24.7 \pm 0.33\%$ に増加した(ただし、有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)。その後、2005 年 12 月 5 日の時点で、元荒川の流量は $247 \pm 75.8 \text{ l/s}$ に増加したが(ただし、11 月 15 日比較では有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)、観測点エリアの流量は $51.9 \pm 6.00 \text{ l/s}$ に減少し(ただし、11 月 15 日比較では有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)、流量比は $21.0 \pm 4.52\%$ に減少した(ただし、11 月 15 日比較では有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)。

2005 年 12 月 5 日から 2006 年 1 月 10 日の期間では、元荒川の流量は $226 \pm 39.1 \text{ l/s}$ に減少したが(ただし、有意な差はなし $t\text{-test: } p > 0.05$)、観測点エリアの流量は $105 \pm 6.89 \text{ l/s}$ に増加したことで($t\text{-test: } p < 0.001$)、流量比は $46.3 \pm 5.15\%$ に増加した(1 月 10 日比較 $t\text{-test: } p < 0.05$)。その後、2006 年 3 月 31 日の時点で、元荒川の流量は $196 \pm 39.5 \text{ l/s}$ と減少し(1 月 10 日比較 $t\text{-test: } p < 0.001$)、また、観測点エリアの流量も $45.8 \pm 14.0 \text{ l/s}$ に減少し(1 月 10 日比較 $t\text{-test: } p < 0.001$)、流量比も $23.4 \pm 2.54\%$ に減少した(1 月 10 日比較 $t\text{-test: } p < 0.05$)。

2006 年 3 月 31 日から 2006 年 5 月 8 日の期間では、元荒川の流量は $292 \pm 54.0 \text{ l/s}$ に急激に増加し($t\text{-test: } p < 0.05$)、また、観測点エリアの流量も $89.4 \pm 6.59 \text{ l/s}$ に増加し($t\text{-test: } p < 0.01$)、流量比も $30.6 \pm 3.55\%$ に増加した($t\text{-test: } p < 0.05$)。その後、2006 年 6 月 8 日の期間では、元荒川の流量は $176 \pm 44.9 \text{ l/s}$ に減少し(5 月 8 日比較 $t\text{-test: } p < 0.01$)、また観測点エリアの流量も $31.2 \pm 11.0 \text{ l/s}$ に減少し(5 月 8 日比較 $t\text{-test: } p < 0.01$)。流量比も $17.8 \pm 1.85\%$ となり、急激に減少した(5 月 8 日比較 $t\text{-test: } p < 0.05$)。

2006年6月8日から2006年7月8日の期間では、元荒川の流量は $205 \pm 30.4 \text{ l/s}$ に増加し(ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$)、また、観測点エリアの流量も $32.1 \pm 9.89 \text{ l/s}$ に増加したが(ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$)、流量比は $15.6 \pm 2.57\%$ に減少した($t\text{-test}: p < 0.05$)。その後、2006年8月3日時点で、元荒川の流量は $190 \pm 15.4 \text{ l/s}$ に減少したが(ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$)、観測点エリアの流量は $34.2 \pm 4.83 \text{ l/s}$ に増加し(ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$)、これにより流量比は $18.8 \pm 0.92\%$ に増加した(ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$)。

2006年8月3日から2006年9月12日の期間では、元荒川の流量は $236 \pm 26.9 \text{ l/s}$ に増加し($t\text{-test}: p < 0.05$)、観測点エリアの流量も $39.6 \pm 5.24 \text{ l/s}$ に増加したが($t\text{-test}: p < 0.01$)、流量比は $20.0 \pm 1.61\%$ に減少した(ただし、有意な差はなし $t\text{-test}: p > 0.05$)。その後、2006年10月12日時点で、元荒川の流量は $237 \pm 22.8 \text{ l/s}$ とそれほど変化しなかったが($t\text{-test}: p > 0.05$)、観測点エリアの流量は $44.8 \pm 5.89 \text{ l/s}$ と増加したことで($t\text{-test}: p < 0.01$)、流量比は $18.8 \pm 1.60\%$ に増加した($t\text{-test}: p < 0.001$)。

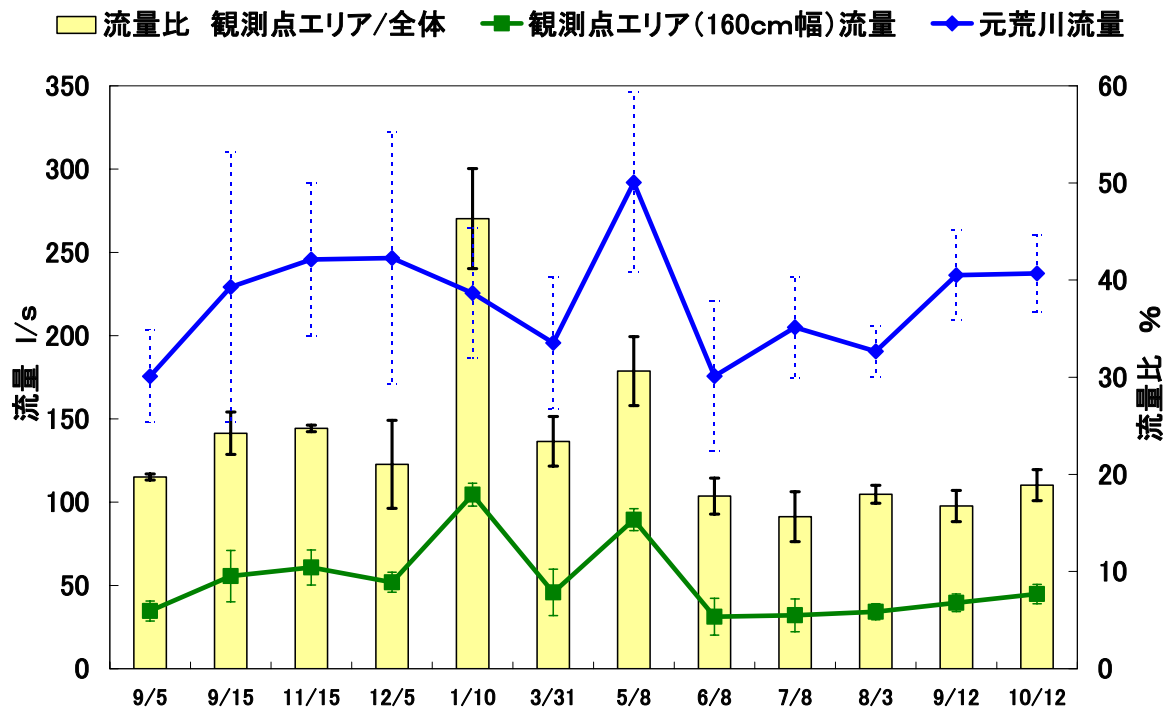


図 3-17 流水部で測定された元荒川の流量、観測点エリアを通過する流量及びそれらの比(流量比)の推移

図 3-18 に 2005 年 9 月 5 日から 2006 年 10 月 12 日までのメッシュ上の観測において、群落内・群落外の水深の推移を、図 3-19 に同じメッシュ上の観測において群落内・外の単位幅流量と群落内と群落外の単位幅流量の比を示す。ここでの単位幅流量とは水深 5 cm の流速に水深を掛けた値である。単位幅流量の比とは群落内の単位幅流量を群落外の単位幅流量で除し%表示する。

倒伏修復実験期間である 2005 年 9 月 5 日から 2005 年 9 月 15 日の期間では、群落内の水深は $19.9 \pm 3.92 \text{ cm}$ から $22.0 \pm 3.97 \text{ cm}$ と増加し($t\text{-test}: p < 0.05$)、群落内の単位幅流量は 76.7 ± 116

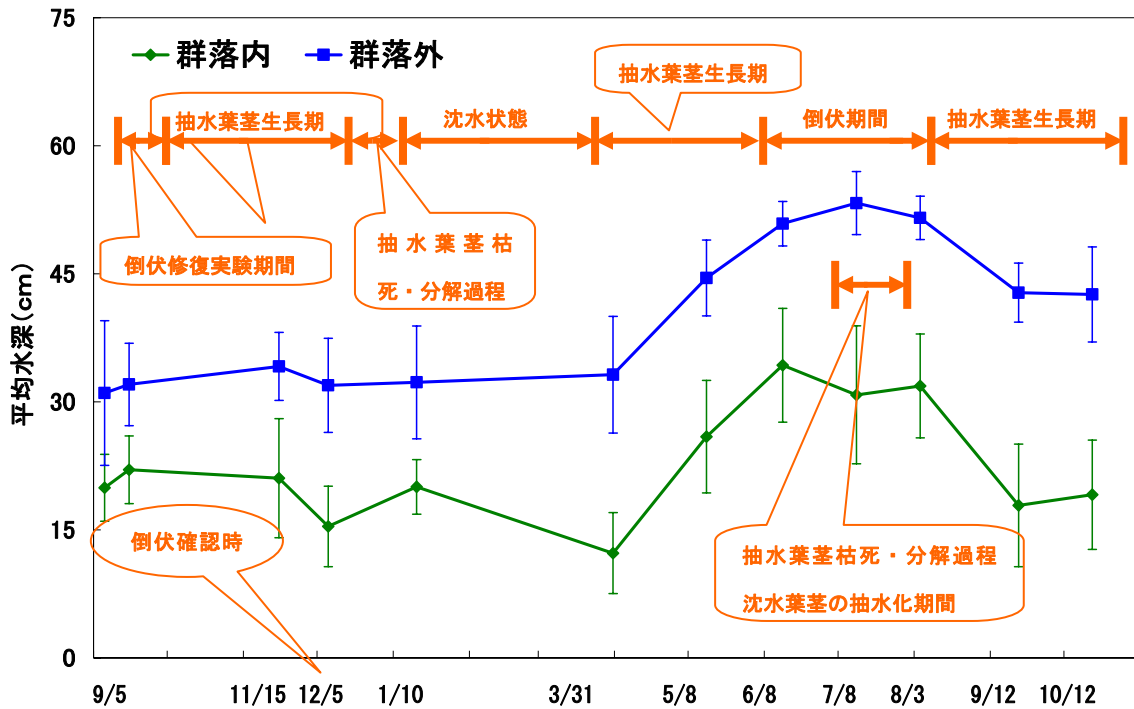


図 3-18 観測期間中の水深の月変化

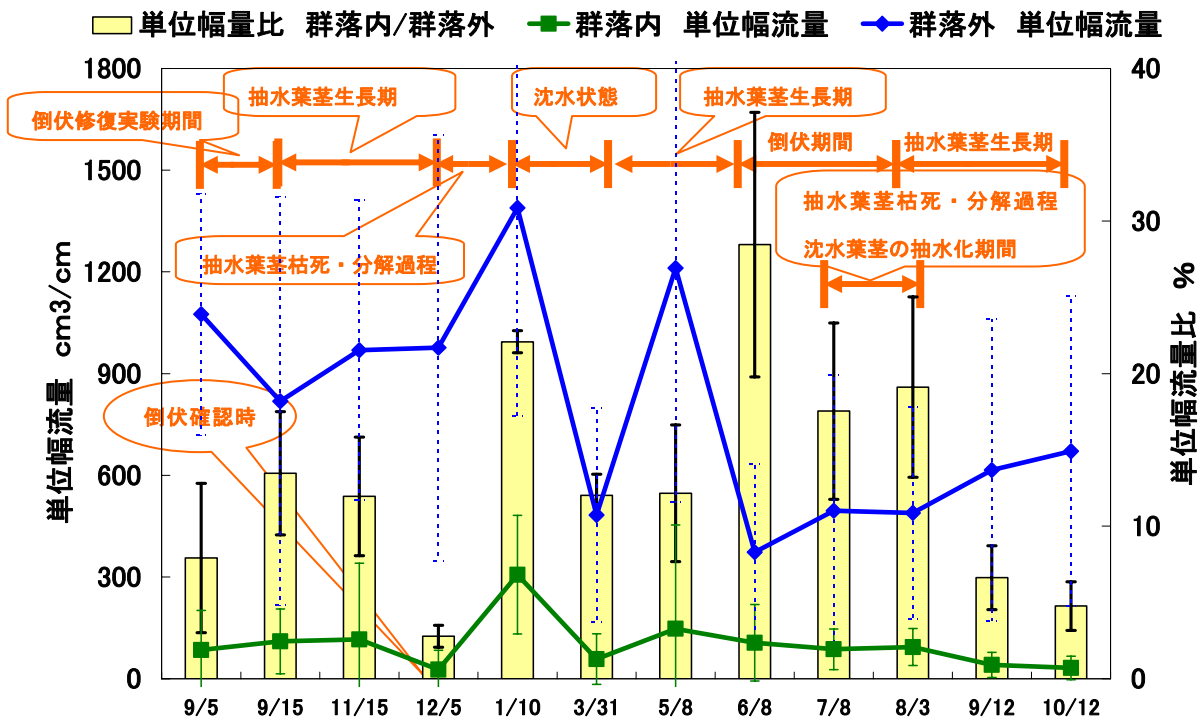


図 3-19 観測期間中の単位幅流量と単位幅流量比の月変化

cm^3/cm から $115 \pm 95 \text{ cm}^3/\text{cm}$ と増加した ($t\text{-test}: p < 0.05$)。一方、群落外の水深は $31.0 \pm 8.47 \text{ cm}$ から $32.0 \pm 4.82 \text{ cm}$ と増加し ($t\text{-test}: p < 0.05$)。群落外の単位幅流量は $493 \pm 355 \text{ cm}^3/\text{cm}$ から $895 \pm 601 \text{ cm}^3/\text{cm}$ と増加した ($t\text{-test}: p < 0.001$)。なお、単位幅流量比は $7.13 \pm 4.90\%$ から $14.1 \pm 4.04\%$ と増加した ($t\text{-test}: p < 0.05$)。

2005年9月15日から2005年11月15日の期間では、群落内の水深は11月15日時点で21.1

±3.99 cmとなり減少し（ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$ ）、11月15日時点での群落内の単位幅流量は $119 \pm 224 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり増加した（ t -test: $p<0.001$ ）。一方、群落外の水深は11月15日時点で $34.1 \pm 3.99 \text{ cm}$ となり増加し（ t -test: $p<0.001$ ）、群落外の単位幅流量は11月15日時点で $969 \pm 441 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり増加した（ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$ ）。なお、単位幅流量比は11月15日時点で $12.3 \pm 3.89\%$ となり減少した（ t -test: $p<0.05$ ）。

2005年11月15日から12月5日の期間では、群落内の水深は12月5日時点で $15.1 \pm 4.71 \text{ cm}$ となり減少し（ t -test: $p<0.001$ ）、12月5日時点での群落内の単位幅流量は $22 \pm 56 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり減少した（ t -test: $p<0.001$ ）。一方、群落外の水深は12月5日時点で $31.91 \pm 5.52 \text{ cm}$ となり減少し（ t -test: $p<0.001$ ）、群落外の単位幅流量は12月5日時点で $976 \pm 628 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり増加した（ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$ ）。なお、単位幅流量比は12月5日時点で $2.3 \pm 0.72\%$ となり急激に減少した（ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$ ）。

2005年12月5日から2006年1月10日の期間では、群落内の水深は1月10日時点で $20.0 \pm 3.2 \text{ cm}$ となり増加し（ t -test: $p<0.001$ ）、1月10日時点での群落内の単位幅流量は $311 \pm 175 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり急激に増加した（ t -test: $p<0.001$ ）。一方、群落外の水深は1月10日時点で $32.3 \pm 6.60 \text{ cm}$ となり増加し（ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$ ）、群落外の単位幅流量は1月10日時点で $1389 \pm 615 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり急激に増加した（ t -test: $p<0.05$ ）。なお、単位幅流量比は1月10日時点で $22.4 \pm 0.72\%$ となり急激に増加した（ t -test: $p<0.05$ ）。

2006年1月10日から3月31日では、群落内の水深は3月31日で $12.3 \pm 6.83 \text{ cm}$ となり減少し（ t -test: $p<0.001$ ）、3月31日での群落内の単位幅流量は $21 \pm 75 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり減少した（ t -test: $p<0.001$ ）。一方、群落外の水深は3月31日で $33.2 \pm 6.80 \text{ cm}$ となり増加し（ t -test: $p<0.05$ ）、群落外の単位幅流量は $483 \pm 315 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり減少した（ t -test: $p<0.001$ ）。なお、単位幅流量比は3月31日で $14.30 \pm 1.38\%$ となり急激に減少した（ t -test: $p<0.01$ ）。

2006年3月31日から2006年5月8日の期間では、群落内の水深は5月8日時点で $25.9 \pm 6.59 \text{ cm}$ となり増加し（ t -test: $p<0.001$ ）、5月8日時点での群落内の単位幅流量は $172 \pm 306 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり増加した（ t -test: $p<0.001$ ）。一方、群落外の水深は5月8日時点で $44.5 \pm 4.44 \text{ cm}$ となり増加し（ t -test: $p<0.001$ ）、群落外の単位幅流量は5月8日時点で $1211 \pm 689 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり増加した（ t -test: $p<0.001$ ）。なお、単位幅流量比は5月8日時点と $14.20 \pm 4.48\%$ それほど変わらなかった（ t -test: $p>0.05$ ）。

2006年5月8日から2006年6月8日の期間では、群落内の水深は6月8日時点で $34.3 \pm 6.67 \text{ cm}$ となり増加し（ t -test: $p<0.001$ ）、6月8日時点での群落内の単位幅流量は $103 \pm 113 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり減少した（ t -test: $p<0.01$ ）。一方、群落外の水深は6月8日時点で $50.9 \pm 2.60 \text{ cm}$ となり増加し（ t -test: $p<0.001$ ）、群落外の単位幅流量は6月8日時点で $374 \pm 259 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり急激に減少した（ t -test: $p<0.001$ ）。これにより、単位幅流量比は6月8日時点で $27.62 \pm 8.67\%$ となり、急激に増加した（ t -test: $p<0.05$ ）。

2006年6月8日から2006年7月8日の期間では、群落内の水深は7月8日時点で $30.8 \pm 8.09 \text{ cm}$ となり減少し（ t -test: $p<0.001$ ）、7月8日時点での群落内の単位幅流量は $92 \pm 60 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり減少した（ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$ ）。一方、群落外の水深は7月8日時点で $53.3 \pm 3.69 \text{ cm}$ となり増加し（ t -test: $p<0.001$ ）、群落外の単位幅流量は7月8日時点で $495 \pm 399 \text{ cm}^3/\text{cm}$ となり増加した（ただし、有意な差はなし t -test: $p>0.05$ ）。なお、単位幅流量

比は7月8日時点で $18.52 \pm 5.78\%$ となり急激に減少した(ただし、有意な差はなし t -test: $p > 0.05$)。

2006年7月8日から8月3日では、群落内の水深は8月3日時点で 31.9 ± 6.07 cmとなり増加したが(t -test: $p < 0.001$)、単位幅流量は 92 ± 54 cm³/cmとなり変化がなかった(t -test: $p > 0.05$)。一方、群落外の水深は 51.5 ± 2.53 cmとなり減少し(t -test: $p < 0.001$)、群落外の単位幅流量は 489 ± 312 cm³/cmとなり減少した(ただし、有意な差はなし t -test: $p > 0.05$)。なお、単位幅流量比は8月3日時点で $18.90 \pm 5.91\%$ となり増加した(t -test: $p < 0.05$)。

2006年8月3日から9月12日の期間では、群落内の水深は9月12日で 17.9 ± 7.18 cmとなり減少し(t -test: $p < 0.001$)、単位幅流量は 41 ± 37 cm³/cmとなり減少した(t -test: $p < 0.05$)。一方、群落外の水深は 42.8 ± 3.46 cmとなり減少し(t -test: $p < 0.001$)、群落外の単位幅流量は 616 ± 444 cm³/cmとなり増加した(t -test: $p < 0.001$)。なお、単位幅流量比は $6.69 \pm 2.09\%$ となり急激に減少した(ただし、有意な差はなし t -test: $p > 0.05$)。

2006年9月12日から10月12日の期間では、群落内の水深は10月12日で 19.1 ± 6.40 cmとなり増加し(ただし、有意な差はなし t -test: $p > 0.05$)、群落内の単位幅流量は 34 ± 35 cm³/cmとなり減少した(t -test: $p < 0.001$)。一方、群落外の水深は 42.6 ± 5.56 cmとなり減少し(t -test: $p < 0.01$)、群落外の単位幅流量は 671 ± 459 cm³/cmとなり増加した(ただし、有意な差はなし t -test: $p > 0.05$)。なお、単位幅流量比は $5.10 \pm 1.60\%$ となり減少した(ただし、有意な差はなし t -test: $p > 0.05$)。

3. 2. 4 土壌の有機物量および栄養塩濃度の変化とミクリの栄養塩現存量の変化

図3-20は湛水部のミクリ群落内と流水部のミクリ群落内・外の土壌の強熱減量を示したものである(ただし、湛水部は2005年9月15日と2006年1月10日、流水部の群落外2006年1月は検体不備のためデータなし)。2005年11月15日から2006年1月10日の期間においては、流水部の群落内の土壌は細粒分の増減に応じて、強熱減量が2005年11月15日約 $2.77 \pm 0.21\%$ 、12月5日約 $7.59 \pm 0.59\%$ 、2006年1月10日約 $4.96 \pm 0.11\%$ と増減した。2006年6月8日に倒伏が確認された時点の前後においては、流水部の群落内の土壌は2006年5月8日時点で強熱減量は約 $4.72 \pm 0.02\%$ であったが、9月12日には約 $11.4 \pm 0.54\%$ となり、この期間におけるピークを迎えた。そして10月12日には、流水部の群落内の土砂が侵食したのに応じて強熱減量は減少し、約 $8.29 \pm 2.25\%$ となった。

一方、湛水部の群落内の土壌は2005年11月15日から12月5日の倒伏確認時点にかけて、2006年11月15日で強熱減量は約 $10.4 \pm 0.10\%$ であったのが12月5日には $7.97 \pm 0.35\%$ となり、有機物量の減少が確認された。2006年5月8日以降の期間においては、土壌中の有機物量は8月3日に強熱減量が $14.2 \pm 0.96\%$ とピークを迎えるまで増加していき、その後10月12日には $9.94 \pm 2.19\%$ まで減少した。

図3-21は湛水部のミクリ群落内と流水部ミクリ群落内・外の土壌のT-N含有率(ただし、湛水部2005年9月15日と2006年1月10日、流水部群落外2006年1月10日は検体不備のためデータなし)と、湛水部、流水部のミクリのT-N現存量を示したものである。なお、ミクリのT-N現存量とは各部位ごとのT-N現存量を総和したものであり、1次生長期は冬季から夏季において葉茎が生長し枯死するまで期間を、2次生長期は夏季から冬季において葉茎が生長し枯死するま

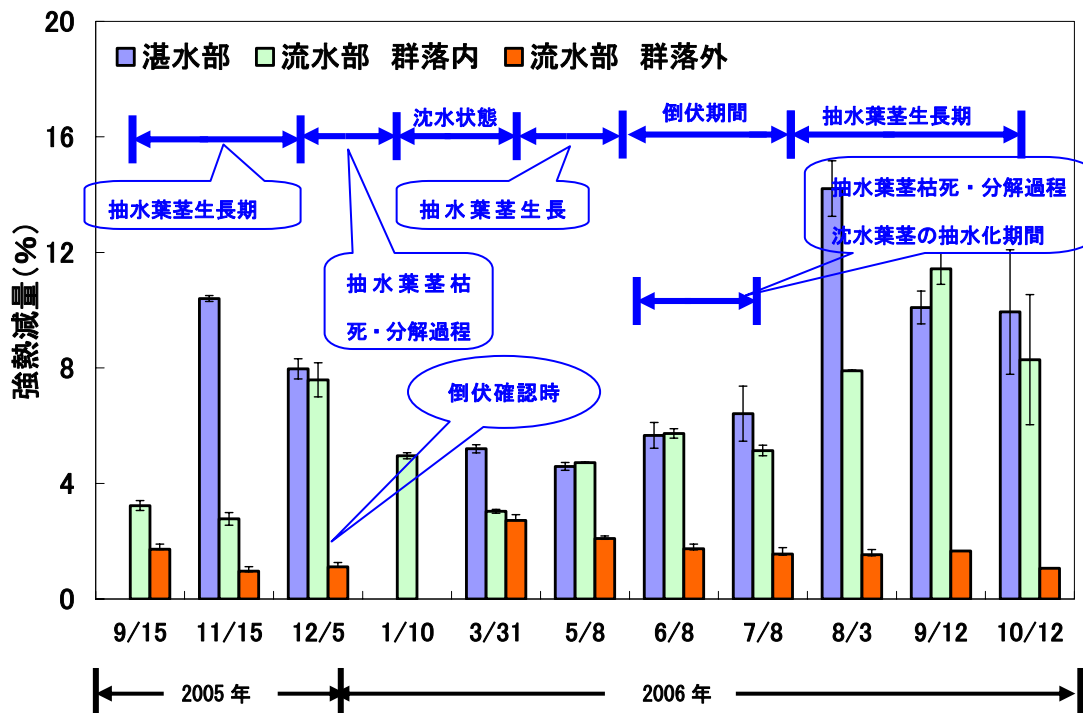


図 3-20 ミクリ群落周辺部の土壌の強熱減量の変化

で期間と定義している。潜水部のミクリは2005年12月5日の倒伏確認時にT-N現存量は約 $28.9 \pm 6.40\text{g/m}^2$ であったが、2006年1月10日には1次生長期と2次生長期のミクリの現存量をあわせた値が約 $10.5 \pm 1.15\text{g/m}^2$ と1次生長期に移行するとともに急激に減少した。それ以降、1次生長期のミクリの生長とともに次第に増加し、6月8日の倒伏確認時に約 $36.9 \pm 14.0\text{g/m}^2$ とピークを迎え、2次生長期に入る7月8日には1次生長期と2次生長期のミクリの現存量が約 $20.0 \pm 7.90\text{g/m}^2$ と急激に減少していった。そして、2次生長期のミクリが生長するとともに、現存量は増加し、10月12日には約 $25.5 \pm 7.41\text{g/m}^2$ となった。なお、同地点の土壌の方は2006年3月以降の期間において、3月31日時点でT-N含有率が約 $0.18 \pm 0.01\%$ だったのが、次第に増加していき8月3日には約 $0.57 \pm 0.05\%$ とピークとなった。その後、一旦減少した後、増加して10月12日には約 $0.40 \pm 0.02\%$ となった。流水部のミクリについては、倒伏確認時の2005年12月5日にT-N現存量は約 $34.2 \pm 5.33\text{g/m}^2$ であったが、1次生長期に入る2006年1月10日には1次生長期と2次生長期のミクリの現存量を合わせた値が約 $6.25 \pm 0.48\text{g/m}^2$ と急激に減少した。その後、1次抽水葉茎の生長とともにT-N現存量は増加し、倒伏確認時の2006年6月8日に約 $41.3 \pm 15.6\text{g/m}^2$ とピークを迎え、7月8日には1次生長期と2次生長期のミクリの現存量を合わせた値が約 $16.7 \pm 6.33\text{g/m}^2$ と急激に減少した。そして、2次生長期に入るとともに再び増加し、地上部バイオマスのピーク時である10月12日には $24.1 \pm 4.63\text{g/m}^2$ となった。なお、同地点の群落内の土壌のT-N含有率については、2005年9月15日には $0.08 \pm 0.00\%$ だったのが、12月5日には約 $0.35 \pm 0.03\%$ となり、2006年5月8日には $0.19 \pm 0.00\%$ だったのが2006年9月12日には $0.48 \pm 0.01\%$ となり、葉茎の倒伏が生じ、土砂の堆積が進んでいくとともにT-N含有率は増加していった。そして、2006年10月12日には群落内の土壌は侵食を受けて $0.43 \pm 0.01\%$ まで減少した。

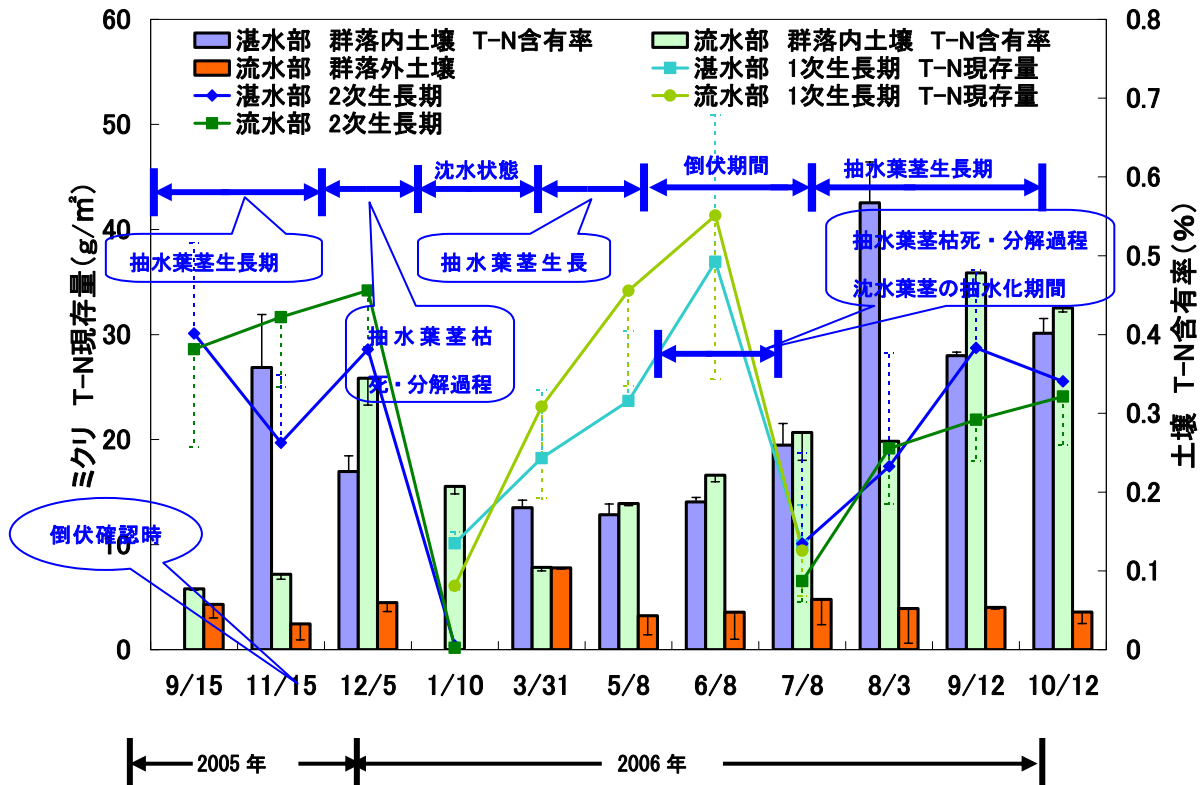


図 3-21 ミクリ群落周辺部の土壌の T-N 含有率とミクリの T-N 現存量の月変化

図 3-22 は湛水部のミクリ群落内と流水部のミクリ群落内・外の土壌の T-P 含有率（ただし、湛水部 2005 年 9 月 15 日と 2006 年 1 月 10 日、流水部群落外 2006 年 1 月 10 日は検体不備のためデータなし）と、湛水部、流水部のミクリの T-P 現存量を示したものである。なお、ミクリの T-P 現存量は T-N 現存量と同様な方法で算出した。湛水部のミクリの T-P 現存量は 2005 年 12 月 5 日の倒伏確認時に約 $5.13 \pm 1.96 \text{g/m}^2$ であったが、2006 年 1 月 10 日には 1 次生長期と 2 次生長期のミクリの現存量をあわせた値が約 $2.20 \pm 0.24 \text{g/m}^2$ と 1 次生長期に移行するとともに減少した。その後、葉茎の生長と共に増加していき、2006 年 6 月 8 日の倒伏確認時には約 $6.06 \pm 1.55 \text{g/m}^2$ とピークを迎え、2006 年 7 月 8 日には 1 次生長期と 2 次生長期のミクリの現存量をあわせた値が約 $3.95 \pm 1.11 \text{g/m}^2$ と減少した。その後、バイオマスの増加と共に T-P 現存量は増加していき、2006 年 10 月 12 日には約 $5.81 \pm 1.86 \text{g/m}^2$ となった。なお、同地点の土壌については T-P 含有率は 2006 年 5 月 8 日に約 $0.10 \pm 0.00\%$ だったのが次第に増加していき、2006 年 9 月 12 日には約 $0.24 \pm 0.02\%$ と観測期間の最大値となった。2006 年 10 月 12 日には約 $0.21 \pm 0.03\%$ となり減少した。

流水部のミクリについては、倒伏確認時の 2005 年 12 月 5 日に T-P 現存量は約 $5.67 \pm 1.27 \text{g/m}^2$ であったのが、2006 年 1 月 10 日には 1 次生長期と 2 次生長期のミクリの現存量をあわせた値が約 $1.21 \pm 0.09 \text{g/m}^2$ と 1 次生長期に移行するとともに減少した。それ以降、1 次生長期に入り T-P 現存量は増加していき、倒伏確認時の 2006 年 6 月 8 日に $7.24 \pm 3.79 \text{g/m}^2$ とピークを迎え、2006 年 7 月 8 日には 1 次生長期と 2 次生長期のミクリの現存量をあわせた値が約 $3.76 \pm 1.63 \text{g/m}^2$ と減少した、それ以降、2 次生長期に入り再び増加し、地上部バイオマスのピーク時である 10 月 12 日には約 $5.47 \pm 0.01 \text{g/m}^2$ となった。なお、同地点の土壌の含有率については 2005 年 9 月 15 日

時点で約 $0.07 \pm 0.01\%$ であったのが 2005 年 12 月 5 日には $0.15 \pm 0.02\%$ まで増加していき、2006 年 1 月 10 日には約 $0.09 \pm 0.02\%$ まで減少した。2006 年 6 月 8 日の倒伏確認時の前後の期間については 2006 年 5 月 8 日時点で約 $0.09 \pm 0.03\%$ であったのが、次第に増加して 2006 年 9 月 12 日には約 $0.20 \pm 0.01\%$ となり、その後、土砂の侵食が確認された 10 月 12 日には約 $0.17 \pm 0.01\%$ まで減少した。

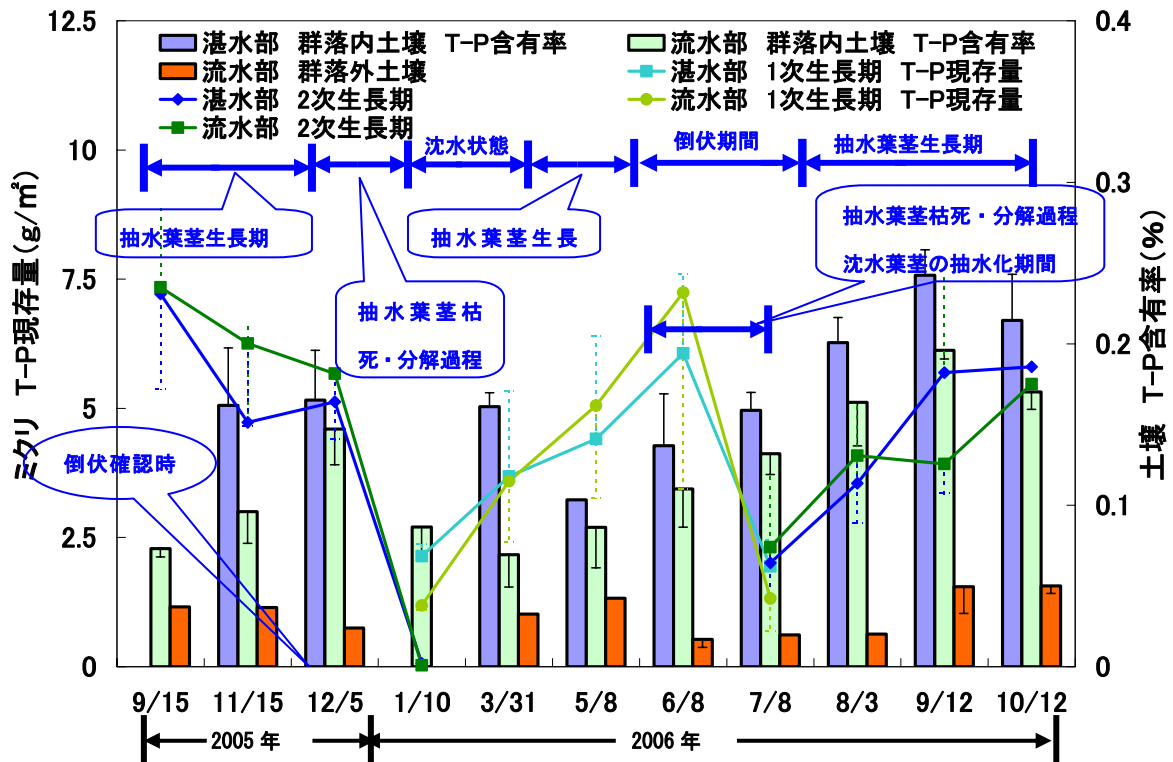


図 3-22 ミクリ群落周辺部の土壌の T-P 含有率とミクリの T-P 現存量の月変化

4. 考察

4. 1 各年のバイオマス、葉茎密度、葉茎長さの比較

湛水部において、ミクリの生きている地上部バイオマスの夏季のピーク時の値を比較すると、2004 年 6 月 23 日に $3310 \pm 356 \text{ gD.W./m}^2$ 、2005 年 7 月 30 日に $3620 \pm 589 \text{ gD.W./m}^2$ 、2006 年 6 月 8 日に $966 \pm 156 \text{ gD.W./m}^2$ と 2006 年が例年の 3 分の 1 程度しかバイオマスは大きくならなかった。また、葉茎長さの夏季のピーク時の値は 2004 年 6 月 23 日に $248 \pm 25.6 \text{ cm}$ 、2005 年 7 月 30 日に $178 \pm 24.1 \text{ cm}$ 、2006 年 6 月 8 日に $200 \pm 20.8 \text{ cm}$ となっている。

流水部において、ミクリに生きている地上部バイオマスの夏季のピーク時の値を比較すると、2005 年 7 月 30 日に $2860 \pm 325 \text{ gD.W./m}^2$ 、2006 年 6 月 8 日に $1410 \pm 509 \text{ gD.W./m}^2$ と 2006 年は 2005 年と比較すると半分程度しかバイオマスは大きくならなかった。また、葉茎長さの夏季のピーク時の値は 2005 年 6 月 30 日に $190 \pm 17.8 \text{ cm}$ 、2006 年 7 月 8 日に $197 \pm 29.9 \text{ cm}$ となっている。

なお、各年の春季から夏季における各地点の抽水 1 次葉茎の葉茎密度の推移について比較すると 2006 年は減少傾向を示しているのに対し、その他の年は増加傾向が示された。

バイオマスの1回目のピークの値、春季から夏季における葉茎密度の推移が2006年は各地点とも2004年と2005年を比較すると異なる傾向が示されたのは、2006年は極端に日照時間が少なかったことからこれによる影響が考えられる。

4.2 ミクリの分解特性

表4-1は、主な抽水植物と沈水植物の分解係数と50%分解されるまでにかかる日数である。ヨシの地下茎や根は葉よりも分解が遅い(Wrubleski, et al, 1997)、地下茎によっても若いもの程分解が速い(Asaeda & Nam, 2003)などの多少の差はあるものの、抽水植物では50%分解するのに、1年以上、沈水植物では1~2ヶ月程度と言え1このことは流出が無ければ、沈水植物では、群落形成後、数年で有機物の生産量と分解量がバランスすることになるのに対して、抽水植物では、常に有機物が堆積し続けるということを示している(Asaeda et al, 2000; 2002) 3)。

一方、ミクリが50%分解するのに必要な日数は葉茎上部では40日~60日、葉茎下部では3日程度、地下部では50%分解するのに必要な日数は3日~10日程度であることから、ミクリの分解速度は他種と比較すると分解速度が沈水植物と同じくらい速いことが分かる。

4.3 ミクリの形態とバイオマスの関係

図4-1に各地点で2006年7月から2006年11月に採取したミクリの葉茎の太さと葉茎1本の

表4-1 主な抽水および沈水植物の分解速度

	分解係数 k (1/day)	50%分解に要する 日数
抽水植物		
ヨシ	0.0005~0.0031	224~1386
ヒメガマ	0.0019~0.0047	147~364
ガマ	0.0043~0.104	67~160
ウキヤガラ	0.0018	385
沈水植物		
マツモ	0.0213	31
コカナダモ	0.026~0.0912	8~27
クロモ	0.020	35
ホザキノフサモ	0.0315	22
イバラモ	0.0341	22
エビモ	0.042~0.093	7.5~17
リュウノヒゲモ	0.0097~0.082	8.5~71
ヒロハノエビモ	0.0537	13

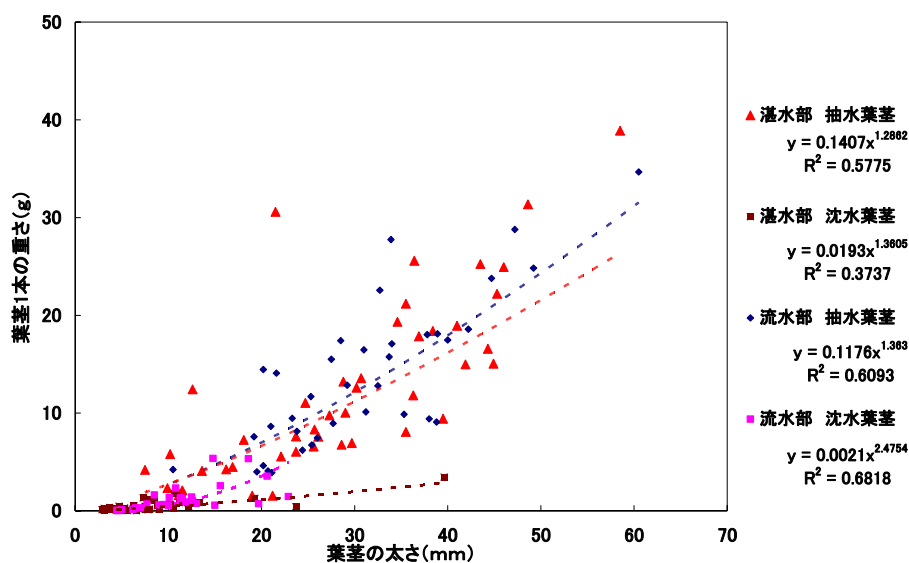


図4-1 ミクリの葉茎の太さと葉茎1本の重さの関係のグラフ

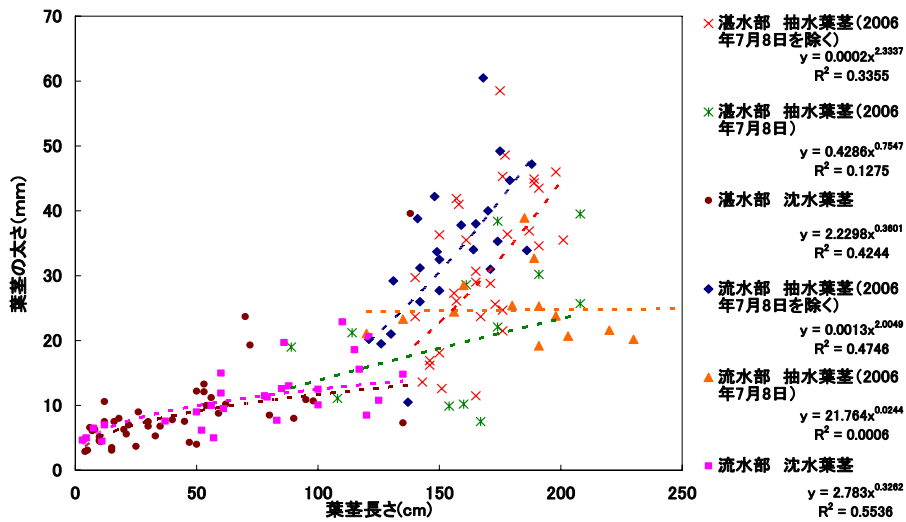


図 4-2 ミクリの葉茎の太さと葉茎の長さの関係のグラフ

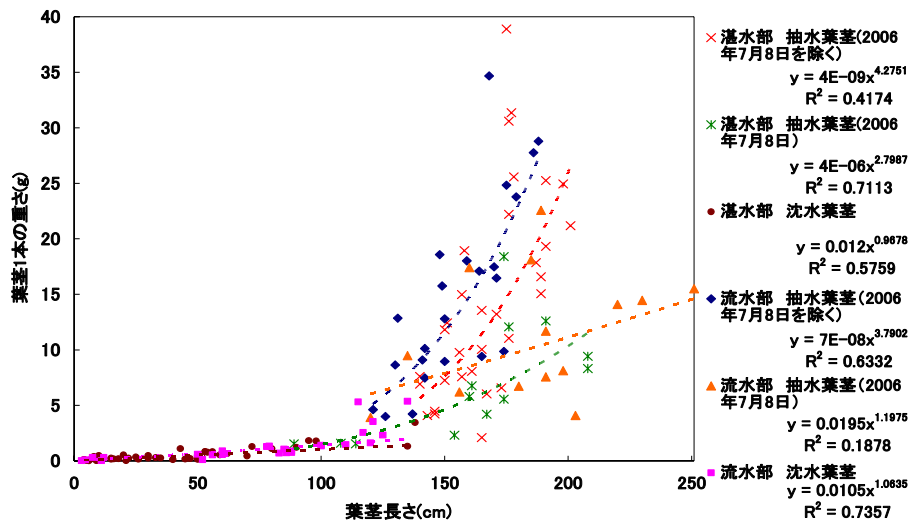


図 4-3 ミクリの葉茎 1 本の重さと葉茎長さの関係のグ

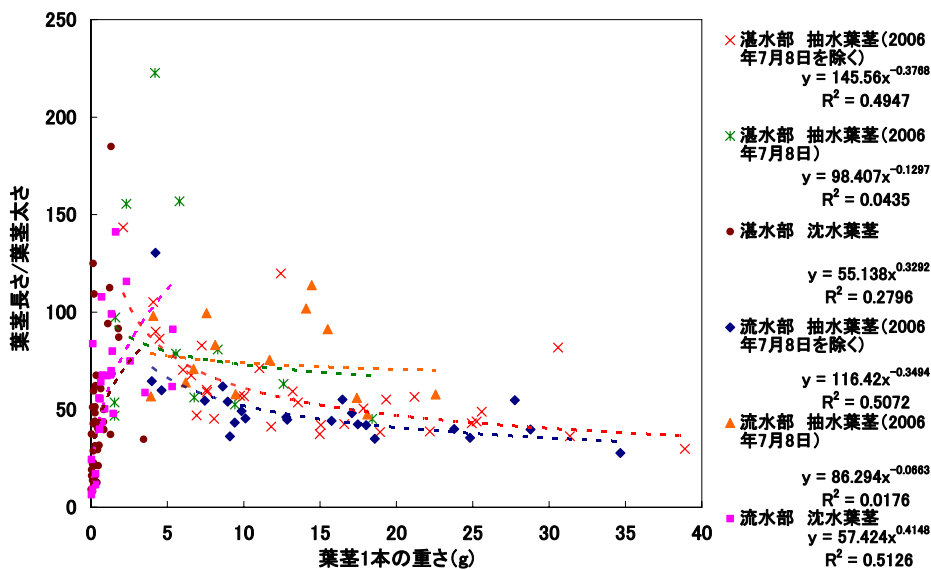


図 4-4 ミクリの葉茎の長さ/太さと葉茎 1 本あたりの重さの関係のグラフ

重さをプロットしたグラフを、**図 4-2** に各地点で採取したミクリの葉茎の太さと葉長さをプロットしたグラフを、**図 4-3** に各地点で採取したミクリの葉茎 1 本の重さと葉茎長さを、**図 4-4** に葉茎の長さ/太さと葉茎 1 本あたりの重さをプロットしたグラフを示す。なお、**図 4-2**、**図 4-3**、および**図 4-4** については 2006 年 7 月の検体から得られたデータは他と異なる傾向を示したので別のカテゴリーで色分けしてある。

まず、葉茎の太さと重さの関係を見てみると、抽水葉茎は各地点とも同じような傾向が示された。沈水葉茎について見てみると、湛水部の一部の検体を除き同じような傾向が示された。

次に、葉茎の太さと長さの関係について見てみると、各地点とも沈水葉茎の時は、葉茎太さを太くするよりも葉茎長さを長くすることを優先している傾向が読み取れる。それに対し、抽水葉茎になると、葉茎長さを長くよりも葉茎太さを太くする傾向が読み取れる。この傾向は**図 4-4** からも明らかに分かる。また、流水部の葉茎の方が、湛水部のそれよりも、葉茎を太く、短く生長している傾向が読み取れる。なお、2006 年 7 月 8 日の抽水葉茎について見てみると、各地点とも細長く葉茎が育っている傾向があるのが分かる。

最後に、葉茎の重さと長さの関係についてみてみると、抽水葉茎になると重く育つ傾向が読み取れる。なお、2006 年 7 月 8 日の抽水葉茎について見てみると、各地点とも軽く長く葉茎が育っている傾向があるのが分かる。

湛水部と比較して、流水部で抽水葉茎が太く、短く生長した理由については 2 点が考えられる。まず 1 つ目にミクリは葉茎の内部がスポンジのような構造をしており、水深が深いと葉茎に浮力が働く。湛水部の年間平均水深は 60.5 ± 4.5 cm であるのに対し、流水部では 22.0 ± 7.93 cm と、流水部では浅く浮力があまり作用しないためこのような結果となったと考えられる。また、2 つ目に流水部では水の流れの抵抗を受けるため、それに耐えようと太くすることで葉茎を丈夫に育てることを優先したためと考えられる。また、各地点とも、沈水葉茎から抽水葉茎になると、葉茎長さを長くさせるよりも葉茎太さを太くする理由については、沈水葉茎は葉茎全体に浮力が作用するが、抽水葉茎は葉茎全体には作用しないため、この影響が 1 つ考えられる。

2006 年 7 月 8 日に葉茎が細長く育った傾向を示した理由について以下に説明する。各地点とも、この時期におけるミクリの葉茎密度、バイオマス密度は他の時期と比較すると高く、葉茎が密集した状態となっているため、光条件は悪化していることが推測される。ミクリは他の葉茎よりも長さを伸ばすことで光環境の改善を図り、葉茎を太くするよりも長くすることを選んだため、このような結果になったと考えられる。また、同時期は葉茎が倒伏をしている期間であるため、この影響も考えられる。

4. 4 土壌の堆積、侵食速度と流速の関係

ミクリの生長段階ごとに色分けを行って**図 4-5** に、流水部の観測点における観測間隔ごとのミクリ群落内の水深 5cm での流速の増加量と群落内の土壌堆積速度の関係を示す。沈水葉茎が抽水葉茎へと移行する期間では、ミクリ群落内の水深 5cm の流速の増減に関わらず、土壌は侵食を受けないことが分かる。このような結果になったのは沈水葉茎が生長し、抽水葉茎へと生長する期間では、群落内の流速が増加しても、沈水葉茎の水中を漂う葉が土壌の舞い上がりを防いでいるためだと考えられる。これは、抽水葉茎の倒伏が起きるまでの期間である抽水葉茎の生長期では群落内の流速が減少しても土壌が侵食されてしまうことがあることから推測出来る。

ミクリが倒伏する期間については、2005年11月15日から12月5日の期間では群落内の速度増加量が $-3.73 \pm 3.33 \text{ cm/s}$ で堆積速度が $0.28 \pm 0.21 \text{ cm/day}$ 、2006年6月8日から7月8日の期間では群落内の速度増加量が $-3.73 \pm 3.33 \text{ cm/s}$ で堆積速度が $0.28 \pm 0.21 \text{ cm/day}$ と、他の生長段階にある期間と比較すると小さな速度減少量で効率的に土壌が捕捉されていることが分かる。さらに、倒伏を人為的に修復した実験期間である2005年9月5日について見てみると、速度増加量が $0.73 \pm 0.88 \text{ cm/s}$ で堆積速度が $-1.98 \pm 3.51 \text{ cm/s}$ と2005年12月5日から1月10日の枯死・分解期間と比較すると少ない速度増加量で土壌が多く流出してしまったのが分かる。これらのことから、葉茎が倒伏することで土壌堆積が促進される。

4. 5 ミクリの地上部バイオマスと群落内・外の流速の関係

図4-6に流水部においてミクリの生きている地上部バイオマスとメッシュ上観測でのミクリ群落内・外の流速の関係を、図4-7に流水部において水中にあるミクリの生きている地上部バイオマスとミクリ群落内・外の流速の関係を示す。倒伏時を除く期間では、群落内、群落外ともにバイオマスが減少していくにつれて、反比例に近い形で流速が増加していく傾向が見られた。なお、倒伏時については群落内では累乗近似しても相関性が見られなかったが、群落外では群落内と同様な傾向が得られた。

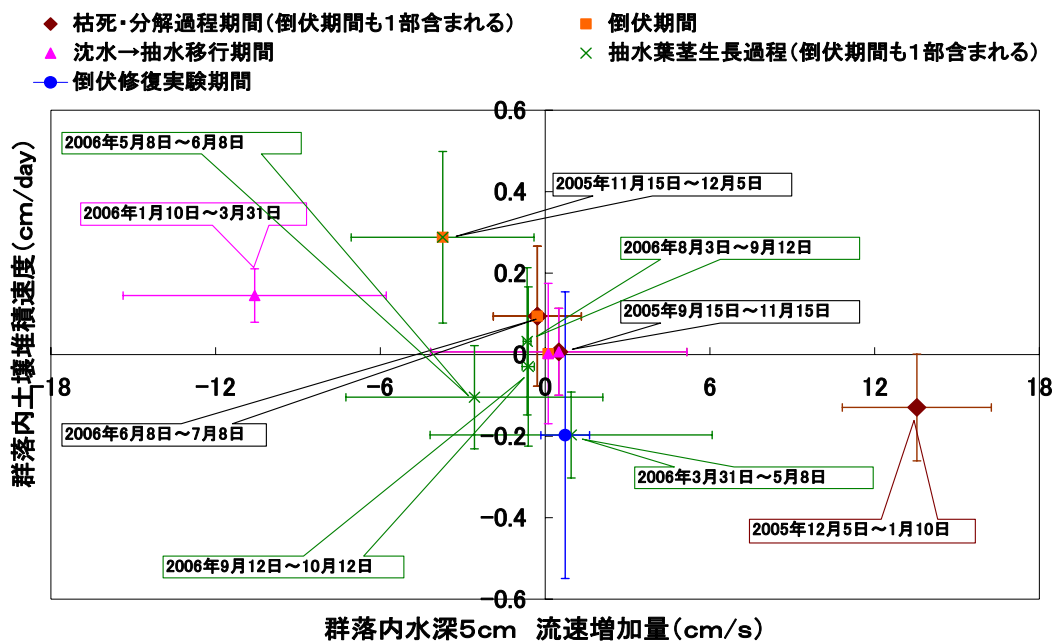


図4-5 群落内の流速の増加量と土壌堆積速度との関係

群落外の流速について、倒伏が確認された2006年6月8日と倒伏期間中であった7月8日の流速が他の観測時と比較して遅くなった。そして、図3-7に示されるように2006年5月8日から8月3日の期間において、群落内と定義した面積が次第に増加していることから、夏季に生じる倒伏では群落を取り囲んでいる場、すなわち、群落に限りなく近いところでも、流速を大きく減少させる影響を及ぼし、群落面積を拡大させていくのに役立っていると考えられる。大規模な刈り取りにより葉茎を切り取ってしまうと急激に群落内の流速が増加し、群落内の土壌の急激な侵食が促され、ミクリの生息基盤が徐々に失われてしまうことが予想される。

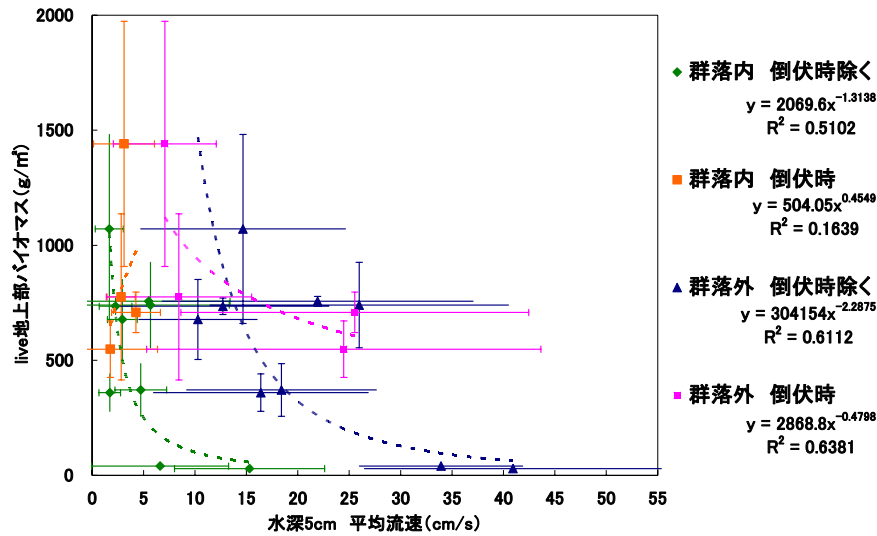


図 4-6 ミクリの生きている地上部バイオマスと水深 5cm の平均流速の関係

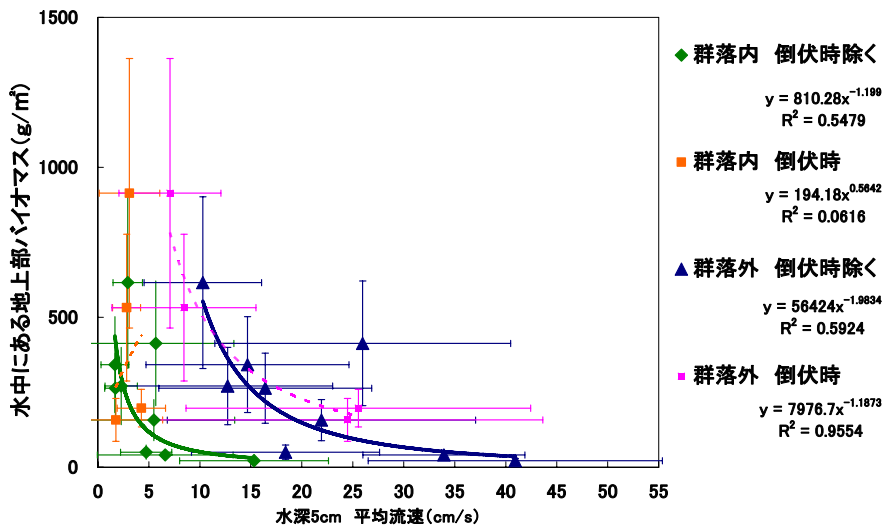


図 4-7 地上部バイオマスと水深 5cm の平均流速の関係

4. 6 流水部の群落周辺における流況の変化とミクリの生長との関係

図 4-8 にミクリの生きている地上部バイオマスと群落内・外の水深の関係を、図 4-9 にミクリの水中にある生きている地上部バイオマスと群落内・外の水深の関係を示す。なお、水中の生きている地上部バイオマスは、まず抽水葉茎について、葉茎を円錐体と近似し、図 4-2、図 4-3、および図 4-4 から抽水葉茎の長ささと太さからミクリの体積を算出し、さらにこの結果から葉茎の重さとの関係から葉茎の密度を算出した。そして、群落内の平均水深から抽水葉茎が水中にある部分の体積を算出し、この値から水中にある抽水葉茎のバイオマスを求めた。この値に、沈水葉茎のバイオマスを足し、水中にある生きている地上部バイオマスとした。

図 4-8 と図 4-9 から、ミクリの地上部バイオマス、あるいは水中にあるバイオマスが増加すると水深が増加するのが分かる。これは、葉茎が大きくなり、葉茎自体が水を押しよけることにより水深が増加することが考えられる。

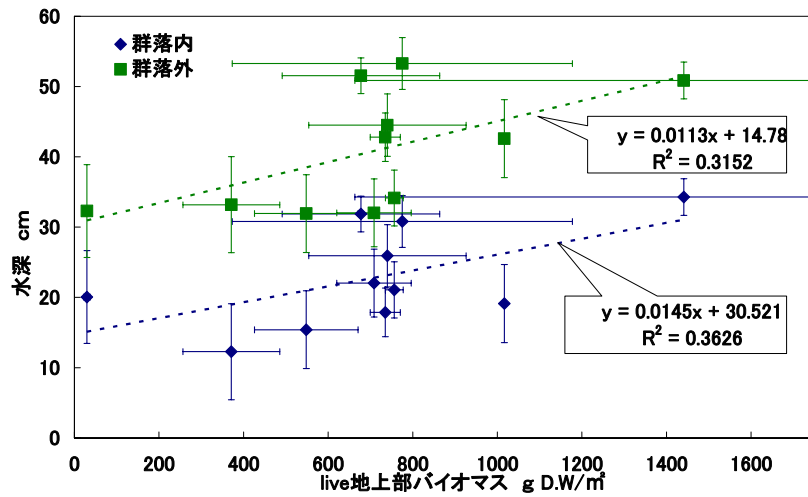


図 4-8 生きている地上部バイオマスと水深の関係

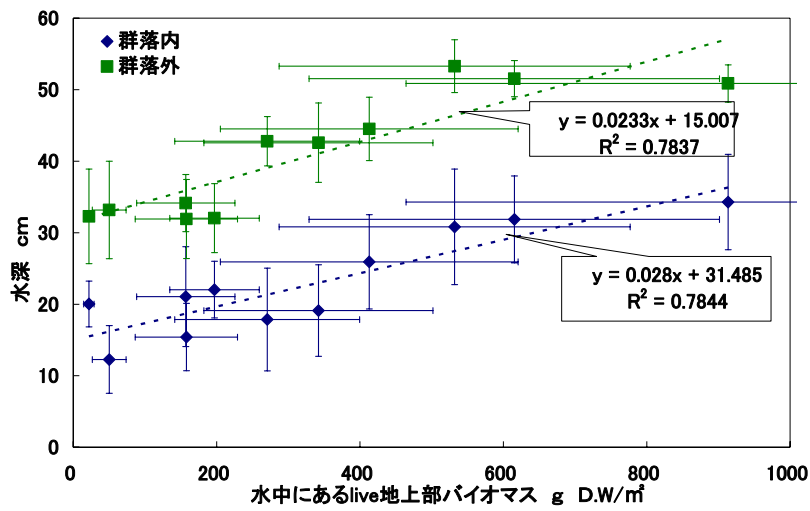


図 4-9 水中にある生きている地上部バイオマスと水深の関係

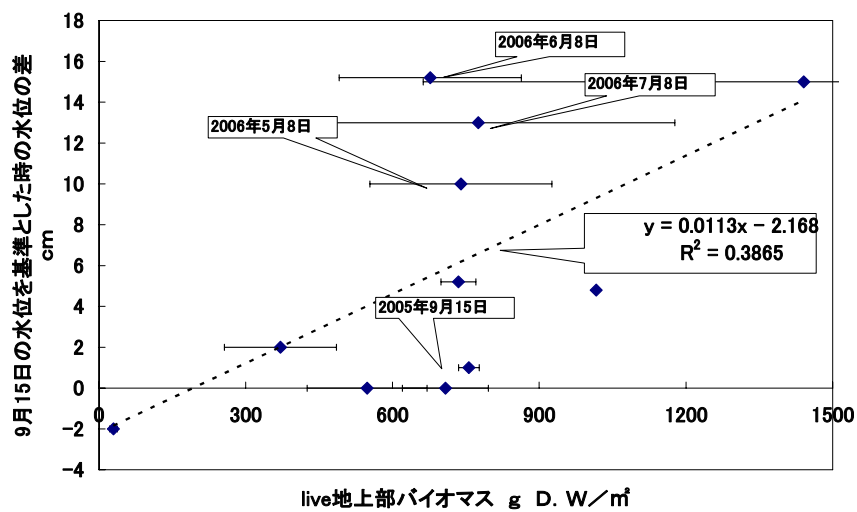


図 4-10 生きている地上部バイオマスと水位の関係

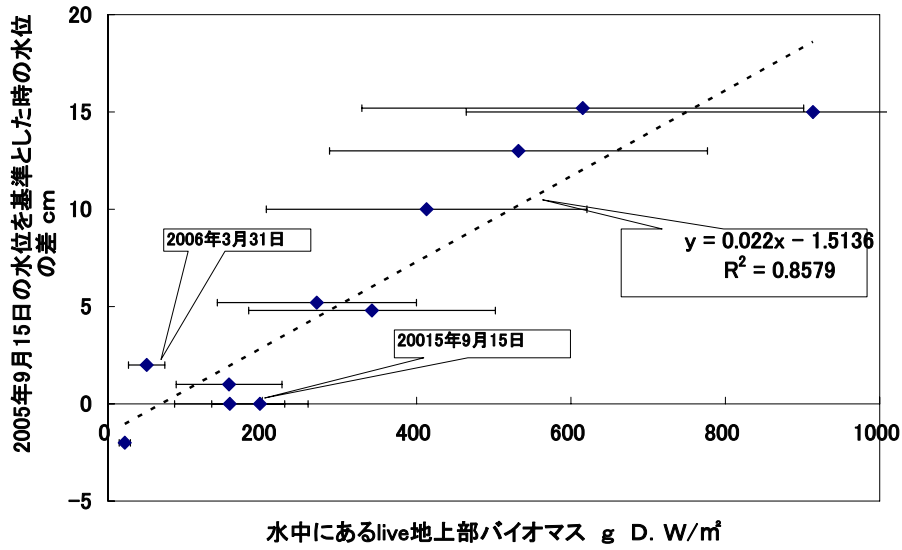


図 4-11 水中にある生きている地上部バイオマスと水位の関係

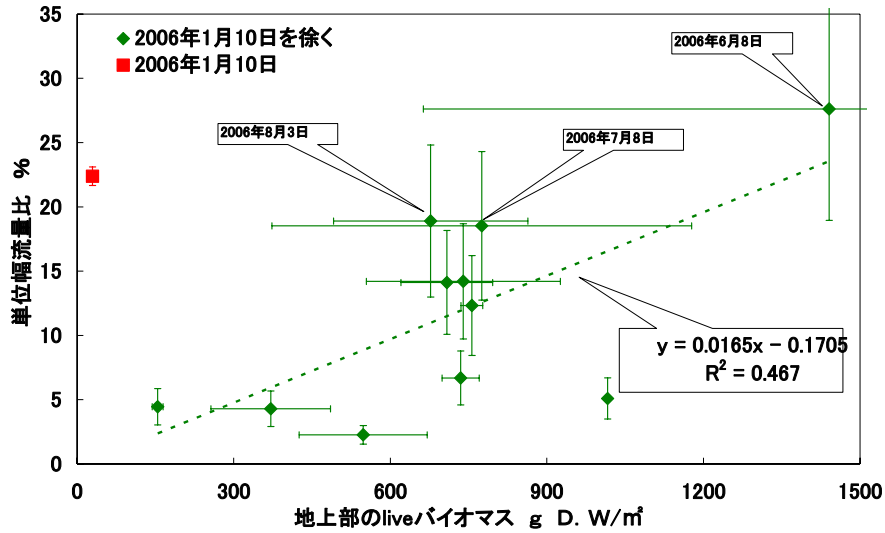


図 4-12 生きている地上部バイオマスと単位幅流量比の関係

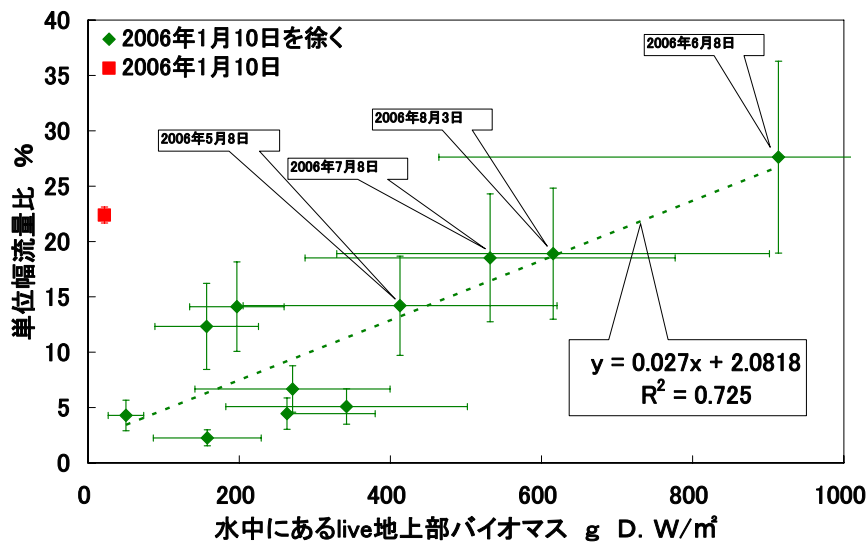


図 4-13 水中にある生きている地上部バイオマスと単位幅流量比の関係

図 4-10 に生きている地上部バイオマスと 2005 年 9 月 15 日の水位を基準とした時の水位変化の関係を、図 4-11 に水中にある生きている地上部バイオマスと 2005 年 9 月 15 日の水位を基準とした時の水位変化の関係を示す。各バイオマスの値と水位の関係は水深の場合と同様な傾向が示されているが、このようになったのも前述と同様な理由のためだと考える。特に、生きている地上部バイオマスと水位の関係について、2006 年 5 月 8 日から 2006 年 7 月 8 日の期間にかけて、生きている地上部バイオマスが近い値を示している他の観測日と比較して水位が高い値を示しているのは、この期間は降水量が多く、これによる影響が考えられる。

図 4-12 にミクリの生きている地上部バイオマスとミクリ群落・外の単位幅流量比の関係を、図 4-13 にミクリの水中にある生きている地上部バイオマスとミクリ群落・外の単位幅流量比の関係を示す。なお、2006 年 1 月 10 日については他期間と異なる傾向を示しているため、別のカテゴリーに分けて色分けしてある。図 4-12 と図 4-13 から、ミクリの生きている地上部バイオマス、あるいは水中にあるバイオマスが増加すると単位幅流量比が増加するのが分かる。この様な傾向が示されたのは、ミクリの地上部バイオマスが増加すると群落内の水深が深くなり、群落内の単位幅流量が高く見積もられたことと、また、図 4-6、図 4-7 (バイオマス、流速関係のグラフ) 群落外と定義した箇所の流速が減少し単位幅流量が小さく見積もられたためだと考えられる。特に、その傾向は水深が深かった 2006 年 5 月 8 日から 2006 年 8 月 3 日の期間にかけて顕著に現れている。なお、2006 年 1 月 10 日はバイオマスが小さいのに関わらず単位幅流量比が大きくなったのは、葉茎による抵抗がなくなり、群落内の急激な流速の増加が影響していると考えられる。

4. 7 流水部の群落周辺における流況の変化と群落内の土壌堆積の関係

図 4-14 に群落内の単位幅流量増加速度と土壌堆積速度の関係を、図 4-15 に群落内と群落外の単位幅流量比と土壌堆積速度の関係を示す。なお、比の値は群落内の値を群落外の値で除した値である。流量が増加すると群落内では浸食が促され、逆に流速比が減少すると堆積が促される傾向が示された。単位幅流量比でも同様な傾向が示され、単位幅流量比が増加すると群落内では浸食が促され、逆に流量比が減少すると堆積が促される傾向が示された。

この様な傾向が示されたのは、まず群落内の単位幅流量については群落内の流量が減少すれば、水中を浮遊する粒子が沈降しやすい状況がつけられることによると考えられる。単位幅流量比については、流量比が大きくなれば、流水部のメッシュ上の観測点における流れの中心が相対的に群落外と定義した箇所から群落内と定義した箇所の方に移動することにより、土壌堆積が生じにくい環境がつけられるためだと考えられる。そして、土壌堆積速度との関係について、群落内・外の単位幅流量の比との相関係数の 2 乗の値が (相関係数 $r = -0.8229$) が、群落内の単位幅流量の相関係数の 2 乗の値 (相関係数 $r = -0.7868$) よりも大きく高い相関関係が得られたことから、群落内の流況の変化だけではなく、ミクリ群落周辺部の流況の変化も、群落内の土壌堆積速度の影響を及ぼすことが考えられる。

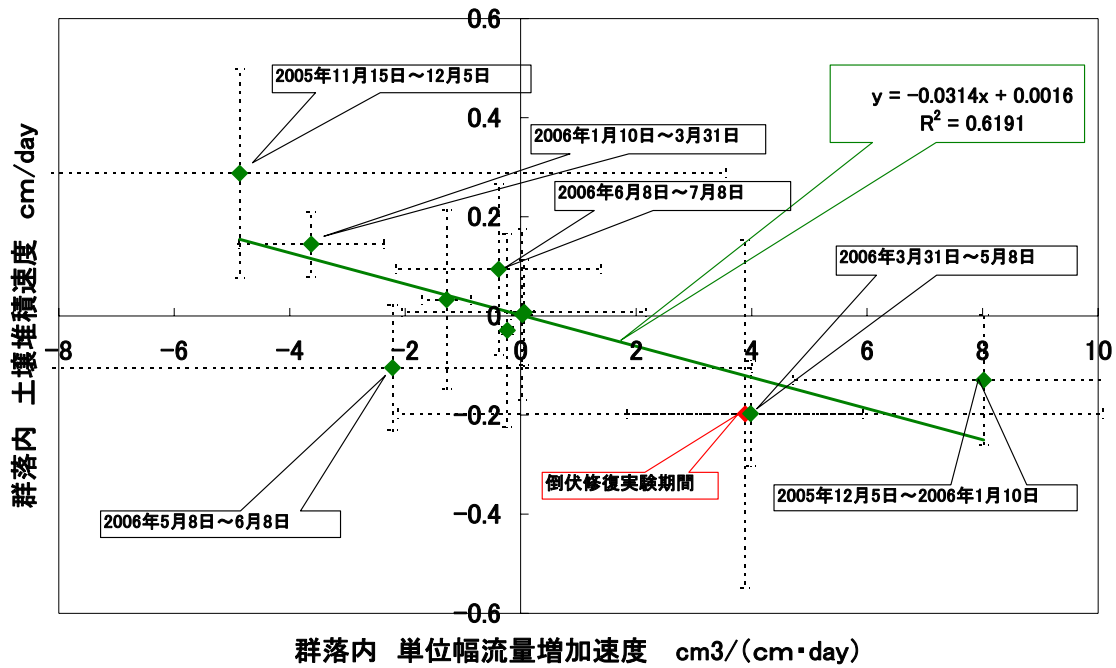


図 4-14 土壌堆積速度と群落内の単位幅流量増加速度の関係

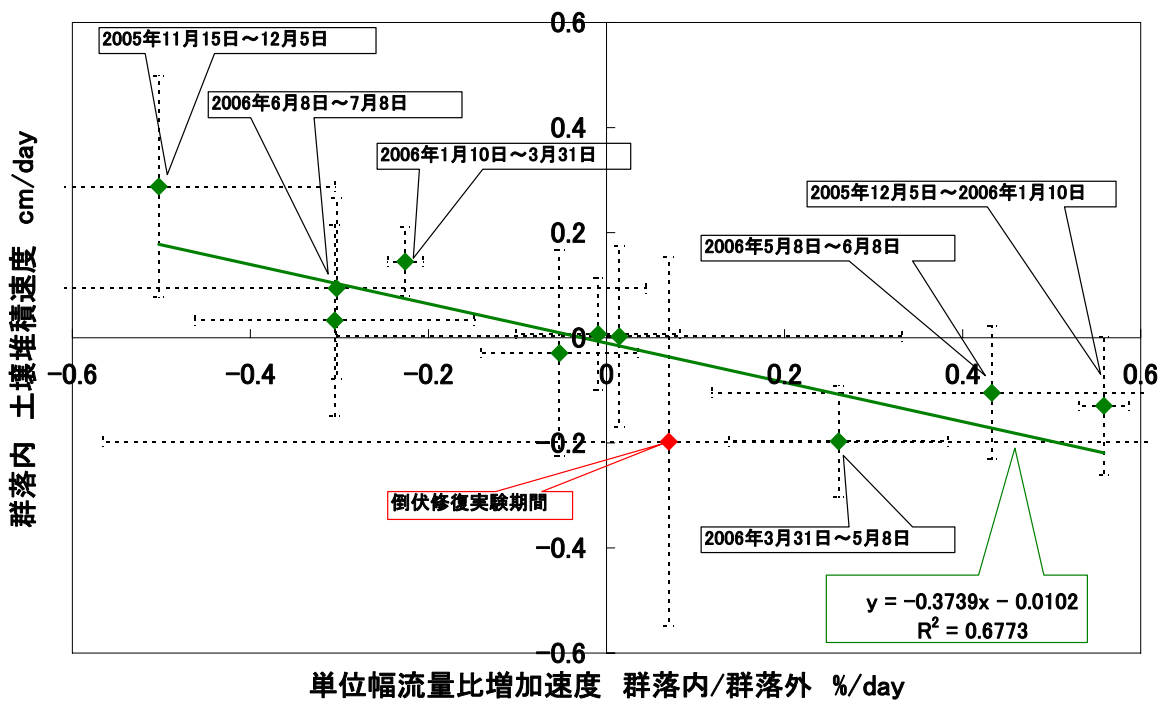


図 4-15 土壌堆積速度と単位幅流量比増加速度の関係

4. 8 ミクリの生長と流水部の流況の変化及びミクリ群落内の土壌堆積の関係

図 4-16 に流水部の観測点エリアの流量を全体の流量で除した値（以下、流量比とする）と生きているミクリの地上部バイオマスの関係を、図 4-17 に流量比と水中にあるミクリの生きている地上部バイオマスの関係を示す。なお、各図とも 2006 年 5 月 8 日は流量が大きかったため、別のカテゴリーで色分けしてある。

地上部のバイオマスが増加するにつれて、次第に流量比が減少することが分かる。これは、葉茎が生長すれば、それが流れに対して抵抗となり、観測点エリアを通過する流量が減少するため

このようなこのような結果となったと考えられる。なお、各図とも 2006 年 1 月 10 日から 3 月 31 日を結ぶ赤い矢印の区間は沈水状態となっている区間だと考えられるが、この区間は急激に流量比が減少していることおり、また、緑の矢印の区間は抽水状態あるいは倒伏状態の区間であるがこの区間はバイオマスが増加しても、流量比の減少が緩やかであることから、沈水葉茎はバイオマスが小さい割に流水に対して大きな抵抗となると考えられる。

図 4-18 に流量比増加量とミクリ群落内に堆積した土の高さを、図 4-19 に流量比増加速度と土壌堆積速度の関係を示す。なお、各図とも 2006 年 5 月 8 日を挟む期間は流量が大きかったため、別のカテゴリで色分けしてある。

流量比が減少すればミクリの群落内の堆積が促されているのが分かる。これは、流量比が減少するということは、滞留状態に近づくことであることから、これにより、水中の浮遊物の沈降が促され、このような結果となったと考えられる。

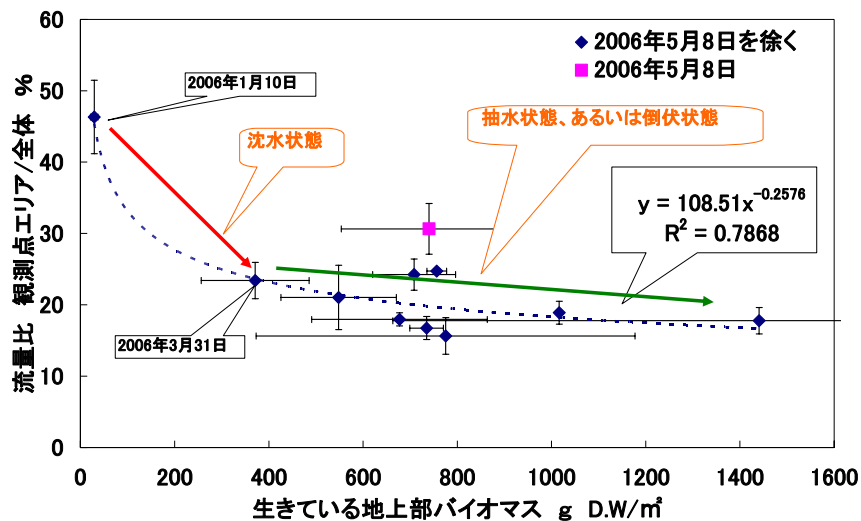


図 4-16 生きている地上部バイオマスと流量比（観測点エリア/全体の流量の関

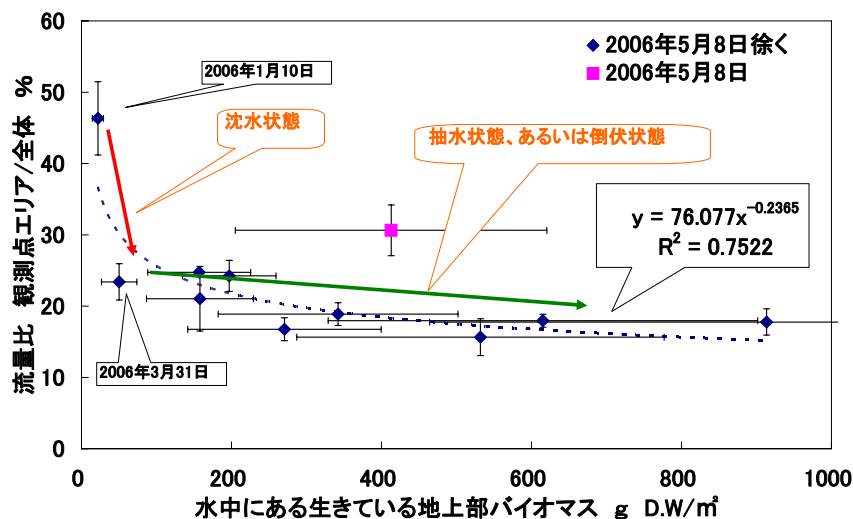


図 4-17 水中にある生きている地上部バイオマスと流量比（観測点エリア/全体の流量）の関係

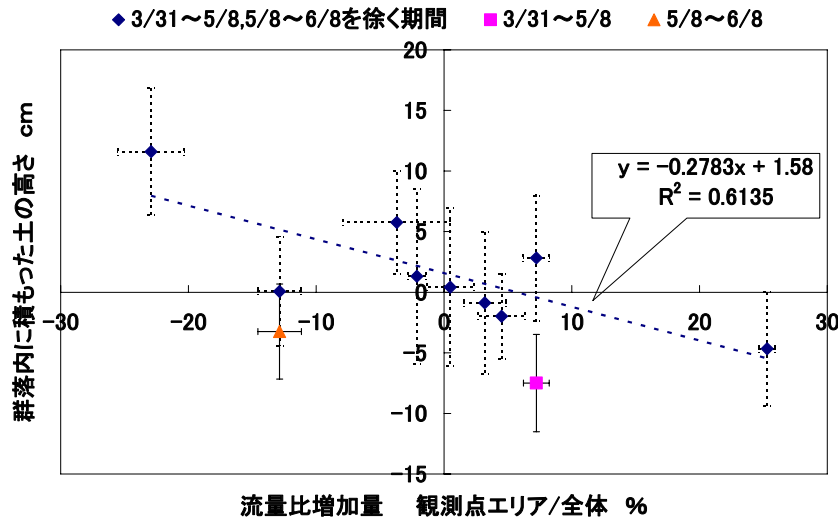


図 4-18 流量比（観測点エリア/全体の流量）増加量と群落内に堆積する土の高さの関係

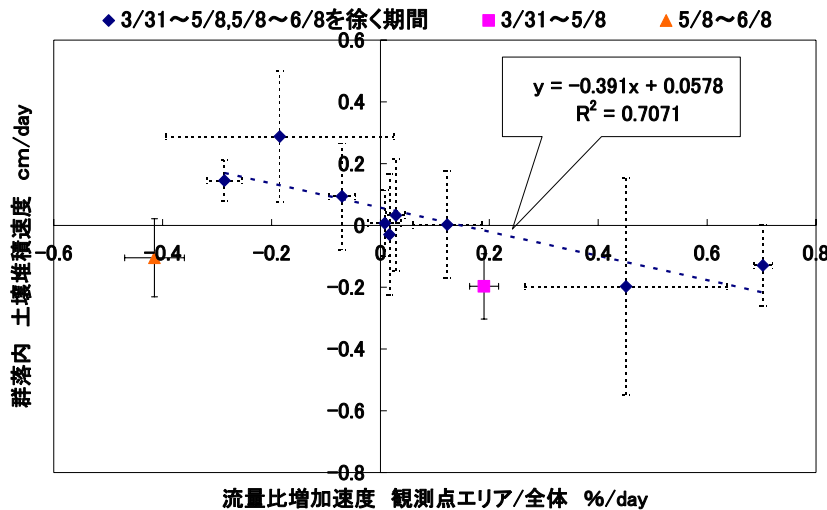


図 4-19 流量比（観測点エリア/全体の流量）増加速度と群落内土壌堆積速度の関係

4. 9 ミクリ群落により捕捉される有機物及び栄養塩量

図 4-20 に、流水部の観測点における観測間隔ごとのミクリの生きている葉茎全体のバイオマス増加量と土壌堆積による有機物流入速度との関係を示す。2005 年 11 月 15 日から 12 月 5 日の期間と、2006 年 1 月 10 日から 3 月 31 日の期間はミクリの生長段階である。土壌堆積による有機物流入速度は 2005 年 11 月 15 日から 12 月 5 日の期間では $253 \pm 15 \text{g/m}^2/\text{day}$ 、2006 年 1 月 10 日～3 月 31 日の期間では $69.2 \pm 0.7 \text{g/m}^2/\text{day}$ と他の期間と比べて速い速度で有機物が流入したが、これはこの河川に生息するミクリやその他の植物が枯死したものが堆積したことによるものと考えられる。また、2006 年 6 月 8 日から 7 月 8 日の期間は倒伏した葉茎が枯死・分解過程にある期間であるが、ミクリの生きているバイオマスの増加速度が $-23.3 \pm 15.2 \text{g/m}^2/\text{day}$ で、土壌堆積による有機物流入速度は $48.9 \pm 3.2 \text{g/m}^2/\text{day}$ であることから、この時期にミクリが枯死・分解したものの多くが有機土壌として堆積したことにより、有機物流入速度の増加をもたらしたのだと考えられる。

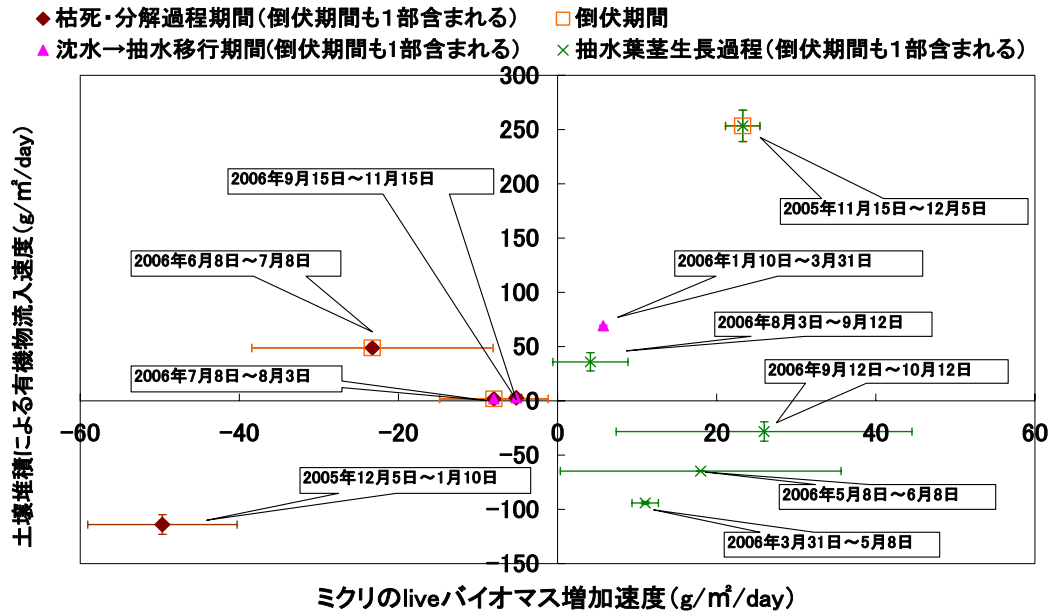


図 4-20 観測間隔ごとのミクリの生きているバイオマスの増加量と土壤堆積による有機物流入速度との関係

図 4-21 に流水部の観測点における観測間隔ごとのミクリの窒素現存量の増加速度と土壤堆積による窒素流入速度との関係を、図 4-22 に流水部の観測点の観測間隔ごとのミクリのリン現存量の増加速度と土壤堆積によるリン流入速度との関係を示す。

2005年11月15日から12月5日の期間と、2006年1月10日から3月31日の期間はミクリの生長段階である。土壤堆積による栄養塩流入速度は2005年11月15日から12月5日の期間では窒素は $11.5 \pm 0.84 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 、リンは $4.91 \pm 0.54 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 、2006年1月10日から3月31日の期間では窒素が $2.38 \pm 0.04 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 、リンが $2.38 \pm 0.04 \text{ g/m}^2/\text{day}$ と他の期間と比べて速い速度で栄養塩が流入したが、これはこの河川に生息するミクリやその他の植物が枯死したものが堆積したことによるものと考えられる。また、2006年6月8日から7月8日の期間は倒伏した葉茎が枯死・分解過程にある期間であるが、ミクリの窒素現存量の増加速度は $-0.56 \pm 0.02 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 、ミクリのリン現存量の増加速度は $-0.12 \pm 0.00 \text{ g/m}^2/\text{day}$ で、土壤堆積による栄養塩流入速度は窒素では $2.10 \pm 0.14 \text{ g/m}^2/\text{day}$ で、リンでは $1.25 \pm 0.22 \text{ g/m}^2/\text{day}$ であることから、この時期にミクリが枯死・分解したものの多くが有機土壌として堆積したことにより、栄養塩流入速度の増加をもたらしたのだと考えられる。

図 4-23 に、流水部において土壌中の栄養塩が全て土壌中の有機物に含まれる栄養塩に起因するものと仮定したときの土壌中の有機物の栄養塩含有率を示す。

栄養塩の収支の計算時にミクリの枯死・分解期間である2006年6月8日から7月8日の期間で土壤堆積による栄養塩流入速度とミクリの栄養塩の減少速度との比が、窒素は約3.72、リンは約10.4と大きな値をとってしまった。元荒川に生息するミクリ以外の植物がこの期間に枯死・分解するとは考えにくいと思われるので、土壤堆積による栄養塩流入速度とミクリの栄養塩の減少速度との比は1に近づくと考えられるが、このような結果になってしまった。

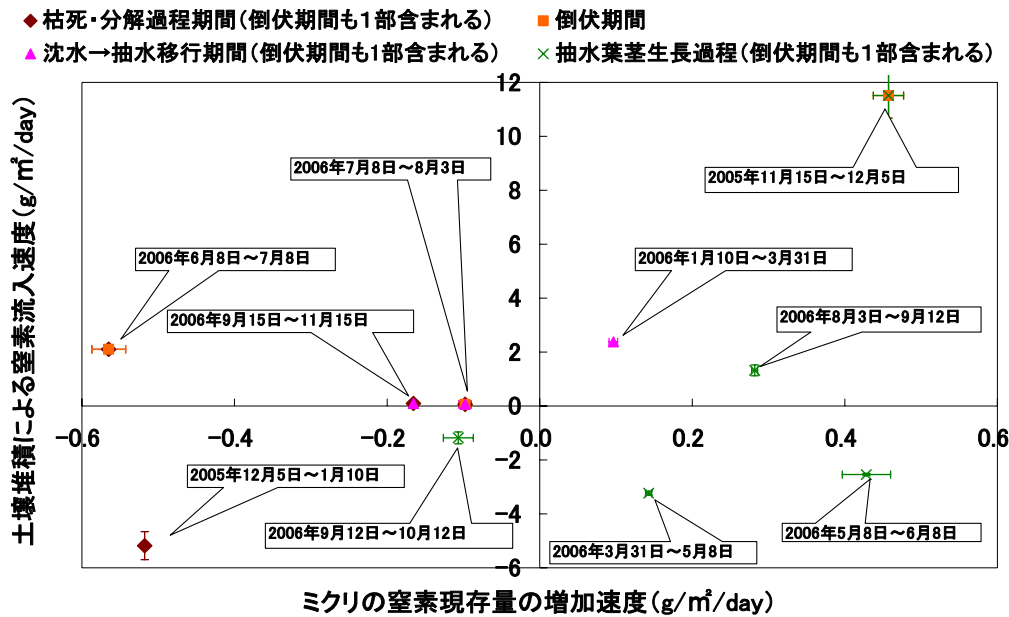


図 4-21 観測間隔ごとのミクリの窒素現存量の増加速度と土壤堆積による窒素流入速度との関係

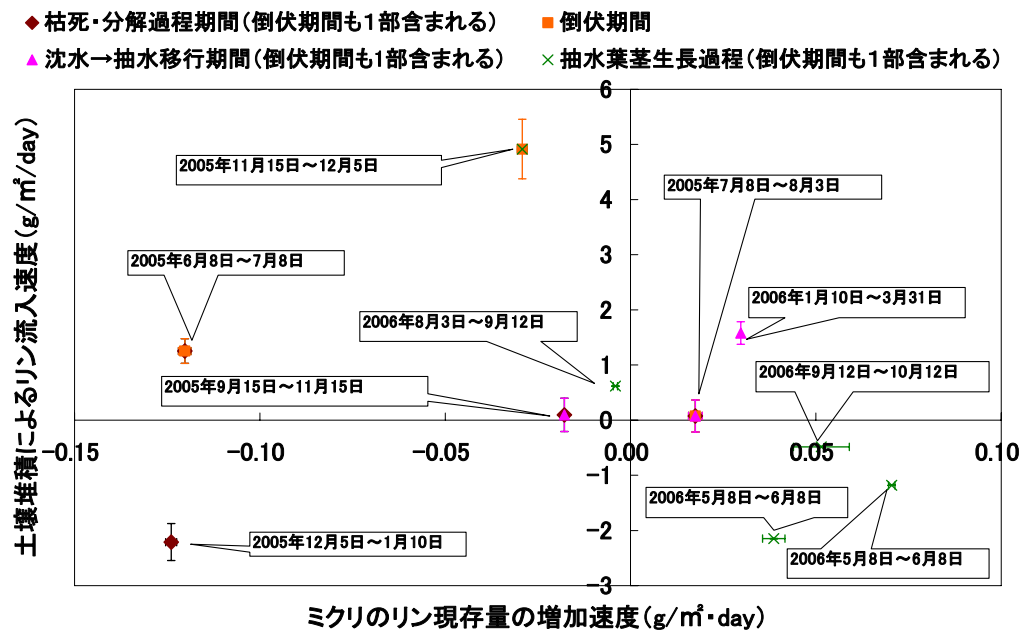


図 4-22 観測間隔ごとのミクリのリン現存量の増加速度と土壤堆積によるリン流入速度との関係

その原因を考えてみると、図 4-23 に示されるように、土壤中の栄養塩が全て土壤中の有機物に含まれる栄養塩に起因するものと仮定したときの土壤中の有機物の栄養塩含有率は、窒素は年間平均 $3.99 \pm 0.86\%$ 、リンは年間平均 $2.17 \pm 0.50\%$ と極めて高い結果となった。これは、元荒川には生活排水が流れこんでおり、土壤が生活排水に含まれる栄養塩を吸着したためによる影響であると考えられ、そのため土壤堆積による栄養塩流入量が大きく見積もられたと考えられる。

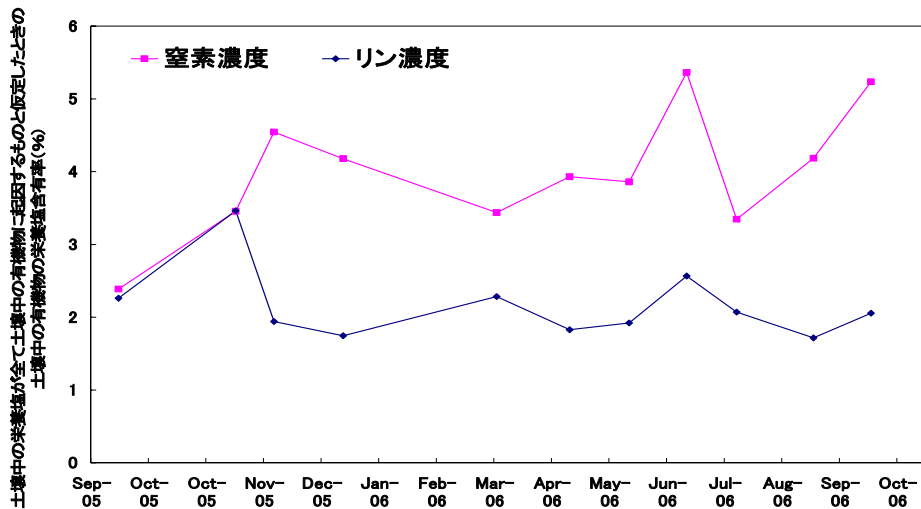


図 4-23 土壤中の栄養塩が全て土壤中の有機物分解に起因するものと仮定したときの土壤有機物内の栄養塩含有率の推移

4. 10 有機土壌堆積による生長促進への影響

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^{4),5)}。しかし、抽水植物における詳細な観測結果はない⁶⁾。本研究により倒伏が起こることで流水部のミクリ群落内の流速が遅くなり、土壌が堆積し土壤中の細粒分、有機物、および栄養塩濃度の増加が確認された。また、沈水状態で越冬するときにも顕著に土壌を堆積させることが確認された。このように土壌が堆積することは、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。図 4-24、図 4-25 は 2006 年 12 月 15 日に採取した湛水部、流水部それぞれの群落内の土壤中の鉛直方向の T-N 及び T-P の含有率を示したものであるが、流水部の群落内の土壌は深くなるにつれて土壤中の栄養塩濃度が小さくなっているのが分かる。この様に土壤中の栄養塩濃度が変化することから、流水部において群落内の土壌の堆積、侵食に応じて土壤中の栄養塩濃度が増減したものだと考えられる。ミクリの地下茎は比較的柔らかいという特徴を有するが、細粒分の多い土壌が堆積することは地下茎の生長を促すことが考えられる。これは、マコモが細粒分を多く含んだ土壌の方がその他諸条件を同一にした時に、地上部バイオマスが大きくなることから推察できる⁵⁾。

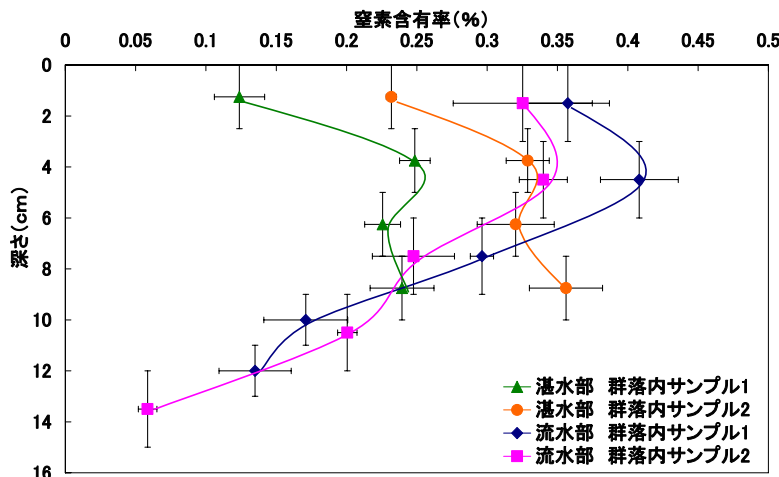


図 4-24 群落内の土壤中の鉛直方向における T-N

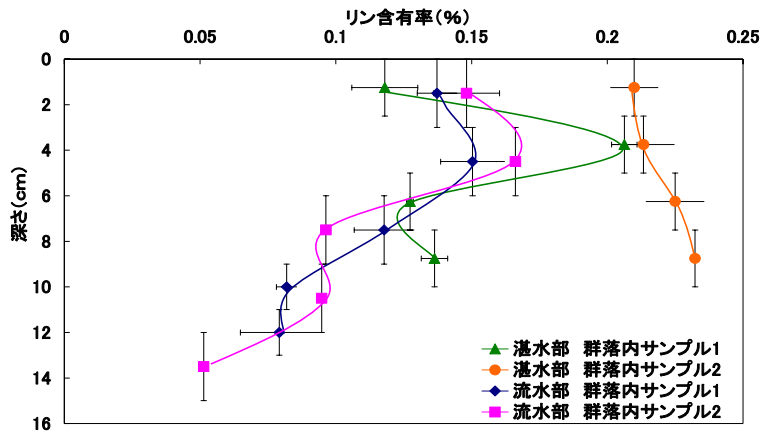


図 4-25 群落内の土壌中の鉛直方向における T-P

表 4-2 流水部の観測点の窒素収支

11月から6月までのT-N収支	(g/m ²)
土壌堆積による群落内への捕捉量	421±20.3
土壌浸食による系外への流出量	388±22.8
土壌堆積による群落内への見かけの捕捉量	32.3
ミクリの生長による吸収量	37.8±2.04
合計	70.1
6月から10月までのT-N収支	(g/m ²)
土壌堆積による群落内への捕捉量	118±12.6
土壌浸食による系外への流出量	35.5±6.56
土壌堆積による群落内への見かけの捕捉量	82.5
ミクリの生長による吸収量	37.6±3.30
合計	120

表 4-3 流水部の観測点のリン収支

11月から6月までのT-P収支	(g/m ²)
土壌堆積による群落内への捕捉量	225±27.3
土壌浸食による系外への流出量	198±37.6
土壌堆積による群落内への見かけの捕捉量	26.8
ミクリの生長による吸収量	6.06±0.14
合計	32.9
6月から10月までのT-P収支	(g/m ²)
土壌堆積による群落内への捕捉量	64.3±17.6
土壌浸食による系外への流出量	14.5±2.68
土壌堆積による群落内への見かけの捕捉量	51.6
ミクリの生長による吸収量	3.16±0.25
合計	54.8

表 4-2、表 4-3 はそれぞれ流水部の地上部バイオマスピーク間である 2006 年 11 月 15 日から 2006 年 6 月 8 日と 2006 年 6 月 8 日から 10 月 12 日の期間における流水部の観測点に流入する T-N、及び T-P の現存量収支の概算値をまとめたものである。なお、表中の土壌堆積による見かけの補足量とは堆積による群落内への補足量から侵食による系外への流出量を差し引いた値である。加えて、表中の合計は群落内への見かけの補足量にミクリの生長による吸収量を加えた値である。表 4-2 および表 4-3 から 2005 年 11 月から 6 月にかけてミクリは土壌中に補足された栄養塩のうち、窒素は約 53.8%、リンは約 23.0%を吸収していることがわかった。もし、2005 年 12 月に土壌が堆積せず栄養塩が土壌中に捕捉されなければ土壌中に補足される窒素及びリンの収支はマイナスとなることが考えられる。そして、2006 年 6 月から 10 月の期間において、窒素は約 31.3%、リンは約 5.77%を吸収していることが分かった。これらの値を 2005 年 11 月から 2006 年 6 月の期間と比較すると低くなったのは、土壌堆積による栄養塩補足量が短期間に多いのに加え、リンの場合はミクリの生長による吸収量が少なかったことによる。

4. 1 1 植物間の生息環境の比較

流水部の観測地点ではミクリの他に、セキショウモ、ヨシ、クレソンがその他の植物と比較して生息面積が大きく、これらの生息環境の比較をするために図 4-26 に各群落内の水深 5cm の平均流速を、図 4-27 に各群落内の平均水深を、図 4-28 に各群落内の表層土の粒径加積曲線を、図 4-29 と図 4-30 に各群落内の表層土の全炭素含有率、及び全窒素含有率それぞれ示す。なお、植生がないところの流速及び水深は、刈り取りが行われた区間で河川の横断方向に計測したときの値を示

している。

図4-28に示されるようにセキショウモが群落をなしている河床の表層土は他の植物群落の表層土と比較すると細粒分が少ないが、植生がない河床の表層土と比較すると細粒分は多く（粒径1mm以下の通過百分率 t -test: $p < 0.05$ ）、顕著に土壌が堆積されているのが確認された。しかし、堆積している土壌の栄養塩濃度を植生がないところの土壌と比較すると、セキショウモの河床の表層土の炭素含有率、窒素含有率はそれぞれ $0.43 \pm 0.19\%$ 、 $0.066 \pm 0.031\%$ であるのに対し、植生がないところの河床の表層土の炭素含有率、窒素含有率はそれぞれ $0.35 \pm 0.19\%$ 、 $0.056 \pm 0.019\%$ とそれほど変わらない（ t -test: $p > 0.05$ ）。それに対し、抽水植物であるミクリ、ヨシの河床の表層土をそれぞれこれらの値と比較すると図4-29、図4-30に示されるように有機質に富んだ土壌を堆積させているのが分かる。さらにミクリとヨシの群落内の河床の表層土の炭素含有率、窒素含有率を比較すると、ミクリでは炭素含有率、窒素含有率はそれぞれ $3.06 \pm 0.12\%$ 、 $0.30 \pm 0.08\%$ であるのに対し、ヨシでは炭素含有率、窒素含有率はそれぞれ $1.43 \pm 0.06\%$ 、 $0.16 \pm 0.00\%$ とミクリが顕著に栄養塩を豊富に含んだ土壌を堆積させているのが分かる（ t -test: $p < 0.05$ ）。

植物種ごとの生息環境の比較については年間を通した観測が必要であるが、これらのことからミクリは栄養塩を豊富に含んだ有機土壌を堆積させるのを得意とする植物であることが推測できる。

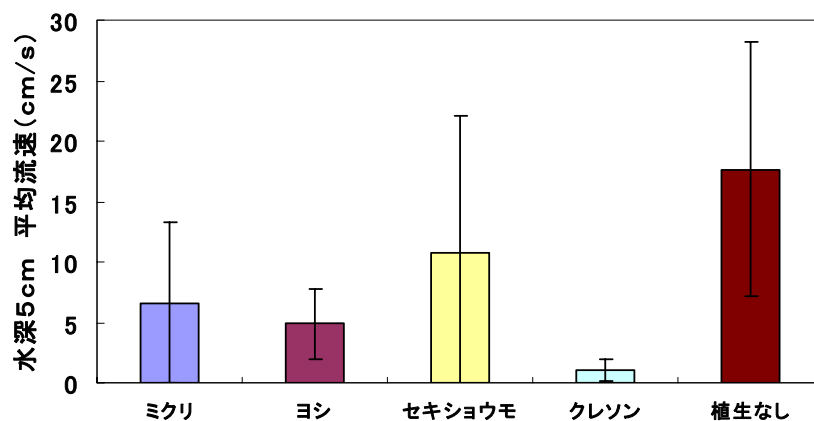


図4-26 流水部の植物間の水深5cmの平均流速の比較（2007年1月25日）

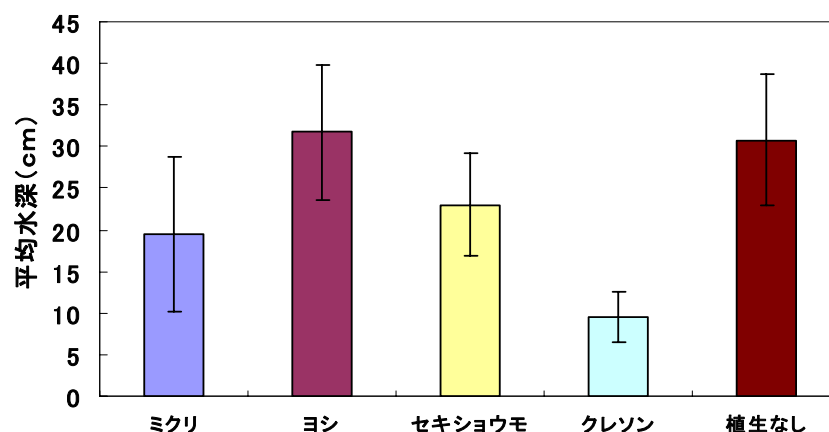


図4-27 流水部の植物間の平均水深の比較（2007年1月25日計測）

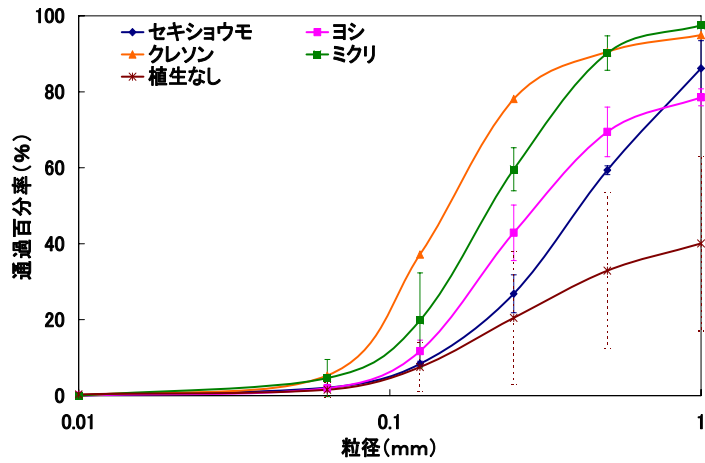


図 4-28 流水部の植物間の粒径加積曲線の比較

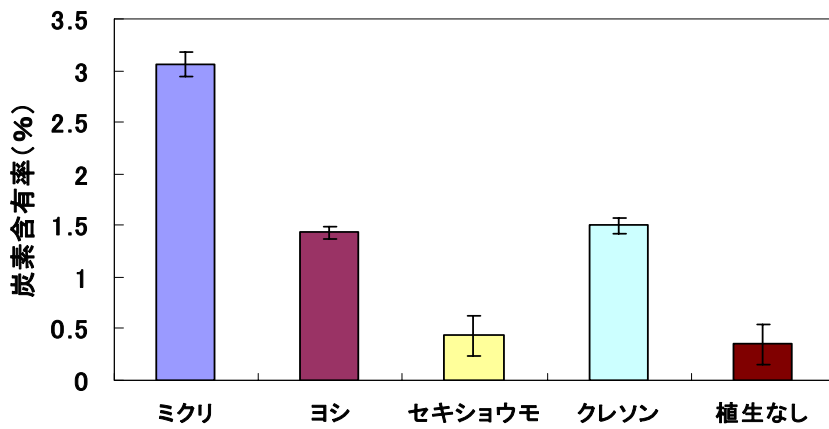


図 4-29 流水部の植物間の表層土の炭素含有率の比較 (2007年1月25日)

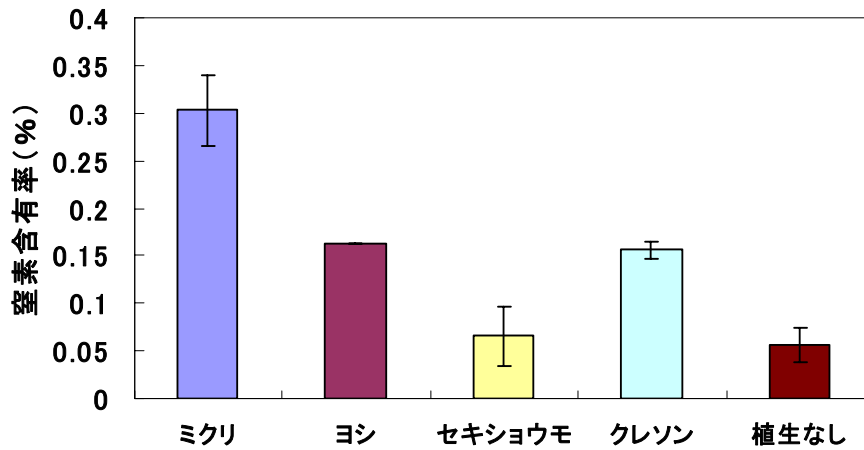


図 4-30 流水部の植物間の表層土の窒素含有率の比較 (2007年1月25日)

5. まとめ

本研究の対象とした元荒川上流部では準絶滅危惧種に指定されているミクリが優占している。本調査によって以下のことが明らかとなった。

- ・ミクリは倒伏や沈水状態というように、群落形態を変化させ周辺の流況を変化させることで、群落内に栄養塩を豊富に含んだ有機土砂の堆積を促している。
- ・特に倒伏後の土壌中の栄養塩濃度の増加は、ミクリの分解速度が速いことと関連し、観測地より上流のミクリの葉茎が枯死したものが観測地に堆積することに起因していることが考えられる。

さらに、ミクリは倒伏を起こすことで次世代葉茎の生長の際に優位な環境を形成していることが分かった。

- ・河川の上流部であることから、外的要因に対して流量が比較的安定的であるため、大規模な出水が生じることはなくミクリ由来の有機土壌が下流側に堆積しやすく、それらが群落を拡大させるための新たな基盤を形成する際に役立っている。
- ・元荒川は湧水起源であることから水温が年間を通して $14.5 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ と一定であり、冬場は外気よりも暖かく沈水状態で越冬出来る環境である。

また、この場所はムサシトミヨという希少種の魚が生息しているが、ミクリ群落がこの魚の隠れ場の役割を担っている。元荒川では毎年夏季になるとミクリ群落の刈り取りが大規模に行われているが、刈り取りが行われるとミクリが倒伏を起こして有機土壌を堆積させることが出来なくなる。4-5 節で記したように、急激にミクリ群落内の流速が増加し、群落内の土壌の急激な侵食が促される。そうすると、ミクリの生息基盤は徐々に失われ元荒川でもミクリが生息出来なくなる。刈り取りの目的として、ミクリ群落による河川閉塞の改善、植物の枯死後に河床にヘドロを堆積させないため、悪臭の防止や景観などの保持などが挙げられている。しかし、ミクリの生長・分解特性や群落内の河床変化を考えると、刈り取りを行わなくても十分に河川としての機能を果たしている。ミクリやムサシトミヨの保護の観点からは、こうした状況を配慮した適度な刈り取りがなされることが望ましい。

河川の維持・管理の観点から、抽水植物群落による有機土壌の堆積が維持されるような環境を創造していくことが望ましい。

参考文献

- 1)那須義和, 水の分析 (第4版) 182,253,269 (株)化学同人(1966)
- 2)G. M.Piezynski (2000) Methods of Phosphorus Analysys,S outhern Cooperative Series Bulletin,39-44.
- 3)流水・土砂の管理と河川環境の保全・復元に関する研究,73,74,75,76,(財団法人)河川環境管理財団(2004)
- 4)Asaseda, T., Than, H., N, Manatunge, J. & Fujino, T. (2004) The effects of flowing water and organic matter on the spatial distribution of submerged macorphytes, *J.Freshwater Ecology*, 19, 401-405.
- 5)Sand-Jensen, K. (1998) Influence of submerged macrophytes on sediment composition and near-bed flow in lowland stream, *Freshwater Biology*, 39, 663-679.
- 6) 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*, 50, 1991-2001.

研究発表

- 1) 太田 純一, 小池 直行, 浅枝 隆, 藤野 毅, 河川におけるミクリの葉茎分布に関する流れ場の応用, 水工学論文集, Vol.50, pp.1183-1188(2006. 3).
- 2) 小池 直行, 狩野 正浩, 浅枝 隆, 藤野 毅, 小河川に形成されたミクリ群落による有機物・栄養塩堆積の機構および生長促進への影響, 応用生態工学会第10回研究発表会講演集, pp.57-60(2006. 9).
- 3) 小池 直行, 狩野 正浩, 浅枝 隆, 藤野 毅, 小河川に形成されたミクリ群落による有機土壌堆積の機構および生長促進への影響, 水工学論文集, Vol.51, pp.****-****(2007. 3).
- 4) 小池 直行, 狩野 正浩, 浅枝 隆, 小河川におけるミクリ (*Sparganium erectum*) 群落による有機物・栄養塩堆積の機構および生長促進への影響, 河川技術論文集, (2007. 6 掲載見込み).