

抽水植物ヒメガマ・マコモの地上部刈り取り に対する地下部動態と戦略

BELOWGROUND DYNAMICS AND STRATEGIES OF EMERGENT
MACROPHYTES, *Typha angustifolia* AND *Zizania latifolia*,
AFTER CUTTING THEIR AERIAL SHOOTS

渡辺哲広¹・田中規夫²・武村武³・八木澤順治¹・浅枝隆⁴

Tetsuhiro WATANABE, Norio TANAKA, Takeshi TAKEMURA, Junji YAGISAWA
and Takashi ASAEDA

¹学生会員 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 埼玉大学工学部助教授 建設工学科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

³学生会員 工修 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)

⁴正会員 工博 埼玉大学大学院教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

Typha angustifolia were cut in June, July and August in 2002, and in May and July in 2003 for investigating their strategy to survive from cutting at different timing. *Zizania latifolia* was also cut in July in 2003. The cutting effects were evaluated quantitatively by regrowth characteristics of aboveground leaves just after cutting. The belowground production of *T. angustifolia* was decreased by summer cutting. This was due to the decrement of transportation from original shoot to belowground and from regrowth shoot to belowground organ. July to August is the best season for controlling expansion of the species, because the transportation can be decreased by the cutting. The amount of transportation from belowground to aboveground organ was a little compared with the decrement of belowground biomass and was almost the same with the two species, but heterotrophic season just after cutting were found 15 days, 40 days in case of *T. angustifolia* and *Z. latifolia*, respectively. The season was longer and secondary shoot was formed in case of *Z. latifolia*. This implies the different strategy of *Z. latifolia* with *T. angustifolia*.

Key Words : *Typha angustifolia*, *Zizania latifolia*, cutting effect, regrowth, belowground biomass

1. はじめに

陸域と水域が接するエコトーンには水辺林、湿生植物、抽水植物、沈水植物、浮葉植物等の群落が形成され、多くの生物に対して採餌場、隠れ場、繁殖地などの場所を提供¹⁾する。特に、抽水植物は土壌緊縛による護岸機能があることに加え、土壌中への酸素輸送機能²⁾により土壌中における硝化・脱窒反応を活発にし、土壌中から窒素を除去する(水質浄化機能)^{3),4)}こと等で、工学的にも注目されている。そのため、近年、植栽による抽水植物帯の創生や、自然に繁茂させるための整備事業が各地で行われている。しかし、人工的に整備されたビオトープ等では自然に存在するような攪乱が少なく土壌への栄養塩蓄積が進行してしまうため、当初の目的とは違い湿地独占能力の高い大型の抽水植物が生態系を占有(生態系の単調化)してしまうという問題が生じている⁵⁾。

ヒメガマ(*Typha angustifolia*)やマコモ(*Zizania latifolia*)はそのような抽水植物の代表例であり、前述したような

効果を利用するためにもバイオマスを適切に維持管理することが重要である。しかし、これまでの抽水植物の管理方法としては、刈り取り^{6),7)}や、除草剤を用いるというような、抽水植物群落の除去に関するものが多く、群落の維持管理を目的とした研究や攪乱への対応戦略といった研究が不足しているのが現状である。また、マコモの生態学的研究^{8),9)}は古くから行われているものの、栄養塩循環¹⁰⁾や刈り取りに対する知見は不足している。

そこで、ヒメガマ^{11),12),13),14)}やヨシ^{15),16)}に対する刈り取り特性に関する研究が近年精力的に行われているものの、刈り取り時期による相違、刈り取り実験の再現性、種による戦略の相違、という点について不明の点が多い。

そこで本研究では、ヒメガマとマコモの刈り取りに対する戦略をヒメガマの期別刈り取り実験により把握したうえで、マコモの刈り取り後の戦略をヒメガマと比較することで評価する。刈り取り方法は水面上での刈り取りとし、現地実験と生長モデル解析により評価することとする。

2. 解析方法

(1) 現地観測

ヒメガマ群落（大きさ：約50m×70m，湛水深：平均0.4m程度）の刈り取り実験を行った場所は，埼玉県南部に位置する芝川調節池(35° 51′ N, 139° 42′ E)である。刈り取りは，2002年観測では6/17 (168日)，7/18 (199日)，8/5 (217日)，9/24 (267日) の4回，2003年観測では，5/16 (136日)，7/8 (189日) の2回実施した。2002年の刈り取り範囲は1m×1mで，その周囲に1mの緩衝帯を設けた。観測項目は刈り取り後の再生長高さ，再生長した葉の総延長，葉の枚数で，同年12月にのみヒメガマの地上部と地下部のサンプリングを行った。2003年は，2002年より観測範囲（図-1(a)）を広くとり，刈り取り直後からのバイオマスの季節変化を調査した。

マコモ群落（大きさ：約4m×20m，湛水深：平均0.3m程度）の刈り取り実験を行った場所は，埼玉県南部に位置する高沼用水路(35° 51′ N, 139° 38′ E)である。刈り取りは，2003年の7/24(205day)に1回実施した。刈り取り範囲は2m×4mで，再生長高さ，再生長した葉の総延長を計測するとともに，刈り取り直後からのバイオマスの季節変化を調査した。両種とも刈り取り後の再生長を期待し，刈り取り高さは水面より約0.2m上とした。

持ち帰ったサンプルは各器官（穂，葉，茎，地下茎，根）に分けた後，乾燥重量（85℃で48時間乾燥）を測定した。また，光合成による生長を抑制し刈り取り後の従属期間における地下部の動きを観測するためヒメガマ，マコモとも図-1(b)のような直径0.25m，高さ1.5mの暗幕を数ヶ所設置した（以下，暗幕内を無光合成区(図ではNPで表示)，それ以外を有光合成区(図ではPで表示)とする）。無光合成区のサンプリングは再生長した葉が枯れ始めたのを確認してから行った。緩衝帯（水面下刈り取りを実施）を設けたのは刈り取らない区域からの地下茎の進入を阻止するためである。緩衝帯には拡大に伴うシュートの生長はほとんど観測されなかった。

(2) 生長解析モデル

支配方程式は，Asaeda & Karunaratne¹⁷⁾によって提案され，田中ら^{11),12),13)}によって拡張されたものに武村ら¹⁴⁾が再生長特性を組み込んだモデルを用いることにする。図-2のモデルの概要を示す。本モデルはヒメガマの5器官（葉茎，穂，旧地下茎，新地下茎，根）のバイオマスの季節動態を解析するものである。本研究が注目しているのは，矢印Aで示される地下茎から地上部への輸送量とそれによる地上部再生産特性，地下茎回復力である。

3. 解析結果

図-3に2002年12月に観測されたヒメガマの地下部バイオマスの観測結果を刈り取り日ごとに示す。Control

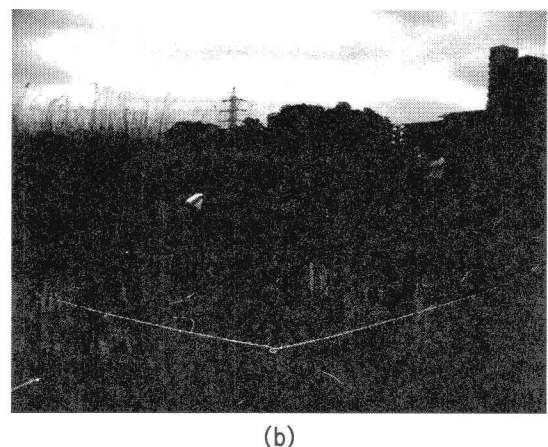
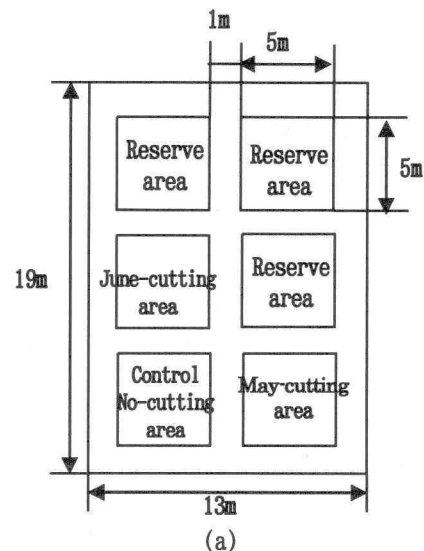
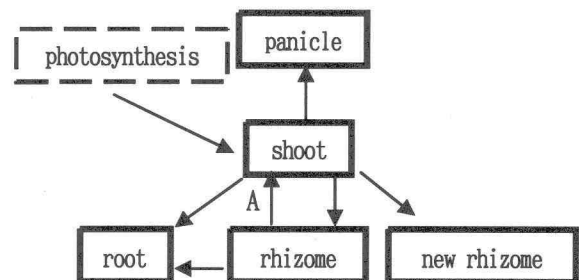


図-1 2003年現地観測概要
(a)観測範囲，(b)無光合成実験



註1)モデルにおける呼吸・枯死は記載を省略した。

註2)太線はモデル上の各器官，点線は光合成を示す。

図-2 ヒメガマモデルの概要（詳細は文献^{11),12),13),14)}参照）

（比較対照区：無刈り取り区）におけるシュート1本あたりの地下部バイオマスは50g程度であった。それに対し，刈り取りを行った地点の地下部バイオマスは，刈り取り時期に関係なく減少した。6月から8月刈り取りにおいては，刈り取り時期が遅くなるに従って地下部バイオマスが減少することが確認された。しかし，9月に刈り取った地点における地下部バイオマスは8月刈り取りよりも大きく，7月に刈り取りを行った地点とほぼ同程度の値であった。

図-4(a)，(b)にヒメガマとマコモの2003年7月刈り取りの有光合成区と無光合成区における再生長した葉の総

延長を示す。ヒメガマは無光合成区において再生長した葉の総延長が刈り取り後15～20日程度で止まっていることが分かる。無光合成区では光合成による生長ができないことからこの期間は地下部からの栄養輸送のみによる生長期間であるといえる。つまり、刈り取り後のヒメガマの再生長従属期間（刈り取り後に地下部から地上部へ栄養輸送を行う期間）は15～20日間程度であることをこの図より確認することができる。

マコモにおいては刈り取りから40日を過ぎても無光合成区の葉の総延長の伸びは止まらず、有光合成区と同じような値を示している。また、刈り取り後29日後の観測で二次シュートを確認した（図-5）。刈り取り前のシュート密度は53本で、その約50%が再生長をした。刈り取り後40日の二次シュートの本数が再生長の本数と同じくらい確認された。二次シュートは再生したシュートの根元にほぼ再生シュートと同数形成されたことから、マコモの再生長戦略の重要な要素と推察できる。そこで図-4(a)には有光合成区の値に二次シュートの葉の総延長を加えたプロットも合わせて示した。水面下にも二次シュートの芽が多数形成されていたので、二次シュートの本数、総延長ともこの図の値よりやや大きくなると考えられる（水面下であり正確な値計測は困難であった）。

武村¹⁴⁾が2002年の刈り取り実験の再生長高さから求めたRGR（Relative Growth Rate）を図-6に示す。

$$RGR = \frac{B_{sh}(i+n) - B_{sh}(i)}{B_{sh}(i+n)} \times \frac{1}{n} \quad (1)$$

ここに、RGRは単位時間当たりの生長量、 $B_{sh}(i+n)$ 、 $B_{sh}(i)$ はそれぞれ、 $i+n$ 日、 i 日における再生長シュートのバイオマスである。武村¹⁴⁾はこの図より再生長従属期間を15日間と設定した。本研究の2003年現地観測（図-4(a)）はこの結果の妥当性を示している。

図-7(a), (b), (c)にヒメガマの2003年5月刈り取りと7月刈り取り、マコモの7月刈り取りの有光合成区と無光合成区における再生長部分（刈り取り位置の上部）のバイオマス変化を示す。ヒメガマの再生長従属期間を15日とするとその期間での地下部からの純輸送量（地下部からの輸送量－地上部の呼吸量）は5月刈り取りでは約1g/shoot、7月刈り取りでは約0.5g/shootとなった。マコモは刈り取り後15日以降の観測値が約0.4g/shootでほぼ一定値となっているが、再生長後の葉の総延長（図-4）より40日程度までは地下部から地上部へ栄養が輸送されていると考えられる。

図-8(a)～(d)にヒメガマの2002年6月刈り取り、7月刈り取り、8月刈り取り、2003年7月刈り取りの観測値と解析値を示す（パラメータは2002年の観測で同定したモデル¹⁴⁾ですべて統一）。刈り取り後の地上部の値は解析値、観測値ともそれぞれ再生長した部分のバイオマスを示した。2002年の結果において、刈り取り後の再生長バイオマスの傾向、12月における地下部バイオマスの観測値

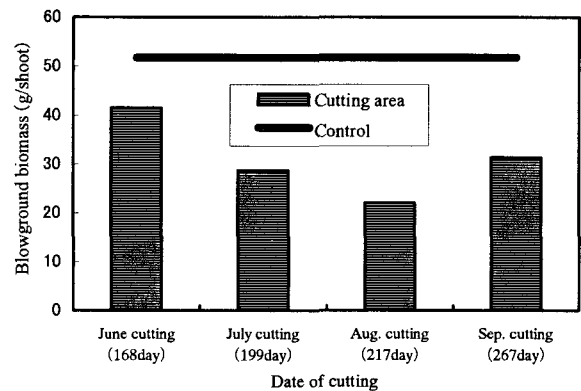


図-3 2002年12月のサンプリング結果

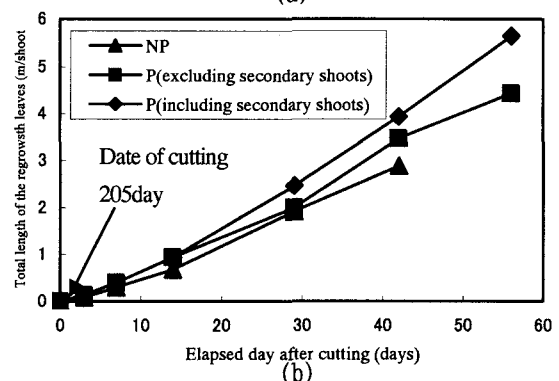
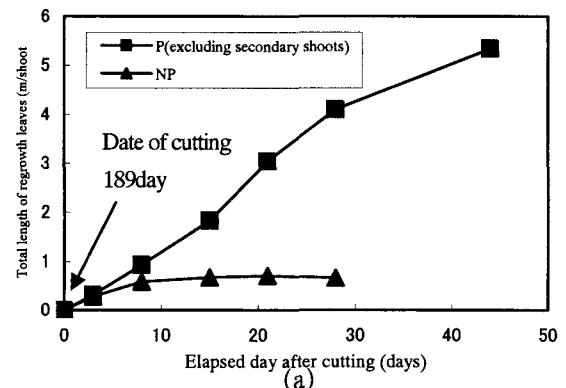


図-4 再生長した葉の総延長

(P：光合成区、NP：無光合成区)

(a) 2003年7月上旬刈り取り（ヒメガマ）

(b) 2003年7月下旬刈り取り（マコモ）

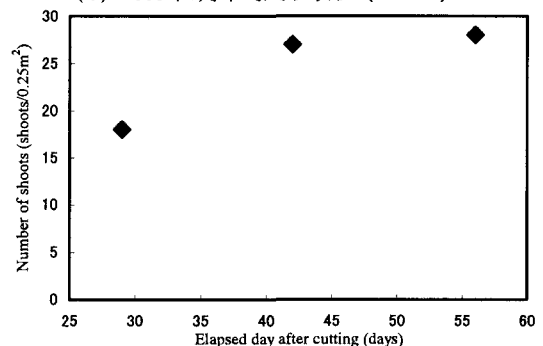


図-5 刈り取り後のマコモの二次シュート密度（光合成区）

を良好に再現することができたが、地下部動態が観測されていないため、地下茎から地上部への栄養輸送量の妥

当性評価には課題があった。しかし、2003年の結果より刈り取り直後の栄養輸送量に伴う地下部動態の評価が適切であることが確認でき、モデルの妥当性の検証とともに栄養輸送量の定量値を把握することができたといえよう。

刈り取りを行った場合、冬期における地下部バイオマスは生長初期（春期）に比べ、90%~150%程度となった。一方、同時期（冬期）を解析によるcontrolと比較すると、80%~60%の値に大きく減少した。

図-9に刈り取り時期の違いによるヒメガマの地下部の総生産量（解析値）を示す。刈り取り時期による相違を議論するためには、厳密には同じシュート密度・初期地下部バイオマスで穂の割合が同じ箇所で刈り取り実験を行う必要がある。しかし、自然群落で完全に同じ条件の箇所を選定するのは難しく、今回選定した箇所のシュート密度には若干の差が生じた。そこで、刈り取り時期の影響を直接比較するために計算初期地下部バイオマスを一定（1000 (g/m²)）とした。また、太線は刈り取りを行わなかった場合の総生産量を示している。この図において地下部の総生産量は刈り取りを行わなかった場合と比較するとどの刈り取り時期も減少していることが確認できる。その減少量は、6月刈り取り、7月刈り取り、8月刈り取りにおいてそれぞれ15%、40%、30%となり、7月、8月の減少量が6月に比べて大きい。

4. 考察

図-3より、ヒメガマを夏期に刈り取ることにより12月時点での地下部バイオマスは他の時期より少なくなることが確認された。また、図-4(a)より図-5のRGRの減少傾向(2002年観測結果)から推計された刈り取り後の再生長従属期間の妥当性が確認された。この再生長特性を組み込んだモデル解析により、各刈り取り時期（2002年6月、7月、8月、2003年7月）における次年度に与える影響を評価した。その結果、夏期における刈り取りは生長初期における地下茎量を大きく下回ることからはならないことからそれほど大きなダメージを次年度の生長に与えることは無いと考えられた（図-8(a)~(d)）。一方、夏期における刈り取りは、地下部の総生産量を減少させた（図-9）。7月刈り取りにおいてはcontrolと比較した場合約60%の総生産量となり、その値を大きく減少させている。抽水植物に限らず一般の多年生草本は、地下部に炭水化物などの有機物を貯蔵し、その貯蔵物質を消費して生長初期に葉茎の形成を助ける。つまり、生長初期に減少した地下部バイオマスは、夏期以降の地上部からの転流により補填・拡充される。しかし、夏期の転流時期に刈り取りを行った場合、地下部は十分に回復する前に再び地上部に貯蔵物質を送っていると考えられる。そのため、再び地上部からの転流により地下部バイオマスが大きくなり始めるのは秋期になってしまい、十分に地下部が回復で

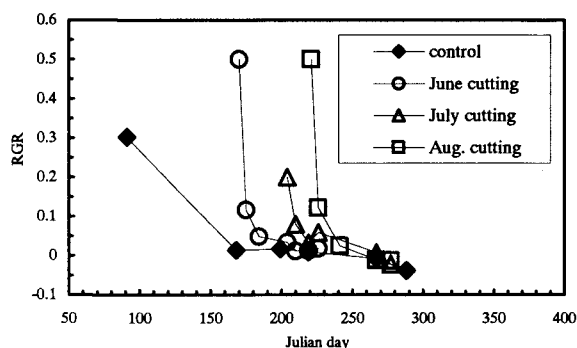


図-6 ヒメガマのRGR (2002年観測) の刈り取り時期による違い

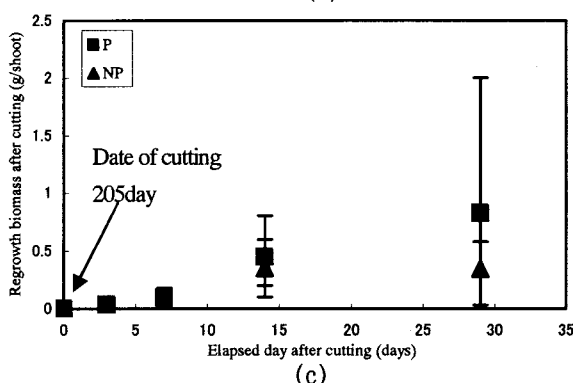
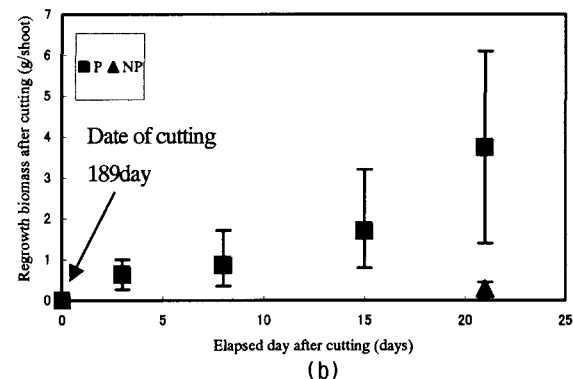
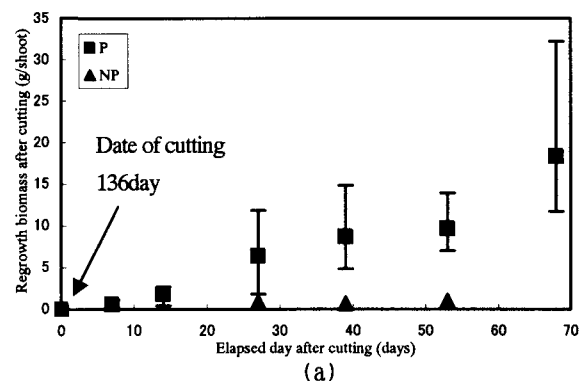


図-7 刈り取り後の地上部バイオマス
(P：光合成区、NP：無光合成区)
(a) 2003年5月刈り取り(ヒメガマ)
(b) 2003年7月上旬刈り取り(ヒメガマ)
(c) 2003年7月下旬刈り取り(マコモ)

きていない。そのため、ヒメガマの除去ではなく、「抑制」を目的に考えた場合、夏期に水面上で刈り取りを実施するのが効果的であるといえる。

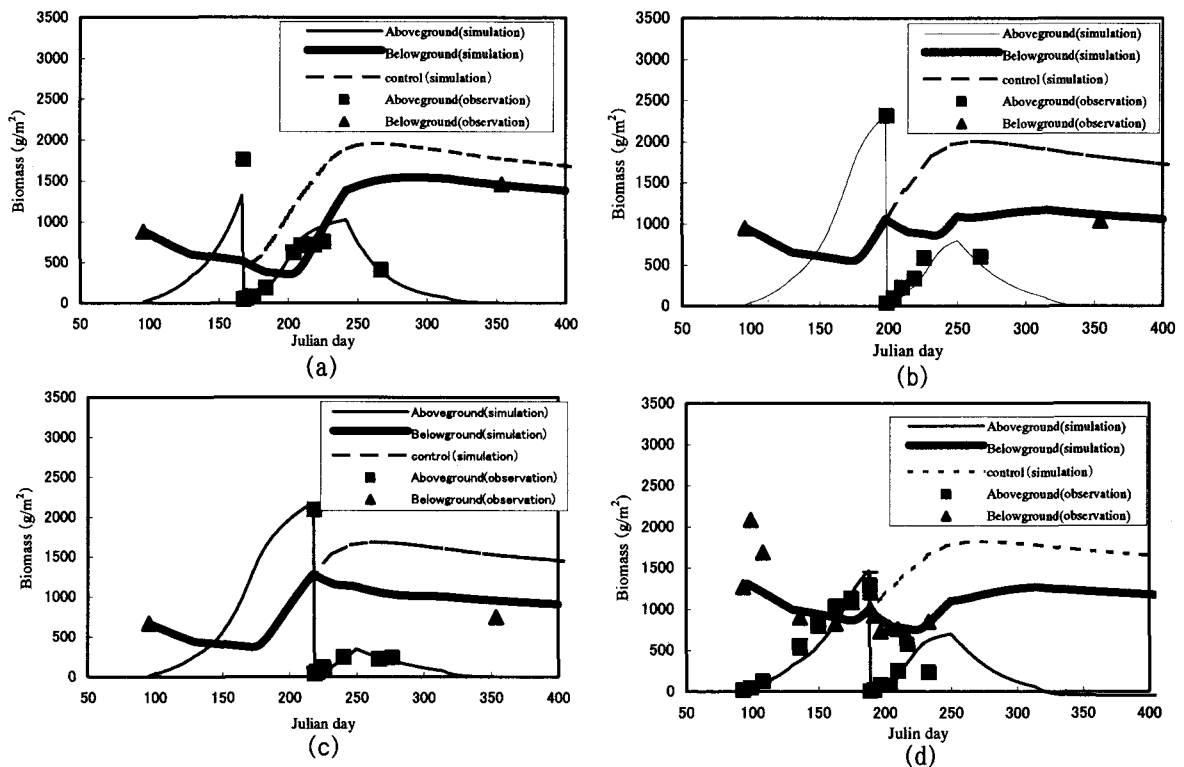


図-8 ヒメガマの期別刈り取りの観測結果と解析結果の比較

(a) 2002年6月刈り取り, (b) 2002年7月刈り取り, (c) 2002年8月刈り取り, (d) 2003年7月刈り取り

図-6において刈り取り後の再生長従属期間の地下部からの純輸送量を刈り取り時期と比較すると5月刈り取りで約1g/shoot, 7月刈り取りで約0.5g/shootとなり同時期の有光合成区の50%以下となった。しかし、図-9では7月刈り取りにおいて地下部の総生産量がcontrolよりも約600g/m²も減少している。7月刈り取りの刈り取り日から15日後の1m²あたりのシュート本数は40本であり再生長従属期間に地下部からの純輸送量は1m²あたり20g/m²となる(減少量の1/30程度)。つまり刈り取り時期の違いによる地下部への影響は、刈り取り後の再生長従属期間における地下部から地上部への物質輸送ではなく、地上部から地下部への物質輸送が大きな役割を担っていると考えることができる。これは、図-8の刈り取り後の地下部バイオマスの季節変化の違いからもわかる。6月刈り取り(図-8(a))は、刈り取り後の地上部ピークが大きく、地下部の増加も大きい。一方、8月刈り取り(図-8(c))の地上部ピークは小さく、地下部は減少の一途をたどる。この違いが、図-9の総生産量の減少量の違いに現れると考えられる。

図-4にヒメガマとマコモの7月刈り取り後の再生長した葉の総延長を示した。無光合成区の再生長した葉の総延長がヒメガマは刈り取り後15日程度でほぼ一定値になるのに対しマコモは刈り取り後40日を経過しても有光合成区と同様の値のまま生長している。つまりマコモのほうが刈り取り後の再生長従属期間が長いと考えられる。また、図-6でヒメガマとマコモの7月刈り取りにおける純輸送量が同じような値を示している。それにもかかわ

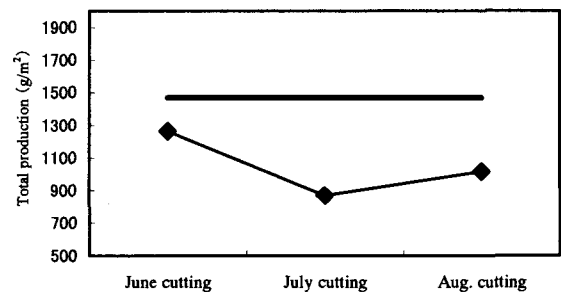


図-9 地下部における総生産量

らずマコモの有光合成区と無光合成区に違いが見られないところにヒメガマとマコモの刈り取りに対する戦略の違いがあると考えられる。マコモはヒメガマに比べ地上部に対する地下部の割合が少ない。地下部のもつポテンシャルが小さいため長期間にわたり地上部に栄養を送り続けなければならないと考えられる。また、ヒメガマでは二次シュートが観測されなかったが、マコモは刈り取り後二次シュートを多数生長させた(図-5)。通常、マコモは刈り取りを行わない場合、春先には多量の芽を出し空間を占有する。その後、自己間引きをおこないつつ(シュート密度を減少させつつ)一次シュートを発達させる¹⁶⁾。一次シュートが成熟した後は二次シュートを生産することにより水辺空間での占有度を高めていく。この空間を密に占有する戦略が刈り取り後にも行われていると推測できる。刈り取りにより自己の危機的状況を察知し地上部の再生長による栄養輸送のみに頼るのではなく、二次シュートを生産することにより占有面積を増加させ、その場での力を保持していると考えられる。逆に

ヒメガマは二次シュートの生産に栄養を使うのではなく、刈り取られた部分を再生長させることにより地上部へ栄養を送り、地下部を回復させ、次年度の生長に備えていると言える。

マコモの観測は一生長期が完了していないため今回はモデルの作成による定量評価は行わなかった。今後は、今回確認されたマコモの刈り取りに対する戦略の違いについての知見を含めたモデル構築を行い、地下部の貯蔵物質が刈り取り時期の違いによりどのような変化をするか検討する必要がある。

5. おわりに

本研究により得られた結果を以下に示す。

- (1) ヒメガマ、マコモの刈り取り部に暗幕をかけ、地下茎から地上部への純輸送量を把握した。純輸送量は、ヒメガマは、5月刈り取り（約1g/shoot）、7月刈り取り（約0.5g/shoot）とも同時期の有光合成区の50%以下であった。マコモは、7月刈り取り（約0.4g/shoot）でヒメガマとほぼ同じ値であった。
- (2) ヒメガマの7月刈り取りにおける再生長した葉の総延長から刈り取り後の再生長従属期間が15～20日程度であることがわかった。これは2002年の地上部の観測より求めた推計値とほぼ一致した。マコモはヒメガマとは違い刈り取り後40日を経過しても無光合成区の生長が止まらず、再生長従属期間はヒメガマより長いことが分かった。
- (3) ヒメガマの夏期における刈り取りにおいて、地下部の総生産量はどの時期においても刈り取りを行わない場合より減少した。刈り取り直後の地下部からの輸送量は極めて少なく、この減少は刈り取り時における地下部バイオマスと刈り取り後の地上部再生長バイオマスと大きく関連していた。
- (4) マコモは刈り取り後、再生長をするだけでなく、二次シュートを多数生産することによって、占有度を高めていくというヒメガマとは異なる刈り取りに対する戦略を有していることが分かった。

謝辞：本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（C）（課題番号：15560440、研究代表者：田中規夫）の補助のもとに行われた。また、現地調査を行うにあたっては、さいたま県土整備事務所（前埼玉県南部河川改修事務所）、さいたま市建設局南部河川事務所より快諾をいただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Beule, J. D. : Control and management of cattails in southeastern Wisconsin wetlands, *Technical Bulletin*, Vol.112, pp.1-41, 1979.
- 2) Armstrong, J., Armstrong, W., Beckett, P.M.: *Phragmites australis*: a critical appraisal of the ventilating pressure concept and an analysis of resistance to pressurized gas flow and gaseous diffusion in horizontal rhizomes, *New Phytol.*, Vol.110, pp.383-389, 1988.
- 3) Dean, J. V. & Biesboer, D. D. : Loss and uptake of ^{15}N -ammonium in submerged soils of a cattail marsh, *Amer. J. Bot.*, Vol.72, pp.1197-1203, 1986.
- 4) 江成敬次郎, 鈴木淳, 杉山智洋, 柴崎徹, 佐々木久雄: 水生植物（マコモ）を利用した水質改善の試み, 用水と廃水, Vol.38, No.8, pp.15-23, 1996.
- 5) 近藤雅春: 企業内ビオトープの普及とその問題点, 水環境学会誌, Vol. 25, No.8, pp.441-445, 2002.
- 6) Shekhov, A. G. : Effect of cutting time on renewal of stands of reed and cattail, *Hydrobiologia*, Vol. 10, pp.45-48, 1974.
- 7) Ulrich, K. E. & Burton, T.M. : The establishment and management of emergent vegetation in sewage-fed artificial marshes and the effects of these marshes on water quality, *Wetlands*, Vol. 4, pp.205-220, 1985.
- 8) Yamasaki, S. Role of plant aeration in zonation of *Zizania latifolia* and *Phragmites australis*, *Aquat. Bot.* Vol. 18, pp. 287-297, 1984.
- 9) Tsuchiya, T., Shinozuka, A., Ikusima, I. : Population dynamics productivity and biomass allocation of *Zizania latifolia* in an aquatic-terrestrial ecotone, *Ecol. Res.*, Vol. 8, pp.193-198, 1993.
- 10) 佐原範也, 浅枝隆, グエンキム ラン, 佐々木渉, 藤野毅: マコモ (*Zizania latifolia*) を介した栄養塩の循環の季節変化, 日本陸水学会第68回大会要旨集, pp171, 2003.
- 11) 田中規夫, 武村武, 浅枝隆, 長谷川敦, 谷本勝利: 河川空間におけるヒメガマ *Typha angustifolia* の地下茎拡大機構, 土木学会論文集, No.698/II-58, pp.81-91, 2002.
- 12) Tanaka, N., Asaeda, T., Tanimoto, K., Hasegawa, A.: An analysis of the growth of *Typha angustifolia* and *Typha latifolia*, *J. of Hydroscience and Hydraulic Eng.*, Vol. 20, No. 2, pp.197-206, 2002.
- 13) 田中規夫, 長谷川敦, 浅枝隆, 渡辺哲広, 岸田明義: 土壌の栄養状態がガマとヒメガマの競合の優位性に与える影響について, 土木学会論文集, No.719/II-61, pp. 93-103, 2002.
- 14) 武村武, 田中規夫, 浅枝隆, 石井直樹: 抽水植物の地下部増大能力制御を目的とした夏季刈り取り実験, 河川技術論文集, 第9巻, pp.399-402, 2003.
- 15) 湯谷賢太郎, 浅枝隆, 佐原範也, 地下茎に着目した刈取られたヨシ *Phragmites australis* の回復戦略についての研究, 水工学論文集, 第47巻, pp.1057-1062, 2003.
- 16) 内田泰三, 田崎冬記, 丸山純孝, 佐藤洋平: *Phragmites* 属, 特にヨシ (*Phragmites australis* (Cav.) Trin.) およびツルヨシ (*P. japonica* Steud.) 群落の地上部損失に対する反応, 日緑工誌, Vol. 29, No. 1, pp.74-79, 2003.
- 17) Asaeda, T. & Karunaratne, S. : Dynamic modeling of the growth of *Phragmites australis*: Model description, *Aquat. Bot.*, Vol. 67, pp.301-318, 2000.

(2003.9.30受付)