

刈り取りによる栄養塩除去量と再生長による 地下茎回復量の関連について

RELATION BETWEEN AMOUNT OF NUTRIENT REMOVAL BY CUTTING TREATMENT AND
RESTORATION OF RHIZOME BY REGROWTH

武村武¹・田中規夫²・浅枝隆³・谷本勝利⁴

¹ 学生会員	工修	埼玉大学大学院	理工学研究科	(〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保 255)
² 正会員	工博	埼玉大学工学部講師	建設工学科	(〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保 255)
³ 正会員	工博	埼玉大学大学院教授	理工学研究科	(〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保 255)
⁴ 正会員	工博	埼玉大学工学部教授	建設工学科	(〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保 255)

The model considering the regrowth phase after cutting treatment in the stands of *Typha angustifolia* was proposed. This model was validated by the aboveground biomass calculated by double sampling method using the relation between shoot height and aboveground biomass. After cutting, the mobilization from rhizome to shoot was found about 80% compared with that during initial growing stage. Belowground biomass was recovered up to about 70% by the regrowth in comparison with no cutting, at the start of growth in next year. Nitrogen and phosphorus content of the *Typha angustifolia* is represented by the decreasing function of Julian day. Moreover, the nutrient removal capacity in the end of June cut has been found six times more than that in October cut.

Key Words: *Typha angustifolia*, belowground biomass, nutrient removal, regrowth, cutting treatment

1. はじめに

現在, 多くの施設において植物による栄養塩の除去が行われている¹⁾. ヨシやヒメガマ等の抽水植物は土中のリンや窒素等を吸収し生長する. また, 生長時に地上部に蓄えた栄養分を老化期に地下茎に輸送し蓄えることが知られている²⁾.

ヨシやヒメガマ等の抽水植物による栄養塩除去に関する研究は世界的にも行われている^{2), 3)}. ヒメガマによる栄養塩除去は, 植生場所から刈り取ることによってその場からある一定量の栄養塩除去が期待できる. しかし, Reddy & DeBusk³⁾によればガマ科の栄養塩の含有率はかなりの幅を持っており, 一概に評価できない. また, 刈り取りによる栄養塩除去は経験に基づく所が大きい. 抽水植物は栄養塩を冬に地下部へ戻すため, 翌年以降の生長を考えた場合, 冬刈りの方が良いとされている⁴⁾. 同様のことは酒匂ら¹⁾によっても報告されており, 刈り取り時期は10月から11月中旬が良いとしている. 一方, 湯谷ら⁵⁾によればヨシの7月刈り取りによる地下部への影響は刈り取り後の二次シュートの生長があるためそ

れほど大きくない. ヨシを対象とした刈り取りによる栄養塩除去の評価例では刈り取り時期の特定は難しいとされている⁹⁾. 田中ら⁷⁾は生長を考慮した刈り取り日の設定の必要性を説いている. また, 刈り取りは生産力をコントロールするためにも行われている^{8), 9)}等, ヒメガマは拡大力と高い再生能力を持っている.

このように, 抽水植物の最適な刈り取り時期については不明な点が多い. 特に, これらの論文の前提条件は年一回の刈り取りであり, 刈り取り後の再生長と再生シュートによる地下茎への栄養輸送を考慮していない.

抽水植物の一つであるヒメガマの生長解析は, 田中ら¹⁰⁾により, 生産構造の相違を考慮したモデルが提案され, 各器官の季節変化の検証や湛水深に対する特性が議論され, 良好な結果を得ている¹¹⁾. そこで, 本研究では刈り取り後のヒメガマの再生長モデルを田中ら¹⁰⁾のモデルを基本として構築し, 刈り取りによる栄養塩除去量と, 刈り取り後のヒメガマの再生長による地下茎回復量の関係を定量的に把握することとする.

2. 解析方法

支配方程式は、Asaeda & Karunaratne¹²⁾によって提唱され、田中ら^{10),11)}によって拡張されたモデルを基本とすることにする。

(1) 抽水植物の生活史

Asaeda & Karunaratne¹²⁾は、ヨシの年間の生長過程をユリウス日 (Julian day) によって表現した。ガマ、ヒメガマの場合には、生長開始がやや遅く 120day^{13),14)}, 110day¹⁴⁾程度で、8~9月にピークバイオマスが現れる¹³⁾。しかし、今回は刈り取りによる再生長を考えるため、生活史を新たに2ステージにわけて考え、刈り取り前後で生活史を変更した。刈り取り後の生活史を図-1に示す。再生長期間については、Fiala¹⁵⁾によれば、春先に伸び始めたヒメガマと、その後(5月や6月頃)に伸び始めたものは非常に似たような生育をすることが報告されている。例えば、5月に生長しはじめたヒメガマは8月にピークに達するが、6月に生長しはじめたヒメガマも8月にピークに達する。このようにピークに達する期間に違いはあるが同様の生活史で生長していると考えられる。そこで、刈り取り前の生活史に比例定数 k_t を用いることにより刈り取り後の生活史を表現した。

(2) 地下茎から葉茎への物質輸送量

Asaeda & Karunaratne¹²⁾は初期生長期の地下茎から地上部への物質輸送を、初期地下茎バイオマスを用いて以下のように表現した。

$$Rhif = \alpha_{rhi} \cdot \theta^{(T-20)} \cdot B_{rhi} \tag{1}$$

$$\alpha_{rhi} = a \cdot B_{rhi0}^b \tag{2}$$

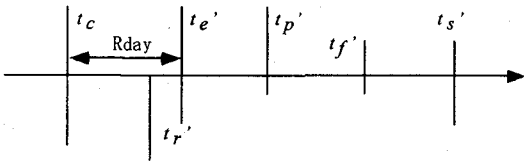
ここに、 α_{rhi} は地下茎の物質輸送率、 θ はアレニウス定数、 T は日平均気温、 B_{rhi} は地下茎バイオマス、 B_{rhi0} は初期地下茎バイオマス、 a, b は定数 (ヨシの場合¹²⁾, $a=0.58$, $b=-0.5$, 相関係数 $R=0.85$) である。

前述したように、ヒメガマは生長開始時期が異なっても非常によく似た生育をすることから、刈り取り後の再生長期における地下茎から葉茎への物質輸送量 $Rhif'$ も、初期生長と同様の式を用いて表現できると仮定し、以下のように表現した。

$$Rhif' = \alpha_R \cdot a' \cdot B_{rhi0}^{b'} \cdot \theta^{(T-20)} \cdot B_{rhi} \tag{3}$$

ここに、 α_R は刈り取り時期によって決定する定数、 a', b' は定数 (ヒメガマの場合¹⁶⁾, $a'=0.133$, $b'=-0.3396$, $R=0.87$) である。

図-2 に現地観測より求めた純伸び率(呼吸・枯死による減少量を考慮しない伸び率)の結果を示す。観測日は刈り取り日、8日後、37日後、84日後である。伸び率は葉茎の伸び速度を求める際に使用する定数である。葉茎の伸び速度とは式(4)の様な関係で表される。



- 刈り取りシュートの生長開始日 : $t_c(\text{day})$
- 光合成生長開始日 : $t_e' = t_c + k_t (t_b + 0.14(t_r - t_b)^{1.27})(\text{day})$
- 穂の形成日 : $t_f' = t_c + k_t (t_f - t_b)(\text{day})$
- 物質輸送開始日 : $t_p' = t_c + k_t (t_p - t_b)(\text{day})$
- 老化開始日 : $t_s' = t_c + k_t (t_s - t_b)(\text{day})$
- 根の生長開始日 : $t_r' = t_c + k_t (t_r - t_b)(\text{day})$

註) $t_b, t_e, t_f, t_p, t_s, t_r$ はそれぞれ通常の生長開始日、光合成生長開始日、穂の形成日、物質輸送開始日、老化開始日、根の生長開始日を表している¹⁰⁾。

図-1 再生長後の生活史の定義

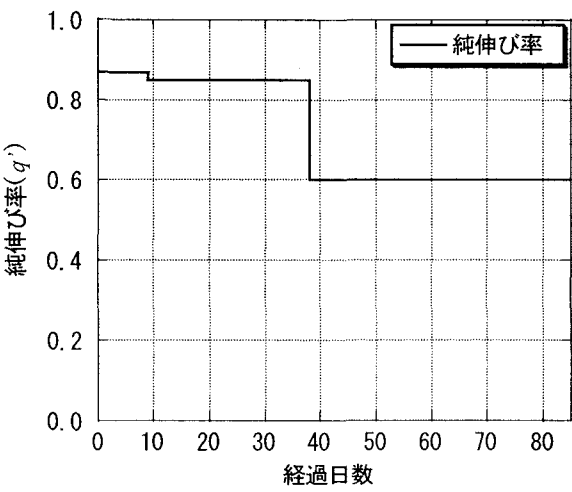


図-2 純伸び率の変化

表-1 モデルパラメーター一覧表

パラメーター	値	単位	備考
刈り取り後の生活史に用いる定数 (k_t)	0.89 ^a	-	
アレニウス定数 (θ)	1.09 ^b	-	
刈り取り後の伸び率 (q)	0.86 ^{c1}	-	初期再生長期間
	0.6 ^{c1}	-	上記以降
初期再生長期間 ($Rday$)	38 ^{c2}	day	
刈り取り時期による定数 (α_R)	0~1 ^{c2}	-	

a: Fiala¹⁵⁾により同定 b: Asaeda & Karunaratne¹²⁾により同定
c1: 式(5)より求める q を適用 c2: 現地観測により同定

(葉茎の伸び速度) = 層厚さ ×
$$\frac{(\text{第 } i \text{ 層におけるバイオマスの増加量}) \cdot q}{(\text{第 } i \text{ 層のバイオマス}) - (\text{第 } i \text{ 層におけるバイオマスの増加量}) \cdot q} \tag{4}$$

ここに、 q は伸び率 (バイオマスの増加のうち、伸びに利用される割合) を示す。現地観測において、この式を適用するには、毎層 (1cm ごと) の観測結果が必要であ

りかなり困難である．そこで，現地観測により得られるヒメガマの高さとバイオマスの関係を式(4)との類似性を考慮して以下のように表した．

(i日～i+n日における伸びた高さ) =

$$i\text{日における高さ} \times \frac{A1 \cdot q'}{A1 - A2 \cdot q'} \quad (5)$$

ただし

$A1 = i\text{日におけるバイオマスの純増加量}$

$A2 = (i+n)\text{日におけるバイオマス純増加量}$

とする．ここに， q' は純伸び率， i は観測日， n は*i*からの経過日数を示す．解析において用いる q は，ここで示した q' を適用させた．

この結果，刈り取り後の数日は非常に純伸び率が大きく，またその値をある程度の期間にわたって維持し続けている．そこで，刈り取り後に地下部から地上部への物質輸送が行われる期間を，初期再生長期間とした．

刈り取り後の再生長に関わるモデルパラメータを表-1に示す．刈り取り後の生活史に用いる定数 (k_i) は Fiala¹⁵⁾による観測結果より求めた．Fiala¹⁵⁾によれば，6月頃の生長開始のヒメガマは，春先に生長し始めたヒメガマより，やや短い期間で上部バイオマスがピーク値なることを報告している．また，刈り取り後の伸び率，初期再生長期間 ($Rday$) は図-2の結果より決定した．

3. 現地観測

刈り取り後の再生長を調べるために，現地にて刈り取り実験を行った．

(1) 現地観測場所

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° N, 139° E) である．刈り取りは，地下茎バイオマスの復旧初期の6月27日 (ユリウス日：178日) に行った．刈り取り範囲は1m×2mである．刈り取った領域の周りには約1mの緩衝帯を設けた．この緩衝帯 (非観察区域) を設けたのは刈り取らない区域からの地下茎の進入状況を観察するためである．地下茎が拡大する際の水平地下茎の長さは約60cmであり，緩衝帯には拡大に伴うシュートの生長はほとんど観察されなかった．なお，刈り取られたものの再生長は図-3，4のように偽茎の中からのびてくるものであるため，拡大に伴うシュートとは容易に区別できる．両図中の破線で囲まれているところが刈り取りによる観測区画である．また，ラインAが刈り取り位置，ラインBが写真撮影時の高さである．従って，観察ゾーンに非刈り取り区から進入し生長したと考えられるシュートはなく，再生長は全て，刈り取り区内の地下茎の栄養を使って高さを確保し，その後，光合成による生長を行ったものといえる．図-5に刈り取り後の高さの変化を示す．刈り取り範囲内



図-3 刈り取り後の様子 (Aは刈り取り位置，Bは8日後の高さ，破線は観測区画)



図-4 刈り取り 37 日後の様子

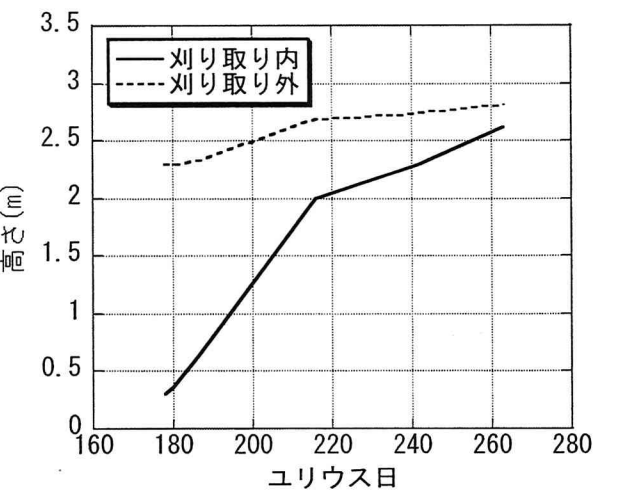


図-5 刈り取り後の高さの変化

のヒメガマの高さは、刈り取り範囲外のヒメガマと比して刈り取り時で約2mの差があったものが急速に生長し、刈り取り84日後では、その差はほとんど無くなっていることがわかる。

刈り取りにおいて、もっと大きな面積を刈り取ればより詳細なデータを得ることも可能であったが、今ある群落に与えるダメージを極力少なくするためにこの大きさとした。よって、この地点でのサンプリングは行っていない。しかし、同程度の緯度である荒川河川敷に位置する浮間ゴルフ場内ピオトープ(35°N, 139°E)で高さバイオマスのサンプリングを行っているの、そこでのデータを基に芝川調節池でのバイオマスデータを算定した。

(2) 刈り取り方法と観測項目

刈り取り高さが水面上にあるか否かは、その後の再生長にとって重要な要因である⁹⁾。本研究では、刈り取り後の再生長を期待するため、水面より約20cm上に刈り取りポイントを置き、再生長の高さを観測項目とした。この刈り取り高さは、偽茎(葉の付け根により構成される茎で非光合成器官)の最上部の高さにあたる。これにより再生長は水面上に残されたシュートの光合成によるものではなく、地下茎からの栄養輸送によるものであるといえる。

4. 結果

(1) 刈り取り後の再生長に関する検討

浮間ゴルフ場内ピオトープ池でのサンプリングデータをもとに、生長初期におけるヒメガマの高さとバイオマスの関係を調べた。4月上旬から6月上旬までの観測期間の結果を図-6に示す。ヒメガマにおける初期生長期の高さとバイオマスには非常によい相関(R=0.80)があるため、この相関式から芝川調節池でのバイオマス算定を行った。

(2) 栄養塩含有率の検討

ヒメガマ、ガマの栄養塩含有率を考えるにあたって、Manson & Bryant¹⁷⁾, Garver et al.²⁾, Smith et al.¹⁸⁾の3論文からデータを得た。

Manson & Bryant¹⁷⁾はヨシとヒメガマを対象とした生産、分解等の現地観測をNorfolk州の湖にて行った。湖の平均水深は80cm程度で広さは4.7haである。ヒメガマの地上部に含まれる栄養塩含有量(P, N, Ca, Mg, Na, K)の季節変化を調べている。観測期間は約2年間である。

Garver et al.²⁾はアメリカのミネソタ州北東部に位置する沼地でヒメガマ、ガマの全体、葉、地下茎に含まれる栄養塩含有量(P, N, K)の季節変化を2年間観測し

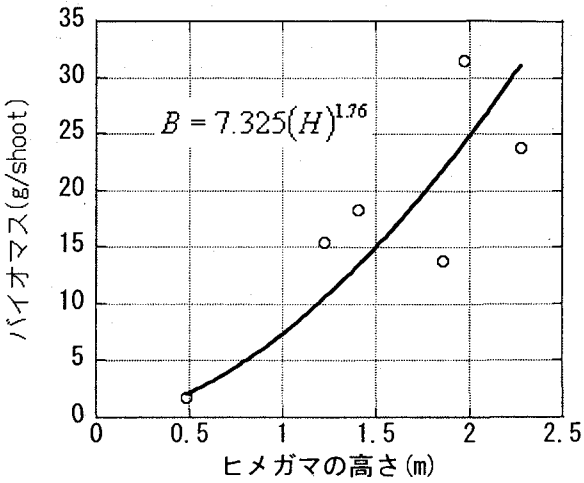


図-6 浮間ゴルフ場におけるヒメガマの高さとバイオマスの関係

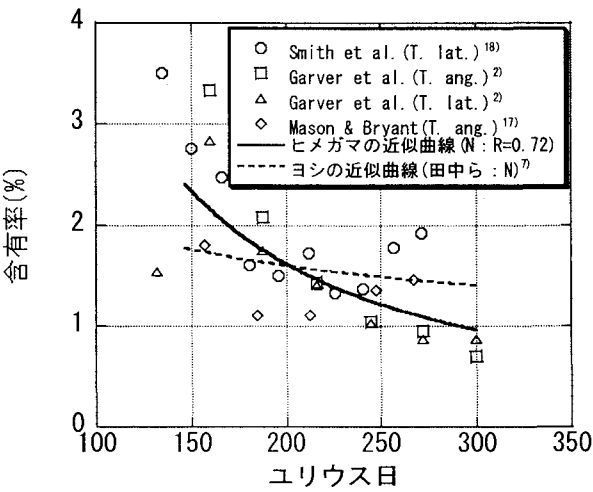


図-7 地上部における栄養塩の含有率 (窒素)

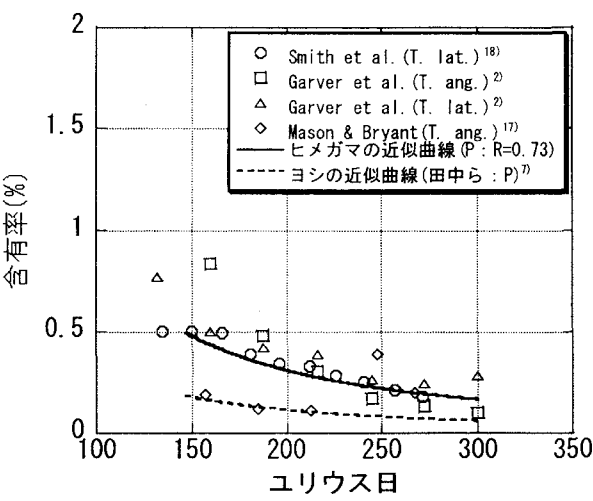


図-8 地上部における栄養塩の含有率 (リン)

ている。生長期における水深は 20cm 程度である。

Smith et al.¹⁸⁾はアメリカのウイスコンシン州の Lake Mendota に生育するガマを観測対象とし栄養塩含有量 (P, N, K, Ca, Mg, Fe, B, Mn, Na, Sr, Cu, Zn) の季節変化を調べている。この群落の大きさは約 0.1ha である。観測期間は約 1 年間である。

図-7, 8 に栄養塩含有率(N,P)の季節変化を光合成生長期以降 (146 日以降) について示す。また、この図には田中ら⁷⁾がヨシに対して作成した近似式もあわせて示す。窒素、リンともに観測地点の違いがありながらすべての地点で減少傾向を示している。この図より、ヨシやヒメガマ、ガマなどの同じ抽水植物の地上部に含まれる栄養塩含有率の季節変化は、同様の減少傾向を示すといえる。よって、この結果より次の近似式を得た。

$$C_N = 1471.22(IDAY)^{-1.286} \quad (6)$$

$$C_P = 989.77(IDAY)^{-1.523} \quad (7)$$

ここに、 $C_N(\%)$ 、 $C_P(\%)$ はそれぞれ窒素とリンの含有率、 $IDAY$ はユリウス日である。

この得られた近似式を用いて、栄養塩除去量の推定を主なものとする。

(3) 刈り取りによるバイオマスの変化

刈り取りによる栄養塩除去効果を見るためにモデル解析を行った。図-9, 10 にその結果を示す。図-9 は地上部バイオマスにおける結果、図-10 は地下部バイオマスにおける結果である。刈り取りを行わない場合には、生長初期から地上部バイオマスのピーク時までを精度良く表現できるため、刈り取り時の現地観測データと計算値をあわせ、刈り取り後のモデルの検証を行った。また刈り取り後、再生長を考慮しない場合の結果も併せて表記した。

刈り取りしか考慮しない場合、その後ヒメガマが光合成器官を有しないため、再生長をすることが出来ず、地上部バイオマス、地下部バイオマスともに刈り取り日から減少の一途をたどる。

再生長を考慮する場合には、地下茎からの再生長時の輸送率を表す定数 (式(3)の α_R) を 0.5 から 1.0 の範囲で変化させて検討した。その結果、0.79 の時がもっとも相関が高く ($R=0.95$) 現地観測結果を良好に再現できた。

図-11 に窒素、リンの季節変化を出す式(3), (4)を用いて、除去量の推定を行った結果を示す。6 月 27 日 (178 日) と 10 月 1 日 (274 日) の値を見ると、178 日の段階で刈り取った場合、窒素で約 15g/m^2 、リンで約 3g/m^2 の除去量が期待できる。しかも、図-10 に示したように刈り取り後、再生長をする場合には翌年の生長初期の地下茎量 (約 450day) は刈り取らない場合の 3 割減程度まで回復しており、生長初期値よりは大きな値をとる。一方、再生長しない場合には約 8 割減と地下茎に大きな

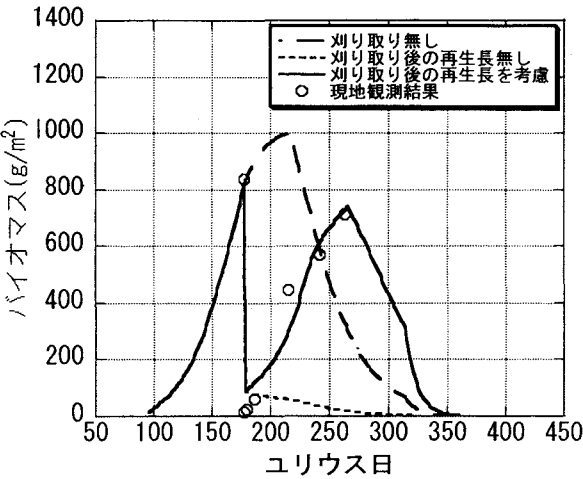


図-9 刈り取りの有無による地上部バイオマスの相違

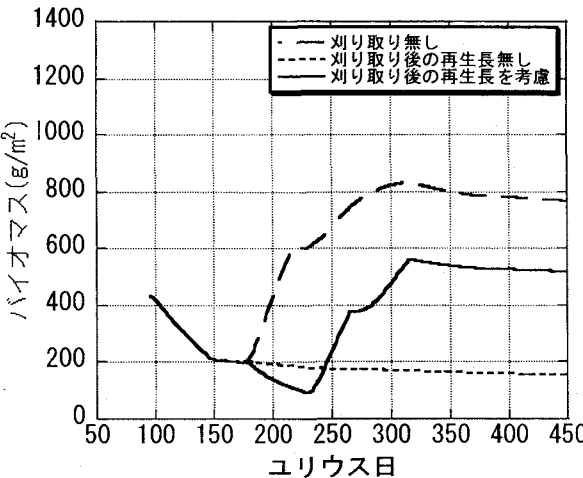


図-10 刈り取りの有無による地下部バイオマスの相違

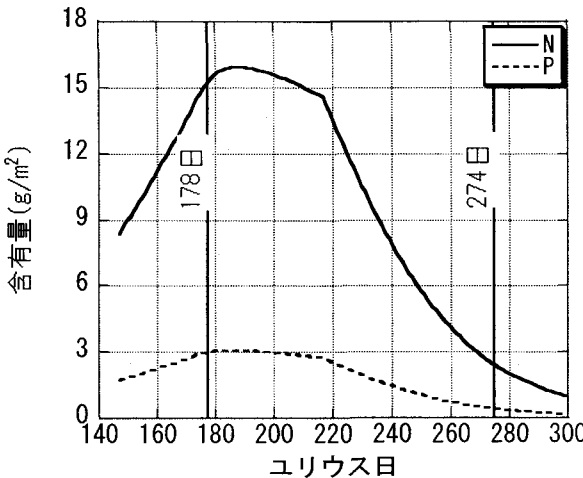


図-11 栄養塩除去量の推定結果

ダメージがあることが見て取れる。このことに対して、一般的に言われている 10 月刈り取り (274 日) を行った場合、6 月の時点の 15% 程度しか除去できない計算になる。本来、10 月刈り取りは次年度の地下茎に影響を与えないよう地下茎が十分に回復した後をターゲットにした刈り取りであるが、本解析より 6 月刈り取りを行った場合も、再生シュートの生長による地下茎への栄養輸送により地下茎は回復し、かつより多くの除去量が期待できることがわかる。ただし、地下茎バイオマスにおける 3 割減という低下が翌年の生長に与える影響や、7 月刈り取り、8 月刈り取りに対するヒメガマの挙動については今後さらなる検討が必要である。

5. 結論

本研究により明らかになった点を列挙する。

- ① 現地観測データをもとに刈り取り後の再生長を考慮したモデル解析の結果、刈り取り後には地下部から地上部への輸送が生長初期の約 80% 程度、行われていることが判明した。
- ② ヒメガマの栄養塩含有率 (N, P) は植生場所の相違があっても、ユリウス日に対して減少関数で表記できる。
- ③ 刈り取り時期を 6 月末にすることで、10 月刈り取りより 6 倍以上の栄養塩除去が可能であり、再生長により地下部バイオマスは生長初期より大きな値まで回復することから、刈り取りによる次年度の生長への影響は少ないと考えられる。

謝辞: 本研究を行うにあたっては、(株)アイ・エヌ・エー、(株)エス・アイ・イーより奨学寄付金をいただいた。現地調査を行うにあたっては、埼玉県南部河川改修事務所、(財)川口市公園緑地公社 (浮間ゴルフ場) より快諾をいただいた。また、学部 4 年生渡辺哲広氏、渡辺肇氏、斉藤洋氏には現地観測とそのデータ整理を手伝っていただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 酒匂敏次, 落合作司, 高橋成行, 稲葉香代, 永坂道夫, 入江光一郎, 牧嶋正身: 佐鳴湖での植生施設による水質浄化対策の有効性についての検討, 河川技術に関する論文集, 第 6 巻, 197-202, 2000.
- 2) Garver, E. G., Dubbe, D. R. & Pratt, D. C. : Seasonal patterns in accumulation and partitioning of biomass and macronutrients in *Typha* spp., *Aquat. Bot.*, 32, 115-127, 1988.
- 3) Reddy, K.R. & DeBusk, W.F. : Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants, *Magnolia Publ. Inc.*, 337-357, 1987.
- 4) 吉良竜夫: ヨシの生態おぼえがき, 琵琶研所報, 29-37, 1991.
- 5) 湯谷賢太郎, 浅枝隆, Shiromi Karunaratne : 夏期の刈り取り

がヨシ (*Phragmites australis*) の生長に与える影響, 日本陸水学会第 65 回大会講演要旨集, p128, 2000.

- 6) 網井由彦, 城戸由能, 三木理弘, 角田政毅: 刈り取りによる栄養塩除去を目的としたヨシの生長過程に関する現地観測, 土木学会論文集, No.594, VII-7, 45-55, 1998.
- 7) 田中規夫, 浅枝隆, Shiromi Karunaratne, 谷本勝利: ヨシの生長解析に基づく栄養塩除去量の評価, ダム工学論文集, Vol.11, No.1, 26-39, 2001.
- 8) Shekhov, A.G. : Effect of cutting time on renewal of stands of reed and cattail, *Hydrobiologia*, 10, 45-48, 1974.
- 9) Sale, P.J.M. & Wetzel, R.G. : Growth and metabolism of *Typha* species in relation to cutting treatments, *Aquat. Bot.*, 15, 321-334, 1983.
- 10) 田中規夫, 浅枝隆, 谷本勝利, 長谷川敦: 抽水植物の鉛直生産構造の相違を考慮した生長解析, 水工学論文集, 第 45 巻, 1093-1098, 2000.
- 11) 田中規夫, 武村武, 浅枝隆, 谷本勝利, 長谷川敦: 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 (掲載予定)
- 12) Asaeda, T. & Karunaratne, S. : Dynamic modeling of the growth of *Phragmites australis*: Model description, *Aquat. Bot.*, 67, 301-318, 2000.
- 13) McNaughton, S. J. : Ecotype function in the *Typha* community type, *Ecol. Monographs*, 36, 297-325, 1966.
- 14) Kvet, J.: Growth analysis approach to the production ecology of reedswamp plant communities, *Hydrobiologia*, 12, 15-40, 1971.
- 15) Fiala, K. : Underground Organs of *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*, their growth, propagation and production, *Acta Sc. Nat. Brno*, 12(8), 1-43, 1978.
- 16) 長谷川敦, 田中規夫, 浅枝隆, 谷本勝利: 初期生長期の特性に基づくガマ・ヒメガマの生長解析, 水工学論文集, 第 46 巻, 2002. (掲載予定)
- 17) Mason, C.F. & Bryant, R.J. : Production, nutrient content and decomposition of *Phragmites communis* Trin. and *Typha angustifolia* L., *J. Ecol.*, 63, 71-95, 1974.
- 18) Smith, C.S., Adams, M.S. & Gustafson, T.D. : The importance of belowground mineral element stores in cattails (*Typha latifolia* L.), *Aquat. Bot.*, 30, 343-352, 1988.

(2001. 10. 1 受付)