

汽水域に生育するオオクグ (*Carex rugulosa* Kükenth) の保全に対する生長解析の適用

APPLICATION OF GROWTH DYNAMIC ANALYSIS TO THE PRESERVATION OF
Carex rugulosa Kükenth GROWN IN BRACKISH AREA

武村武¹・田中規夫²・浅枝隆³・國井秀伸⁴・今田直人⁵・古里栄一⁶

Takeshi TAKEMURA, Norio TANAKA, Takashi ASAEDA, Hidenobu KUNII, Naoto IMADA and Eiichi FURUSATO

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 埼玉大学工学部助教授 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非会員 理博 島根大学教授 汽水域研究センター (〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060)

⁵非会員 理修 島根大学大学院 理工学研究科 (〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060)

⁶正会員 (有)環境水理研究所 環境技術部 (〒336-0024 埼玉県さいたま市根岸 5-9-7)

There exist a little research on the ecology of endangered species, *Carex rugulosa* Kükenth, grown in the brackish area. Then, the field observation about their phenology and productivity was done, and the growth dynamic model was developed for the purpose of evaluating their long-term dynamics. From observation, the productivity of secondary shoots that grow up at early spring were about 25-50% of that of primary shoots that grow up after summer. This model obtained a good result as for calculating the field reproduction. A long-term model analysis was done under the effects of the shade of normal *Phragmites australis*, slender and smaller *P. australis* in Ohasi river site and no competition. As a result, the belowground biomass has decreased in competition with normal *Phragmites australis*. Radiation changes due to the change of other species' growth are supposed to greatly affect the growth of *Carex rugulosa* Kükenth.

Key Words: *Carex rugulosa* Kükenth, brackish area, growth dynamic analysis, competition

1. はじめに

河川空間には様々な絶滅危惧種が生育する。それらを保全し再生¹⁾していくことは、河川計画・管理にかかわる重要な課題であり、多くの保全生態学的研究²⁾が行われている。

このような絶滅危惧種の1つにオオクグ (*Carex rugulosa* Kükenth) という、汽水域に見られるカヤツリグサ科スゲ属の多年草がある。その生育地は一般に汽水域の湿地で、日本では本州、北九州の他、朝鮮半島、中国、ウスリー等東アジアに分布している³⁾。本種は、絶滅の危険が増大している植物の一種と報告され、2000年の環境庁のレッドデータブックでは絶滅危惧Ⅱ類(VU)(100年後の絶滅確率は約20%)と報告されている。つまり、圧

迫要因が今後も継続すれば、その種の生育・存在が困難になると考えられる。このような状況下にある理由は、自生地少なさに加えて、河川・海岸の改修、土地造成等の工事により、生育地が減少していることもあげられると考えられる。しかし、このような現状にもかかわらず、その生態に関する研究は非常に少ない。

そこで、本研究ではオオクグの生態保全的見地から、島根県大橋川河口付近に生育するオオクグの現地観測を行い、その生態的特徴を調査した。また、その調査内容に基づき、生長解析モデルの開発を行い、環境要因の変化に対するモデルの感度分析として競合条件の変化(日射量の減衰で表現)に対する応答特性を解析した。生長解析モデルは、ヨシ⁴⁾・⁵⁾やヒメガマ⁶⁾においてその有用性が確認されているが、保全生態学的知見を導出す

るという目的でその適用可能性を探るものとする。

2. 現地観測

オオクグの生長特性を確認するために、現地にて観測、サンプリングを行った。

(1) 現地観測場所

現地調査を行った地点は、島根県北部に位置する中海と宍道湖をむすぶ大橋川下流域北岸の塩生湿地 (35° N, 133° E) である。調査地点を図-1に示す。本調査地点は、調査地点より河川に向かって緩やかなスロープを有していたが、それほど傾斜は大きくない (1: 90)。生育植物は、陸側から陸上草本植物群落、オオクグ純群落、ヨシ群落と変化する。また、ヨシ群落は純群落でなくオオクグとの混合群落であった。

(2) 観測方法と項目

観測期間は、1999年4月3日から2000年9月23日まで、1年6ヶ月間行った。観測は約2週間に1度フェノロジー (生態の調査: 群落の状態、シュートの生存状況等)、およびシュート (葉・茎等をあわせた1本の生長単位) の動態について行った。

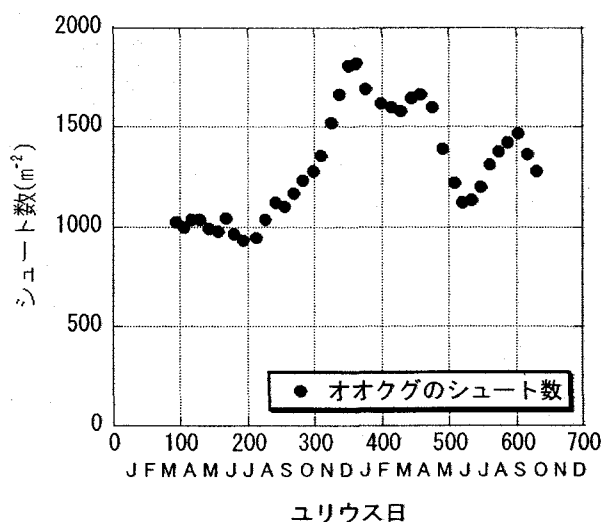
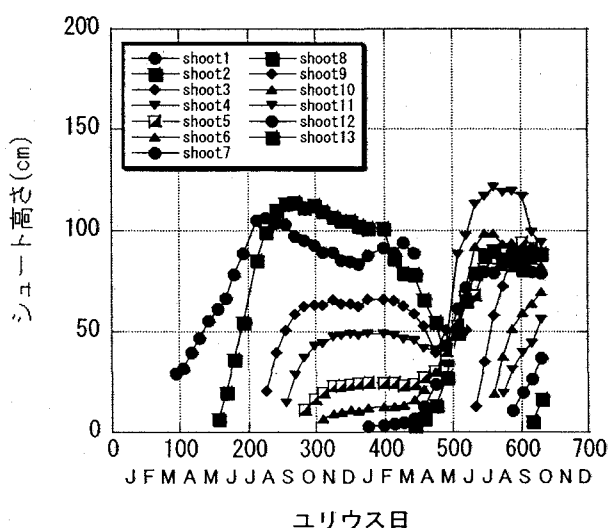
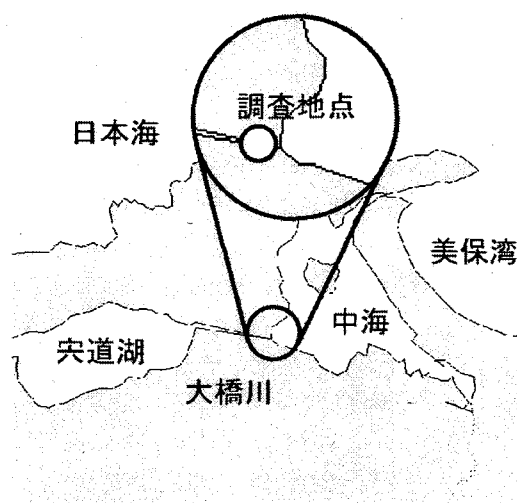
調査地に、1m×1mのコドラートを2地点設け、各々その内側に30cm×30cmの観察用コドラートを設置した。シュートの動態を調査するための連続観測用 (毎調査日ごとに同じシュートの状態を観察) のマーキングは、観察コドラート内の地上部シュートに番号を付けたビニールテープを用いることにより行った。また、新しいシュートが各観察コドラート内で確認された場合は、随時新しい番号と共に、異なる色のビニールテープでマーキングを行った。観察コドラート内における調査項目は、すべての地上部シュートの全長、稈 (花茎に相当) の有無、花穂 (雌、雄) の有無、果実の有無について行った。

サンプリングは1999年4月から2000年10月までの隔月で計10回行った。サンプリングを開始する前に、観察用コドラートと同様の条件と考えられる場所を選定し、そこに1.2m×1.2mのサンプリング用コドラートを設置した。サンプリングは1回につき18cm×18cm×18cm (D×W×H) の大きさで行い、土壌を含めすべて持ち帰った。持ち帰ったサンプルは各器官に分けた後、乾燥重量 (80℃, 48時間) を測定した。

3. 観測結果

(1) 連続観測結果

図-2に連続観測により得られたシュート高さの季節変化の結果を示す。このシュート高さは同じマーク (調査開始日が同時) のシュートの平均値を使用している。調査開始時より生長し始めたシュートは夏期にかけて大きく生長し、100cm以上までのびていることが確認できる。それと同時に、夏期頃から新たなシュートが出現し始め冬期にかけてその全長を維持している。また、秋



期から出現し始めたシュートは萌芽はするもののその後生長は行わず、地面にたまった枯葉内で越冬し、その後また生長を行っている。この結果より、春期に生長を開始するシュートの伸び速度は夏期から秋期にかけて伸び始めるシュートに対して大きいということが確認できる。また、春期に地下部から生長し始めたシュートと、越冬したシュートの伸び速度の差に違いは見受けられなかった。以後、春期から伸び始めたシュートを1次シュート、夏期以降に伸び始めたシュートを2次シュートとする。

図-3 にシュート密度の季節変化の結果を示す。この結果は、連続観測用のコドラートの結果から単位面積当たり換算したものである。1年目の結果において夏期以降の密度変化に注目する。この密度の上昇は、先の図-2の結果における2次シュートの出現と同時期である。つまり、密度の上昇は2次シュートの出現により上昇しているものと考えられる。同様に、2年目の結果においても夏期以降、密度の上昇が確認できる。その上昇量は、1年目で約80%、2年目で約50%であった。また、2年目の結果において春期から夏期にかけて一旦密度が減少した時期がある。これは花期後、枯死シュートが急増する事によるものと観測から考えられる。

(2) バイオマスの季節変化

図-4 に地上部・地下部バイオマスの季節変化の結果を示す。この結果は観察2年目のものである。地上部において、春期から上昇し始めたバイオマスは夏期にピーク値をむかえた後減少している。また、地下部においては春期から夏期にかけて減少しその後増加している。この動態は、ヨシ^{4),5)}やヒメガマ⁶⁾などの地下茎を有する植物種の動態と傾向が似ていることがわかる。

図-5 に地上部バイオマスに占める葉の割合の季節変化の結果を示す。春期の生長開始時以降、上部バイオマスに占める葉のバイオマスの割合は大きくなり、80%程度で飽和していることが確認できる。

4. 解析方法

現地観測を踏まえてモデルを作成した。本モデルで用いた支配方程式は、Asaeda & Karunaratne⁴⁾によって提案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 & Karunaratne⁴⁾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。オオクグの場合、次のような生活史を持つものと現地観測結果から考えられる。春期に地下部に依存した生長を行い、その後すぐに穂を付け種子による有性繁殖を行う。その後、夏期に地上部からの転流を利用し地下部を大きく生長させる。また、夏期から秋期にかけては地下部に貯蔵していた有機物を利用し再び地上部にシュートを出現させる。このことより、生活史を大きく2つに分け、春先か

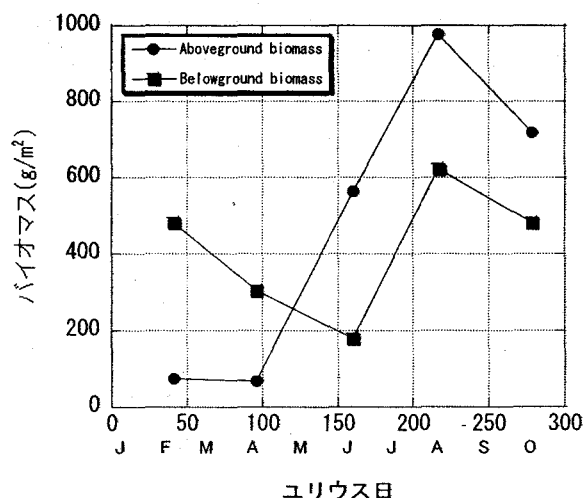


図-4 地上部・地下部バイオマスの季節変化

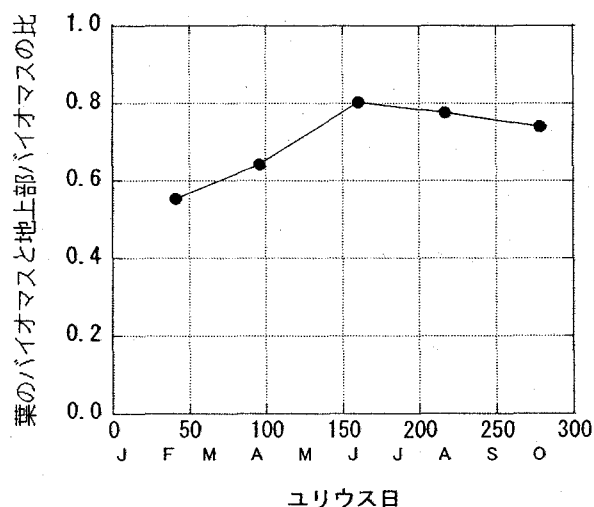
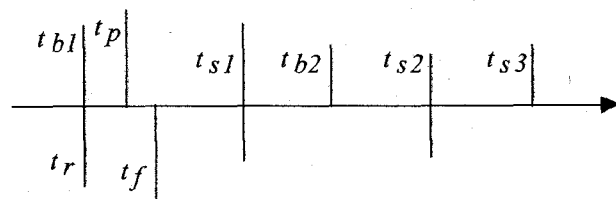


図-5 葉のバイオマスが地上部バイオマスに占める割合の季節変化



- 1次シュート生長開始日 : t_{b1} (day)
- 2次シュート生長開始日 : t_{b2} (day)
- 稈の形成開始日 : $t_p = t_{b1} + 10$ (day)
- 穂の形成開始日 : $t_f = t_p + 10$ (day)
- 1次シュートからの転流 : $t_{s1} = t_{b1} + 55$ (day)
- 2次シュートからの転流 : $t_{s2} = t_{b2} + 55$ (day)
- 老化開始日 : $t_{s3} = t_{s2} + 80$ (day)

ら生長し始める1次シュートと夏頃から生長し始める2次シュートを別々に定義した。図-6 にオオクグの生活史を示す。

(2) バイオマスの支配方程式

方程式の前提条件として、植物の生長を生産と消費 (呼吸・枯死) と各器官の間の輸送に分けて考える。また、オオクグはヨシと同様の器官 (穂、稈、葉鞘、地下

茎、根)を有する植物であることから、同じ支配方程式で表現できると考えられる。従って、Asaeda & Karunaratne⁴⁾によって提案された(1)地下茎モデル、(2)根モデル、(3)新地下茎モデル、(4)葉茎モデル、(5)穂モデルの支配方程式をオオクグの基本方程式と考え、特徴は生活史ならびに各項のモデル化において考慮することとした。

(3) 各器官間のフラックス

Asaeda & Karunaratne⁴⁾はヨシの場合について、①地下茎から根・葉茎への輸送量、②光合成物質の根への供給、③各器官の呼吸量・枯死量、のモデル化を行った。そこで、オオクグも同様に①～③を現地観測とキャリブレーションにより決定した。

(4) 地下茎から葉茎への物質輸送量

Asaeda & Karunaratne⁴⁾は初期生長期の地下茎から地上部への物質輸送 (R_{hi}) 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。

$$R_{hi} = \alpha_{rhi} \cdot \theta^{(T-20)} \cdot B_{rhi} \quad (1)$$

$$\alpha_{rhi} = a \cdot B_{rhi0}^b \quad (2)$$

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 は定数である。

(5) モデルパラメータ

以上の特徴をモデルに反映させ、オオクグに対するモデルパラメータを決定した。モデルパラメータ一覧表を表-1に示す(ヨシ、ヒメガマは Asaeda & Karunaratne⁴⁾、田中ら⁶⁾を参照)。本モデルパラメータは以下の理由に基づき決定した。

最大光合成率 (P_{max}) を求めるに当たり、葉のバイオマスの季節変化を用いて図-7(a)を作成した。この結果は横軸に観測日間隔、縦軸に1日当たりの葉の増加量を示す。この結果より、日最大光合成量として $P_{max}=0.4$ を用いることとした。

葉のバイオマスと葉面積の関係式を作成するに当たって、LAI (Leaf Area Index: 葉面積指数、全生葉面積/土地面積) と葉のバイオマスの季節変化より図-7(b)を作成した。この結果には、比較のためにヨシとガマの結果を併記する。この結果より、オオクグはヨシやガマなどの大型植物と比べると、葉のバイオマス当たりの葉面積が大きいことが確認できる。その大きさは、葉のバイオマスが $400 \text{ (g/m}^2\text{)}$ の時ガマはLAIが約 $3 \text{ (m}^2\text{/m}^2\text{)}$ であるのに対して、オオクグはその2倍以上の約 $7 \text{ (m}^2\text{/m}^2\text{)}$ であることがわかる。

吸光係数を求めるに当たって、層別LAIと群落内の日射分布を調べた。図-8(a)、(b)にその結果を示す。吸光係数とは葉の配列や傾きを表す変数である。葉の傾きが大きいほど、吸光係数は小さくなる。つまり光はあまり減衰せず群落内部まで入ることが出来る。一般に、群落

表-1 パラメータ一覧表

パラメータ	パラメータの意味	オオクグ
a_{fr}	葉茎の増加のうち葉の増加に使用される割合	0.78
$ALAI$	バイオマスと葉面積の関係を表す定数	0.0561
$BLAI$	バイオマスと葉面積の関係を表す定数(指数)	0.8081
k	吸光係数	0.12
P_{max}	最大光合成率($\text{gCO}_2\text{/g/day}$)	0.4
q	バイオマスの増加のうち、伸びに利用される割合	0.4
ε_{sh1}	1次シュートの葉茎から地下茎に輸送される割合	0.0015
ε_{sh2}	2次シュートの葉茎から地下茎に輸送される割合	0.005

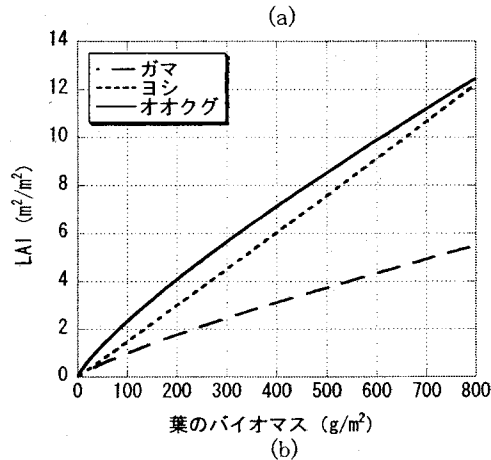
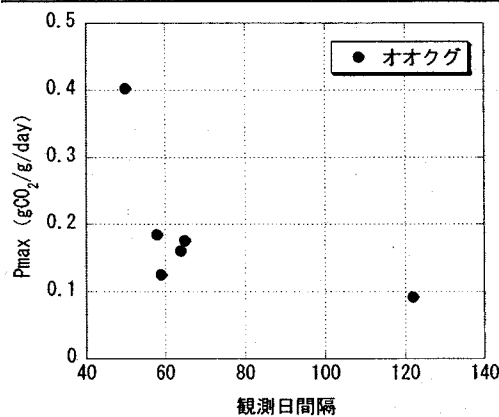


図-7 (a) 葉の日あたり増加量の観測値

(b) 葉のバイオマスとLAIの関係

内での日射分布は、ある高さでの有効日射量 $I_{PAR}(i)$ を Lambert-Beer の法則を用い、植物頂 ($j=1$) からその高さ ($j=i$) までの葉面積指数の積分値の関数 F_i として以下のように表現される。

$$I_{PAR}(i) = I_{PAR} \cdot e^{-k \cdot F_i} \quad (3)$$

$$F_i = \sum_{j=1}^{j=i} LAI(j) \quad (4)$$

ここに、 k は吸光係数、 I_{PAR} は光合成に利用される日射量である。この関係式を用いて先の結果よりオオクグにおける吸光係数 k は算出された。

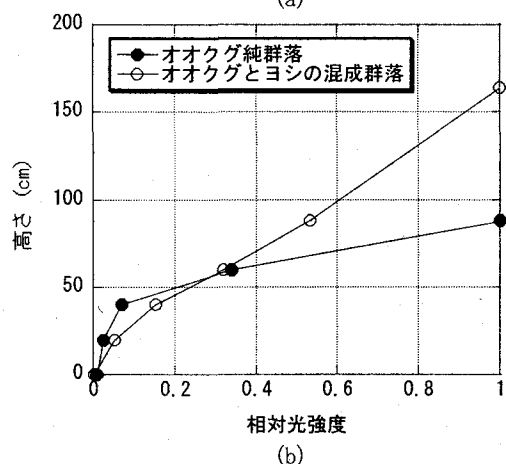
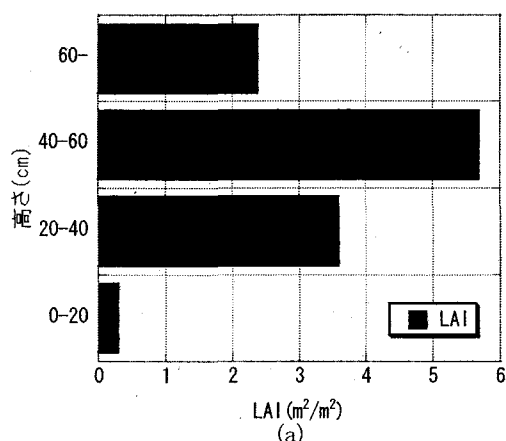


図-8 (a) 層別 LAI の観測結果
(b) 群落内の日射分布

葉茎の増加のうち、葉の増加に使用される割合 (α_n) は、図-5 の結果より平均値を使用した。

伸び率 (q)⁴⁾ は、バイオマスの季節変化が合うようにした時にオオクグの標準的な高さ (現地観測より最大で 120cm 程度) に合うように設定した。

葉茎から地下茎に輸送される割合は、1 次シュート、2 次シュートのバイオマスの季節変化が現地観測の結果 (シュート密度と高さの関係) に合うように設定した。

4. モデル解析結果

(1) 地上部・地下部バイオマスの季節変化の検証

図-9(a) にモデル解析による地上部バイオマスの季節変化を示す。この結果に表記した現地観測データは先に使用したものと同様に 2 年目の結果である。また、本年度行ったサンプリングの結果も併記した。この結果より、本モデルは、2000 年、2002 年両年におけるオオクグの季節変化の傾向を再現できているものと考えられる。また、1 次シュートと 2 次シュートのピークバイオマスの比を見ると、4:1 程度となっている。現地観測結果のシュート高さの変化と密度変化の結果より、2 次シュートは 1 次

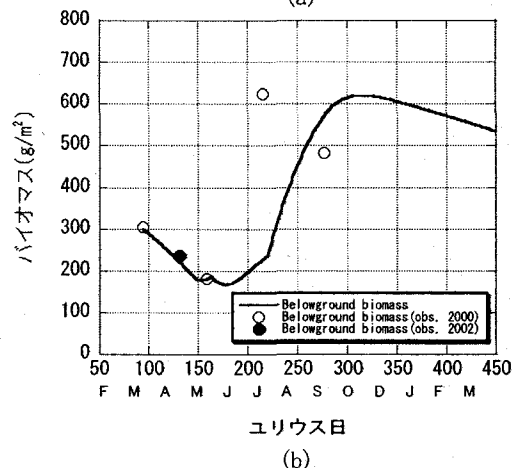
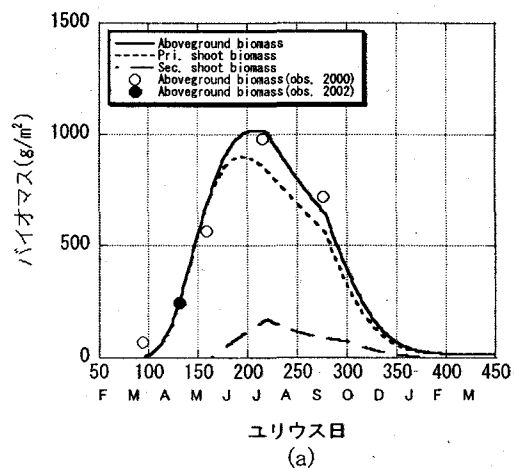


図-9 (a) 地上部の解析結果
(b) 地下部の解析結果

シュートに対してシュート高さで 50%~70% 程度、密度で 50%~80% 程度の大きさであった。本結果は 2 年目の結果を使用していることを考慮すると、2 次シュートのバイオマスは 1 次シュートの 4 分の 1 程度になるものと考えられることから、本結果はこの予想を満足していると考えられる。

図-9(b) にモデル解析による地下部バイオマスの季節変化を示す。この結果、地下部の最低値の再現は出来ているが、ピーク値の再現はそれほど出来ていない。これは、地上部の扱いと共に 2 次シュートの位置づけにおいて再考の余地があるものと考えられる。しかし、現地観測において冬期は値が減少していることから、最終的な値 (次年度への初期地下茎量) はそれほど大きくずれてはいないものと考えられる。

(2) 長期モデル解析

図-10(a), (b) に地上部バイオマスと地下部バイオマスの季節変化をケーススタディとして 5 年間計算した結果を示す。本結果には、日射量の変化に対する応答特性を調べるために、3 ケースの結果を示す。

オオクグが純群落を形成する場合 (ケース 1) は他種による日射制限がないが、現地観測を行った場所の隣に

は、1m～1.5m 程度の高さのヨシとの混成群落が存在していた。そこで、Květ⁷⁾、Dykyjová⁸⁾による報告から、オオクグと一般的なヨシとの混成群落が存在した場合のヨシによる日射制限（ケース2）と、大橋川のヨシ群落による日射制限（ケース3）（図-8(b)参照）との比較をおこなってみた。Květ⁷⁾によれば通常の健康的なヨシの場合、ヨシ群落内での日射減衰は、夏場においてヨシの高さの70%程度のところで約半分になり、オオクグの生育する高さ（100cm 程度）においては20%程度まで減衰するとしている（Dykyjová⁸⁾によっても同様）。そこで、通常のヨシを想定した場合の日射制限を20%とした。次に、オオクグと共に生育するヨシの大きさは通常のヨシとは違いかなり小さい。2002年7月の観測で、その高さは160cm 程度であった。また、そのときの日射減衰量は図-8(b)に示したとおりで約60%程度までしか減衰していない。そこで、この減衰量を大橋川のケースとした。

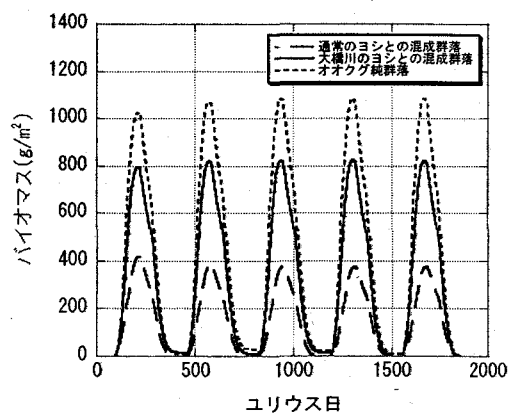
図-10(a)より日射量制限が大きい方が地上部の生産量が小さくなる傾向を得ることが出来た。また図-10(b)の通常のヨシのケースにおいては、計算開始時より日射制限の影響のため、徐々に地下部バイオマスが減少していることが確認できる。このことから、日射量制限による地上部生産量の減少は地下部への転流の減少につながり、群落維持にインパクトを与えるものと考えられる。

5. 結論

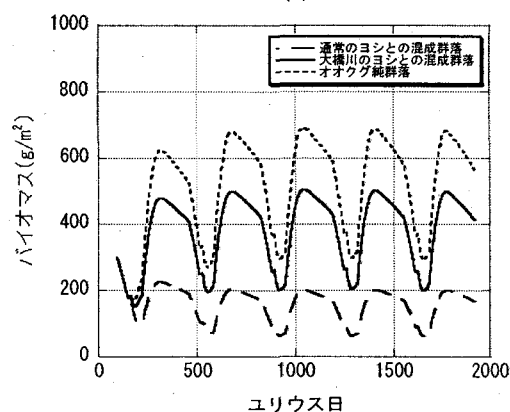
大橋川に自生するオオクグ（絶滅危惧Ⅱ類（VU））に対する環境要因の変化等が生育状況に対してどのような圧迫を及ぼすかを解明するため、現地調査データを基にしたモデル開発を行い、日射量の変化に対する応答解析を行った。その結果、

- ① 現地観測により、オオクグの動態を考える上で、春期から生長するシュートと共に、夏期以降生長する2次シュートを考慮しなければならないことが判明した。1次シュートのバイオマスをベースにした2次シュートの割合は25%～50%程度であった。
 - ② 現地観測の再現計算により、モデルの有用性が確認された。
 - ③ 競合条件として日射制限を考慮した場合、オオクグ群落の維持は難しいと考えられる。この事より、現在の群落の状態はヨシによる日射制限が少ないため維持できているものと考えられる。また、水分・塩分条件の変化などによりヨシが急速に生長した場合、オオクグが日射制限を大きく受けることから、群落の形成状態に大きな変化が起こると思われる。
- 等が明らかになった。

謝辞：本研究の一部は、国土交通省出雲工事事務所の平成14年度河川事業調査計画委託研究「中海・宍道湖における水生植物の保全と修復に関する調査研究」の一環として実施されたものである。ここに付記し、謝意を表す。



(a)



(b)

図-10長期モデル解析

(a)地上部、(b)地下部

参考文献

- 1) 玉井信行：潜在自然型川づくりの体系化に向けて，河川，No.598，61-66，1996。
- 2) 國井秀伸，今田直人：汽水域の湿生植物オオクグの保全生態学的研究，第9回世界湖沼会議，260-263，2001。
- 3) 牧野富太郎：牧野新日本植物圖鑑，1989。
- 4) Asaeda, T. & Karunaratne, S. : Dynamic modeling of the growth of *Phragmites australis*: Model description, *Aquat. Bot.*, 67, 301-318, 2000。
- 5) 田中規夫，浅枝隆，Karunaratne, S. : 日射量・気温変化によるアシ *Phragmites australis* の生長予測解析，土木学会論文集，No.663，II-53，119-129，2000。
- 6) 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，698/II-58，81-91，2002。
- 7) Květ, J. : Growth analysis approach to the production ecology of reedswamp plant communities, *Hydrobiologia*, Vol. 12, pp. 15-40, 1971。
- 8) Dykyjová, D. : Production, vertical structure and light profiles in littoral stands of reed-bed species, *Hydrobiologia*, 12, 361-376, 1971。

(2002. 9. 30受付)