

貧栄養湖におけるシャジクモによるGyttjaの生産とその他種との関係における影響

Gyttja production by charophytes and its roles in the interaction with other submerged species in an oligotrophic lake

浅枝 隆¹・藤野 毅²・Lalith Rajapakse³・Brain Sanderson⁴・Anna Redden⁴
Takashi ASAEDA, Takeshi FUJINO, Lalith RAJAPAKSE, Brian SANDERSON, Anna REDDEN

¹正会員 工博 埼玉大学教授 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 学博 埼玉大学助教授 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)

³非会員 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非会員 工博 The University of Newcastle, School of Applied Science (2258 PO Box 127, Ourimbah, NSW, Australia)

Charophyte ecology in Lake Myall, an oligotrophic lake in Australia, was investigated particularly focusing on the interaction with *Najas marina* and *Myriophyllum salsugineum*. Charophytes intensively produces Gyttja, accumulating on the bottom. The Gyttja layer with its soft characteristics and low Redox potential inhibits colonization of submerged species except for Charophytes and *Najas*, thereby extremely decreasing biodiversity of flora of the lake. In Lake Myall, under high current, where Gyttja is washed away, *M.salsugineum* can grow on rocky bottom worsens the light climates for Charophytes, while in stagnant water, *N.marina*, although low in biomass most of the year, vigorously grows in May, suppressing Charophyte communities, although they are tolerant in low light regime. These process was confirmed by measuring light intensity inside the plant canopy, compared with depthwise and biomass distribution in the lake.

Key Words : Charophytes, *Najas mqrarina*, *Miriophyllum salsugineum*, Lake Myall, Gyttja

1. はじめに

近年, SchefferやHosperらのオランダの研究者を中心に, 浅い湖沼に関する様々な実証的, 理論的な研究が行われ, 浅い湖沼では, 透明度の高い状態と低い状態が2者択一的に存在し, 一旦濁った湖を透明度の高い湖に再生させるには, トリガーとなるべきインパクトが必要なことが示されている. こうした理論背景を元に, ヨーロッパでは, 魚を取り除くトップダウン型のバイオマニピュレーションが盛んに行われている. この目的は, 主として, 動物プランクトン食魚を減らし, トロフィックカスケードによって植物プランクトンを減少させることにある. ところが, こうした状態を安定に継続させるためには, 一旦上昇した高い透明度を背景に, 湖底に水草群落を再生させ, 底泥の再浮上の防止, 生物攪乱の防止やそれに伴う栄養塩類の回帰を防ぐことや, そうした水草帯を利用して, 繁殖力の弱い魚食魚を一定量確保することが必要である.

ところが, わが国の状況を考えると, 多くの湖には既存の漁業権が設定され容易に魚を取り除くことはできない. しかも, 富栄養化した際に過度に増加するとされる動物プランクトン食魚を一定量に保つべき適当な在来の魚食魚もみあたらない. また, ヨーロッパのいくつかの湖沼における期待したトロフィックカスケードが働かなかった場合などを考えた場合, わが国の富栄養化対策として, こうしたトップダウン型の対策の妥当性に疑問がもたれる.

さて, そうした中, 最近, 沈水植物群落の中でもシャジクモの有効性が指摘されてきた. これはバイオマニピュレーション後に最初に派生するリュウノヒゲモがシャジクモに遷移して初めて透明度が上昇するという経験からきたものであるが, シャジクモのもつアレロパシーとともに, 湖底を一面に覆い, 生物攪乱を極度に減少させるという性質が働くためと考えられている.

本研究で対象にした, オーストラリアNSW州のMyall湖流域においても数年前にアオコが発生したことがある.

ところが、シャジクモのない下流のBombah Broadwaterではアオコに悩まされたものの、シャジクモに覆われたMyall湖では透明な状況が保たれていた。

一方、シャジクモは、その原始的な性質から、生理学的な研究や分類学的な研究は多く存在するものの、生態学的な研究は必ずしも多いわけではない。そのため、シャジクモ群落の安定性など、未だ様々課題が残されている。また、一方では、わが国においては、特に首都圏を中心にシャジクモが極端に減少し、必ずしも十分な研究ができる状態にあるとはいえない。本研究は、こうした背景の下、シャジクモが極めて長期間安定に存在し続け、安定期にある湖をオーストラリアの湖沼を対象に、その生態的特性、特に、他の沈水植物との関係を調べたものである¹⁾⁻⁴⁾。

2. 調査場所および方法

この調査はオーストラリアNSW州のNewcastleの75 km北方にあるMyall湖で行われた。Myall湖は面積ほぼ100 km²で、最大水深4.5 m、平均2.5 mの水深をもつ、塩分濃度0.13 %の汽水湖である(図-1 参照)。調査は1月もしくは2月に一度程度の頻度で、湖内の20ヶ所程度の場所で、3-8ヶ所のコドラートにおいて、幅30 cmの鍬で1-2 mの区間にある水草を採取、同時に底泥のコアサンプルを採取、さらに、現地において、水温、pH、濁度、電気伝導度、塩分濃度を測定、さらに採水し化学分析を行った。

採取した植物サンプルは乾燥炉にて65 °Cで重量変化がなくなるまで乾燥、乾燥重量を求め、コアサンプルは強熱減量より有機物量を求めた。

また、日照度計により、各測点における植物キャノピーの内と外で、50cm間隔で水深方向の光強度を求めた。

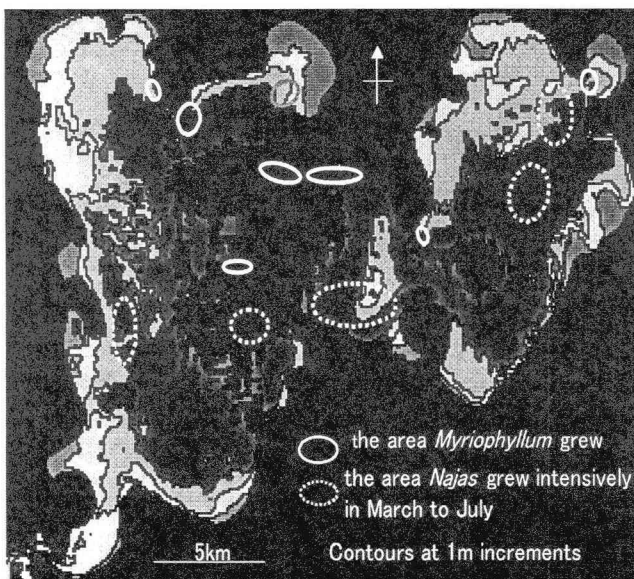


図-1 Myall湖の平面図

3. 結果

(1) 沈水性植物の優占種

植物のサンプリングからこの湖では極めて浅い水域を除き、シャジクモ類のChara属(*Chara fibrosa*), *Nitella*属(*Nitella hyalina*), イバラモ(*Najas marina*), およびフサモ(*Myriophyllum salsugineum*)のみで構成される極めて単純なものであることが確認された。また、シャジクモ類およびフサモは年間を通して見られ、イバラモは3月ごろから生長を初め、5月に最大となり、9月ごろにはほぼ消滅するという季節変化をみせることが確認された(写真-1)。

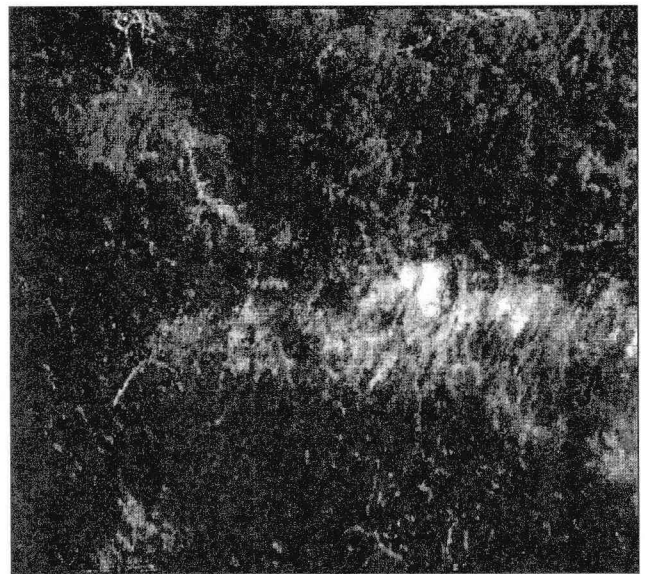


写真-1. Gytja上の*Nitella hyalina*及び*Chara fibrosa*
Gytja表面が白く見えるのはカルシウム分が沈着しているためである。その下には2 m程度の柔らかい泥層が存在する。

(2) Gytjaの堆積

底泥のコアサンプルより、極めて浅い水域と波の荒い南岸を除き、湖内のほぼ全域に有機質を多量に含む泥Gytjaが堆積していることが確認された。Gytjaの厚さは、厚いところでは2m以上、ほとんどの場所で1-2 mと厚いものであった。Gytjaの成因は、他に可能性がないことから、シャジクモおよびイバラモが枯死後分解したものと考えられる。図-2は、水深1.2m以内および1.2 m以上の場所において、その場所の植物の乾燥重量とGytja層の厚さの関係を示したものである。植物量は後述のように季節の変化が大きいため、ゼロからある値まで変化を示すものの、最大値でみると、浅い場所ではほとんど相関がないのに対して、深い水域では一定の相関がみられる。これは、深い水域では、バイオマス量に応じてGytja層の厚さが増すのに対して、浅い水域では水面からの攪乱を受けやすく移動しやすいためと考えられる。

(3) 植物バイオマスの分布

図-3はそれぞれの植物の乾燥重量を水深に対して示したものである。イバラモおよびフサモに関しては水深との間にほとんど相関関係がみられないものの、シャジクモ類については、年間の最大値について、水深50 cmの水域で300 g/m²程度、水深の増加とともにほぼ線型に減少、水深4.2 m程度でほぼゼロになっている。

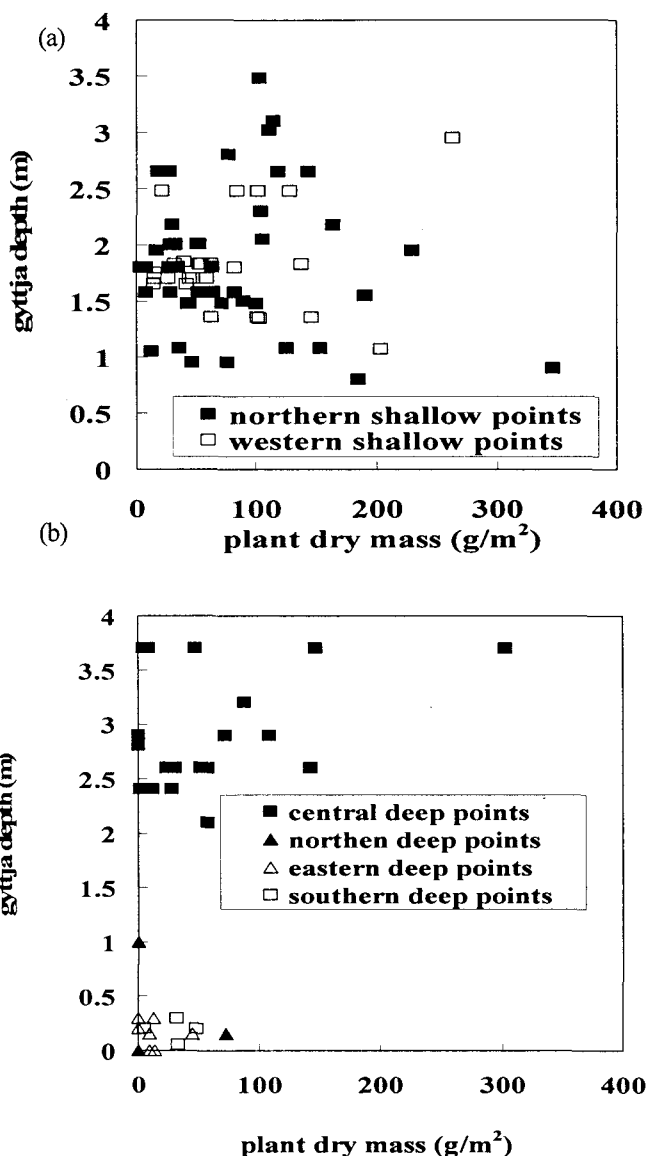


図-2 植物バイオマスとGyttja層厚の関係
(a) 1.5mより浅い水域, (b) 1.5mより深い水域

次に、図-4に植物バイオマス量をGyttja層の厚さに対して示す。シャジクモ類とイバラモに関しては、Gyttja層に関わらず生長するのに対して、フサモについては明らかにGyttja層の薄い場所でのみ生長可能なことがわかる。フサモは最大6 m程度にまで生長し水面を覆う。浮力も大きく流れから受ける抵抗も大きい。そのために、

湖底にしっかりと固定される必要がある。そのために、柔らかいGyttja層上には生育できない。また、Gyttja層は極めて酸化還元電位が -200 mV程度等と極めて還元性が強く、硫化水素等の発生もみられる。こうした環境もフサモの生長に適さないものと考えられる。

一方、シャジクモ類およびイバラモは根が柔らかく、岩上には適さないことが考えられる。しかし、逆に、柔らかいGyttja層にはむしろ適していると考えられ、Gyttja層の厚さに関わらず生育していることがわかる。

(4) 植物同士の種間競争

写真-2は、イバラモがシャジクモ類の群落内に生えて

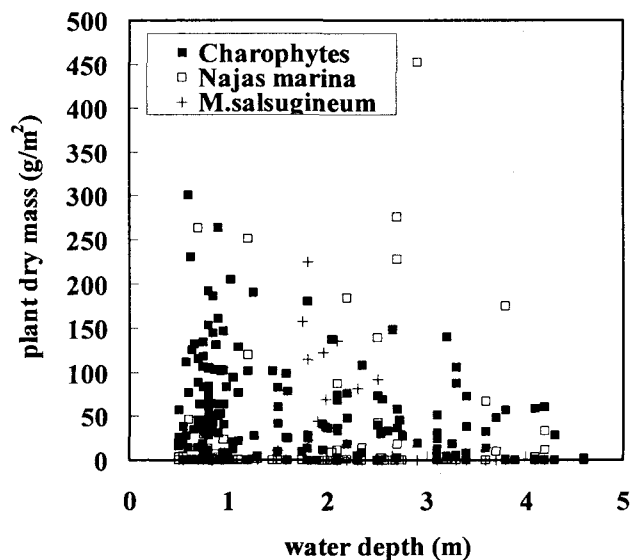


図-3. 水深と植物バイオマスの関係

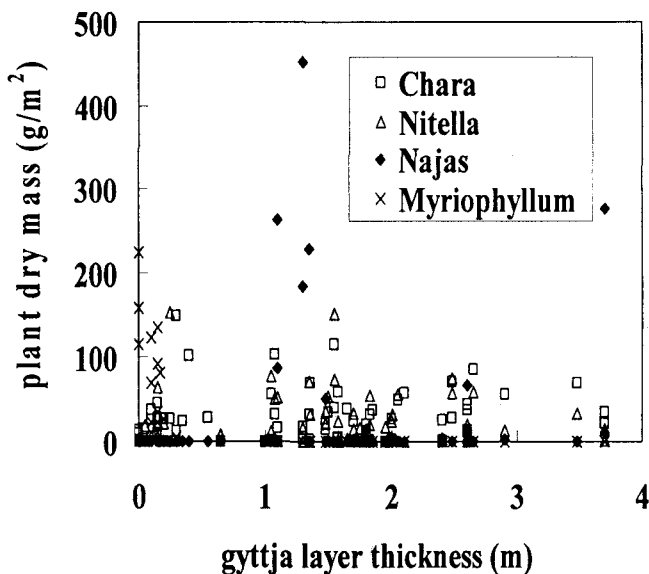


図-4. Gytja層厚と植物バイオマスの関係

いる状況を示したものである。シャジクモは厚さ30 cm 程度のマットを形成し、湖底を覆い上方に向かって伸びるのは新しい芽が伸びているだけである。一方、イバラモはパッチ状に全方向に広がる。従って、シャジクモ群落の内部にイバラモが生える場合には、ほとんどの場合、初期にはイバラモがシャジクモ群落を這うかたちでのび、イバラモのバイオマスが多くなってくと徐々に水面に向かって広がっていく。そのため、イバラモのバイオマスが少ない間はシャジクモに対する影響は少ないと考えられるが、バイオマスが大きくなってくと少なからぬ影響を及ぼすと考えてよい。

写真-3は、水面上からフサモを撮ったものである。フサモは水底から鉛直に伸び、水面に到達すると水面を覆う。そのため、フサモのバイオマスに関わらず、フサモの下にあるシャジクモには影響があると考えられる。

このように、シャジクモと他の種が共存する場合、常に、他種がシャジクモ群落を覆うような形態をとる。

さて、図-5は、同一場所におけるシャジクモ類とフサモとの間の乾燥重量の関係を示す。シャジクモ類のバイオマスは極めて場所的もしくは季節的な変動が強く、バイオマスの値自体も極めて低い値から最大値まで変動するものの、最大値のみをみると、明らかに、フサモの量が多い場所ではシャジクモ類の量が少なくなっていることがわかる。

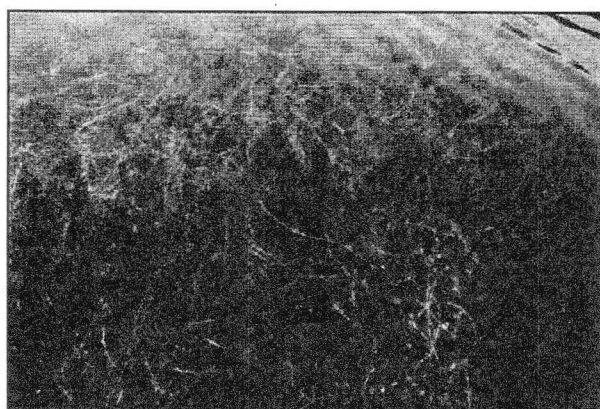


写真-2. シャジクモを覆う *N.marina*



写真-3. *M.salsugineum*

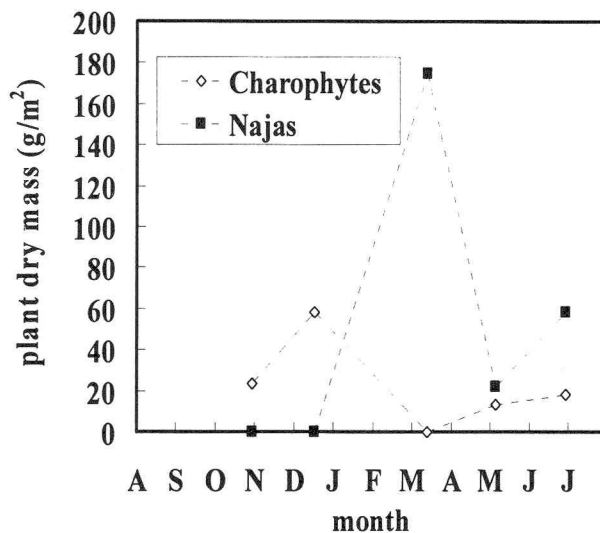


図-5. *Charophytes*と *N.marina*のバイオマスの変動

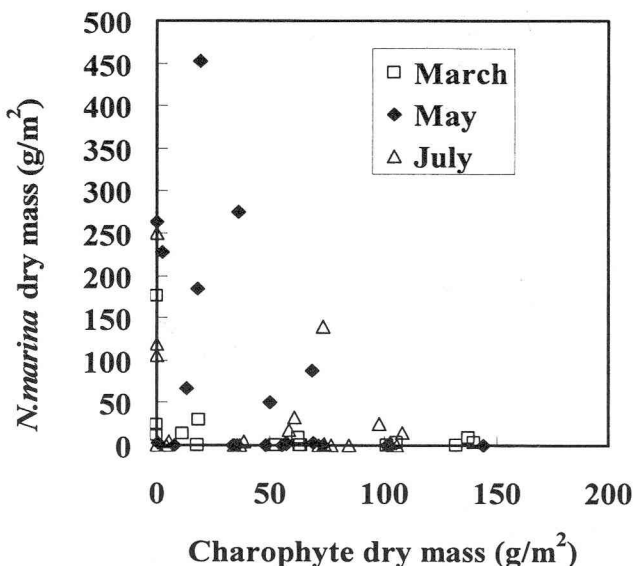


図-6. *Charophytes*と *N.marina*のバイオマスの相関

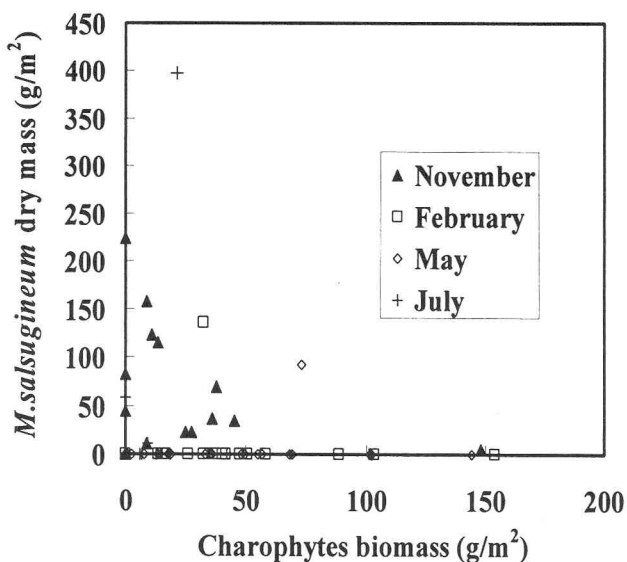


図-7. *Charophytes*と *M.salsugineum*のバイオマスの相関

図-6に、3月、5月、7月に観測した、シャジクモ類とイバラモのバイオマスの量との関係を示す。これらは、1ケースを除いて水深 2-3mの場所で観察されたものである。3月以前にはイバラモはほとんど存在せず、シャジクモ類のバイオマス量も多い。しかし、3月ごろよりイバラモは急激に生長を開始する。この場合、イバラモは大量のバイオマスを背景に、鉛直方向にも伸び、水柱の大部分を占める。シャジクモ類とイバラモのバイオマスの関係を見ると、イバラモのバイオマスが増加する5月を中心にシャジクモ類のバイオマスは減少している。6月に入ると、イバラモは生長を止め、バイオマスも徐々に減少を始める。それに応じて、シャジクモ類のバイオマスも増加に転じる。

図-7は、シャジクモとフサモが共存している場所でのバイオマスの相関である。フサモは春先に花をつける時期およびその直後にバイオマスが最大となるが、年間を通じて存在していた。しかし、最大のバイオマス量を見るとフサモのバイオマス量との間に明らかに負の相関がみられることがわかる。

(5) 光強度の分布

図-8は、群落のキャノピー内およびキャノピー外で計測した光強度の分布である。その下に植物群落の有無に関わらず、水中での光強度は大きくは変わらない。このことは、1m以浅の水域が広く存在するにもかかわらず、湖内が場所的に比較的一様に保たれていたことをしめしている。また、水中では、光強度はいずれも指数関数的に減少しており、水柱内の減衰がほぼ一定であったことを示しており、温度躍層がほとんど見られなかった状況と呼応している。

水中での光強度の減少に比較すると、キャノピー内では急激に光強度が減少している。特に、シャジクモ群落内の光強度の減少率は極めて大きく、光強度は10cmの厚さで数100分の1にまで減少している。これはシャジクモが茎が細く複雑に絡み合うために、極めて密な群落を形成していることに起因している。水面から30-50cmの深さにまで群落を発達させるイバラモ内部では光強度の分布の測定が可能であった。この分布もほぼ指数関数的に減衰を示している。これは、イバラモが茎を比較的に一様に分布させることに因っている。

次に、図-8に得られたような光強度の分布形より、Beer-Lambert-Lawを仮定し光の減衰係数 k を求めた。

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-kz)$$

ここで、 $I(z)$ は水深 z での光強度、 I_0 は水面直下での光強度である。

図-9に、単位体積中に存在する植物の乾燥重量に対し、 k 値を示す(点線は水自身の減衰係数)。多少のバラツキは存在するものの、乾燥重量の増加とともに、減衰率 k も増加している。この値は陸上の植物と比較すると極端に

大きい値である。この理由は、水生植物の場合、体内の90%が水分であり、陸上の植物と比較して極めて高いために、少ない乾燥重量でも光の減衰率が高くなる。

さて、ここで確認されたイバラモやフサモのバイオマスは200-300 g/m²程度であった。この場合、図-9より、 k の値はほぼ2(1/m)程度になる。この場合、水深2mの場所では、水面での光強度の13%、水深3mでは5%になる。一方、水中での光の減衰率がほぼ一定値(=0.4(1/m))であったことから、水深に対して示されたバイオマスのグラフは、図-10のように書き換えることが可能である。この図より、 $I/I_0 \sim 4-13\%$ 程度の場所では、シャジクモのバイオマスはほぼゼロになることがわかる。シャジクモは一般に深いところに生育し、光強度の弱い場所を好むことが知られているが、それでもこれらの沈水植物の生育下では生長を抑えられていることがわかる。

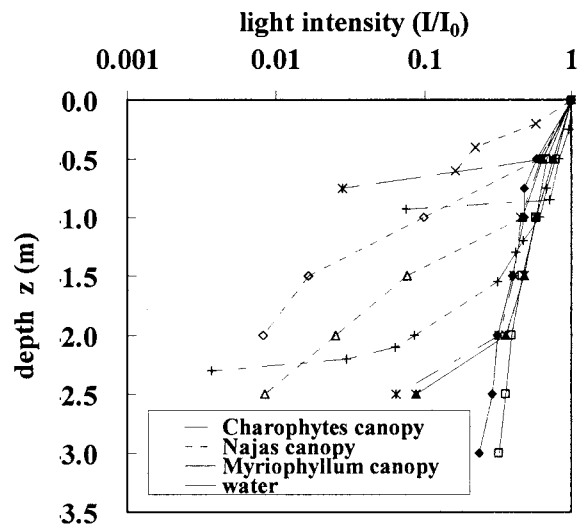


図-8. 光強度の分布
(各場所でキャノピー高さが異なる。急激に光が減衰するところの上部がキャノピー高さ)

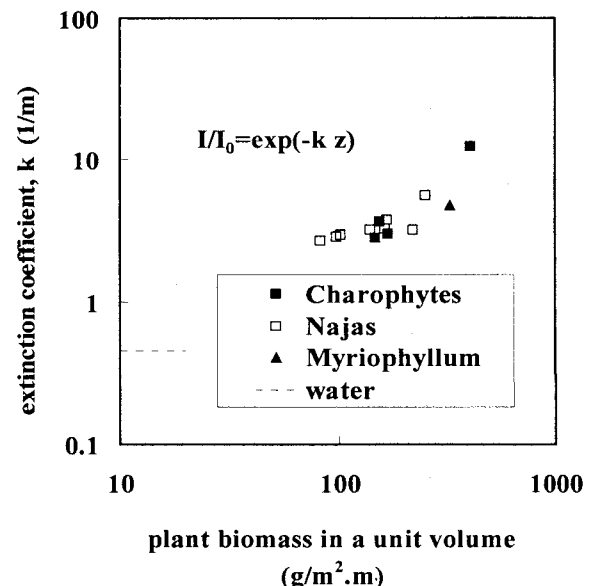


図-9. 光の減衰率と単位体積当りの植物乾燥重量

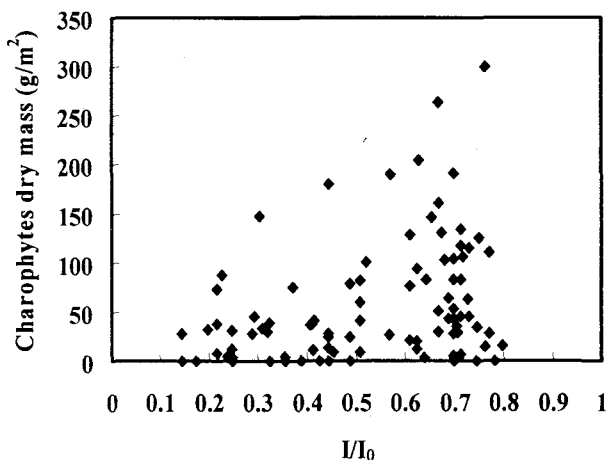


図-10. シャジクモバイオマスと光強度の関係

4. 考察

以上のような結果を総合すると、この湖中のシャジクモ類、イバラモ、フサモの間には以下のような競争関係が築かれていると考えられる。

まず、流れの速い場所では、Gyttjaが堆積しにくい。そのため、根が弱く、体の壊れやすいイバラモは生育できない。しかし、一方では、十分に根を張る場所があるためにフサモは生育可能である。フサモは光環境は極めて悪化させ、シャジクモ類は生え難くバイオマスは減少する。

一方、流れのない穏やかな場所では、シャジクモによってGyttjaが生産され堆積する。そのため、フサモは生え難い。イバラモにとっては極めて生育しやすい環境ではあるが、季節性の高いイバラモは異常に繁茂する5月前後を除けばバイオマスの量が少なく、シャジクモの生長を押しさせるほどにはならない。そのため、イバラモが生える場所でも通常はシャジクモが卓越する。ところが、5月前後には、イバラモが水面付近にまで達する程に生長する。そのため、光環境が悪化、イバラモ群落の下ではシャジクモの量は減少する。

最後に、シャジクモによって形成されるGyttja層は、極めて嫌気性が強く、また、柔らかいことから、他の沈水植物は浸入し難い。ヨーロッパ等のいくつかの湖において、シャジクモ群落の発達した湖で植物の多様性が極めて低くなることがいわれている。この原因はシャジクモの生産するGyttja層にあると考えられる。

本研究は、鹿島学術財団の援助を受けて行われた。また、本研究の一部はThe 4th International Symposium of International Research Group of Charophytes, Robertson NSWにて発表された。

参考文献

- 1) M.Sultana, T.Asaeda, J.Manatunge, & A. Ablimit : Colonization and growth of epiphytic algal communities on *Potamogeton perfoliatus* under two light regimes, *New Zealand Journal of Marine & Freshwater Research*, Vol.38, pp.585-594, 2004.
- 2) T.Asaeda, Vu Kien Trung, J.Manatunge, & T.V. Bon : Modelling macrophyte-nutrient-pytoplankton interactions in shallow lakes and the evaluation of environmental impacts, *Ecological Engineering*, Vol.6, pp.341-357, 2001.
- 3) T.Asaeda, V.K.Trung, & J.Manatunge : Modelling the effects of macrophyte growth and decomposition on the nutrient budget in shallow Lakes, *Aquatic Botany*, Vol.68, pp.217-237, 2000.
- 4) T.Asaeda, & T. V. Bon: Modelling the effects of macrophytes on algal blooming in eutrophic shallow lakes, *Ecological Modelling*, Vol.104, pp.261-287, 1997.
- 5) T.Asaeda, et al., Seasonal distribution and biomass of Charophytes in Myall Lake, a large and shallow near-pristine lake in NSW, Australia, 4th International Symposium on Extant and Fossil Charophytes: Lake Myall session, Robertson, 2004.

(2004. 9. 30 受付)