

海藻種苗担体による藻場造成技術の開発

水産大学校 生物生産学科
鬼頭 鈞・村瀬 昇

調査実施年度：平成8年度～平成10年度

緒 言

コンブ科やホンダワラ科植物など大型の海藻で構成される群落は一般に「藻場」と呼ばれ、魚介類の生育場として、あるいは藻食動物に対する餌料供給の場として、さらには浅海沿岸域の生態系を成立させる上での出発点の役割をする場などとして、重要な意味を持っている。この藻場が、近年種々の理由により急激に消滅あるいは衰退していることが各地から報告され¹⁾、いわゆる「磯焼け」として懸念され、その対策が検討されるようになってきた。人為的に海藻群落を造成する「藻場造成」としては、様々な素材を用いて、いろいろな形の人工礁を海底に設置して、それに海藻を着生させる試みが多くみられる。しかしこの場合、海藻自体の生殖細胞の確保は天然の母藻に依存してきたのが現状で、常に確実に発芽体が得られるという程安定した状況には無い。造成目的の海藻が確実に発芽し、生き残っていくためには、まず幼芽が他の海藻や固着動物の侵入を許さないよう大量に発生することが重要である。すなわち、目的とする海藻の種苗を毎年大量に播種していき、その海藻が他の生物に負けないで、常に高い密度で群落を維持していくことができるように、人為的な管理要素を基礎とした完成度の高い技術体系を確立していく必要がある(図1)。

本課題は平成8年度から平成10年度にかけて実施された。平成8年度では、「藻場造成」時に必要となる種苗を如何に供給するかという問題を解決するために、海藻の生殖細胞が着生しやすく、そして生残性が高く、さらに、取り扱いが容易な「担体」と称する種苗基質の開発を行なった。また、多年生で大規模な藻場を形成する^{2・3)}ノコギリモクを対象に、本種の大量かつ安定的な生産手法を確立するために必要な初期生長に及ぼす光と温度の影響を明らかにした。さらに、平成9年度では、開発された担体にノコギリモクの生殖細胞である幼胚を散布し、平成8年度で明らかにした培養条件のもとで、藻体を発芽させた。そして、それらを屋内の流水式水槽および天然海域に移し、観察を行なった。平成10年度では、平成9年度に引き続いて、屋内水槽および天然海域に移した担体上ノコギリモクの生長について継続的に観察を行い、藻場造成における担体利用の実用性に関して検討した。

調 査 方 法

1. 担体となる基質の開発

担体となる基質は、多孔性で軽量の、厚さ約1cmのコンクリート板として作出された。海藻種苗の生育実験に先立ち、予め、担体からのアルカリ成分の溶出状況期間を明らかにするため、以下の室内実験を行った。すなわち、1kgの担体を10lのろ過海水の入った水槽に浸漬して、逐次海水のpHの変化を測定した。ろ過海水(pH8.1~pH8.3)の交換は最初の2週間は毎日、それ以降は1日おきに行なった。pHの測定は換水の直前にpHメーターを使用して行った。

2. ノコギリモクの初期生長における培養実験

培養実験のための幼胚は、1996年6月14日に山口県日置町黄波戸沿岸の水深約8mの岩盤上より採集した母藻より確保した。藻体を実験室に持ち帰り、生殖器床に幼胚が形成されているのを確認した後、水槽の中で軽く揺すり、底に落ちた幼胚をコマゴメピペットにより採取した。次いで、蓋付きの小型シャーレ（内径55mm、高さ28mm）の底に並べられた1辺15mmの3枚のスライドガラス上に散布した。培養液はPESI培地30mlを用い、培養条件として温度5、10、15、20、25、30および35℃の7区、光強度0、12.5、25、50および100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の5区を、それぞれに組み合わせた35実験区を設けた。発芽体の生長を把握するために、5日おきに葉長および仮根長を、マイクロメーターを用いて測定した。

3. 担体への採苗

担体への採苗に用いたノコギリモクの幼胚は、1997年6月23日に前述と同様の場所および方法により確保した。担体への採苗は、PESI培養液18lが入った水槽の底に担体を設置し、その上に幼胚をコマゴメピペットで散布する方法で行なった（図6 a）。なお、採苗で使用した担体はアルカリ成分除去のため、採苗までの約3ヶ月間、水槽中に海水を流したままの状態での放置しておいた。幼胚を担体に着生させた後、このまま静置した状態で温度20℃、光強度50 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12時間明期、12時間暗期の条件のもと、それぞれ次項で述べる2種類の実験を始めるまでの期間、予備的な培養を行なった。すなわち、屋内水槽での生育観察のためには約3週間、海域への移植による生育観察のためには約1ヶ月期間である。その間、培養液の交換を週2回行った。

4. 屋内水槽での生育実験

採苗から約3週間恒温室内で静置培養したノコギリモク発芽体を、担体に着生したままの状態、屋内に置かれた容量2tの水槽に移して培養した。培養条件は流水状態で、光強度が蛍光灯下で約30~50 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12時間明期、12時間暗期であった。なお、担体上に付着する藻類や浮泥などを培養期間中週に1回、海水を流しながら手で丁寧に取り除いた。ノコギリモク発芽体の生長については、藻体の全長および茎径の測定をメジャーやノギスで測定できる大きさとなった1997年12月以降毎月1回行った。

5. 海域への移植

採苗から約1ヶ月間恒温室内で静置培養していたノコギリモク幼体を、担体に着生させたままの状態、母藻の採集地と同じ海域の岩盤上へ、水中ボンド（コニシ E380）により接着した（図8 a）。この藻体の生長については、藻体の全長および茎径の測定をメジャーやノギスで測定できる大きさとなった1998年7月以降毎月1回SCUBA潜水により行った。

調査結果

1. 担体の素材と形状

実際の藻場造成においては、目的とする海藻の種苗が大量に確保でき簡単に播種できる必要があることから、この担体は海藻の生殖細胞が着生しやすく生残率が高いこと、さらに、簡単に砕けることが必要である。これらの点を重視して開発された担体は、砕いた石（5~10mm径）や礫などをセメントで接着した栗おこし様の板状のブロックで、大きさは1辺が30cm、厚さ10mmのものである（図2）。強度は金槌等で簡単に破壊できる程度のものである。

担体からのアルカリ成分溶出について約3ヶ月にわたる長期的な経日変化を図3に示し

た。浸漬直前の海水はpH8.2で、浸漬後ただちにpHが上昇し、1時間後にはpH8.4、9時間後にはpH8.6を超えた。24時間後の換水直前にはpH8.8となった。その後、前述のように換水続けることにより徐々にpHは低下していき、30日後にはpH8.4、60日後にはpH8.2となった。そして、90日目以降にはもとの海水とほぼ同じpH8.1前後で安定した。

2. 初期生長に及ぼす温度と光強度の影響

スライドガラス上に着生させたノコギリモク発芽体の生長に関して、温度別および光強度別に培養したそれぞれの結果を図4に示した。実験開始時の幼胚は平均長径約350 μ mで、仮根はみられなかった(図5 a)。仮根を発達させた発芽体の初期葉は温度15~25 $^{\circ}$ Cのもとで光強度が高いほど良い生長を示し、20日後には大きいもので葉長が2~4mmに生長した(図5 d)。温度5 $^{\circ}$ Cおよび35 $^{\circ}$ Cではすべての光強度区で、また各温度とも光強度0 μ E/m²/sでは5日目以降、伸長しなかった。幼胚の生長は、温度15~25 $^{\circ}$ C、光強度12.5~100 μ E/m²/sの条件下において良好で、この条件のもとでは温度および光強度が高いほど生長が良好であった。

3. 屋内水槽での生長

屋内の流水式水槽内における担体上のノコギリモク幼体の生長を図6に、全長と莖径の変化を図7に示した。観察実験の開始は採苗から約3週間後の7月16日で、その時の発芽体は全長約0.5mm、葉長2~4mmの肉眼でようやく確認できる大きさであった。水槽に流入する海水は温度制御されることがなく、近くの海から揚水された後は外気温にさらされる状態であった。水槽の水温変化は、実験を開始した7月に平均24.6 $^{\circ}$ C、8月に最も高い25.7 $^{\circ}$ Cを示し、その後低下し、翌年の2月に10.7 $^{\circ}$ Cと最も低い値を示した。水温が急激に低下する11月以降、幼体の生長は顕著となり、12月に全長が0.2 \pm 0.1cm(平均 \pm 標準偏差、以下同じ)、莖径が1.1 \pm 0.3mmであった。水温が最も低下する翌年の2月には全長が0.5 \pm 0.1cm、莖径が1.3 \pm 0.4mmとなった。流水槽への移植から約1年後の7月には全長が4.4 \pm 4.0cm、莖径が1.8 \pm 0.3mmであった。その後、水温の低下とともに伸長し、12月には全長が13.9 \pm 12.9cm、莖径が2.2 \pm 0.3mm、さらに、1999年2月には全長が15.8 \pm 12.5cm、莖径が2.4 \pm 0.3mmとなった。

ノコギリモクの生長については、採苗から1年間は著しい藻体長の伸長がなかったものの、この間に個々の葉が横方向に伸長していたのが認められた。その後、主枝の鉛直方向へ伸長をし始め、とくに、9月には大型の個体で気胞の形成が認められた。このような個体ではその後主枝が急激に伸長するのが認められた(図6 d)。また、全長が1cm前後の小型の個体も枯れずに生育し続けたことから、この植物の初期生長は個体差が著しいことが認められた。

4. 海域での生長

海域へ移植した担体上のノコギリモク幼体の生長を図8に、全長と莖径の変化を図9に示した。7月31日に海域へ移植した時の葉の長さは約3mmであった(図8 b)。移植から約1年後の翌年8月には全長が1.1 \pm 0.2cm、莖径が1.7 \pm 0.1mmとなった。その後、流水槽での生長実験と同様に、水温の低下とともに生長が良好で、10月には全長が5.3 \pm 2.0cm、莖径が2.2 \pm 0.4mm、さらに、12月には全長が7.1 \pm 2.1cm、莖径が2.6 \pm 0.2mmとなった(図8 d)。また、屋内水槽の場合と同様に、移植から1年間は個々の葉が横方向へ伸長し、その後、主枝が鉛直方向に伸長するのが認められた。しかし、気胞の形成は1998年12月の時点ではまだ観察されていなかった。

考 察

今回、開発した「担体」と称する種苗基質は板状であるため、水槽内で適当な間隔で平行な状態を林立直立させることにより、大量の種苗の育成が可能である。また、海域への導入時には、発芽体が着生したままの状態に適当な大きさに砕いて、天然の岩盤や転石あるいは人工基盤へ散布することが可能で、実用性が高いものと考えられる。

担体からのアルカリ成分溶出については、約3ヶ月間持続することが認められた。pHが海藻の生長に及ぼす影響については、ノコギリモクと同じホンダワラ属のヤツマタモクおよびタマハハキモクで調べられ、pH9.0以上では幼胚の生長が低下することが知られている（大貝 未発表）。これらのことから、開発された担体はセメントが用いられているため、いわゆる「アク抜き」を流海水で最低でも1ヶ月行い、pH8.5以下になった状態で採苗に用いる必要がある。

ガラモ場を構成する種のひとつであるノコギリモクを対象として、担体への採苗を実施し、その後の生長について培養実験を行なった。担体に着生した発芽体の生長は、温度および光強度をコントロールすることで促進あるいは抑制が可能であることが示唆された。海域への投入時までの期間を考慮しつつ、藻場造成用の種苗として大量に確保できる可能性が認められた。また、担体への採苗後の培養条件は、生長が良好で、培養中に珪藻およびラン藻などが繁茂しにくい、温度20℃、光強度50 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。

海域へ移植されたノコギリモクの全長は、1998年12月の時点で流水槽での培養個体の約1/2であった。これは、海域で担体を移植した場所の光強度が、流水槽の約1/6と低かったためと考えられる。また、担体上のノコギリモクの生育密度は、流水槽および海域ともに実験開始時には1 cm^2 あたり10個体前後であったのが、2月にはその約1/100の100 cm^2 あたり約10個体、移植から1年以上経過した10月には100 cm^2 あたり約3個体にまで減少した。このような藻体長の個体差の出現と生育密度の漸減現象はこの植物群落内で起こる光をめぐる種内競争を示唆しているものと考えられる。筆者らは、本実験と併行して天然のノコギリモク群落に関する生態学的な観察も継続的に行なっていることから、これらの詳細については今後も引き続き検討していく。

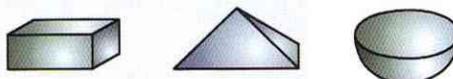
以上の結果から、本課題により期待される成果として、次のことが考えられる。1) 藻礁の設置時期に合わせて海藻種苗を安定的に供給できる。2) 様々な形状、材質の人工基盤、あるいは天然の岩盤や転石などへも適用が可能。天然群落における次世代の幼体の補給が可能。特に「磯焼け」海域における担体種苗の大量投入による海藻群落の回復が期待できる。3) 海藻群落の形成初期における光や温度などの環境条件の解明および植食動物や侵入海藻など他種生物の影響が把握できる。

摘 要

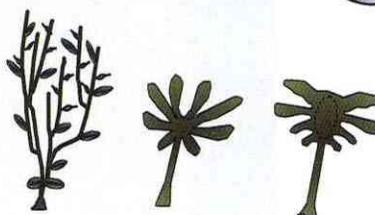
本課題では、「担体」と称する種苗基質を利用した藻場造成に関する基本的な技術開発を目的として平成8年度から平成10年度にかけて実施した。

1. 担体として、砕いた石（5～10mm径）や礫などをセメントで接着した板状のブロックを開発した。
2. 担体からのアルカリ成分の溶出は約3ヶ月間持続した。
3. 担体着生後のノコギリモクの発芽体発芽体の生長実験では、温度15～25℃、光強度12.5～100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件下において仮根の形成と初期葉の伸長が認められた。この条件では温度および光強度が高いほど発芽体の生長が良好であった。
4. ノコギリモク発芽体を屋内の流水式水槽および天然海域へ移植し、継続的な観察と生長

1. 担体となる基質の開発



2. 造成目的種の選定



3. 生殖細胞の採取と担体への採苗

4. 中間育成技術の確立

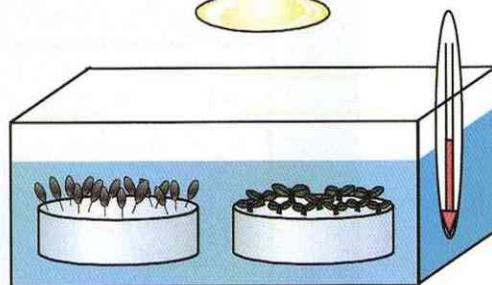
培養方法・条件(水温・光)



5. 海域への導入

播種方法の確立

- ・適地選定
- ・担体用基盤(海藻礁)の開発



育成後の種苗

そのまま担体を砕く
種苗の大量確保
広範囲に播種

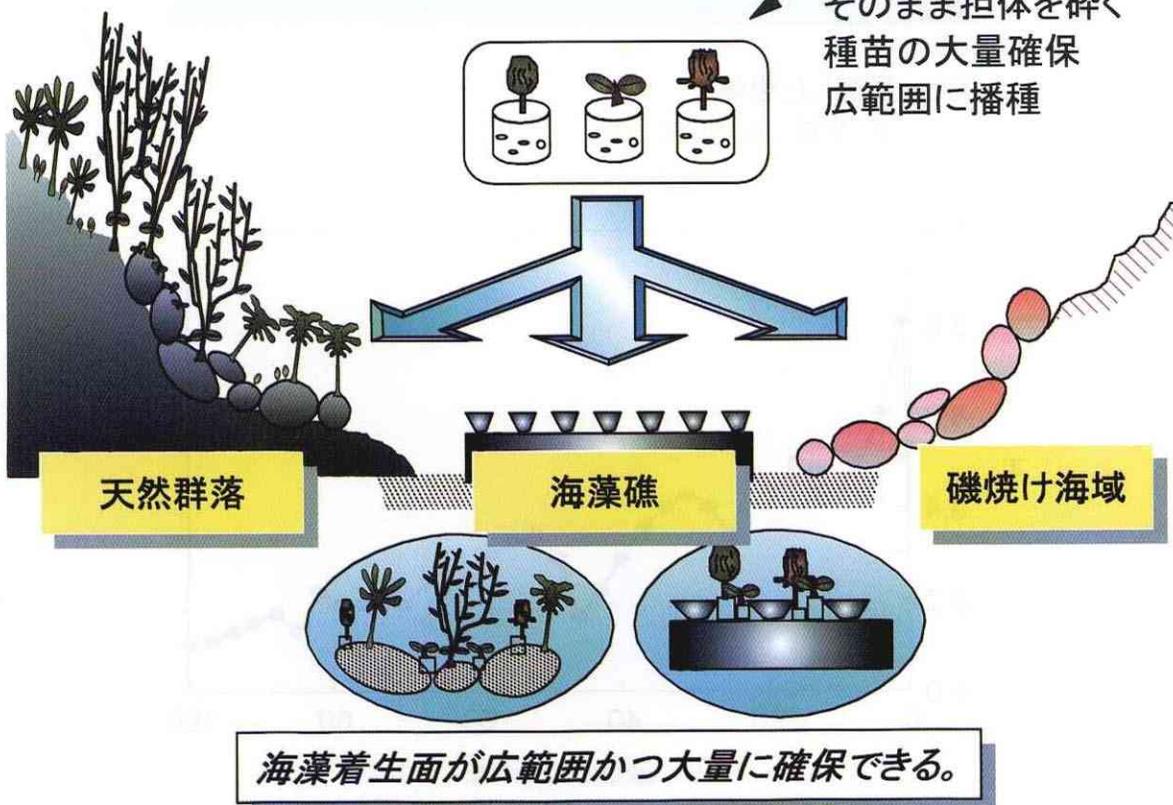


図1. 担体を利用した藻場造成の考え方

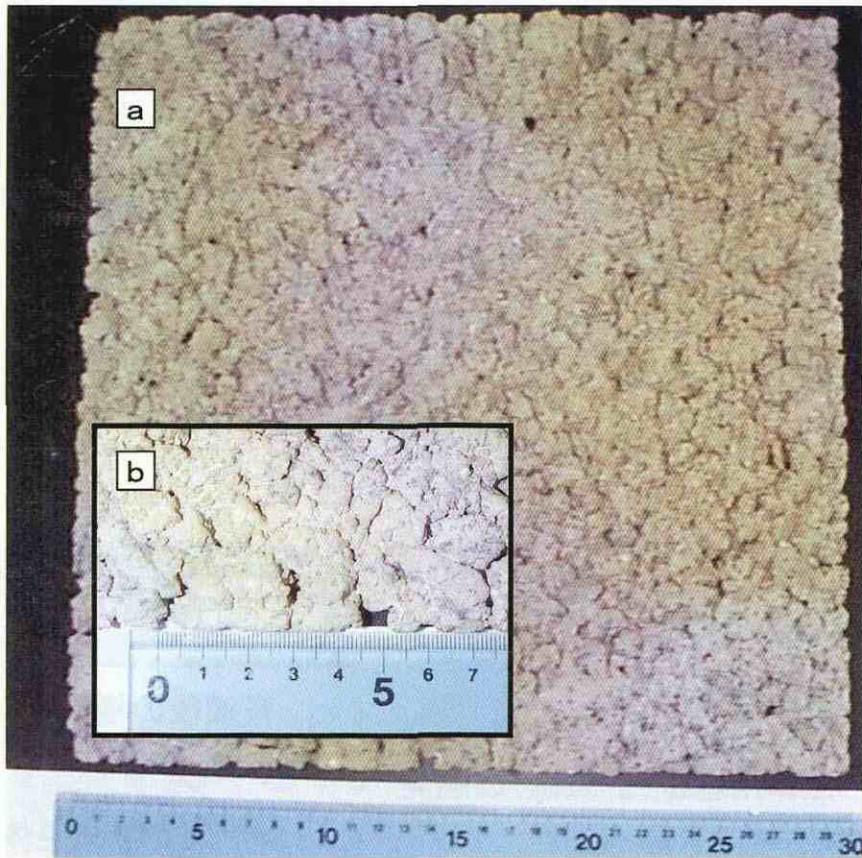


図2. 開発した担体
a, 全体; b, 拡大

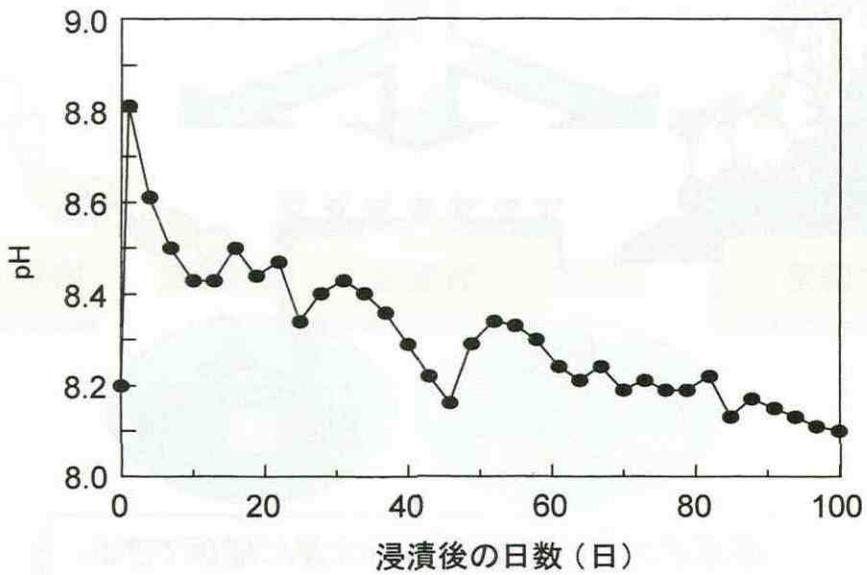


図3. 担体からのアルカリ成分溶出による海水pHの経日変化

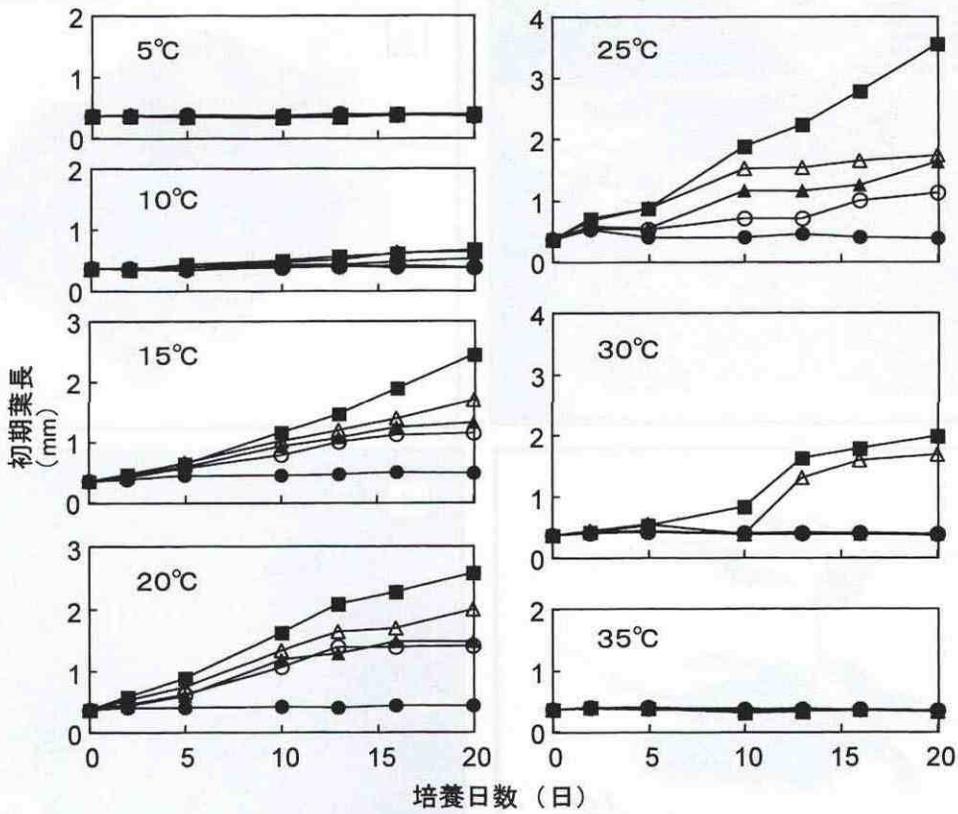


図4. ノギリモク発芽体の各温度における光強度別の初期葉長の変化
光強度: 0 (●), 12.5 (⊕), 25 (▲), 50 (△), 100 (■) μE/m²/s

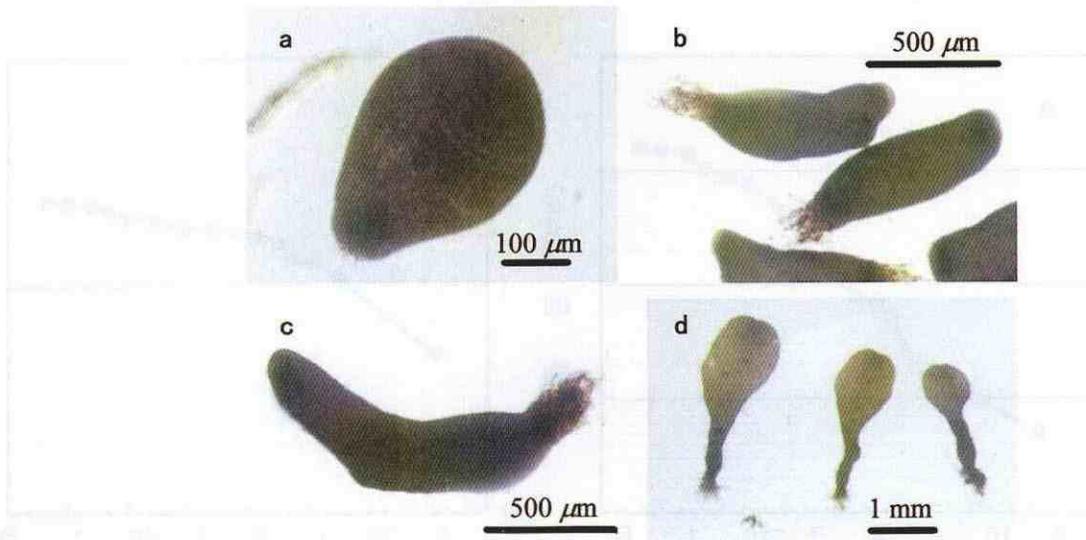


図5. ノギリモクの初期生長
培養条件: 温度15°C, 光強度50 μE/m²/s
a, 培養開始時; b, 5日後; c, 10日後; d, 20日後

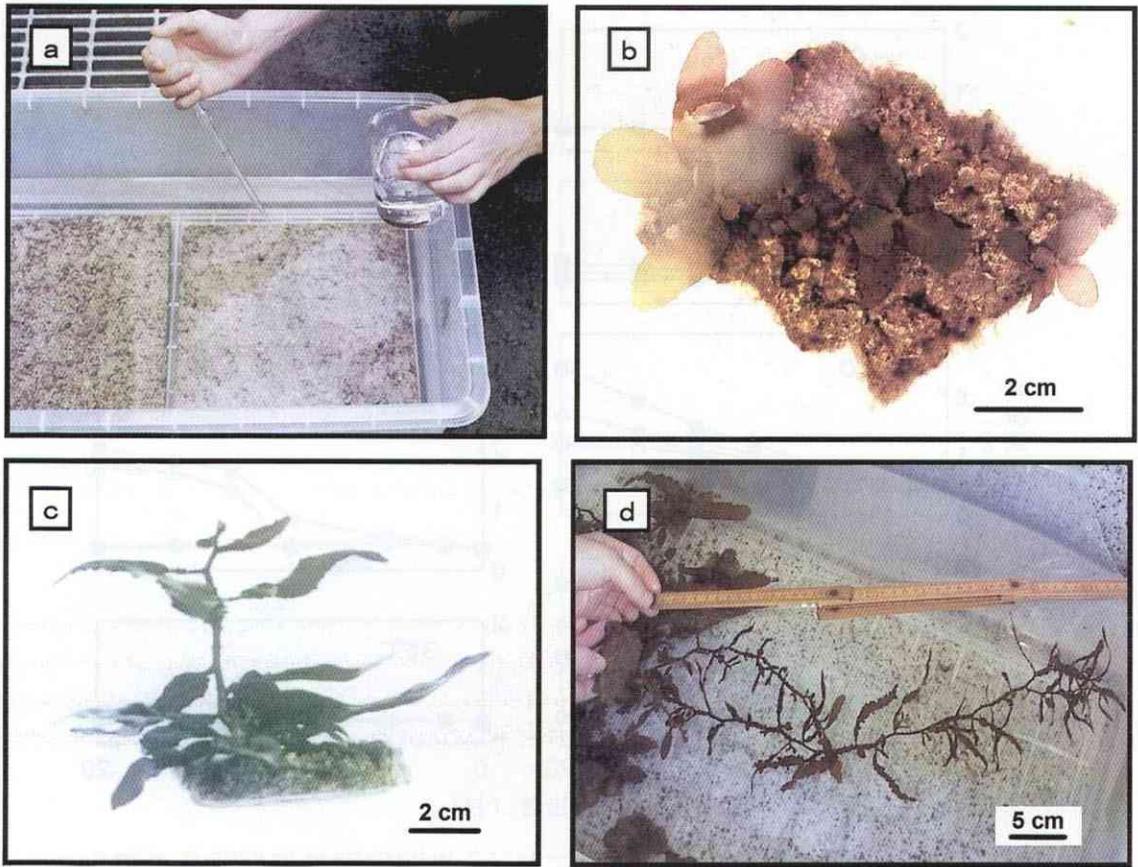


図6. ノギリモク幼胚の担体への採苗(a)とその後の流水槽内での生長(b-d)
 a, ノギリモク幼胚の採苗; b, 1998年1月30日;
 c, 同年6月18日; d, 1999年2月22日(いずれも最も伸長した藻体)

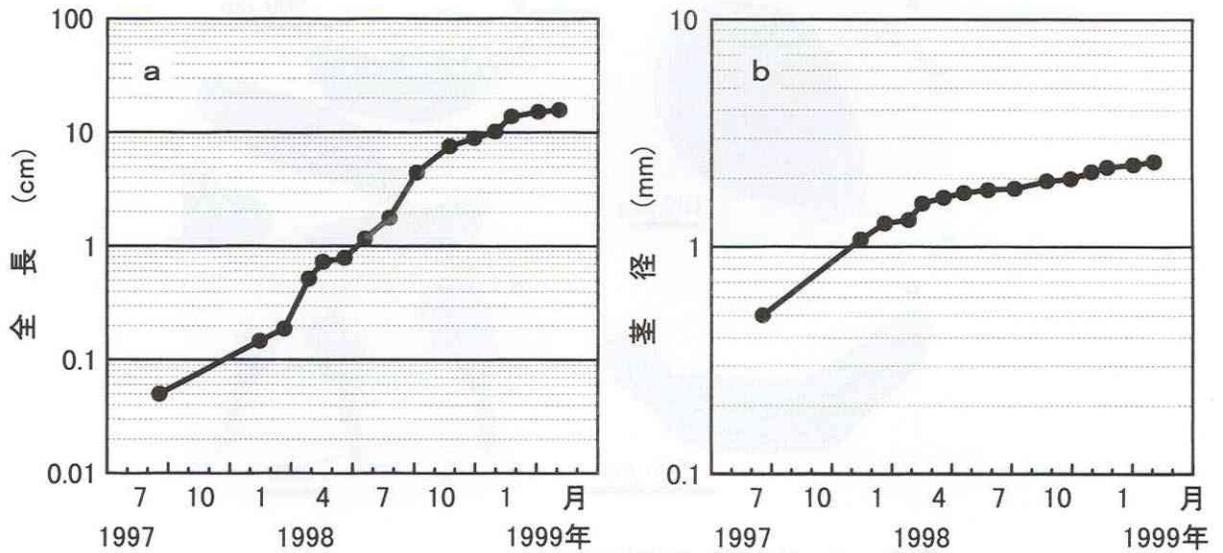


図7. 屋内の流水式水槽内での担体上ノギリモクの全長(a)と茎径(b)の変化

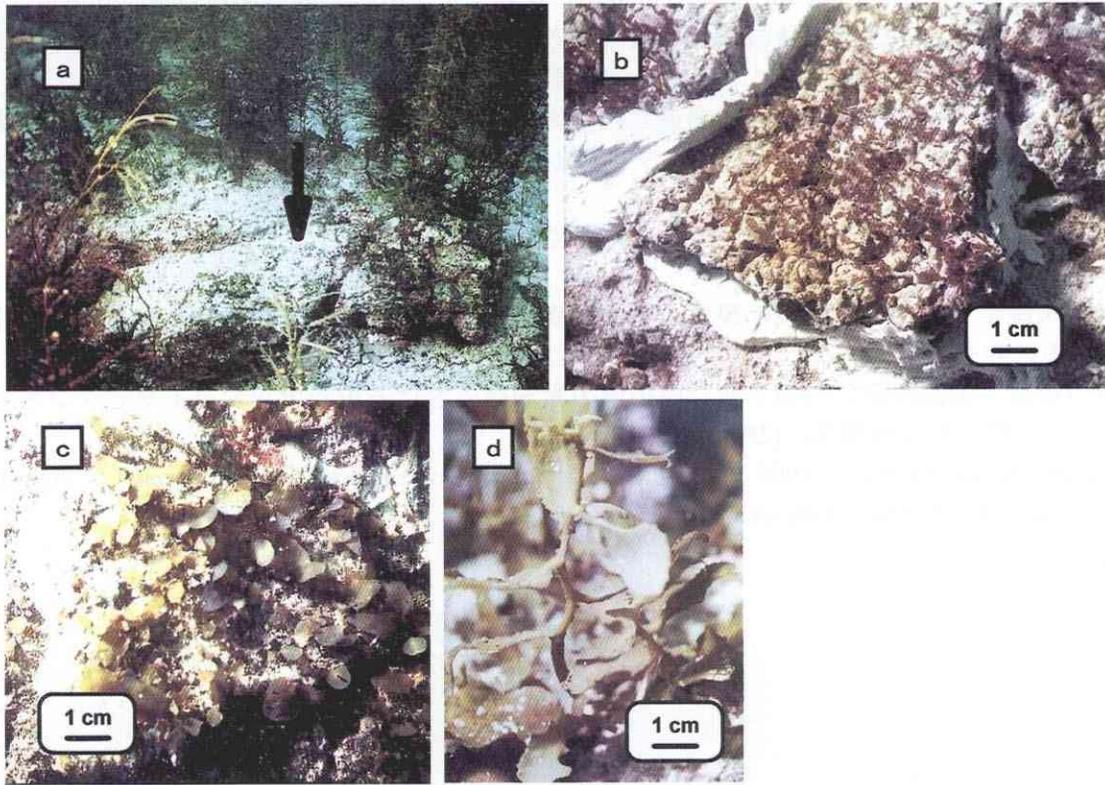


図8. 移植した海域での担体上ノコギリモク
 a, 播種場所(矢印);
 b, 播種直後:1997年7月31日;
 c, 1997年11月1日;
 d, 1998年12月14日

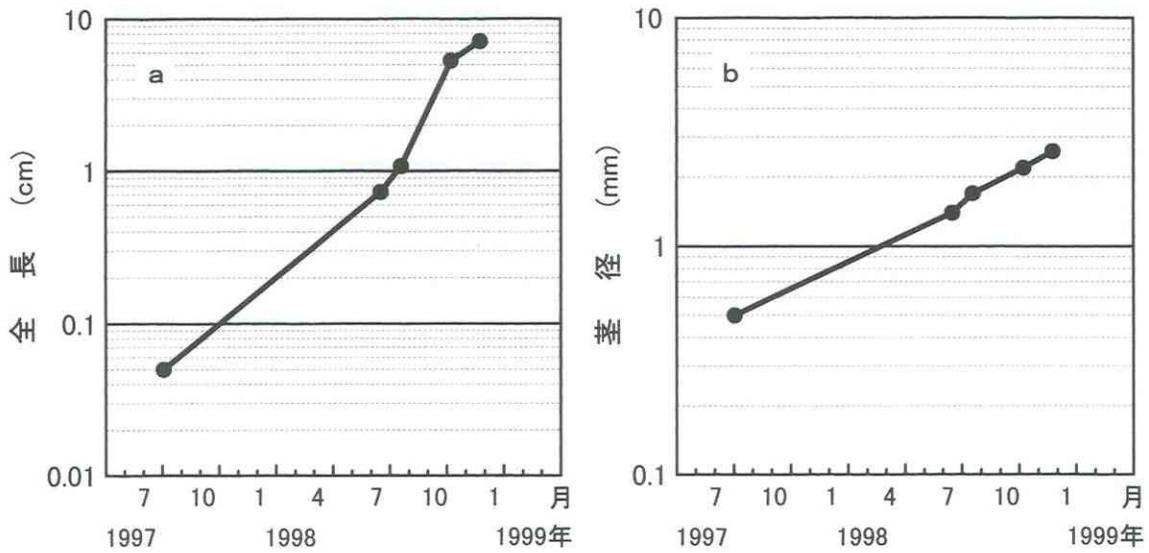


図9. 移植した海域での担体上ノコギリモクの全長(a)と茎径(b)の変化

- 測定を行なった。その結果、両者とも順調に生長していることが認められた。
5. これらのことから、海藻種苗担体を利用した藻場造成は試験規模ではあるが、実用化に向けての有効な方法のひとつであることが確かめられた。
 6. 今後は、この担体を利用した藻場造成技術を実証実験規模へと拡大し、実用的な技術体系として完成度の高いものへと深化させる必要がある。

引用文献

- 1) 日本水産学会，1998：磯焼け現象：その機構と藻場修復の展望，平成10年度日本水産学会秋季大会シンポジウム，講演要旨集，191-201.
- 2) 谷口和也・山田悦正，1978：能登飯田湾の漸深帯における褐藻ヤツマタモクとノコギリモクの生態，日水研報告，(29)，239-253.
- 3) Murase, N. and H. Kito, 1998：Growth and maturation of *Sargassum macrocarpum* C. Agardh in Fukawa Bay, the Sea of Japan, *Fisheries Science*, **64**, 393-396.