



## 研究技術紹介

### 土佐湾の磯焼け海域におけるスポアバッグ法によるカジメ海中林の造成

芹澤如比古<sup>1</sup>・井本善次<sup>2</sup>・田井野清也<sup>3</sup>・崔 昌根<sup>4</sup>・石川 徹<sup>2,3</sup>・大野正夫<sup>2</sup>・平岡雅規<sup>2</sup>

<sup>1</sup>千葉大学海洋バイオシステム研究センター (299-5502 千葉県安房郡天津小湊町内浦1) (日本学術振興会特別研究員)

<sup>2</sup>高知大学海洋生物教育研究センター (781-1164 土佐市宇佐町井尻194)

<sup>3</sup>高知県水産試験場 (785-0167 高知県須崎市浦ノ内灰方1153-23)

<sup>4</sup>韓国釜慶大学養殖学科 (韓国 608-737 釜山市南區大淵3洞 599-1)

Marine afforestation of *Ecklonia cava* by using a spore bag method at an ISOYAKE area in Tosa Bay, southern Japan.

Yukihiko Serisawa<sup>1</sup>, Zenji Imoto<sup>2</sup>, Seiya Taino<sup>3</sup>, Chang Geun Choi<sup>4</sup>, Tetsu Ishikawa<sup>2,3</sup>, Masao Ohno<sup>2</sup>, Masanori Hiraoka<sup>2</sup>

Marine afforestation of *Ecklonia cava* by using the spore bag method was tried at an ISOYAKE (barren ground) area in Tosa Bay, southern Japan. Several net bags, in which mature *E. cava* sporophytes were put and tied to a float with a sinker, were set in autumn 1999, 2001 and 2002 at different areas of 5 to 10 m depth. In each area, many young sporophytes (10-100 ind./m<sup>2</sup>) appeared around the spore bags in the following Spring. Sporophytes appeared mainly within a 10-m radius from the spore bags and dispersed to a maximum of 26 m apart from a spore bag. The sporophytes survived until August with decreasing numbers, but all of them had lost by September or October due to herbivore grazing and storm-induced high waves.

Keywords: *Ecklonia cava*, ISOYAKE, marine afforestation, seaweed-bed construction

<sup>1</sup>Marine Biosystems Research Center, Chiba University, Uchiura, Amatsu-kominato, Awa-gun, Chiba 299-5502, Japan (JSPS Research Fellow)

<sup>2</sup>Usa Marine Biological Institute, Kochi University, Usa-cho, Tosa, Kochi 781-1164, Japan

<sup>3</sup>Kochi Prefectural Fisheries Experimental Station, Uranouchi, Susaki, Kochi 785-0167, Japan

<sup>4</sup>Department of Aquaculture, Pukyong National University, 599-1 Daeyon 3 dong, Namku, Pusan 608-737, Korea

近年、日本各地の沿岸では藻場や海中林の消滅や衰退が伝えられており、最近では土佐湾手結地先で180 haの海中林が完全に消滅し(芹澤ら2000)、その海域におけるアワビ類 *Haliotis* spp. の漁獲量も皆無となったことが報告されている(Serisawa *et al.* 2004)。沿岸部で一次生産を支えている藻場や海中林の消滅や衰退は、付近の他の様々な動植物にも重大な影響を与えていることが予想され、また、磯根水産資源の確保という観点からも、藻場造成あるいは海中造林は重要な課題である。

本州中部から四国、九州に分布するカジメ *Ecklonia cava* は、海中林を形成し、高い生産力を持つ多年生の大型褐藻である。これまでに、カジメ海中林の造林のためには、カジメ林の周縁に人工構造物を設置する方法や(山本ら1986, Watanuki and Yamamoto 1990, 芹澤・大野1995)、種苗生産した幼体を人工構造物上に設置する方法(広田・山口1983)、建材ブロックなどに固定した母藻を投入する方法(中島・大野1976, 大野ら1983)などが試行されており、最近になって水中用接着剤を用いた母藻の移植技術が確立しつつある(平田ら1990, 1997, Serisawa *et al.* 2002, 2003)。しかし、簡便に施行可能なスポアバッグ法(Choi *et al.* 2000)を用いて、カジメの生育していない海域に海中造林を目指す試みについては知見が乏しい。

我々は土佐湾の磯焼けの海域に継続的なカジメ海中林を造林することを目的に実験を行なっている。今回、周辺にカジメの生育が見られない土佐湾横浪半島沿岸の磯焼け海域にスポアバッグを設置したところ、カジメの出現が確認され、その分散や生育状況に関して知見が得られたので報告する。

#### スポアバッグの設置

今回調査を行った高知県横浪半島の白ノ鼻から竜岬にかけての範囲(宇佐地先, Fig. 1)は、比較的塩分の低い浦ノ内湾(28~33 PSU, *cf.* Somsueb *et al.* 2001)の内湾水の影響や、台風による波浪の影響をしばしば受けている海域である。浦ノ内湾周辺の大型海藻としてはフタエモク *Sargassum duplicatum*, トゲモク *S. micracanthum*, ヤツマタモク *S. patens*, マメタワラ *S. piluliferum*などのホンダワラ属海藻の生育が確認されているが、土佐湾のいくつかの場所で大きな群落を形成するカジメやアントクメ *Eckloniopsis radicata*などのコンブ科植物の生育は確認されていない。また、横浪半島の白ノ鼻から竜岬にかけての範囲は、特に大型海藻の乏しい海域で、無節サンゴモ類が繁茂する、いわゆる磯焼けの海底が広がっていることが知られている。

カジメ母藻を入れたスポアバッグの設置は、横浪半島の白ノ鼻から竜岬にかけての範囲(Fig. 1)で、次に示すように

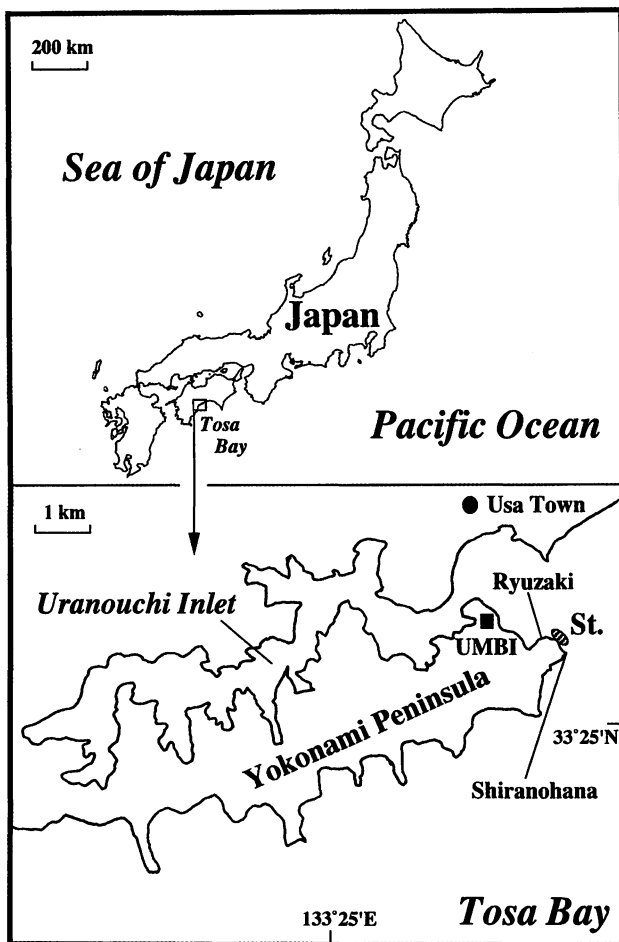


Fig. 1. Map showing the study sites (shaded area, St.) off Usa in Tosa Bay, southern Japan.

3回、3区画で行った (Fig. 2)。

1999年設置・投げ込み式：1999年10月20日に調査船上から水深5～10mの岩礁帯にスポアバッグ6個を投入した (Fig. 2)。なお、調査船 (高知大学海洋生物教育研究センター所有) には、海底の地形と水深が表示される魚群探知器が付いており、その表示を基に水深と底質を選定した。スポアバッグとしては、海底で直立するように浮子 (漁網用の長径約16cmの発砲フロート、浮力1.4kg) と沈子 (土のう袋、約20kg) を網カゴ (釣魚用の直径40cm、高さ50cm程度の円筒状のもの) に結束したものをを用いた。1つの網カゴには、子嚢斑を充分付けたカジメ藻体 (胞子体) 3～7個体を入れた。その成熟藻体は、前日に高知県夜須町手結地先からスキューバ潜水によって採集され、クーラーボックスに入れて高知大学海洋生物教育研究センターへ輸送され、海水を満たした直径約1.5m、高さ85cmのパネルライト水槽内に保存されていたものである。カジメの鮮度を保つため、水槽中には毎分10L程度の海水を注水・放水し、さらにエアレーションを行って海水の滞留を防いだ。

2001年設置・一文字ロープ固定式：2001年10月25日に潜水によって水深8mの海底に40mのロープを海岸線に対して平行に一直線 (一文字) に張り、建材ブロック3個 (約30kg) を沈子として用いたスポアバッグ5個 (Fig. 3) を10m間隔で

ロープに結束した (Fig. 2)。1999年に行った投げ込み式の結果を踏まえ、波浪による網カゴの損失がなく、カジメ幼体が出現した水深8mにロープを設置し、水中で目立ち、網カゴと頑強に結束できる沈子として建材ブロックを用いた。網カゴの中には子嚢斑を充分付けたカジメ2～3個体を入れた。その成熟藻体は、前日に高知県大方町田野浦地先からスキューバ潜水によって採集され、前述の水槽中に同様の方法で保存されていたものである。なお、手結地先のカジメ群落が消滅したため (芹澤ら2000, Serisawa *et al.* 2004), 母藻に用いたカジメの産地を変更した。

2002年設置・十文字ロープ固定式：2002年11月1日に潜水によって水深8mの海底に40mのロープを海岸線に対して平行に張り、建材ブロック3個を沈子としたスポアバッグ5個 (Fig. 3) を10m間隔でそのロープに結束した。また、もう1本、40mロープを海岸線に対して垂直に、先の海岸線に対して平行に張ったロープの中心でクロスするよう十文字に張り、同様のスポアバッグ4個を10m間隔でロープに結束した (クロス部分は除く) (Fig. 2)。したがって、設置したスポアバッグの数は9個である。なお、海岸線に対して垂直に引いたロープは最浅部では6m、最深部では10mであった。網カゴの中には子嚢斑を充分付けたカジメ1～2個体を入れた。その成熟藻体は、前々日に高知県大方町田野浦地先からスキューバ潜水によって採集され、高知県水産試験場の屋外流水槽 (2×4×1m) に保存されていたものである。なお、カジメの鮮度を保つため、この大型水槽では毎分100L程度の海水を注水・放水し、エアレーションも行っており、海水の滞留を防いだ。

1999年に設置した投げ込み式の結果を踏まえ、2001年と2002年のスポアバッグの設置場所は遊走子が分散し、藻体が出現しても重ならない程度、それぞれ50m以上離れた (Fig. 2)。2003年9月まで、1～3ヶ月毎にスキューバ潜水による観察と水中写真及びビデオ撮影を行った。また、カジメの全長 (茎長+中央葉長) の測定、それぞれのスポアバッグ設置箇所、あるいはロープを基準としたカジメの分散距離の測定と、方形枠 (1m×1m, 50cm×50cm) を用いた密度の測定を行った。

#### スポアバッグ設置後の追跡調査

1999年設置・投げ込み式：1999年10月に投入したスポアバッグは、土のう袋と網カゴの結束部分の破損が生じ、2000年6月の調査では水深8mに投入されたスポアバッグ1つの残存しか確認できなかった。したがって、投入されたスポアバッグ間の位置関係が不明瞭となり、追跡調査が困難であった。カジメ幼体は、残存が確認された水深8mのスポアバッグの周辺で3月に出現し、6月にはスポアバッグから半径5m以内の岩盤上に10～30個体/m<sup>2</sup>で着生していた (Fig. 4)。また、スポアバッグから最長12m離れた場所でも藻体の着生を確認できた。9月にはスポアバッグが消滅していたが、スポアバッグのあったと思われる場所の周辺で、側葉を数枚持ち子嚢斑を付けた藻体が3～10個体/m<sup>2</sup>確認された。しかし、10月には藻体を確認できなかった。ところが、2001年7月には

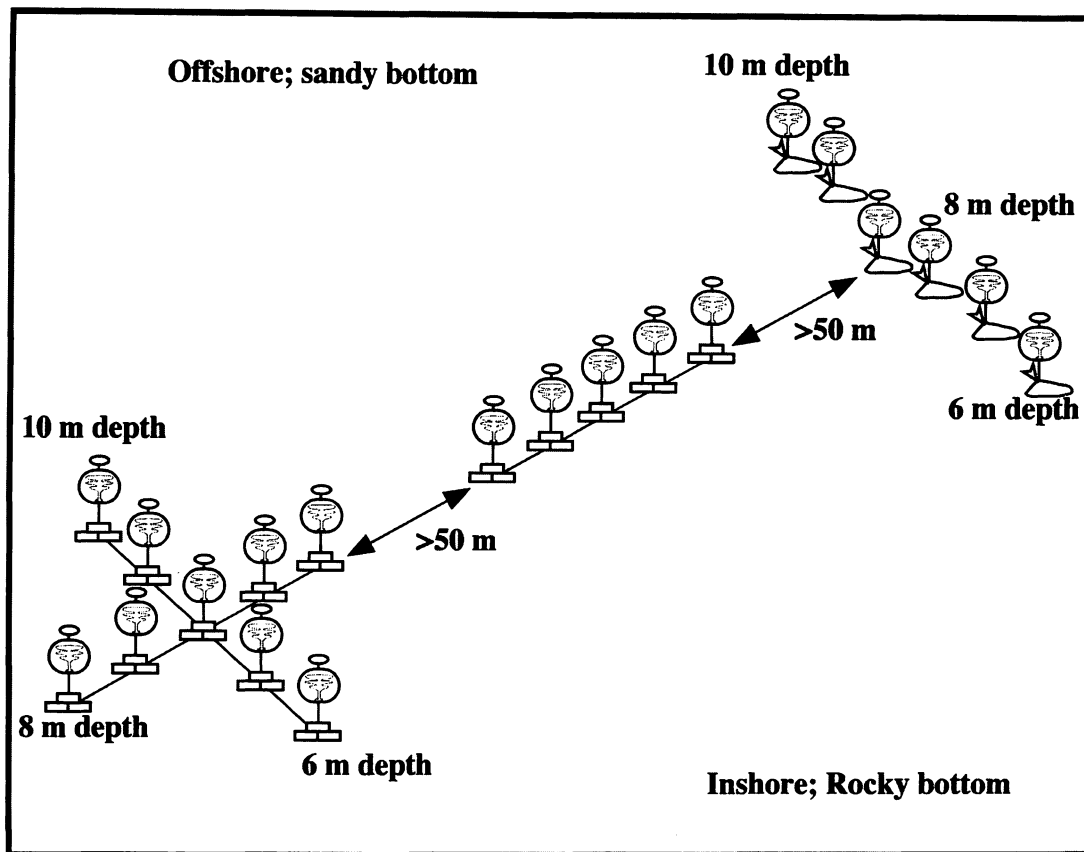


Fig. 2. Arrangement of spore bags set in the ISOYAKE area.

側葉を数枚有している藻体の生育が再び認められ、その生育密度は5~20個体/m<sup>2</sup>であった (Fig. 5)。9月には個体数が激減しており (1~2個体/m<sup>2</sup>)、残存した藻体の葉部には魚類によると思われる摂食痕が多く見られ、子嚢斑は確認できなかった。そして、2001年10月以降は藻体の生育を確認できなかった。

2001年設置・一文字ロープ固定式：2001年10月に設置したスポアバッグは、海底に匍わせたロープが目印となり、また海水中で比較的目立つ建材ブロックを沈子として使用したため、調査期間を通して容易に設置位置を確認できた。また、設置後6ヶ月以内での網カゴの流失が少なく、網カゴが流失した場合も建材ブロックが目印となった。2002年2月には全長1~5cmのカジメ幼体が数百個体、設置した全てのスポアバッグの周辺、特に建材ブロックや網カゴ、ロープの上などに集中して着生していた (Fig. 5)。3月には全長10cm程度までの幼体が、網カゴ、ロープ、建材ブロック、そして周辺の岩盤上に30~100個体/m<sup>2</sup>着生していた (Fig. 4)。4月にはスポアバッグ (ロープ両端のものは除く) から半径10m以内でカジメ幼体が高密度に生育している様子が確認された。また、海底を一直線に這わせたロープに対しては、岸側に11~25m、沖側に10~18m離れた場所で、ロープの末端のスポアバッグからは12mあるいは26m離れた場所でカジメ幼体の着生が確認できた。5月の生育密度は10~50個体/m<sup>2</sup>であり、全長30cmを越える藻体も多数見られた。7月の生育密度は10~40個体/m<sup>2</sup>であり、数枚の側葉を持つ藻体も確認された。8

月には個体数は減少したが (5~10個体/m<sup>2</sup>)、側葉を数枚持った藻体が生残していた。2~8月のいずれの調査時でも、多くの藻体の葉部で藻食動物、特に魚類によると考えられる摂食痕が認められた。2002年9月にはほとんどの藻体が消滅しており、確認できた藻体はわずか10個体程度/m<sup>2</sup>であったが、それらは葉部の一部あるいは多くの部分が欠損しており、子嚢斑は確認できなかった。そして、2002年10月以降はカジメの生育を確認できなかった。いくつかのスポアバッグ内の母藻は6月までは生残したが、7月には網カゴの破損とともに消

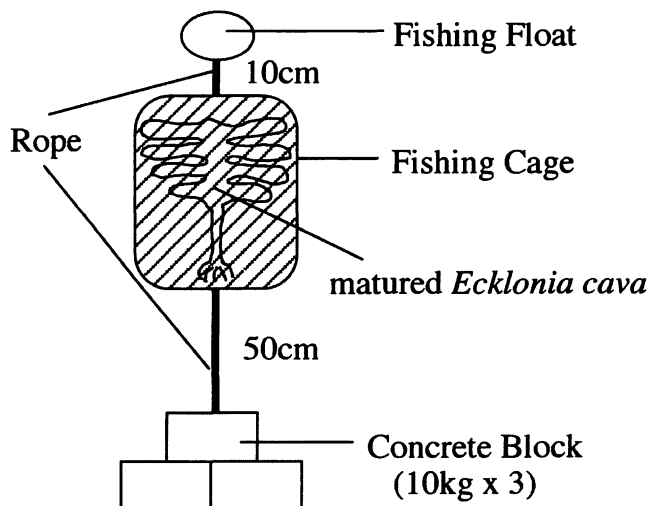


Fig. 3. Schematic of a spore bag used in this experiment.

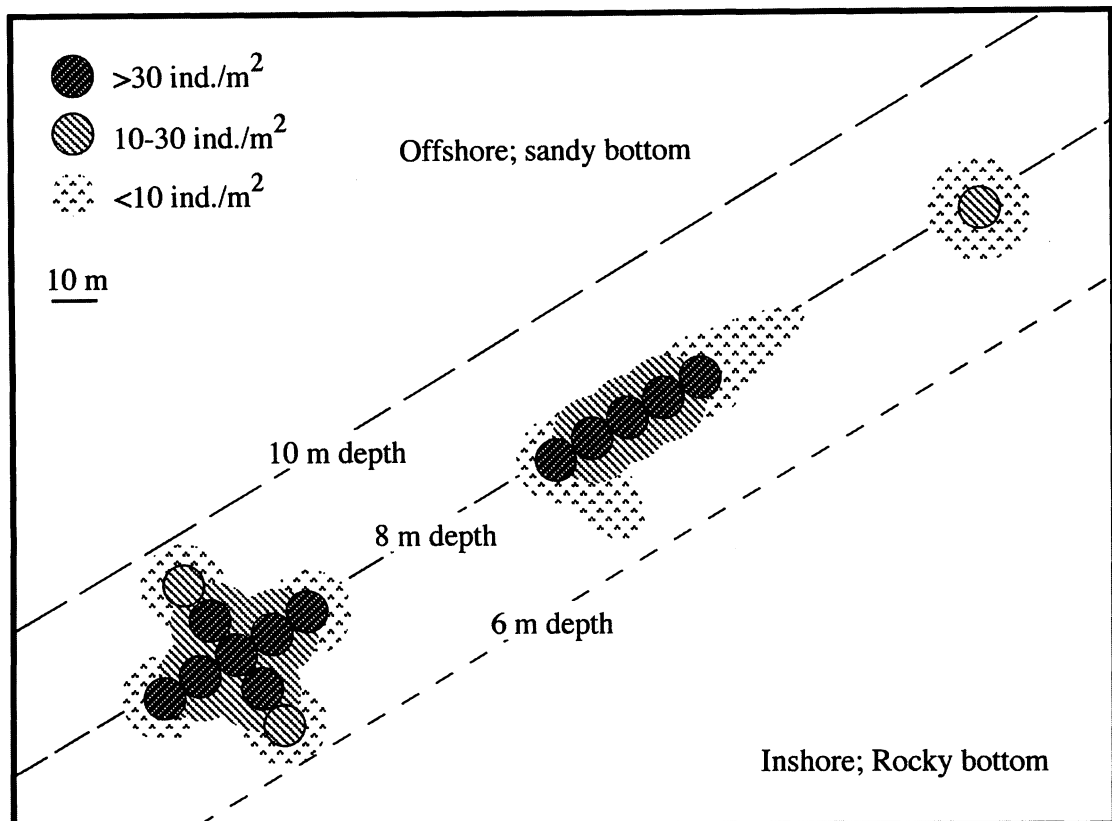


Fig. 4. Dispersal area and density of *Ecklonia cava* sporophytes at the peak of appearance from spring to early summer.

滅した。

2002年設置・十字ろープ固定式：2002年11月に設置したスポアバッグも同様に海底に匍わせたろープや、沈子として用いた建材ブロックが目印となり、調査期間を通して容易に設置位置を確認できた。また、6ヶ月以内での網カゴの流失も少なかった。2003年3～4月には全長20cm程度までのカジメの幼体が、網カゴ、ろープ、建材ブロック、そして周辺の岩盤上に20～80個体/m<sup>2</sup>着生していた (Fig. 4, 5)。個々のスポアバッグから半径約10m以内で藻体の分散が確認され、半径5m以内では密度が高かったが、最深部あるいは最浅部に設置したスポアバッグ周辺では水深8m付近に設置したものに比べると少なかった (Fig. 4)。7月には、多くの藻体の葉部に藻食動物、特に魚類によると考えられる摂食痕が見られ (Fig. 5)、個体数も減少し、最も密度が高かったろープがクロスした部分でも個体数が8～22個体/m<sup>2</sup>となった。8月には生残した藻体の数がさらに減少し、ろープがクロスした場所周辺での密度は10個体/m<sup>2</sup>以下となり、全ての藻体の葉部には摂食痕が見られ、葉状部が半分以上を欠損している藻体も多く認められた。9月にはわずかに生残している藻体が見られたが、それらは葉部がほとんど無い状態で、子嚢斑をつけた藻体は確認できなかった。スポアバッグ内の母藻は5～6月までは生残したが、7月には網カゴの流出とともに消滅した。

#### スポアバッグ法の有効性と問題点

投げ込み式は、船から母藻を入れた網カゴを土のう袋ごと

海底へ投入するという簡単な方法であり、特別な技術や労力を要せず、かつ低予算で施行可能な方法である。しかし、今回の実験では、土のう袋と網カゴとの結束部分に破損が生じるとともに、土のう袋は2～3ヶ月で周囲と同化し、海中で目立たなくなった。沈子に建材ブロックを使った場合には (Fig. 3)、海中で確認しやすく、網カゴを頑強に結束できたために6ヶ月以内での網カゴの流失が少なく押さえられた。また、ろープ固定式では、ろープ自体が海中で目立つため海中で確認しやすく、スポアバッグの位置関係が把握しやすかった。したがって、追跡調査を行なう場合には沈子を建材ブロックとしてろープに固定する方法が適していると考えられる。

今回の実験では、建材ブロックやろープを基準にカジメの分散距離を測ることができ、その分散距離は10～26mであることが分かった (Fig. 4)。大野ら (1983) は成熟したカジメ母藻を建材ブロックにゴムバンドで結束して白ノ鼻地先の外海側に設置したところ、カジメの分散距離は10～45mであったことを報告している。ゴムバンド法では子嚢斑を付けた葉片が脱落して遊走子を散布しながら海底を浮遊したことも予想されるので、葉片がほとんど流出しないと考えられる今回の実験の分散距離と一概に比較することはできないが、ゴムバンド法を用いた白ノ鼻の外海側では今回実験を行なった内湾側に比べて明らかに潮通しが良いことから、両者の最大分散距離に倍近い差が出たのは、潮通しなどの流れも関係している可能性がある。

スポアバッグに入れる母藻の数は、1999年に5～7個体、

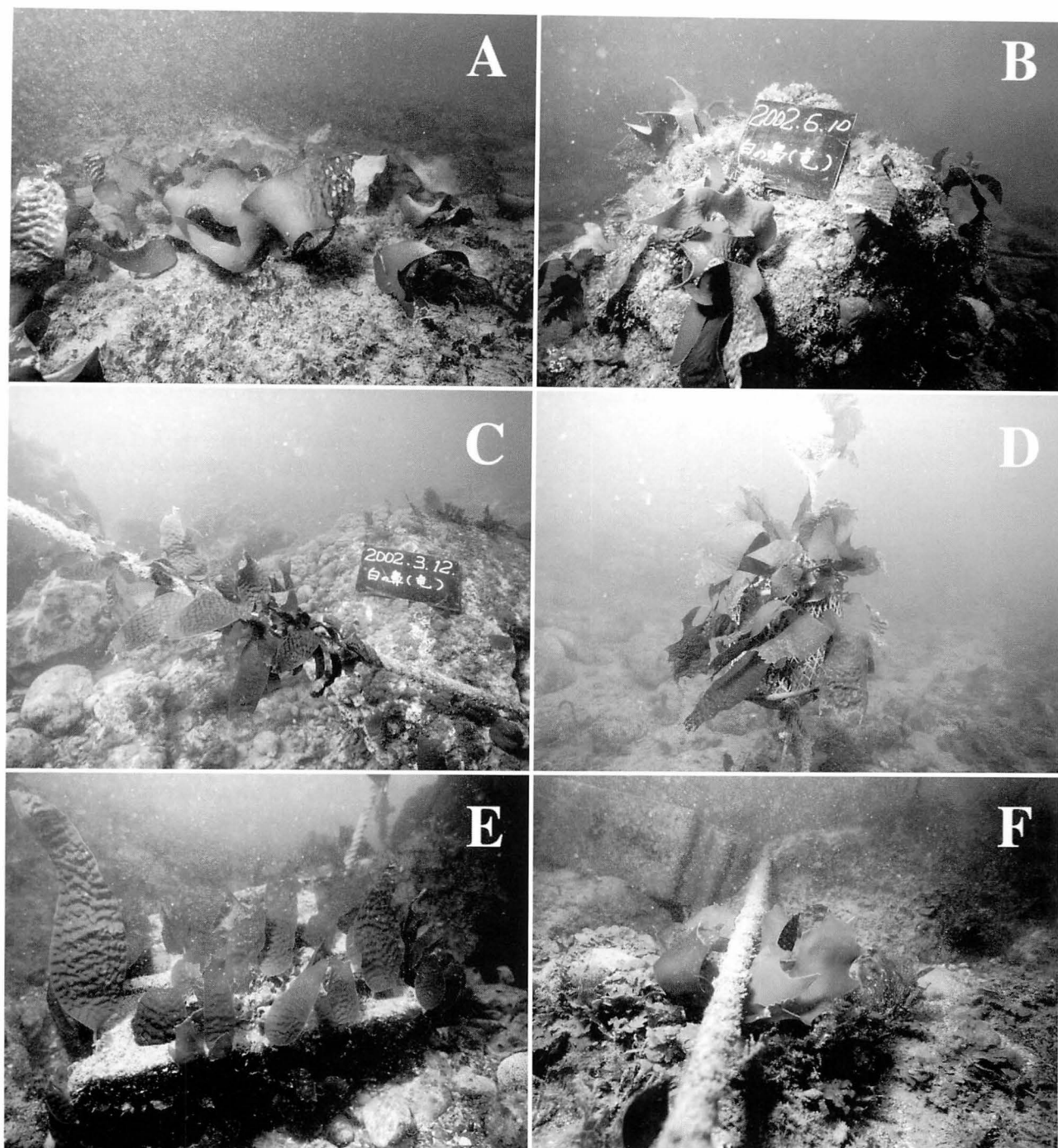


Fig. 5. Photographs showing the experimental sites after setting of spore bags. A, sporophytes with several bladelets growing on the rocky ground in July 2001 at a site where spore bags were set in October 1999; B, sporophytes growing on a rock in June 2002 at a site where spore bags were set in October 2001; C, sporophytes growing on the rope in March 2002 at a site where spore bags were set in October 2001; D, sporophytes growing on the cage in May 2002 at a site where spore bags were set in October 2001; E, sporophytes growing on the blocks in April 2003 at a site where spore bags were set in November 2002; F, several sporophytes damaged by fish grazing in July 2003 at a site where spore bags were set in November 2002.

2001年に2~3個体、2002年に1~2個体と年を重ねるごとに減らしたが、母藻の数の影響は確認できず、むしろ母藻の成熟の状態が影響したためか、初回の母藻5~7個体を入れたものが最も周囲での出現個体数が少なかった (Fig. 4)。一方、分散の範囲は、いずれの年でも基本的にスポアバッグを中心に半径10m程度であった。そして投げ込み式では、1個のスポアバッグのみが残存したので約300m<sup>2</sup> (10 m × 10 m × 3) の範囲に、一文字ロープ固定式では約1400m<sup>2</sup> (70m × 20m) の

範囲に、十文字ロープ固定式では、重なり部分を考慮に入れると約2000m<sup>2</sup> (20m × 60m + 20m × 60m - 20m × 20m) の範囲にカジメを分散させることができたことと概算された。投げ込み式の母藻起源で出現したカジメは、子嚢斑を付けた側葉を出すまでに生長した後、10月には見られなくなったが、翌々年7月に再びカジメが繁茂していたことから、9月まで生残した藻体が遊走子を充分放出していたために次世代が再形成されたものと考えられる。一方、一文字や十文字ロープ固定式で

は7~8月に個体数が激減しており、9月にはほとんど藻体が見られなくなり、また残存した藻体にも子嚢斑は確認されなかったことから、これらは遊走子を放出できず、次世代を再生産できなかつたと考えられる。したがって、スポアバッグの設置により出現した藻体が9~10月に消滅する前に、成熟して遊走子を放出できれば、翌年にもまた藻体が出現するものと推察される。

今回の3回のスポアバッグ設置実験ではいずれも出現したカジメ藻体が9~10月には消滅したが、その理由としては、藻食性の動物類による生物的な要因と台風などの波浪による物理的な要因の影響が考えられる。波浪などの物理的要因を取り除くことは困難であるが、出現したカジメ藻体を動物類の摂食から保護することは不可能ではないと思われる。大野ら(1983)は白ノ鼻の外海側で行なった移植実験から、藻食性の魚類、特にブダイによる食害が大きかったこと、クレモナ網の防護カゴや、黒ビニール幕を張った中にはブダイなどが入り難かったため、母藻の生残率がそれらを施さないものに比べて高かったことを報告している。今回の調査でもウニ類や貝類よりはむしろ魚類によると考えられる摂食痕(桐山ら2001)が多く認められ(Fig. 5)、夏季には藻体の葉部における顕著な欠損が認められた。藻食性の動物類、特に魚類の食害からカジメ藻体を保護することが、同地で再生産可能なカジメ海中林の造林のためには重要な課題であり、今後、大きな波浪でも破損しない丈夫な防護カゴや、クレモナ糸を数本張った魚類の進入防止柵などの設置によって、カジメが遊走子を放出する9~10月まで藻体を保護する方法を検討する必要がある。また現在、高知県水産試験場が土佐湾の他の磯焼け海域で実施中である、他の海藻類、特にホンダワラ属海藻類を混植することによって魚類の摂食圧を軽減させる方法も、検討する必要がある。

四井・前迫(1993)は長崎県対馬東岸の磯焼け海岸でカジメの近縁種であるアラメ *Eisenia bicyclis* によるスポアバッグ法(成熟藻体を発泡スチロール片と共にタマネギ袋に入れ、海底に設置したロープに結束する)を試みるとともに、アラメを食すると考えられる藻食性の底生動物類(貝類とウニ類)の徹底した除去を行い、900m<sup>2</sup>の範囲で多年生のアラメ海中林の造林に成功している。今回の実験では藻食性の底生動物類の除去を行なわなかったが、実験を行なった岩礁にはサザエ *Batillus cornutus*、ムラサキウニ *Anthocidaris crassispina*、ガンガゼ *Diadema setosum*、クボガイ *Chlorostoma lischkei* など明らかに藻食性と考えられる底生動物類も多く認められたことから、これらの除去によっても効果が上がることが期待される。

今回の実験から、ロープや網カゴ、建材ブロックなど、新たに設置した基質に幼体がよく着生することが分かった(Fig. 5)。これまでに土佐湾手結地先のカジメ群落内に12月に人工礁を設置すると、1年半で周囲と同等のカジメ海中林が形成されたことが報告されており(芹澤・大野1995)、人工基質の設置時期の違いで着生する海藻の優占度も異なることが報告されている(Serisawa *et al.* 1998)。したがって、

スポアバッグの設置と同時、あるいは12月までにカジメの着生基盤をそのスポアバッグの周辺に設置することで、より効果的にカジメの着生を誘導できる可能性がある。

## 謝辞

本研究にご協力いただいた高知県宇佐漁業協同組合、鳴滝清一郎組合長に謝意を表す。また本稿英文を御校閲いただいた Japan Scientific Texts の C.P. Norman 博士に謝意を表す。

## 文献

- Choi, C.G., Serisawa, Y., Ohno, M. & Sohn, C.H. 2000. Construction of artificial seaweed beds; Using the spore bag method. *Algae* 15: 179-182.
- 平田徹・坂本和弘・多田諭・横浜康継. 1990. 接着剤を用いたアラメ・カジメ個体の人工基盤への移植. *藻類* 38: 61-67.
- 平田徹・青木優和・倉島彰・植田一二三・土屋泰孝・佐藤寿彦・横浜康継. 1997. 海中造林のための接着剤を用いたカジメ藻体の移植. *藻類* 45: 111-115.
- 広田仁志・山口光明. 1983. 海岸構造物を利用したカジメ海中林造成. *水産土木* 18: 15-18.
- 桐山隆哉・野田幹雄・藤井明彦. 2001. 藻食性魚類数種におけるクロメの摂食と摂食痕. *水産増殖* 49: 431-438.
- 中島敏男・大野正夫. 1976. カジメ成葉体の固着力. *水産増殖* 24: 93-95.
- 大野正夫・笠原均・井本善次. 1983. 土佐湾産カジメ類の生理生態学的研究 II. 成体からの移植実験. *高知大海洋生物研報* 5: 65-75.
- 芹澤如比古・大野正夫. 1995. 土佐湾の外海域に設置した人工礁上に着生する海藻類の遷移. *日本水産学会誌* 61: 854-859.
- 芹澤如比古・井本善次・大野正夫. 2000. 土佐湾、手結地先における大規模な磯焼けの発生. *Bull. Mar. Sci. Fish., Kochi Univ.* 20: 29-33.
- Serisawa, Y., Taino, S., Ohno, M. & Aruga, Y. 1998. Succession of seaweeds on experimental plates immersed during different seasons in Tosa Bay, Japan. *Bot. Mar.* 41: 321-328.
- Serisawa, Y., Yokohama, Y., Aruga, Y. & Tanaka, J. 2002. Growth of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes transplanted to a locality with different temperature conditions. *Phycol. Res.* 50: 201-207.
- Serisawa, Y., Aoki, M., Hirata, T., Bellgrove, A., Kurashima, A., Tsuchiya, Y., Sato, T., Ueda, H. & Yokohama, Y. 2003. Growth and survival rates of large-type sporophytes of *Ecklonia cava* transplanted to a growing environment with small-type sporophytes. *J. appl. Phycol.* 15: 311-318.
- Serisawa, Y., Ishikawa, T., Imoto, Z. & Ohno, M. 2004. Decline of an *Ecklonia cava* population associated with increased seawater temperatures in Tosa Bay, southern Japan. *Fish. Sci.* 70: 189-191.
- Somsueb, S., Ohno, M. & Kimura, H. 2001. Development of seaweed communities on suspended substrata with three slope angles. *J. appl. Phycol.* 13: 109-115.
- Watanuki, A. & Yamamoto, H. 1990. Settlement of seaweeds on coastal structures. *Hydrobiologia* 204/205: 275-280.
- 山本秀一・児玉理彦・野口雄二・綿貫啓. 1986. 相模湾西部海域におけるカジメ場造成試験. *水産土木* 23: 13-18.
- 四井敏雄・前迫信彦. 1993. 対馬東岸の磯焼け帯における藻場回復実験. *水産増殖* 41: 67-70.