

アラメ・カジメの幼体移植のための 着床具を用いる種苗育成法の開発

田 闊¹⁾・岡本峰雄¹⁾・鴨下真吾²⁾・岩田 至³⁾

Development of seedling cultivation methods for transplantation of young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava* plants by using settlement devices

Kuo TIAN¹⁾, Mineo OKAMOTO¹⁾, Singo KAMOSHITA²⁾, and Itaru IWATA³⁾

Abstract : We developed seedling cultivation methods for transplantation of young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava* plants using settlement devices (SDs). Experiments were conducted using four settlement devices consisting of (1) flat unglazed china, (2) unglazed china with small hollows, (3) two (06 and 07) slag-ceramic interfaces with minute (3–10 μm diameter) pores. No seaweeds grew on the flat unglazed china in a seawater circulation tank on land after release of *E. bicyclis* zoospores. Hollow china and 06 slag-ceramic SDs were deployed at depths of 0 m, 0.2 m, and 2 m in a forest of *E. bicyclis* for 6 months. The sun-illuminated sides of SDs were fully covered by small seaweeds (excluding *Eisenia*) depending on the depth (*Ulva* at a depth of 0 m, *Chondrus* at 0.2 m, and *Chondrus* and *Gelidium* at 2 m). However, attachment of *Ulva* on the two types of SDs was different. *Ulva* could be easily removed from the hollowed surface, but it could not be separated from the surface of the slag-ceramic SDs even with a knife. On the 07 slag-ceramic SDs placed in a seawater tank, *E. bicyclis* could be raised from the settled zoospores released from their mother plants. Hundred days after settlement, 17–18 sporophyte *Eisenia* (2–4 cm) grew on 1 slag-ceramic SD. It was possible for slag-ceramic SD to brush not damaging *E. bicyclis* on the SD.

Keywords : *Eisenia bicyclis*, settlement device, china, slag-ceramic

1. はじめに

日本の藻場は、沿岸域開発などで減少してきた(向井, 2008)。近年は海面水温の上昇によって、藻類と生息場をめぐって競合するサンゴが北上しており、藻場の減少の度を速めている(野島・岡

本, 2008. 岡本, 2008. 谷口, 2008.)。藻類のなかでも多年生のアラメやカジメは典型的な海中林を形成し、そこには豊かな生態系が形成されていた(谷口, 2008)。減少する藻場を再生させる試みは、藻礁の設置、投石、母藻の投入、育成した海藻の移植など、種々行なわれてきた(谷口, 1996. 荒武, 2009. 木村・山内, 2009. 桐山, 2009. 田井野, 2009)。藻場のほかに、沿岸域の重要な生態系であるサンゴ礁についても再生の取り組みが行なわれている。2002年から著者らは、セラミック製のサンゴ着床具(OKAMOTO *et al.*, 2008. 特許第3530838号)を用いて、移植後も必要に応じて追加移植を繰り返す、管理型のサンゴ再生技術を開発している。着床具は、きれいな穴や溝がないために着生適地がないミドリイシ属サンゴを対象とし、幼生の着生に適した形状であり、着生させた幼生を稚サンゴまで

1) 東京海洋大学 〒108-8477 港区港南4-5-7

2) 茨城県庁農林水産部

〒310-8555 水戸市笠松町978-6

3) 芙蓉海洋開発(株) 〒111-0051 台東区蔵前3-15-7

1) Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan Minato-ku Tokyo 108-8477, Japan. E-mail: okamotom@kaiyodai.ac.jp

2) Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Ibaraki Prefectural Government. 978-6 Kasamatsu-cyo Mito 310-8555, Japan

3) Fuyo Ocean Development & Engineering Co. Ltd. 3-15-7 Kuramae Taito-ku Tokyo 111-0051, Japan

Table 1. Forms of ceramic settlement devices (SDs)

Type of SD	Size of SD (mm)			Shape of settlement surface of disc	
	Disc		Spacer	Upper surface	Under surface
	Dia.	Thick	Thick		
China*	53	11	7	Flat with grooves	Flat with grooves
Hollow china*	40	9	9	Small hollows	Flat
06 Slag**	44	8	9	Flat	Flat with grooves
07 Slag**	55	9	10	Flat with grooves	Flat with grooves

* Unglazed china

** Pores (3–10 μm in diameter) unglazed ceramic

育成して移植に利用する。今まで、形状、材質、収納ケース等について、着床具の改良を行ってきた (ROEROE *et al.*, 2013)。藻場再生についても、成型が容易で安価なセラミックに多年生藻類を育成できれば、サンゴ同様に継続管理型の藻場再生が可能になると考えた。

そこで2003年から2010年にわたって、サンゴ用着床具を用いて水槽や海域で藻類の着生を試みた。その結果、水槽でアラムの着生・育成を行なうことができたが、遊走子の着生を効率的に行なううえでは、サンゴ用とは異なる形状の、海藻用の着床具の開発が必要と考えられた。

本研究では、着床具にアラムを着生させる数種の方法について検討した結果について報告する。

2. 材料および方法

2.1 着床具

実験は、素焼きの瀬戸物の2003型着床具 [Fig. 1 (a). 以下、セット, China] と、瀬戸物に不規則な窪みをつけた2005型着床具 [Fig. 1 (b). 以下、クボミ, Hollow china], 2006型スラグセラミック着床具 [Fig. 1 (c). 以下、06-スラグ, 06 slag-ceramic], 2007型スラグセラミック着床具 [Fig. 1 (d). 以下、07-スラグ, 07 slag-ceramic] の4種である (Table 1)。

セットは、石膏型で成型し、1,250度で酸化焼成した素焼きの瀬戸物である。着床板の上下面に着生面積を増やすため放射状の溝を設け、板の周囲に、重ねた着床具を釣り糸等で固縛するための溝を設けた。

クボミは、着床板上面に不規則な窪みをつけた素焼きの瀬戸物である。着床板とそれ以外の部分の2つに分けて金型プレス成型し、それらを接着して焼成した。着床板の下面に溝は無く、周囲の4ヶ所には重ねて束にするための溝を設けた。

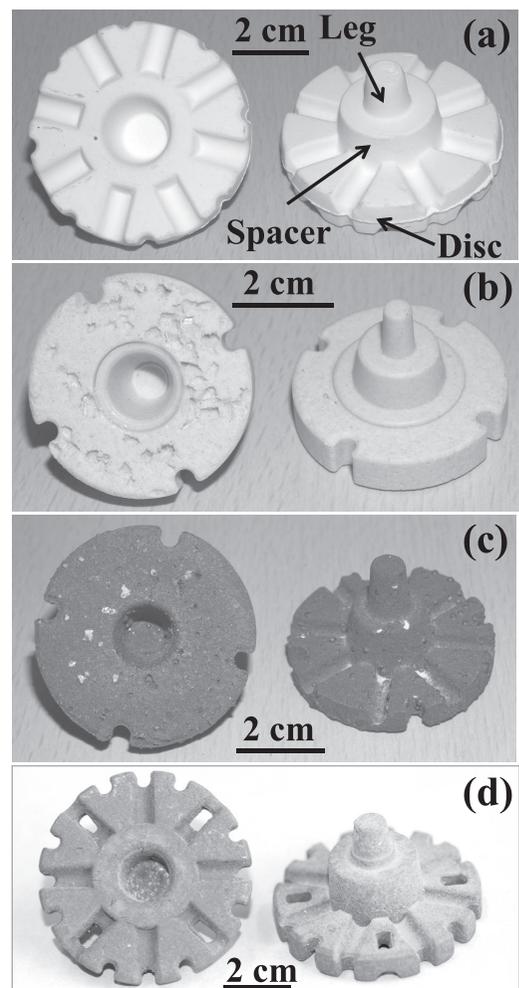


Fig. 1. Upper (left) and lower surfaces (right) of ceramic settlement devices (SDs). (a) China, (b) hollow china, (c) 06 slag-ceramic SD, (d) 07 slag-ceramic SD.

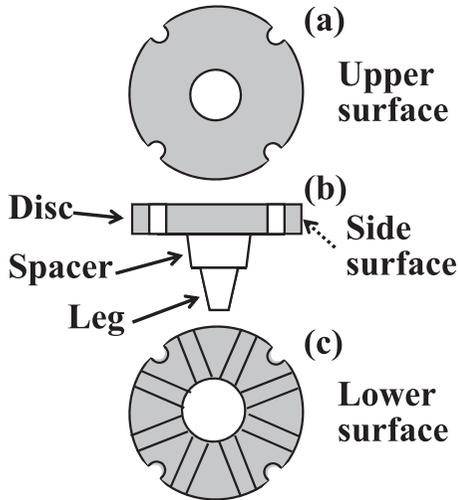


Fig. 2. Three seaweed settlement surfaces of the disc (printed area). (a) Upper surface, (b) side surface, (c) lower surface.

06-スラグは、製鋼スラグとアルミドrossを混ぜてプレス成型し、酸化焼成した。新開発の素材で、酸化鉄とアルミニウムが高温で爆発的に燃焼し（テルミット反応）、同時に不純物が気化して微細な多孔質構造（直径3~10 μ m）の強靱な陶器ができた。着床板の下面には放射状の溝を、周囲4ヶ所に組立て用溝を設けた。

07-スラグは、06-スラグをやや大型にして着床板の上下面や板側面にも溝を設けた。

4種の着床具（settlement device）の形はFig. 2 (b)に示したように共通で、上部から順に、着床板（Disc）、スペーサ（Spacer）、脚（Leg）からなる。着床板は円盤型で上面 [Upper surface, Fig. 2 (a)], 下面 [Lower surface, Fig. 2 (c)], 側面 [Side surface, Fig. 2 (b)]に藻類を着生させる。着床板上面には着床具を重ねるときに脚を差し込むための窪みがある。スペーサは重ねた着床具の着床板間の隙間を一定に保つ。脚は着床具を岩等に固定するのに用いる。4種の実験では、着床具をFig. 2 (b)のように立てて単独で固定したり、重ねた着床具を立てて着床板を水平にする場合（サンゴ着生時の使用法）と、重ねた着床具を横置きにして着床板を鉛直にする場合とがある。

2.2 実験方法

上記4種の着床具へのアラメやカジメの着生について、次の実験を行った。水槽に設置したセット

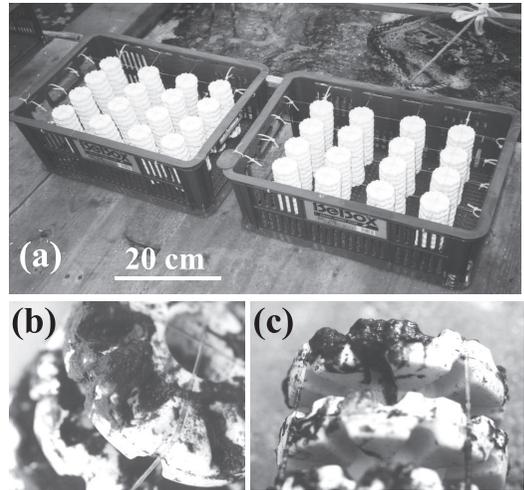


Fig. 3. Experiment 1 at Ibaraki Prefectural Fisheries Research Center. (a) Seawater tank and two containers containing 16 units of the china settlement device (SD). A unit composes of a stack of 10 SDs with a fishing line. (b) Upper side of the SD unit deployed on December 3, 2003 and sampled on October 19, 2004. Growth of diatoms indicated in black. (c) Side view of the same SD unit as in Fig. 3 (b).

にアラメ *Eicenia bicyclis* の遊走子の着生を調べる実験1, カジメ藻場に設置したクボミへのカジメ *Ecklonia cava* の着生を調べる実験2, アラメ藻場に設置したクボミと06-スラグへのアラメの着生を調べる実験3, 水槽に設置した06-スラグと07-スラグへのアラメ遊走子の着生と成長を調べる実験4である。次に、それぞれの実験の内容を示す。

2.2.1 実験1

2003年と2004年に、セットを用い、茨城県水産試験場（以下、茨城水試）で実験を行った。着床具は10段に重ねて釣り糸で束にし、メッシュコンテナ [アイリスオーヤマ(株)。樹脂製 BeBox MC-34 L。約52cm \times 38cm, 高さ21cm] に16束を立てて固定した [Fig. 3 (a)]。

2003年12月3日、清掃した屋内4トンコンクリート水槽（内寸：3.5m \times 1.3m, 深さ0.9m）に濾過海水を満たし、コンテナ2個をその上面が水面下になるように設置した。着床具やコンテナを海水に漬けて洗浄するため、約半日、海水を掛け流しエアレーションを行なった。同日、ひたちなか市平磯漁港で成熟したアラメ15株を採取し、

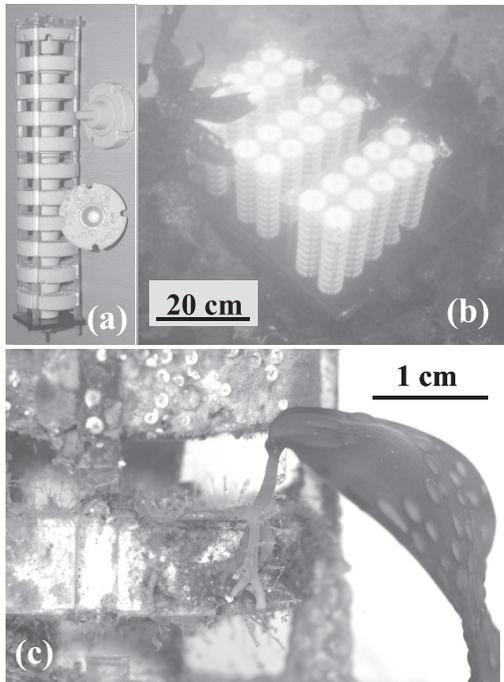


Fig. 4. Experiment 2 at Iwase, Awaji Island. (a) Unit of hollow china SDs set in a polypropylene inner case. A hollow china SD case consisted of four slender transparent rods, a black lower top, and a transparent upper top. (b) Three hollow SD cases fixed on plastic plates and deployed in an *Ecklonia cava* marine forest; each case held 10 units of hollow china SDs. A hollow china SD case was composed of a transparent upper plate, a black lower plate, and six transparent rods to bind the two plates. (c) *E. cava* growing on the disc of an SD.

遊走子を放出させるために、須藤，1948. 谷口・秋山，1982. 荒川・松生，1990. を参考に，約3時間の陰干しの後，遊走子が着生しやすいように，止水状態とした水槽に投入した。アラメは約3時間後に取り除き，濾過海水の掛け流しとしエアレーションを再開した。2004年2月26日に2束を回収し，同年10月19日には全ての着床具を回収して観察を行った。

屋内水槽の建物（約15m×30m）には，実験に用いた4トン水槽32面と6トン水槽6面が配置され，通路や資材置き場も設けられている。建物は骨組みが角材でつくられ，区画の仕切り壁はない。屋根には半透明の樹脂製波板，外壁には半透明のFRP製波板が張られ，自然採光されている。夜間作業用の蛍光灯はあるが，生物飼育専用

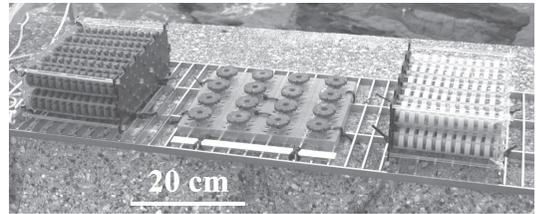


Fig. 5. Grating used for Experiment 3. Left: a 06 slag-ceramic case held 10 units of 06 slag-ceramic SDs; center: a plastic drain board to fix 16 06 slag-ceramic SDs; and right: a hollow case holding 10 units of hollow SDs. A plastic drain board was used for Experiment 4 to fix 16 07 slag-ceramic SDs for the experiment on November 9, 2009.

の照明は設置されていない。

2004年10月20日には，雑藻が生育しないように，清掃してクリーンにしたコンクリート水槽にコンテナ6個を配置し，2003年と同じ方法で実験を行った。実験を開始してから3年後の2007年12月24日に全てを回収して観察を行った。

2.2.2 実験2

2005年10月3日に，クボミを用い，兵庫県淡路島岩瀬の砂浜の海水浴場沖合約200mの小規模な転石場〔カジメが繁茂。直径約10m，水深6m（最低水面下）〕で実験を行った。

着床具は11段に重ねてポリプロピレン製の4本の棒（透明）と上蓋（透明），下蓋（黒色）で束にし〔Fig. 4 (a)〕，ポリプロピレン製ケース（12×27cm，高さ約21cm。透明な上蓋と黒色の下蓋を6本の棒で固定）に10束を固定した（束の中心間隔は5cm）。平らな樹脂架台（30cm×45cm）2枚に各3個のケースを乗せ，海底に結束バンドで固定した〔Fig. 4 (b)〕。2006年7月7日に回収してカジメの生育状況を調べた。

2.2.3 実験3

2006年に，クボミと06-スラグを用い，東京湾の2か所のアラメ藻場（神奈川県三崎市江奈湾。千葉県富津市の竹岡海岸）で実験を行った。江奈湾は1mよりも浅い水深の岩場にアラメが広く繁茂し，沖側は防波堤のような岩場があり，波浪の影響は受けにくい地形であった。竹岡海岸は，水深1~3mの岩場にアラメが生育していたが，波浪の影響を受けやすかった。

着床具としてクボミを用い，実験2と同じ方法でケースに10束を固定した。06-スラグ着床具も同様にケースに固定したが，製造のばらつき（土

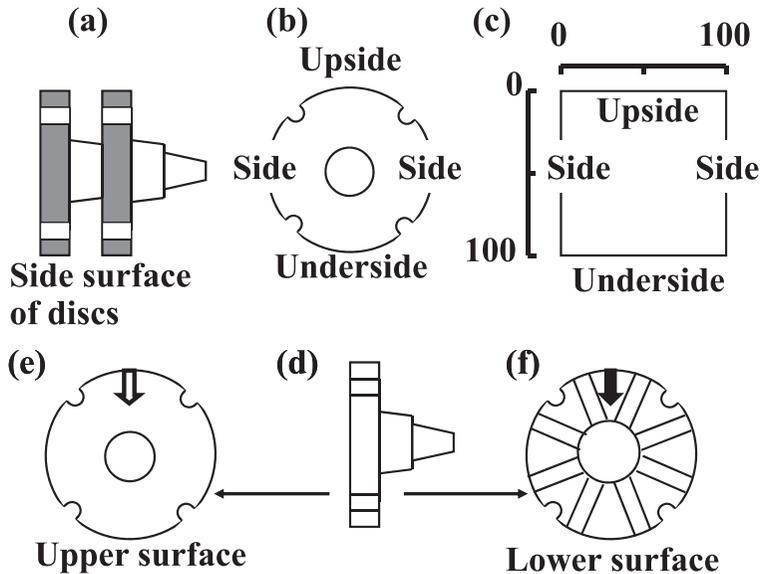


Fig. 6. Illustration of measuring seaweed cover around the four side surfaces of a disc [(a) – (c), %], and seaweed settlement depth [(d) – (f), mm] on the upper and lower surfaces of the disc. (a) Seaweed cover measurement positions (printed area) of the four side surfaces of the discs; 11–12 SDs were combined and bound as 1 unit. Ten units were fixed in a case, above and below. Cases were turned sideways and fixed on the grating as shown in Fig. 5; thus, the discs of SDs were placed vertically. (b) The four side surfaces of the discs were measured for algal cover (%). (c) Data of 10 SDs from 1 unit were averaged (%) for display. (d) Measurement of seaweed settlement depth. (e) Upper surface of the disc. Measuring maximum seaweed settlement depth (as shown in open arrow). Data of the upper five units ($n = 50$) are averaged (in mm) for each case. (f) Lower surface of the disc. Maximum seaweed settlement depth (as shown in solid arrow) is measured in the same manner as described in Fig. 6 (e).

1mm以下) により 12 段になったものもあった。

実験 1, 2 では着床板が水平になるようにケースを固定したが, 実験 3 は着床板が鉛直になるように配置した (Fig. 5, 以下, 2 層ケース)。また 06-スラグ 16 個を樹脂製スノコ (Fig. 5 中央, 30 cm×24 cm, 高さ 1 cm, 以下, スノコ板) に着床板が水平になるように固定したものも用いた。ステンレス製スノコ (100 cm×36 cm, 高さ 5 cm) に, クボミの 2 層ケース 1 個, 06-スラグの 2 層ケース 1 個, 06-スラグのスノコ板 1 枚を固定した (Fig. 5)。

江奈では, 2006 年 10 月 28 日, スノコ上面が水深 0 m と 0.2 m (最低水面下) になるよう各 1 基固定し, 2007 年 5 月 25 日に回収した。竹岡では, 2006 年 10 月 29 日に水深 2 m の海底に 1 基を固定し, 2007 年 6 月 5 日に回収した。

海水に漬けて実験室に持ち帰ったケース類は, 着床具ごとに藻類の被度, 着生位置, 湿重量, 種類を計測した。計測は着床具束の 1 段目 (最下段) から 10 段目までを対象とした。束の最上段

[11 段ないし 12 段目, Fig. 4 (a)] は着床板上部がケース上蓋と接触して藻類が生育できないため計測から除いた。

2 層ケースの着床具への藻類の生育場所は Fig. 6 に示した 2 種の方法で, 大型藻類の被度, 大型藻類の着生深度を求めた。

被度の求め方: 2 層ケースの着床具は, Fig. 4 (a) のように 4 本の透明な棒と上下蓋で固定された束を, Fig. 5 のように横向きに配置した。各束は Fig. 6 (a) の向きで, ケースに横 5 束, 上下 2 層に配置された。着床具を分解して着床板 (Disc) の上面 (Upper surface) 方向から見ると, 藻類の生育する着床板側面 [Fig. 6 (a), Side surface の塗りつぶし部] の 4 区 [Fig. 6 (b), 上部 (Upside), 下部 (Underside), また 2 側部 (Side)] が計測対象であり, 着床具ごとに 4 区の被度を 5% 刻みで求めた。計測結果は束ごと ($n=10$) の平均被度 (%) を Fig. 6 (c) のように模式化した。

着生深度の求め方: Fig. 6 (d) のように, 鉛

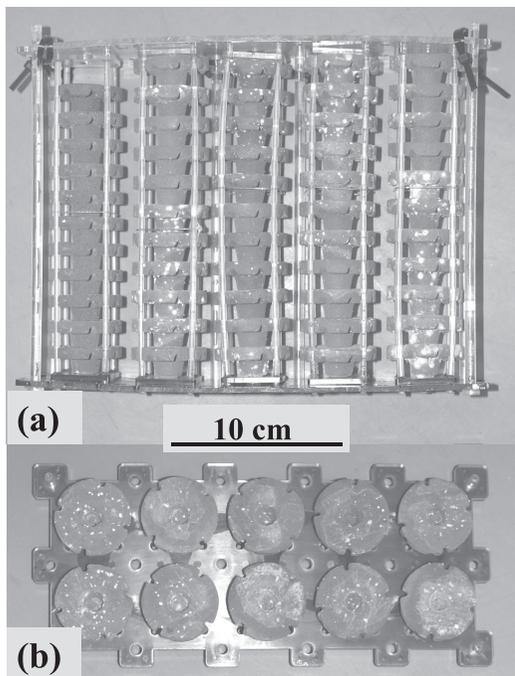


Fig. 7. 06 slag-ceramic case and plate used for Experiment 4. (a) 06 slag-ceramic case divided into halves. (b) Black lower plate of the case used to fix 10 06 slag-ceramic SDs.

直向きになった着床板 (Disc) の上面 (Upper surface) と下面 (Lower surface) に生育した藻類の最上部からの着生深度 (mm) を Fig. 6 (e, f) の矢印のように計測し ($n=50$), ケースごとの平均値を求めた。

2.2.4 実験 4

06-スラグと 07-スラグを用い, 2007 年と 2009 年に, 茨城水試の水槽で実験を行った。これらの着床具は, 実験 3 で用いたケースの上下蓋を半文にして, 束を 1 層にして固定した [Fig. 7 (a), 以下, 1 層ケース]。また 2007 年には, ケース下蓋 (黒色) に 10 個の 06-スラグを水平に固定したものを用いた [Fig. 7 (b), 以下, プレート]。2009 年には, 07-スラグ 16 個を, 実験 3 で用いた樹脂製スノコ [Fig. 5 中央, 30 cm×24 cm, 以下, スノコ板] に水平に固定して用いた。

2007 年 11 月 24 日, 屋内水槽の水深 0.2 m 層と 0.8 m 層に, それぞれ 1 層ケース 4 個とプレート 4 枚を配置した。着生は実験 1 と同じ方法で行ない, 着生の 51, 90, 112, 139, 187, 205 日後

に観察を行った。観察にあたってはケースやプレートを覆った珪藻類や浮泥は, 軽くゆすって落とすだけにとどめ, 各着床具にアラメが生育しているか否かを目視で調べた。アラメを傷める恐れがあるため, 株数や寸法の計測は行わなかった。

2009 年 11 月 9 日, 屋内水槽に 06-スラグ 1 層ケース 12 個と 07-スラグ 16 個を固定したスノコ板 3 枚を水深 0.2 m に設置し, 濾過海水掛け流しとエアレーションを行なった。翌 10 日に竹岡海岸で成熟したアラメを 15 株採取して茨城水試に運び, 3 時間の陰干しの後に 2007 年同様に遊走子を放出させる実験を行なった。実験の当日は水槽の海水中の遊走子数の計測と, 着床具への遊走子着生状況の観察を行った。その後は実験開始 167 日後まで概ね 1 週間ごとに, 着床具を覆った珪藻類を柔らかい刷毛で軽く清掃し, スノコ板の着床具 3 個を研究室に持ち帰った。持ち帰った着床具は, 初期の観察にはデジタル顕微鏡 (Keyence 製 VH-5500, ×100-1000) を用い, アラメが目視できる大きさに達した 60 日後以降は, ピンセットでアラメを採取してスケールとともに撮影し (OLYMPUS E330, 35 mm f3.5), 写真から全長を計測した。

3. 結果

3.1 実験 1

2003 年に実験を行ったセットは実験開始後断続的に目視観察を行った。着床具表面を大量の珪藻類が塊状になって覆っていたため, アラメの生育状況は確認できなかった。2004 年 2 月 26 日に着床具 2 束 (20 個) を回収したが, アラメは生育しておらず, 水槽中で着床具束を軽くゆすって珪藻類を掃除すると, 着床具の表面は実験開始時と同様に素焼きの瀬戸物が現れ, 綺麗になった。2004 年 10 月 19 日に残った 300 個を回収したが, 2004 年 2 月と同じ状況であった [Fig. 3 (b, c)]。

2004 年に実験を開始した着床具について断続的に観察を行ったが, 2003 年に実験を行なった着床具と同様に珪藻類が厚く着床具の表面を覆っていた。そのまま放置してアラメの生育を待たせたがアラメは観察できなかった。3 年後の 2007 年 12 月 24 日に 960 個の着床具を回収したが海藻は何ら生育していなかった。珪藻類の生育は, 着床具束の最上段の上面がもっとも多く [Fig. 3 (b)], 重ねた着床板の側面がそれに続き, 着床板間の横溝の中には見られなかった [Fig. 3 (c)]。

3.2 実験 2

2005 年 10 月に実験を開始した着床具 (クボミ) は, ヒドロ虫類, ウズマキゴカイ類, アオサ類,

Table 2. Wet weight of growing seaweed on horizontally fixed 06 slag-ceramic SDs deployed at three depths in Experiment 3.

Depth (m)	No. of SD	Wight of Algae (g)		Total weight composition of algae (%)			
		Range	Mean \pm SD	<i>Ulva</i>	<i>Chondrus</i>	<i>Gelidium</i>	Others
0*	16	3.2-5.26	4.02 \pm 0.72	100	0	0	0
0.2*	12	1.83-5.67	4.51 \pm 1.10	37.7	62.3	0	0
2**	16	2.76-7.7	4.04 \pm 1.22	1.4	74.6	17.0	0.94

*Ena bay, Kanagawa Prefecture. Deployed: October 28, 2006. Sampled: May 25, 2007.

**Takeoka, Chiba Prefecture. Deployed: October 29, 2006. Sampled: June 05, 2007.

浮泥などに薄く覆われていた。2006年7月7日に回収して着床具660個を観察した結果、3株のカジメ（全長5-6cm）を確認できた。仮根は着床板の側面と上面にわたって伸びていた [Fig. 4 (c)]。

3.3 実験3

実験は江奈（0m, 0.2m）と竹岡（2m）の2カ所で行なったが、水深の違いで着生した大型藻類が異なっていた。そこで計測結果は、0m, 0.2m, 2mの3水深のデータとしてまとめた。

スノコ板に水平に固定した06-スラグ (Fig. 5) は、3水深とも着床板の上面から側面がびっしりと大型藻類に覆われ、いずれも被度は100%であった [Fig. 8 (a, b)]。生育した海藻の種類や湿重量を Table 2 に示した。0m深はアオサ類、0.2m深はツノマタ類が多くアオサ類がそれに続いていた。2m深はツノマタ類が主でマクサ類が混じっていたがアラメは確認できなかった。06-スラグ1個あたりに生育していた藻類の湿重量は3層ともに平均4g以上であった (Table 2)。

2層ケースのクボミと06-スラグも (Fig. 5)、水深によって藻類が異なっていた。0.2m深と2m深では、クボミ、06-スラグともに、藻類は Fig. 9 (a) のようにケース上面を密に覆い、各着床具の境界は目視による確認はできなかった。0m深は大型藻類が少なく、着床板 (Disc) の側面 (Side surface) 上部 (Upside) を覆うのみで、着床板間の隙間にはあまり生育していなかった。Table 3 に、着床具に生育していた藻類の湿重量と構成比を示した。0m深は、クボミはアオサ類のみ、06-スラグはアオサ類が主でツノマタ類が1割ほど混じっていた。0.2m深はツノマタ類が主であった。2m深はツノマタ類が主で、マクサ類が3割弱混じっていた。アラメは、2m深に設置したクボミのケースに1株だけ確認できた。着

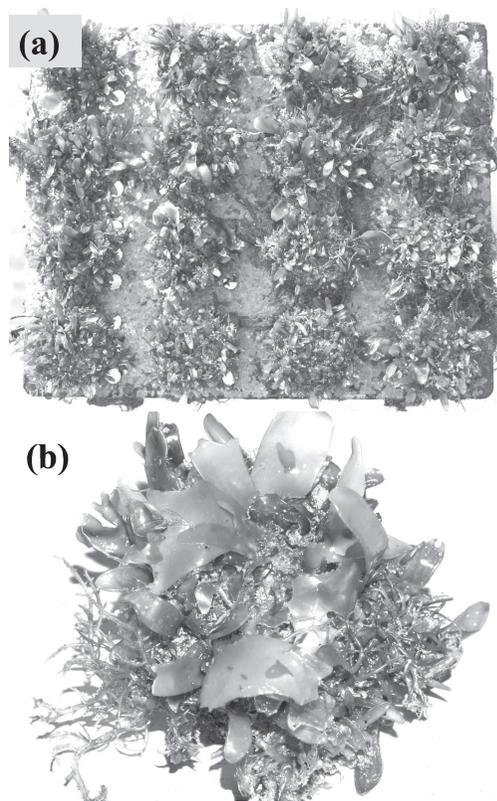


Fig. 8. Seaweed growing on 06 slag-ceramic SDs fixed on a drain board in Experiment 3. Deployed at a depth of 2 m in Takeoka between October 29, 2006 and June 05, 2007. (a) 16 06 slag-ceramic SDs covered by *Chondrus* and *Gelidium*. (b) Separated 06 slag-ceramic SD.

床具1個あたりの藻類の湿重量は、0m深は06-スラグが多かったが、0.2m深、2m深ともにクボミのほうが多かった (Table 3)。ただし、どの深度帯も着床板を水平に固定した06-スラグの生

Table 3. Wet weights of growing seaweed on upper five units (n = 50) of hollow china SD case and 06 slag-ceramic SD case deployed at three depths in Experiment 3.

Type of SD	Depth (m)	Weight of Algae (g)		Total weight composition of algae (%)			
		Range	Mean ± (SD)	<i>Ulva</i>	<i>Chondrus</i>	<i>Gelidium</i>	Others
Hollow china	0*	0.25–1.67	0.68 (0.72)	100	0	0	0
	0.2*	0.99–4.28	2.28 (1.01)	0	99.1	0.5	0.4
	2**	2.16–5.58	3.40 (0.97)	0.1	68.5	28.7	2.7
06 slag-ceramic	0*	0.52–1.94	1.02 (0.41)	90.9	9.1	0	0
	0.2*	0.39–3.51	1.58 (0.87)	3.8	96.2	0	0
	2**	2.6–3.64	2.17 (0.63)	0.1	71.4	26.5	2

*Ena bay, Kanagawa Prefecture. Deployed: October 28, 2006. Sampled: May 25, 2007.

**Takeoka, Chiba Prefecture. Deployed: October 29, 2006. Sampled: June 05, 2007.

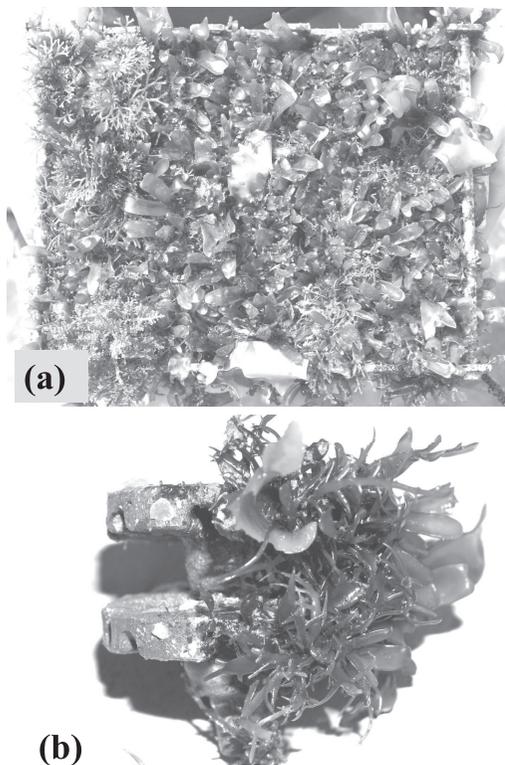


Fig. 9. Seaweed growing on a 06 slag-ceramic SD case in Experiment 3. Deployed at a depth of 2 m in Takeoka between October 29, 2006 and June 05, 2007. (a) Upper side of a 06 slag-ceramic SD case covered by *Chondrus* and *Gelidium*. (b) Seaweed was growing on the upper side of the side surfaces of the disc exposed to the sun, given that the discs of SDs were fixed vertically in the case.

育量 (Table 2) には及ばなかった。

2層ケースの着床具に生育した大型藻類は、Fig. 6に示した2種の方法で、大型藻類の被度(%), 大型藻類の着生深度(mm)を求め、Figs. 10–12に示した。

クボミ [Fig. 10 (a–c)] は、0.2 m 深、2 m 深とも上部 (Upside) の藻類被度はほぼ 100%であったが、0 m 深の被度は 37–77%と低かった。着床板側面 (Side surface) の測部 (Side) や下部 (Underside) で光が十分にあたらない場所には藻類は生育していなかった。06–スラグでは [Fig. 11 (a–c)], 0 m 深と 2 m 深の上部被度はほぼ 100%であったが、0.2 m 深では食害の影響と考えられた疎らな着床具も見られた。

各ケースの着床板 (Disc) の上面 (Upper surface) ・下面 (Lower surface) での着生深度は、クボミ [Fig. 12 (a)] では上部にわずかに着生し、06–スラグ [Fig. 12 (b)] のほうがより深くまで着生していた。面の凹凸と着生部位については、クボミは、窪みのある上面よりも平らな下面のほうが深くまで着生していた。06–スラグは、平らな上面のほうが溝のある下面よりも深くまで着生していた。

その他、観察により、0 m 深における、2段ケース上段のクボミと 06–スラグへのアオサ類の着生状況には極めて大きな相違があった。クボミの場合、アオサ類は仮根の部分まで簡単に剥れて株数を計測できたが、剥した着床具表面には他の付着生物類 (ウズマキゴカイ類, サンゴモ類, コケムシ類など) が生育していた状況が観察された。06–スラグの場合、表面にアオサ類が密生して株数の計測が出来なかった。これをナイフで削っても (着床具はナイフでは削れない) 微細な葉体の一

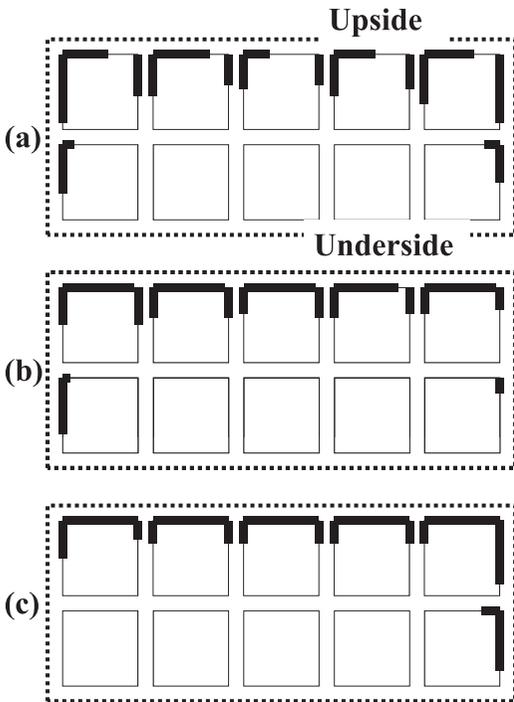


Fig. 10. Seaweed cover [average (%) of 10 SDs] on the four sides of hollow SD units in Experiment 3. (a) 0 m, (b) 0.2 m, (c) 2 m.

部が着床具表面から内部に入り込んでいて、完全には削り採れなかった。

3.4 実験 4

2007年11月に開始した実験は、1層ケースとプレート水槽の0.2 m深と0.8 m深に配置した。0.2 m深では着生51日後にアラメは確認できなかったが、90日後、ケースの着床具全て（着床板は鉛直。n=220）とプレートの着床具全て（着床板は水平。n=40）に、2~5 cmに成長したアラメを確認できた。以後、112, 139, 187, 205日後に観察を行った [Fig. 12 (a, b)]。この間アラメは成長を続けたが、アラメが育った着床具の数は、Table 4に示したように、139日後は約8割に減少し、205日後にはほぼゼロとなった。0.8 m深のものは、1層ケースの着床具（n=220）に140日後にだけアラメが13個の着床具に生育していた。

2009年11月に開始した実験では、スノコ板の07-スラグにアラメが着生し、その初期成長過程を観察できた。母藻投入（朝10時の水温16.6°C）

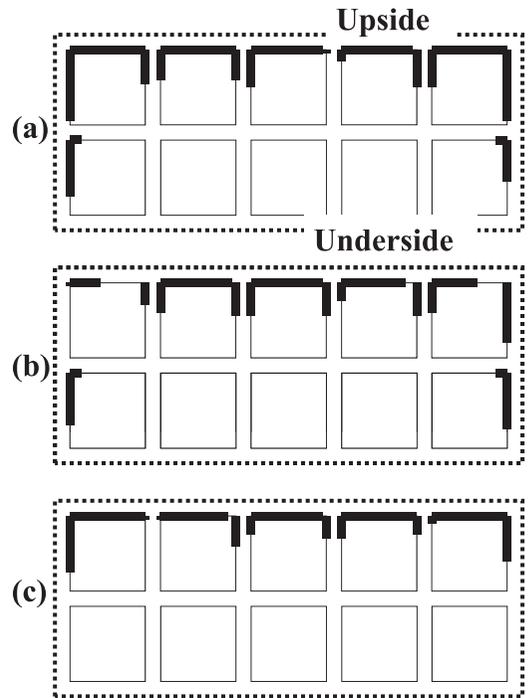


Fig. 11. Seaweed cover [average (%) of 10 SDs] on the four sides of 06 slag-ceramic SD units in Experiment 3. (a) 0 m, (b) 0.2 m, (c) 2 m.

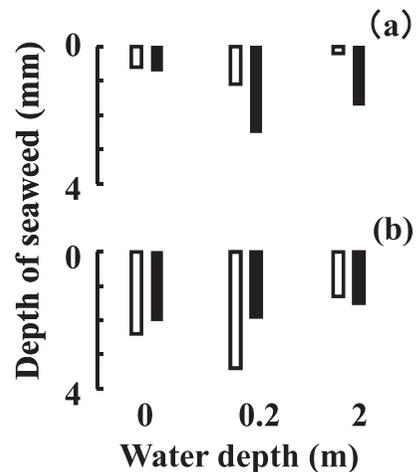


Fig. 12. Average seaweed settlement depth (mm, n = 50) of the upper (open bar) and lower surfaces (solid bar) of the disc in Experiment 3. Upper five units of an SD from each case are analyzed. (a) Average depth of a seaweed settlement on hollow china SD cases. (b) Average depth of a seaweed settlement on 06 slag-ceramic SD cases.

Table 4. Number of 06-slag-ceramic SDs with growing *Eisenia bicyclis* on Experiment 4.

Depth (m)	No. of SD and direction of disc		No. of algal growing SD (% of total SD) 90–205 days after settlement				
	No.	Direction	90	112	139	187	205
0.2	40	Horizontal	40 (100)	40 (100)	35 (87.5)	15 (37.5)	0
	220	Vertical	220 (100)	220 (100)	172 (78.2)	38 (17.3)	2 (0.9)
0.8	40	Horizontal	0	0	0	0	0
	220	Vertical	—*	—*	13 (5.9)	0	0

Settlement: November 24, 2007. *: Could not recognize by visual observation.

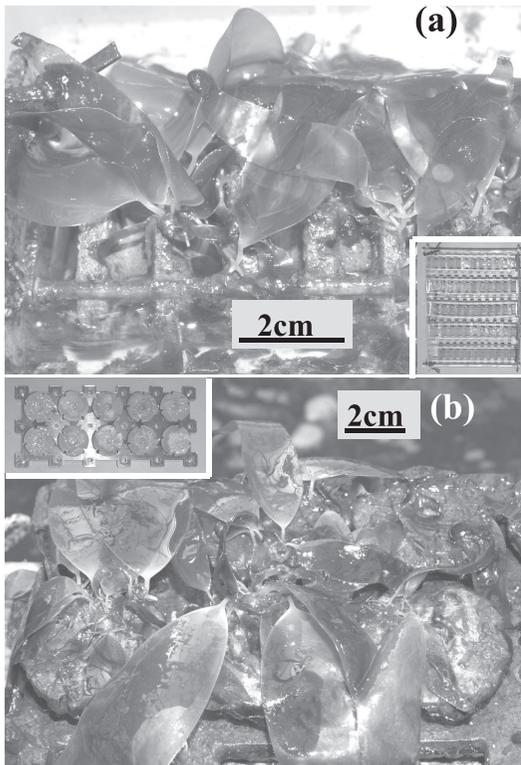


Fig. 13. *Eisenia bicyclis* growing on 06 slag-ceramic SDs in Experiment 4 112 days after settlement on November 24, 2007. (a) Side view of an SD case. (b) Bird's-eye view of SDs fixed on the plate.

から12時間後に遊走子の着生を確認し、8日後(15.3°C)に全長10~20 μ mの配偶体を確認、15日後(14.5°C)には約30 μ mの孢子体を確認した。孢子体は、28日後(15.6°C)には50~100 μ m、43日後(15.6°C)には100~500 μ mに成長した。56日後(10.1°C)には大きな孢子体

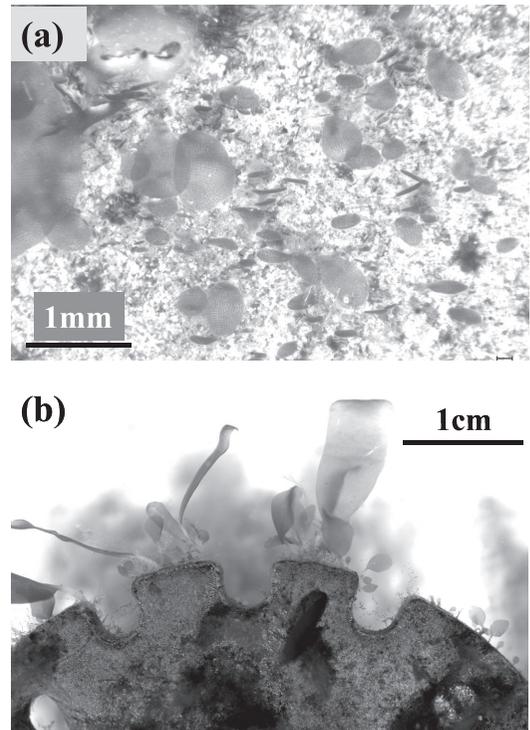


Fig. 14. *Eisenia bicyclis* growing on a 07 slag-ceramic SD in Experiment 4. Settlement: November 10, 2009. (a) 56 days after settlement. (b) 106 days after settlement.

は1mmを超えたが、肉眼では観察が困難な1mm以下の孢子体もたくさん見られた[Fig. 14 (a)]。60日(10.0°C)から167日後(9.6°C)は目視観察で株数と大きさを求めTable 5に示した。60日ころは1mm以下のものが多いため、目視で観察できた幼体の数はさほど多くなかったが、77日(9.6°C)には5mm以下

Table 5. Growth of *Eisenia bicyclis* on three 07 slag-ceramic SDs on Experiment 4. Settlement: November 10, 2009.

Days after settlement	Water Temp. at 10 AM (°C)	Growing <i>Eisenia bicyclis</i> (mm)								
		No.	Length	Mean (±SD)	Size composition in number					
					≤5	≤50	≤100	≤150	≤200	>300
60	10.0	34	0.9–11.2	4.8 (2.1)	25	8				
68	9.6	33	0.8–10.0	4.7 (2.2)	24	8				
77	9.6	65	1.2–14.8	5.1 (2.5)	49	13				
86	9.5	53	1.3–56.0	11.6 (11.6)	22	31				
98	8.5	42	2.2–34.9	10.9 (7.3)	11	41				
106	8.6	57	2.2–84.8	14.8 (12.5)	9	47	0	1		
114	9.0	39	3.4–110	19.9 (17.5)	1	37	0	1		
124	8.1	54	13.1–121	41.9 (23.5)	0	40	12	2		
140	7.8	20	4.9–180	45.7 (53.4)	1	14	2	1	2	
154	10.3	11	25–151	72.7 (45.2)	0	6	3	2	1	
167	9.6	10	54–305	106 (78)	0	0	6	1	2	1

Settlement: November 10, 2009. Three 06-slag-ceramic SDs from horizontally fixed disks were sampled and analyzed. Deployment depth: 0.2 m.

のものが着床具3個に49株育っていた。98(8.5°C)～114日後(9.0°C)には小さな株の数は急速に減り、1～5 cmのものが主になり、10 cm以上に成長した株が少数みられるようになった[Fig. 14 (b)]。124日(8.1°C)には平均約4 cmとなり、10 cm近くまで育った株が増えてきた。その後は株数が急減し167日(9.6°C)には、10 cmを超える幼体が着床具3個あたり10株生育した状態となった。

4. 考察

4種のセラミック着床具を用いて4種の実験を行い、以下の結果が得られた。(1)セトでは、水槽でアラメを着生させることができなかった。(2)クボミでは、小規模な藻場でカジメをごく少数着生できた。(3)アラメ藻場にクボミと06-スラグを設置したが、アラメは1株のみで他の藻類が密生した。(4)06-スラグと07-スラグに水槽でアラメを着生させ、167日後まで育成した。

4.1 セトとクボミへのアラメ、カジメの着生

素焼きの瀬戸物の着床具(セトとクボミ)を用いた実験1～3までのなかで、目的の海藻を着生できたのは、実験2,3の実際の海域で用いたクボミのみであった。実験2ではカジメ3株(着床具660個)が着生していたが着床具はアオサ類、附着生物や泥に薄く覆われていた。実験3(江奈

と竹岡)は比較的広いアラメ藻場で、多種の藻類が生育しており、着床具はアオサ類、ツノマタ類、マクサ類に密に覆われていた。アラメは2 m深に設置した2層ケースのクボミ(100個)に1株が育っていた。実験3では、0 m深のアオサ類の生育状況から、クボミには他の付着生物類が生育した上にアオサ類が着生した様子が同えた。アラメやカジメの遊走子放出は1ヶ月ほど続くことが知られており(須藤, 1948)、実験2,3ともに、着床具表面に他の付着生物が生育した後の残った薄い膜の上に、少数のカジメとアラメが着生したものと判断した。

4.2 スラグへのアラメの着生

2007年の実験では、実験1(2003, 2004着生)と同様に、着床具表面に繁茂する珪藻類をほとんど除去しなかったが、着生90日後には0.2 m深の全ての着床具にアラメが生育していた。以後も珪藻類の除去はほとんどせず、アラメの生育状況を観察できた。

2009年の実験では、0.2 m深のみで遊走子を着生させる実験を行った。初めての試みとして、柔らかい刷毛を用いて着床具を覆った珪藻類を除去した。アラメが目視で確認できるようになるまで(当初の2ヶ月間)は刷毛が直接着床具表面を擦るような強い除去の操作は控えた。アラメの幼体は、Table 5に示したように、着生77日～124日

後まで、着床具3個に50株ほどが生育しており、刷毛による除去作業が藻類の生育に悪影響を与えた様子はなかった。

水槽で遊走子をスラグに着生させる場合、半日ほど海水に漬けているが、特別な処理は不要である。着生後は、アラメの遊走子や若い胞子体は光を求めて珪藻類と競合するが、柔らかい刷毛で珪藻類を除去するだけで成長する。

4.3 海藻類の着生についての着床具とスラグの特徴

実験3で設置したクボミ2層ケースでは、0m深で生育したアオサ類は、着床具に他の付着生物が生育した後にできた、薄い膜のうえに生育したと判断された。一方06-スラグ2層ケースでは、アオサ類がスラグセラミック素材のなかに入り込んでいた。この着生様式の違いが、0m深のアラメの生育状況に変化をもたらした可能性が高い。クボミではアオサ類のみ生育し (Table 3), 上面被度が37~77%と低かった [図 10 (a)]。それに対し、06-スラグはアオサ類のほかツノマタ類も混在し (Table 3), しかも被度がほぼ100% [Fig. 11 (a)] であった。クボミは生育したアオサ類の仮根が着床具内部に入り込める構造ではないため、アオサの固着力は弱く、時には干出する環境下で被度を減らしたと推察された。一方06スラグは、設置後速やかに着床具にアオサやツノマタの遊走子が強固に固着し、生育できたと考えた。

実験1 (茨城水試) では、セトを用い、濾過海水の室内水槽で遊走子を着生させたが、着床具表面には珪藻類が繁茂してしまった。着床具表面には微細な凹凸がほとんどないため、珪藻類を除去しようとする、アラメの配偶体や小さな胞子体も外れてしまう恐れがあり、除去できなかった。また生育したアラメを確認することはできなかった。実験4の06-スラグでは、遊走子着生実験開始28日後には胞子体の大きさは50~100 μm であった。付着珪藻の生育状況については、2011年10月26日に行なった新型スラグセラミック着床具 (4cm \times 3cm, 厚さ0.7cm) へのアラメ遊走子着生実験の際に観察を行った (田, 2012. 未発表)。実験開始12日後には1mmに満たない付着珪藻の小さな塊が各所にでき、21日後には付着珪藻が着床具全体を薄い膜のように覆い、各所に直径約1mmの塊状のものが観察された。34日後には塊状のものが直径・厚さとも3~5mmに成長して着床具表面の半分以上を覆った。仮にセトに遊走子が着生して育っていても、繁殖が早い珪藻類とは光量の面で競合し、負けた可能性が

高い。

母藻を投入して遊走子を着生させる方法では、遊走子の着生機会は僅か数時間しかない。細いシュロ縄やクレモナロープはワカメやアラメの着生に常用されているが (関山ら, 1998), それらは糸の繊維の間の隙間に遊走子が固着するため、容易に藻類を着生できる。一方、浸漬処理 (soaking) を行なっていない瀬戸物にはそうした遊走子が入り込める隙間を持つ構造はないため、遊走子が着いても海水かけ流しやエアレーションの刺激などによって、容易に滑落する可能性がある。さらに珪藻類との競合がある。濾過海水を用いた育成では、アラメ遊走子放出実験後に他の藻類の遊走子が着生する可能性は小さい。これらのことが実験1で1年経っても3年経っても大型藻類が全く生育していなかった原因であったと判断される。

4.4 大型藻類の着生位置

実験1では、セトを水槽に設置してアラメの着生を試みたが、設置した着床具の上面や側面は珪藻類で厚く覆われた。しかし、重ねた着床具間の隙間の中に珪藻は殆んど生育していなかった [Fig. 3 (b, c)]。実験2では、クボミ着床具660個を用いてカジメ3株を育成できた。当初は着床板 (Disc) の上面 (Upper surface) の凹凸の中に遊走子が着生すると予想していたが、カジメの仮根は着床板の側面 (Side surface) から上面側に伸びており、上面の凹凸の効果とは考え難かった [Fig. 4 (c)]。実験1, 2では、サンゴの場合と同様に着床具を10~11段に重ねて着床板 (Disc) を水平に配置した [Fig. 3 (a), Fig. 4 (b)]。しかし実験1, 2の結果から、水平に重ねた着床具はアラメ、カジメの着生には適さないと判断された。

実験3では、クボミと06-スラグの着床具ケースを横向きに設置して着床板が鉛直方向になるようにし、あわせて06-スラグをスノコ板に水平に配置したものも用いた (Fig. 5)。

横向き2層ケースの着床具は、0m深のクボミが06-スラグにくらべてアオサの被度 [Fig. 10 (a)] と生育重量 (Table 3) は小さかった。また0.2m深に設置した06-スラグでは海藻の被度が低い束があった [Fig. 11 (b)] が、それ以外は着床板側面 (Side surface) の上部 (Upside) を中心に密に藻類が生育していた [Fig. 11 (a, c)]。また2層ケースで光があたりにくい、上段東の下側 (Underside) や下段東の着床具には殆んど藻類が育たなかった (Figs. 10, 11)。上段東の場合も、光のあたり具合により、着床板側面 (Side surface) の光があたっていた上部 (Upside) し

か藻類は育たなかった。着床板を鉛直に設置した場合、着床板側面の全周の半分以下しか藻類の着生には機能しなかった [Figs. 9 (b), 10, 11]。

横向き2層ケースでは、着床板 (Disc) の上面 (Upper surface) と下面 (Lower surface) は、重ねた着床板間の隙間となるが、この部分の藻類の着生深度は板の最上面から最大でも4mmに達しなかった [Fig. 6 (d-f), Fig. 12]。このように、鉛直向きの着床板側面に比べ、着床板の上下面にはあまり藻類は着生しなかった。また、着床板を重ねずに着床板を水平に配置した06-スラグの上面 (Upper surface) と側面 (Side surface) は密に藻類に覆われ (Fig. 8), この配置は効果的と判断された。

2007年に行った実験4では、0.2 m 深で全ての着床具にアラメを生育させることができた (Table 4)。しかし0.8 m 深では着床板を水平に配置した着床具にアラメは着生せず、0.2 m 深に比べると生育遅れのアラメが僅かに確認できたに留まった。0.8 m 深の着床具が浮泥に覆われていたことから、浮泥の被覆 (荒川, 森永, 1994) がアラメの生育不良の原因と判断された。また0.8 m 深の1層ケースでアラメが確認されたのは、鉛直に配置した着床板の側面 (Side surface) 上部 (Upside) ではなく、着床具間の隙間になる、着床板の上面 (Upper surface) と下面 (Lower surface) の上部であった。これは浮泥堆積などの影響がある場合、その悪影響は水平面より鉛直面のほうが小さい (荒川・松生, 1990. ROEROE *et al.*, 2013) ことからである。

4.5 まとめ

以上のことから、セラミック製の海藻着床具に求められる性能をまとめてみる。素材は、スラグセラミックがセトヤクボミよりもアラメやカジメの着生には効果がある。また、スラグでは、柔らかい刷毛で珪藻を除去でき、かつ、そのような操作は、着生したアラメやカジメの遊走子の生残に影響を及ぼさない。着床具の着床板の向きは、浮泥がない場合は水平が、着床板に浮泥が堆積する場合は、着床板を鉛直方向あるいは斜めに設置する必要がある。着床板の上面、下面には溝などの着生面積を増やすための加工は不要で、平板のままでも良い。

今回は、アラメが育った着床具を藻礁や岩盤に固定する実験は行っていない。開発する海藻着床具を容易かつ確実に固定することも重要な課題である。それにより、海藻着床具を設置し、海藻が死んだ場合には、新しい着床具を追加固定する、継続管理型の藻場再生が可能となる。

謝辞

本研究を行なうにあたり、長期間の実験にご支援・ご協力を賜った茨城県水産試験場の皆様、千葉県竹岡天羽漁協の石井登参事、また東京海洋大学修士課程の院生及び卒業生の石本大樹、松本雄二、滝沢孝介、阿部知佳子、今井彩乃氏ほか多くの方々、またアラメ遊走子の着生方法やアラメの育成方法について、東京海洋大学大学院教授荒川久幸博士にご指導を賜った。これら多くの方々へ深謝する。

引用文献

- 荒川久幸, 松生治 (1990): 褐藻類カジメ・ワカメの遊走子の沈降速度および基質着生に及ぼす海中中濁粒子の影響. *Nippon Suisan Gakkai*. **56**, 1741-1748.
- 荒川久幸, 森永勤 (1994): 褐藻類ワカメ・カジメ遊走子の着生率と基質傾斜の関係. *Nippon Suisan Gakkai*. **60**, 461-464.
- 荒武久道 (2009): クロメの分布と藻場造成-宮崎県沿岸. カジメ属の生態学と藻場造成 (能登谷正浩編). 恒星社厚生閣. 東京. 116-140.
- 木村創, 山内信 (2009): 藻場造成の現状と問題点-和歌山県沿岸. カジメ属の生態学と藻場造成 (能登谷正浩編). 恒星社厚生閣. 東京. 53-71.
- 岡本峰雄 (2008): さんご礁. 消える日本の自然 (鷺谷いづみ編). 恒星社厚生閣. 東京. 88-97, 194-205.
- OKAMOTO, M. S. NOJIMA, S. FUJIWARA and Y. FURUSHIMA (2008): Development of ceramic settlement devices for coral reef restoration using in situ sexual reproduction of corals. *Fish Sci*, **74**, 1245-1253.
- 桐山隆哉 (2009): カジメ類の分布変化-長崎県沿岸. カジメ属の生態学と藻場造成 (能登谷正浩編). 恒星社厚生閣. 東京. 93-115.
- 須藤俊造 (1948): 昆布科植物の遊走子の放出, 運動並びに着生 (海藻胞子附けの研究 第一報). *日本水産学会誌*, **13**, 123-128.
- 関山重信, 松本正喜, 川嶋之雄, 栗原智明, 西尾四良, 澤田貴義 (1998): 藻類. **46**, 1-9.
- 田井野清也 (2009): カジメ・クロメの藻場造成-高知県沿岸. カジメ属の生態学と藻場造成 (能登谷正浩編). 恒星社厚生閣. 東京. 72-92.
- 谷口和也 (2008): 海中林. 消える日本の自然 (鷺谷いづみ編). 恒星社厚生閣. 東京. 98-104, 210-218.
- 谷口和也 (1996): 海中林造成の基礎と実践. *藻類*. **44**, 103-108.
- 谷口和也, 秋山和夫 (1982): アラメ配偶体の成長及び成熟に対する水温と光条件. *東北水研研究報告*. **45**, 55-59.
- 野島哲, 岡本峰雄 (2008): 造礁サンゴの北上と白化. *日本水産学会誌*, **74**, 884-888.
- 向井宏 (2008): 海岸. 消える日本の自然 (鷺谷いづみ

編). 恒星社厚生閣. 東京. 68-75, 170-181.

ROEROE K.A. M. YAP and M. OKAMOTO (2013): Development of new assessment methods for *Acropora* coral recruitment using coral settlement devices and holes of marine block. Fish Sci. 79, 617-627. DOI 10.1007/s12562-013-0632-7.

受付：平成 25 年 8 月 26 日

受理：平成 25 年 10 月 28 日