

## 海藻着床具を用いる移植用アラメの種苗栽培法の開発

田 關<sup>1)</sup>・成瀬 香<sup>2)</sup>・岡本峰雄<sup>3)</sup>・鴨下真吾<sup>4)</sup>・山崎幸夫<sup>5)</sup>・松井俊幸<sup>5)</sup>

### Development of seedling cultivation methods for transplantation of *Eisenia bicyclis* using seaweed settlement devices

Kuo TIAN<sup>1</sup>, Kaori NARUSE<sup>2</sup>, Mineo OKAMOTO<sup>3</sup>, Shingo KAMOSHITA<sup>4</sup>,  
Yukio YAMAZAKI<sup>5</sup>, Toshiyuki MATSUI<sup>5</sup>

**Abstract** : We developed a slag-ceramic seaweed settlement device (SSD) to obtain seedlings of young *Eisenia bicyclis* (Kjellman) Setchell for transplantation. Experiments were performed with SSDs in an indoor tank at the Ibaraki Prefectural Fisheries Center. Each SSD was composed of a plate to settle the seaweed and two spacers on the underside of the plate with a hole in their centers. The spacers were designed to provide clearance when SSDs were fixed closely together (500–700 SSDs/m<sup>2</sup>) on a rack (or grating) to settle zoospores of *Eisenia bicyclis* released from their mother plants. *Eisenia* settlements on the top surfaces of SSD grew well in comparison with those on side surfaces. After sporophytes grew to visible size, their growth became faster, and small *Eisenia* grew thickly on SSDs. To prevent the rapid decline in *Eisenia* numbers as a result of competition, units of SSDs were separated and re-bound using bamboo rods with a clearance of 5–9 cm, and re-fixed on racks with 1.5–7 cm clearance (100–200 SSDs/m<sup>2</sup>). SSDs contained a mean of nine 8-cm *Eisenia*, and six 14-cm *Eisenia* and several large *Eisenia* with pinnae (mean 10 cm stipe, 8 pinnae, and 23 cm longest pinna) between 6 months and 14 months after settlement. It is verified that SSDs for transplantation with several types of *Eisenia* growing on them were produced.

**Keywords** : *Eisenia bicyclis*, seaweed settlement device, 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 (KOMATSU, 1997. 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、豊かな生態系が形成されていた (谷口, 2008)。減少するアラメやカジメ藻場を再生させる試みは、海藻礁の設置、投石、母藻の投入、ロープや小型基盤に栽培した海藻の移植など、種々行なわれてきた (谷口, 1996. 清水, 2002. 荒武, 2009. 木村・山内, 2009. 桐山, 2009. 田井野, 2009. 木下, 2009)。

著者らは、多年生藻場 (アラメやカジメ) の再生には、海藻が育った着床具を海中の岩盤等に確実に固定し、その一部が死亡したら着床具の交換を行う、継続管理型の再生技術が必要と考えている。またアラメの着生・栽培・移植を効率的に行うには、海藻専用の着床具が必要と考え、2003

- 
- 1) 浙江海洋学院水産学院  
浙江省舟山市臨城新区長崎島海大南路1号
  - 2) 国際学院中学校高等学校  
〒362-0806 埼玉県北足立郡伊奈町小室 10472
  - 3) 東京海洋大学  
〒108-8477 港区港南 4-5-7 (連絡先)
  - 4) 茨城県庁農林水産部  
〒310-8555 水戸市笠松町 978-6
  - 5) 茨城県水産試験場  
〒311-1203 ひたちなか市平磯町三ツ塚 3551-8
- \* 連絡先：岡本 峰雄  
〒108-8477 港区港南 4-5-7 東京海洋大学  
Tel 03-5463-0489  
E-mail: okamotom@kaiyodai.ac.jp

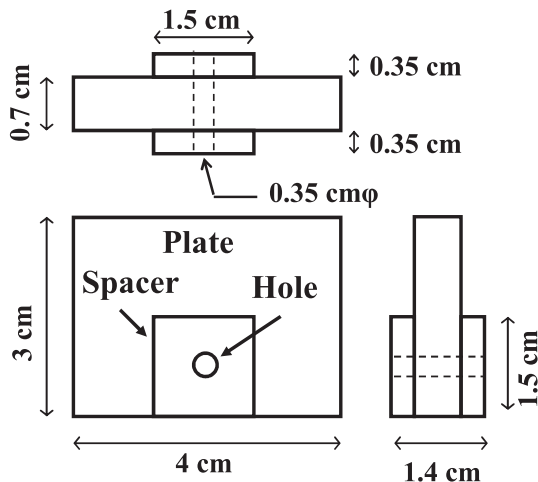


Fig. 1. Size of seaweed settlement device (SSD)

年から 2009 年に、アラメ・カジメの幼体移植のために、着床具を用いる種苗栽培法の開発実験を行なった (田 他, 2013)。その結果、スラグセラミック製のサンゴ着床具 (OKAMOTO *et al.*, 2008) を用いることで、シュロ縄や樹脂ロープと同様、浸漬処理を行なうことなく、室内水槽でアラメの遊走子を着生させ、幼体まで栽培することができた。また、栽培上の 2 つの問題点も明らかになった。一つは、着床具を密に配置したままアラメの栽培を続けると、仮根が伸びて隣の着床具やそこに育つアラメの仮根と絡み、複数の着床具が結合して外せなくなったこと。もう一つは、アラメの成長につれて葉体が密生して光量不足や生育障害が起き、着床具に育つアラメの株数が減少していったことである。

本研究では、海藻着床具の開発、海藻着床具へのアラメ遊走子の着生部位と成長、密に配置した着床具に均等に遊走子を着生させる方法、多数のアラメが育った着床具を得るための着床具の間隔広げ、に関して行なった実験結果について報告する。

## 2. 材料および方法

### 2.1 海藻着床具

サンゴ用のスラグセラミック着床具を用いたアラメ着生実験の結果、アラメの遊走子を着生させる部分 (着床板) の要求性能は次のようであった。「浮泥がない場合は着床板は水平が良い。着床板に浮泥が堆積する場合は、着床板は鉛直方向あるいは斜めにする必要がある。着床板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

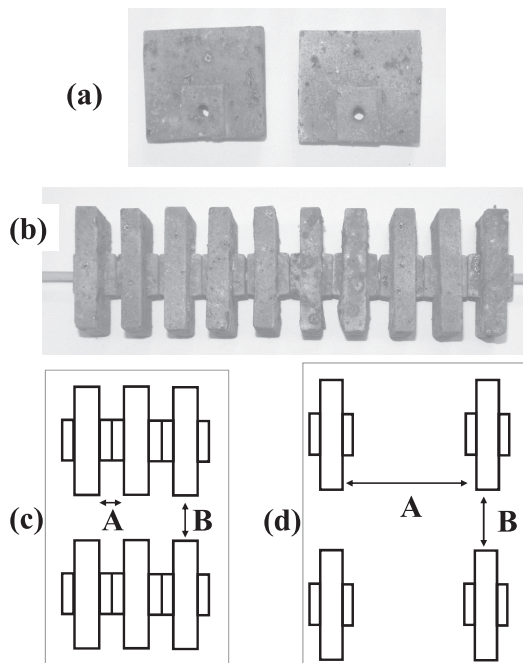


Fig. 2. Slag-ceramic seaweed settlement device (SSD). (a) Side view of SSDs, (b) Bird's eye view of SSD unit: 10 SSDs were connected by bamboo rod 3 mm in diameter, (c) Arrangement of SSD units on rack for the settlement of *Eisenia bicyclis* zoospore. Clearances of each plate of SSD unit (A) was 0.7 cm, and clearance between each SSD units (B) was 1.5–2 cm, (d) Separation of SSDs on rack. Clearances of each plate of SSD (A), and clearance between each units (B).

ままで良い」(荒川・松生, 1990. 荒川・森永, 1994. ROEROE *et al.*, 2013. 田 他, 2013)。こうした着床板を有した着床具を製作するには、その他、次の 3 点の配慮が必要である。(1) 遊走子の着生を水槽で効率的に行なう上で、狭い面積に多数配置できる形状であること、(2) 日照部に着生した遊走子がアラメの幼体に成育するので、着床具は上下に重ねず、一層配置で用いること、(3) 着床具を海藻礁や岩盤に固定するうえで、運搬や固定が容易であること。

これらをもとに、Figs. 1, 2 に示した海藻着床具 (Seaweed Settlement Device; SSD) を開発した。海藻着床具は平坦な着床板 (Plate. 幅 4 cm, 高さ 3 cm, 厚さ 0.7 cm) の両面下部にスペーサ (Spacer. 1.5 cm × 1.5 cm, 厚さ 0.35 cm) を設け、その中央には直径 0.35 cm の穴 (Hole) をあけた。スペーサと着床板からなる海藻着床具の重量

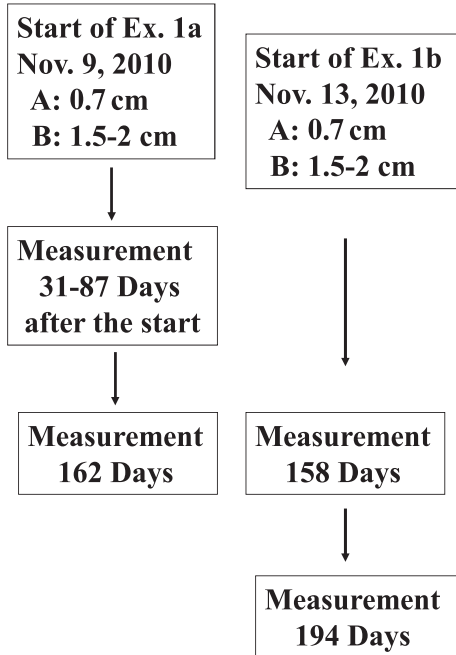


Fig. 3. Diagram of Experiment 1.

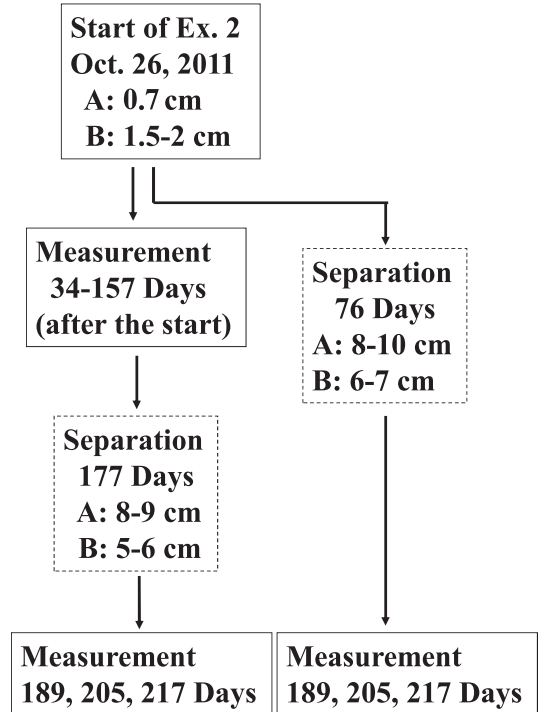


Fig. 4. Diagram of Experiment 2.

は約 16 g である。遊走子を着生させる際は、海藻着床具は立てて [Fig. 2(a)], 竹ヒゴなどで連結して束にし [Fig. 2(b)], それを架台上に密に配置して用いる [Fig. 2(c)]。スパーサは連結時に着床板間に 0.7 cm の隙間を作り、着床具の上面だけでなく側面にも遊走子が着生できるようにした。海藻礁などに着床具を固定する際は、上面に直径 3-3.3 mm の穴をエアドリルで空け、着床具を横向きにして釘を打ち込んで固定する。着床板の有効着生面積は、板の上面、広い両側面（スパーサ部を除く）、狭い両側面で、約 26.5 cm<sup>2</sup> である。

製造法はサンゴ着床具（田 他, 2013）と同様で、製鋼スラグとアルミドrossを混ぜて金型プレス成型し、酸化焼成した。それによって、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（直径 3~10 μm）の強靱な陶器となる。なお海藻着床具の寸法には焼成によってバラツキ（±1 mm 以下）が生じる。

## 2.2 実験方法

2010 年~2012 年に、茨城県水産試験場（以下、茨城水試）の屋内水槽で実験を行った。屋内水槽の建物（約 15 m×30 m）には、実験に用いた 4t

水槽が 32 基配置され、その他、6 基の 6t 水槽や通路や資材置き場が設けられている。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、自然採光であった。明るさは水槽の場所によって異なるが、概ね太陽光照射度の 30~40% となっていた。夜間作業用の蛍光灯はあるが、生物飼育専用の照明は設置されていない。

2010 年の実験 1 (1a, 1b) では、開発した海藻着床具へのアラメの着生部位と生育状況を調べた。2011 年の実験 2 では、遊走子を海藻着床具に均一に着生させる方法と、着床具上に生育したアラメの個体数の変化を調べ、海藻着床具の間隔を広げる時期を検討した。2012 年の実験 3 では、実験 1, 2 で得られた実験結果をもとに、移植用アラメ種苗を得るための手順を確認するために、再度実験を行なった。

Figs. 3-5 に、実験 1 から実験 3 の流れを示した。遊走子の着生を行った実験開始日（Start）、実験開始後の計測を行った日（開始後の日数：Days after the start）、着床具の間隔を広げた日（開始後の日数：Separation）と広げた着床具の

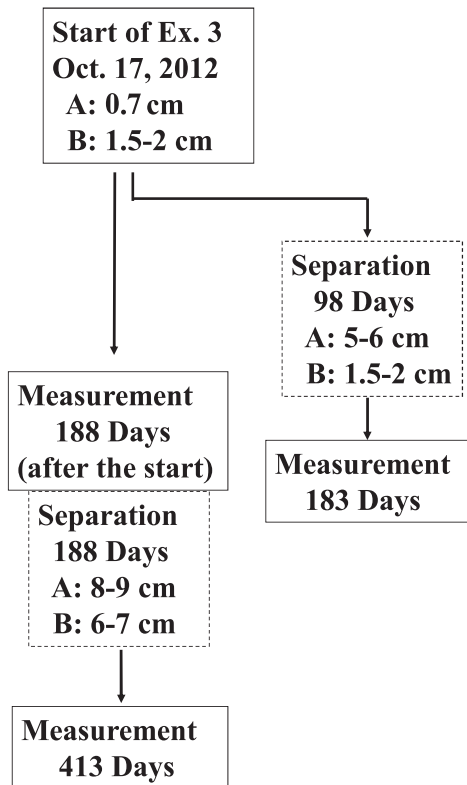


Fig. 5. Diagram of Experiment 3.

隙間および着床具束の間隔を示した [Fig. 2(d)] ; A : 海藻着床具の着床板間の距離 (cm)。B : 海藻着床具の束間の距離 (cm)。なお実験開始日の海藻着床具の間隔は、実験 1 から実験 3 ともに共通であった [Fig. 2(c)。A : 0.7 cm, B : 1.5-2 cm]。

### 2.2.1 実験 1

海藻着床具は 10 個をアルミ線 (園芸用銅メッキ。太さ 2.5-3 mm) で束にし、両端に結び目を作った。ステンレス架台 (1 m × 0.6 m, 高さ 0.15 m) を 4 基用い、それぞれに樹脂製スノコ (30 cm × 24 cm, 高さ 1 cm) 7 枚をプラスチックバンドで固定し、その上に着床具を 40 束 (400 個) ずつ、束間の間隔が 1.5-2 cm になるよう固定した (Fig. 6)。

2010 年 11 月 9 日 (Experiment 1a) と 11 月 13 日 (Experiment 1b) の 2 回にわたって実験を行なった。11 月 9 日に、清掃した屋内 4t コンクリート水槽 (内寸 : 3.5 m × 1.3 m, 深さ 0.9 m) に濾過海水を満たし、架台 2 基を設置した。架台は、4 個の樹脂製フロート (東京化研。FLOTON

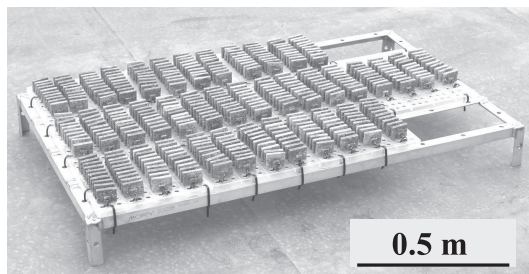


Fig. 6. Stainless steel rack (1 m × 0.6 m, 0.15 m in height) held 40 units (each 10 SSDs) of seaweed settlement devices (SSDs) on Experiment 1.

K-10Z. L201 mm × 189 mm φ) を 4 隅から浮かせ、海藻着床具上面の水深が 0.2 m になるよう設置した。着床具や架台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 個体を採取し、遊走子が放出されやすいように、2 時間半の陰干しを行なった。その後は遊走子が着生しやすいように、止水状態にした実験水槽に 15 個体のアラメを投入した。15 個体の成熟アラメは翌朝取り除き、濾過海水のかけ流し (100-120 ℓ/min) とエアレーション (100-120 ℓ/min) を行なってアラメ遊走子の栽培を開始した。実験開始後 10, 22, 31, 41, 49, 59, 70, 87 日目に着床具を 2 束 (20 個) ずつ採取し、架台や海藻着床具に着生した珪藻類を柔らかい刷毛で除去し栽培を続けた。研究室に持ち帰った海藻着床具 2 束は、アラメの生育状況の観察や生育密度の計測を行った。海藻着床具に着生したアラメが孢子体に成長しても、個体数の目視計数が難しかった 31-49 日目は、デジタル顕微鏡 (Keyence 製 VH-5500, ×100-1000) で計測した (以後、顕鏡計数)。海藻着床具ごとに、着床板の上面中央 (Upper surface) と、2 側面上部 (Higher side surfaces. 3-5 mm from the top) について、Fig. 7 に点線で示した測線 (Measurement lines) で、任意に 10 ヶ所ずつを選んでアラメを計数し、計測対象面積 (観察倍率が異なる) から上面と側面上部の密度 (個体/cm<sup>2</sup>) を求め、着床具 1 束 (SSD-A と SSD-B, 各 10 個) ごとの平均密度 (個体/cm<sup>2</sup>) を求めた。アラメ孢子体が目視できる (数 mm 以上) ようになった 59 日目以降は、顕鏡計数をやめて目視計数を行った。海藻着床具ごとに上面 (2.8 cm<sup>2</sup>) と 2 側面上部 (8 cm<sup>2</sup>) の生育密度 (cm<sup>2</sup>) を求め、1 束ずつの平均密度 (個体/cm<sup>2</sup>) を求めた。その後、実験開始後 162 日目 (2011 年 4 月 20 日) に海藻着床

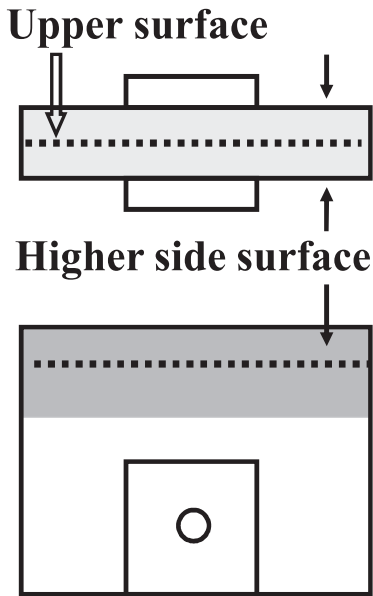


Fig. 7. Measurement lines (dotted line) of minute *Eisenia bicyclis* (<3–4 mm) using digital microscope, and measurement places of larger *E. bicyclis* at upper surface (painted out light, 2.8 cm<sup>2</sup>) and two higher side surfaces (painted out light dark, 4 cm<sup>2</sup>each) of seaweed settlement device (SSD) on Experiment 1.

具 2 束を採取し、生育していたアラメ胞子体の個体数とサイズの計測を行った (Fig. 3)。

2010 年 11 月 13 日 (Experiment 1b) に、前述の 11 月 9 日から実験を開始した水槽とは別の水槽を用いて、架台 2 基を設置し、11 月 9 日開始の実験と同じ方法でアラメ遊走子の着生と栽培を行なった。この実験 1b では、架台や海藻着床具の清掃は断続的に行ない、実験開始後 158 日目 (2011 年 4 月 20 日) に海藻着床具 2 束 (着床具 20 個)、194 日目に海藻着床具 121 個のアラメの計測を行なった (Fig. 3)。

## 2.2.2 実験 2

20 本の竹ヒゴ (直径 3 mm, 長さ 0.9 m) に海藻着床具 40 個ずつ、また 10 本の竹ヒゴに海藻着床具 50 個ずつを通し、それらを 30 本の角棒上 (2 cm×3 cm, 長さ 0.9 m) に、着床具 10 個ずつが連結するようにプラスチックバンドで両端を締めて固定した。樹脂製グレーチング 2 基 (Daikure Co., Ltd. 0.9 m×0.9 m, 厚さ 0.04 m。以下、架台) に、それぞれ角棒 15 本 (海藻着床具 40 個 10 本, 50 個 5 本。海藻着床具 650 個)

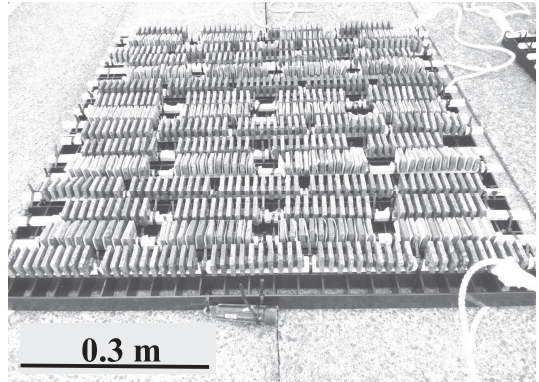


Fig. 8. Plastic grating (Rack, 1 m×0.9 m, 0.04 m in height) held 65 units (each 10 SSDs) of seaweed settlement devices (SSDs) on Experiment 2.

を固定した (Fig. 8)。2011 年 10 月 26 日に、屋内 4t 水槽に濾過海水を満たし、2 基の架台を水深 0.3 m に垂下し、約半日、海水を掛け流しエアレーションを行なった。架台には水温計 (Onset, HOBO U22-001) を設置し、1 時間ごとに計測した。また遊走子を着生中に、海藻着床具に着生した遊走子数の目安を知るため、白色の樹脂紙 (株式会社クレハ製, ポリグリコール酸 (PGA) 樹脂膜, 100 g/m<sup>2</sup>) を 4 cm×3 cm に切って架台の四隅と中央に鉛直向きに取り付けた。同日、千葉県富津市竹岡海岸で成熟したアラメ 13 個体を採取し、茨城水試に運び、約 2 時間の陰干しを行なった。子嚢斑のない葉体は除き、子嚢斑のある部分だけを切り取って着生実験に用いた。水槽の水量は成熟した母藻を投入する前に約 1/3 とし、母藻投入後は、概ね 10 分ごとに、バケツで遊走子密度が濃いであろう下層の海水をすくって着床具上にゆるやかかけ、架台上のアラメは位置を交換した。また母藻投入 30 分後から 30 分ごとに 2 枚の樹脂紙を採取し、デジタル顕微鏡 (×1,000) でそれぞれ 10 ヶ所ずつをランダムに観察し、着生した遊走子の密度を測定した。実験開始の 3 時間半後にアラメを水槽内からとり除いた。その後、水槽を満水にし、実験 1 と同様の量で、濾過海水のかけ流しとエアレーションを再開した。

実験開始から、約 2 週間ごとに、架台や海水着床具を刷毛で清掃するとともに、30 個 (ないし 20 個) ずつ採取した。研究室へ持ち帰った海藻着床具は、実験開始後 34 日目に採取したのから、上面 (Upper surface) と 4 側面からスペーサ部を除いた場所 (Four side surfaces excluding spacer, Fig. 9) に生育したアラメ胞子体の

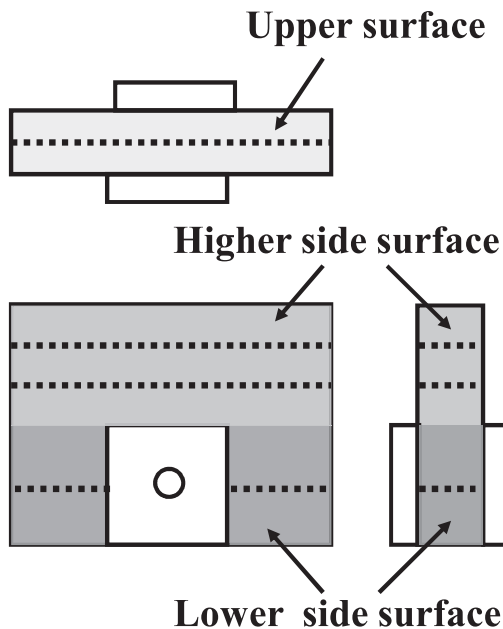


Fig. 9. Measurement lines (dotted line) of minute *Eisenia bicyclis* (<3–4 mm) using digital microscope, and measurement places of larger *E. bicyclis* at upper surface (painted out light dark. 2.8 cm<sup>2</sup>), higher side surfaces (painted out light dark. 14.1 cm<sup>2</sup>), and lower side surfaces exclude spacer (painted out dark. 9.6 cm<sup>2</sup>) of seaweed settlement device (SSD) on Experiment 2.

密度をデジタル顕微鏡で調べた。アラメが目視できる大きさに達した 61 日目以降は、デジタル顕微鏡計数（以下、顕鏡計数）に加え、目視計数も行なった。顕鏡計数は、Fig. 9 に示したように海藻着床具を上面（Upper surface）、側面上部（Higher side surfaces）、側面下部（Lower side surfaces）の 3 区画にわけ、(1) 上面に 1 測線、(2) 側面上部に着床板を 2 周する 2 測線（上面から約 5 mm 下及び約 10 mm 下）、(3) 側面下部のスペーサ部を除いた 1 測線（上面から約 22.5 mm 下）、で行なった。各測線上を顕微鏡の観察画面が重ならないように少しずつずらし、30~70 画面のアラメを数えた。着床具ごとに 3 区画の個体数の平均密度（個体/cm<sup>2</sup>）を求め、さらに計測した着床具（n=30 または n=20）の平均を求めた。目視計数を始めてからは、まず全長 3~4 mm を超えたアラメ胞子体の目視計数を行った。海藻着床具の着生面を、上面（2.8 cm<sup>2</sup>）、側面上部（14.1 cm<sup>2</sup>）、側面下部（9.6 cm<sup>2</sup>）の 3 区画に分け（Fig. 9）、ピンセットで採取して計数

した。その後、残った微細なアラメ胞子体の顕鏡計数を行なった。

実験開始時の密な間隔のままアラメを栽培した海藻着床具は、76 日目または 177 日目に間隔広げを行った。実験開始後 76 日目には、海藻着床具 80 個を 8 本の竹ヒゴに各 10 個ずつ並べ（Fig. 4. Separation. A : 8–10 cm）、それを 8 本の角棒に固定し、架台に間隔を広げて取り付け（B : 6–7 cm）、栽培を続けた（Fig. 4）。実験開始後 177 日目まで密間隔のまま栽培していた海藻着床具 401 個は、全体にアラメ胞子体の数が減少し、またアラメが育った着床具は 338 個（生残率 84.2%）に減っていた。そのなかで複数の大きめのアラメが育った着床具 90 個を選び、9 本の竹ヒゴと角棒に間隔を広げて固定し、架台に取り付け（A : 8–9 cm. B : 5–6 cm）、栽培を続けた。時期を変えて間隔を広げた海藻着床具は、それぞれ同じ一列の 10 個ずつを計測対象とし、実験開始後 189, 205, 217 日目にアラメ胞子体の個体数とサイズを計測した（Fig. 4）。

### 2.2.3 実験 3

着床具は 10 個を竹ヒゴ（直径 3 mm）に通して連結し、プラスチックバンドで両端を締めて束にした。これを、角棒（2 cm×3 cm、長さ 0.9 m）に 3~5 束固定し、実験 2 で用いたのと同じ架台 2 基に着床具 61 束（610 個）ずつを固定した。

2012 年 10 月 17 日に、屋内水槽に濾過海水を満たし、架台 2 基に各 4 個のフロートを付け、着床具上面が水深 0.3 m になるように設置し、約半日、海水を掛け流しエアレーションを行なった。架台には水温計（Onset. HOBO U22-001）を設置し、1 時間ごとに計測した。同日、平磯漁港でアラメ 15 株を採取し、3 時間の陰干しの後に、子嚢斑がある大きな側葉のみ 233 枚を切り取った。実験 2 と同様に、水槽の海水を減らして止水状態でアラメの成熟した葉部を投入して適時緩やかに海水の攪拌を行って遊走子を着生させた。また遊走子を着生中に、実験 2 と同様に樹脂紙を用い海藻投入後 60, 120, 180 分に 2 枚の樹脂紙を採取し、デジタル顕微鏡（×1,000）でそれぞれ 10 ヶ所ずつをランダムに観察し、遊走子密度を測定した。その後アラメを取り除いて水槽を満水にし、実験 1, 2 と同様にアラメ遊走子の栽培を行った。以後は約 2 週間ごとに海藻着床具の清掃とサンプリングを行なった。

実験開始後 98 日目、アラメ胞子体が目視で確認できた海藻着床具 451 個を選び、竹ヒゴと角棒を用いて 15~16 個ずつ間隔を広げて固定し（A : 5–6 cm）、それら 15 組ずつを 2 基の架台に固定

Table 1. Temporal changes in mean densities (ind./cm<sup>2</sup>) of *Eisenia bicyclis* grew on upper surface and two higher side surfaces of two units of seaweed settlement devices (SSDs. Units-A, and-B. Each 10 SSDs) after the start of Experiment 1 on November 9, 2010.

Days after the start	SSD-A		SSD-B	
	Mean ( $\pm$ SD)		Mean ( $\pm$ SD)	
	Upper surface	Higher side surfaces	Upper surfaces	Higher side surfaces
31*	16.1 (15.6)	106.4 (94.8)	0	1.5 (3.0)
41*	2.5 (4.3)	55.5 (58.1)	0	1.2 (3.0)
49*	0.4 (0.7)	3.4 (5.2)	0.2	0.4 (0.6)
59**	1.5 (2.1)	2.7 (4.1)	0.2	0.6 (1.6)
70**	0.2 (0.4)	2.3 (3.4)	0	0
87**	0	0	0	0.5 (0.9)

\*Observed by digital microscope. \*\*Visual observation

し (B: 1.5–2 cm) 栽培を続けた。残った 642 個の着床具は、実験開始時の密な配置のまま栽培を続けた。実験開始後 183 日目 (2013 年 4 月 18 日) に、98 日目に間隔を広げた着床具に生育したアラメの株数とサイズの計測を行った。密間隔の着床具は 188 日目にアラメの株数とサイズの計測を行なった。また同日、密間隔のまま 188 日間栽培を続けた 642 個の着床具から、生育状況の良いアラメが育った着床具 244 個を選び、3 基の架台に間隔を広げて固定した (A: 8–9 cm. B: 6–7 cm)。実験開始 413 日目 (2013 年 12 月 4 日) に、188 日目に間隔を広げた着床具 244 個に育ったアラメの、個体ごとの茎の長さ、側葉の数、側葉の最大長を計測した。

### 3. 結果

#### 3.1 実験 1

2010 年 11 月 9 日に開始した実験 (Fig. 3, Ex. 1a) では、10 日目、全長約 10  $\mu$ m の配偶体を確認した。22 日目には 30–50  $\mu$ m の孢子体を確認、41 日目には 100  $\mu$ m を超えるものを多数確認した。59 日目には最大で約 10 mm となり目視観察が可能となった。実験開始後 31 日目から 87 日目まで行った、海藻着床具 2 束 (1 束 10 個. SSD-A, SSD-B) の観察では、アラメ孢子体の平均密度 (個体/cm<sup>2</sup>) は、Table 1 に示したように、束ごとのバラツキが大きかった。実験開始後 31 日目の観察では、1 束 (SSD-A) は上面と側面上部にそれぞれ平均 16.1 個体、106.4 個体であったが、もう 1 束 (SSD-B) は、上面が 0、側面上部が 1.5 個体であった。その後は個体数が激減し

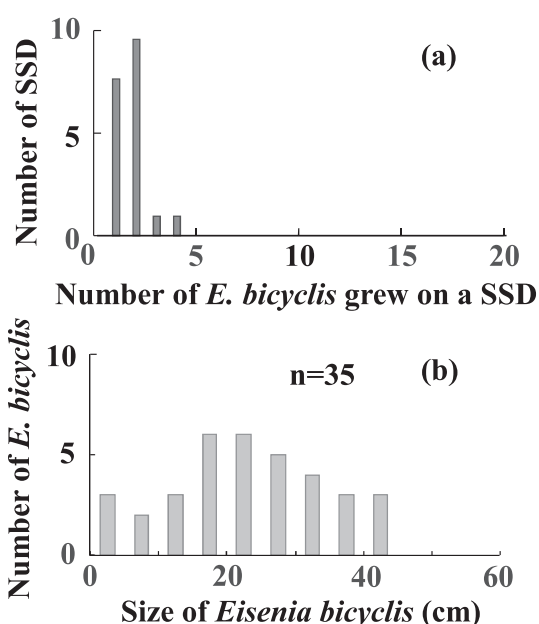


Fig. 10. Number (a) and size (b) of *Eisenia bicyclis* grew on 20 SSDs 162 days after the start of Experiment 1a on November 9, 2010. Thirty five *E. bicyclis* grew on 20 SSDs.

た。実験開始後 162 日目に採取した 2 束の着床具には、Fig. 10(a) に示したように、20 個全てに 1–4 個体/SSD (平均 1.8 個体、標準偏差  $\pm$ 0.8 個体、計 35 個体) のアラメが生育していた。また Fig. 10(b) に示したように、サイズは 5–43 cm

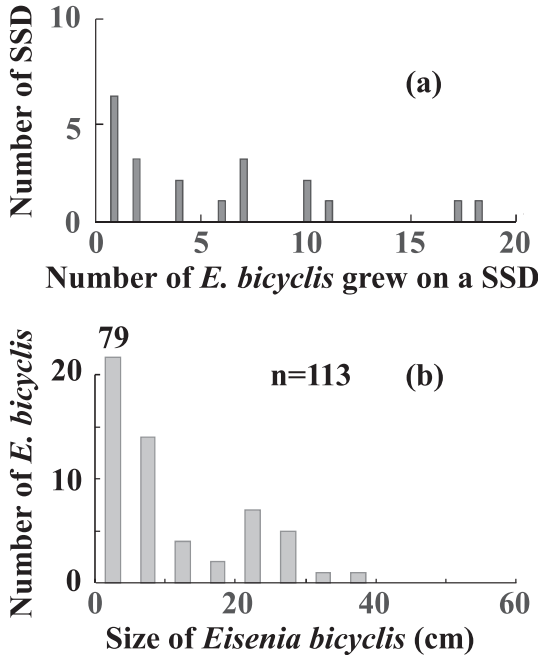


Fig. 11. Number (a) and size (b) of *Eisenia bicyclis* grew on 20 SSDs 158 days after the start of Experiment 1b on November 13, 2010. One hundred and thirteen *E. bicyclis* were grew on 20 SSDs.

(平均 24 cm ± 標準偏差 11 cm) で、15~35 cm の範囲にピークがあった。

11月13日に実験を開始した (Fig. 3, Ex. 1b) 海藻着床具は、着生 158 日後に採取した 2 束の着床具全てにアラメが生育していた。Fig. 11(a) に示したように、総数は 113 個体で、着床具ごとの生育数は 1~18 個体/SSD (平均 5.7 個体、標準偏差 ± 5.3 個体) であった。サイズは Fig. 11(b) に示したように、1~40 cm (6.8 cm ± 8.9 cm) であった。アラメの半数以上は 1~2 cm と小さく、10 cm 以下のアラメが 80% を越えていた。着床具ごとのアラメの生育状況には大きなバラツキがあった。アラメ 10 個体以上が育った着床具 5 個についてみると、大きい 3 個体 (20, 22, 26 cm) と 10 cm 以下 7 個体、大きい 2 個体 (15, 29) と 6 cm 以下 8 個体、5 cm 以下 11 個体、大きい 2 個体 (24, 40) と 10 cm 以下 15 個体、16 cm が 1 個体と 6 cm 以下が 17 個体、であり、これらで半数以上の 66 個体 (11 cm 以上 20 個体のうち 8 個体) を占めていた。また 194 日目に着床具 121 個の計測を行った結果、Fig. 12 に示したように、105 個の着床具 (生残率 86%) に 456 個体のアラメが生育していた。アラメが育っていた着床具

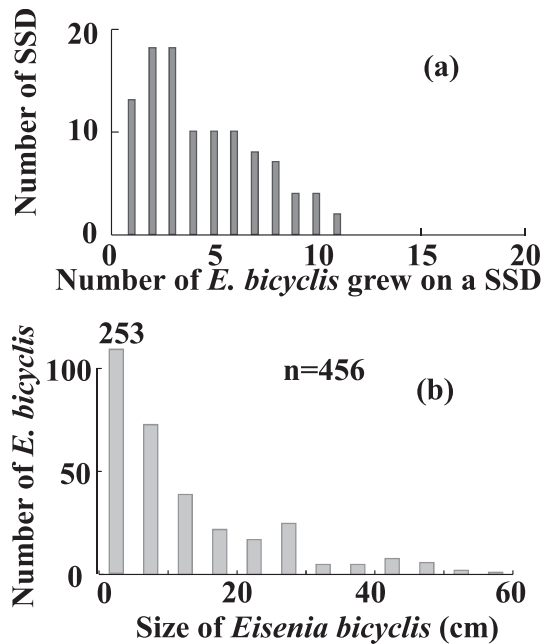


Fig. 12. Number (a) and size (b) of *Eisenia bicyclis* grew on 105 SSDs 194 days after the start of Experiment 1b on November 13, 2010. Four hundred and fifty six *E. bicyclis* grew on 105 SSDs.

(n=105) の、着床具ごとの生育数は 1~11 個体/SSD (4.4 個体 ± 2.8 個体)、サイズは 1~57 cm (10.3 cm ± 12.0 cm) であった。アラメは 158 日目 [Fig. 11(b)] よりも成長していたが、10 cm 以下のものが 72% を占め、着床具ごとの個体数と成長には大きなバラツキがみられた。着床具は遊走子着生時の密な配置のまま、アラメ葉面の密生状態が続いていたため、生育状態の悪い個体や葉体の上部が傷んだ個体が多かった。アラメの仮根は Fig. 13 のように長く育ち、着床具の側面上部から上面に広がって絡み合い、隣接した着床具まで広がっていた。そのため茎の最下部は概ね着床具の上面に位置するようになっていた。

## 3.2 実験 2

### 3.2.1 密に配置した着床具でのアラメの栽培

実験開始 (2011 年 10 月 26 日) から 220 日目までの日平均水温を Fig. 14 に示した。開始日は 18.3°C で、13 日目には低下を始め、50 日目には 12.0°C、105 日目に 9.1°C となった。120 日目には 12°C まで上昇したが再び低下し 140 日目には 8.0°C となり、以後は徐々に上昇した。

水槽にアラメの母藻を投入した後、30, 60, 90,



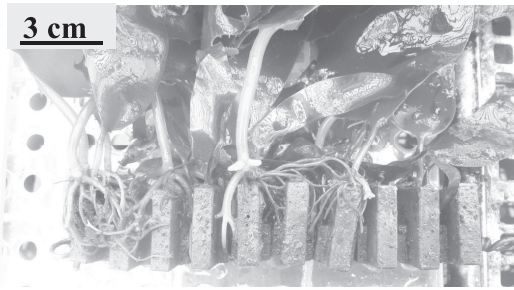


Fig. 13. Side view of a unit of seaweed settlement devices (SSDs) 194 days after the start of Experiment 1: growing sticking roots of *Eisenia bicyclis* twined around SSDs.

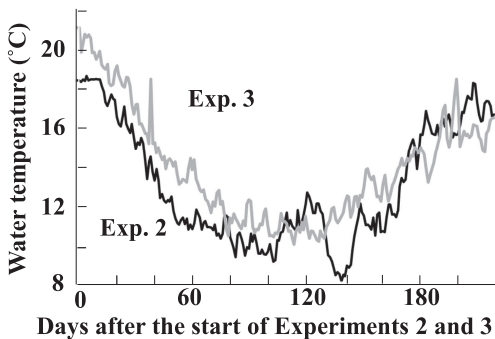


Fig. 14. Mean daily water temperature after the start of Experiment 2 (Dark lines) on October 26, 2011 on, and of Experiment 3 (light lines) on October 17, 2012.

120 分目の樹脂紙へのアラメ遊走子の着生密度 [ind./cm<sup>2</sup>, 平均個体数×10<sup>3</sup> (±標準偏差×10<sup>3</sup>)] はそれぞれ, 6.3 (±5.1), 9.9 (±5.9), 9.6 (±3.9), 9.6 (±3.7) であった。実験開始後 21 日目, 着床具に胞子体を確認した。34 日後には最大で約 0.5 mm の胞子体が成育し [Fig. 15(a)], 50 日後には最大で約 5 mm のアラメが着床具上面に密生していた [Fig. 15(b)]。60 日目には大きなアラメは約 15 mm に成長した [Fig. 15(c)]。

着床具の 3 部分 (上面 Upper surface, 側面上部 Higher side surface, 側面下部 Lower side surface. Fig. 9) に育った, 顕鏡計数アラメの密度 (cm<sup>2</sup>) を, Fig. 16 (a-c. 黒丸) に示した。実験開始後 34 日目から 157 日目まで, 上面が高く [Fig. 16(a)], 側面上段 [Fig. 16(b)], 側面下段 [Fig. 16(c)] の順に低くなっていた。上面は

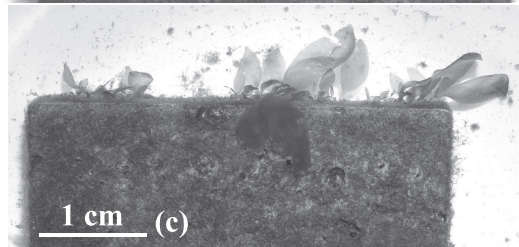
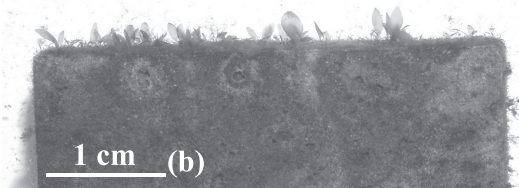
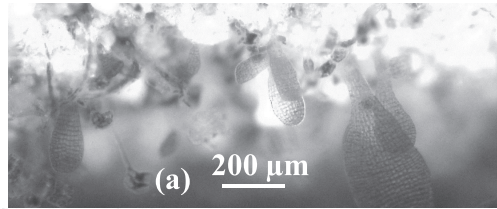


Fig. 15. Growth of sporophyte *Eisenia bicyclis* after the start of Experiment 2. (a) 34 days, (b) 50 days, and (c) 60 days after the start.

34 日目が平均 69 個体 (±71 個体) と最も高く, 50~76 日は減少して 31~33 個体 (±16~25) で推移し, 91 日目以降は急速に減少したが, 157 日目でも 0 個体にはならなかった。側面上段は, 34 日目が最大 (16 個体±23) で, 61 日目までに概ね 1/10 に減少 (1.4±1.9) したが, 76 日目には再度増加し, 91 日目には 34 日目の約半分 (8.6±5.3) まで高くなり, 105 日目には低下 (4.6±2.1) を始め, 141 日以降はほぼ 0 個体となった。側面下段は, 34 日に 2.7 個体 (±3.9) で, 側面上段と同様に, 61 日目 (0.6±1.2) まで減少したが, 再び増加して 91 日には平均 3.4 個体 (±3.3 個体) と最大になり, 以後は減少し 141 日目以降は見られなくなった。

目視計数のアラメ (3~4 mm 以上) は, Fig. 16 (a-c. 白丸) に示したように, 61 日目から計測できるようになった。上面は 76 日目に 19 個体 (±13 個体) と最大になり, 128 日目の 12 個体 (±8.0) までは徐々に減少して以後は急減した。側面上段は, 上面より 10 日以上遅い 91 日目に 3.3 個体 (±1.0) と最大となり, 以後は上面よりも減少が速く 128 日目には殆んど確認できなくなった。側面下段は側面上段と同様, 91 日目に 0.7

Table 2. Mean numbers (ind./cm<sup>2</sup>) and mean lengths of *Eisenia bicyclis* grew on the same 10 SSDs after the start of Experiment 2 on October 26, 2011. Ten SSDs were bound as unit, and 65 units were fixed on a plastic grating (0.9 m×0.9 m), then units of SSDs were separated and re-fixed widely (80 SSDs/grating) on a grating 76 days after the start.

Days after the start	No. of <i>Eisenia</i> on a SSD		Length of <i>Eisenia</i> (cm)	
	Range	Mean (±SD)	Range	Mean (±SD)
189	1–15	6.9 (4.1)	1–49	13.4 (10.7)
205	1–14	5.6 (3.5)	1–37	14.9 (8.4)
217	1–14	5.9 (3.5)	3–36	13.9 (7.9)

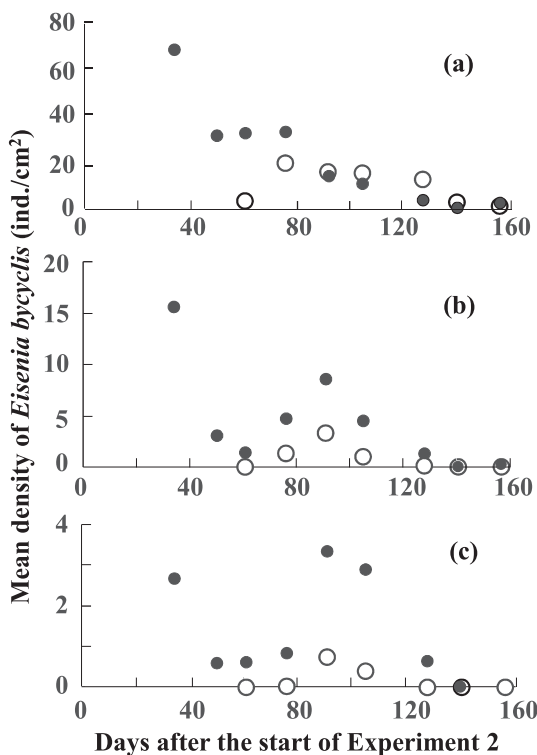


Fig. 16. Temporal changes in mean density (ind./cm<sup>2</sup>) of minute sporophyte *Eisenia bicyclis* (<3–4 mm). Painted circle) observed at four measurement lines by digital microscope and shown at three places of seaweed settlement devices (n=30 or 20), and the mean density of visible *Eisenia bicyclis* (Open circle) grew on three measurement sites of seaweed settlement devices (n=30 or 20), observed after the start of Experiment 2 on October 26, 2011. (a) Upper surface, (b) Higher side surface, and (c) Lower side surface.

個体 (±1.0) と最大になり, 105 日目には 0.4 個体 (±0.6) と減り, 以後は観察できなかった。なお, 側面上部と側面下部で 91 日目にピークとなった顕鏡計数のアラメが, 目視計数のアラメの増加に寄与した様子は見られなかった。

### 3.2.2 着床具の間隔広げ

実験開始後 76 日目に間隔を広げた時の着床具は, 上面に平均 19 個体/cm<sup>2</sup> (標準偏差±13 個体) の目視計数できたアラメが密生し [Fig. 16(a)], 顕鏡計数のものは減少途上 (33 個体/cm<sup>2</sup>±20 個体) であった (Fig. 9)。側面には少数の目視計数できたアラメが育ち始め, 顕鏡計数のアラメは一度減少した後, 再度増加中であった。実験 76 日目に間隔を広げた着床具は, 189, 205, 217 日目に, 同じ 10 個の着床具に育ったアラメ胞子体の計測を行った (Table 2)。217 日目, アラメは平均 5.9 個体/SSD (標準偏差±3.5 個体) が生育し, 平均サイズは 13.9 cm (±7.9 cm) であった。実験開始後 177 日目に間隔を広げた着床具は, 密に配置した状態で長く置かれたため, 10–20 cm の大きなアラメが数個体しか生育せず, 小さな個体が少数育った状態であった。アラメが育っていない着床具も 15.8% に達していた。その中から, 比較的生育状況が良いものを 90 個選んで間隔を広げた。実験開始後の 177 日目に計測対象の着床具を 10 個選んだが, Table 3 に示したように, アラメの斃死が続き, 217 日目にはアラメが育った着床具は 6 個となり, 平均 1.8 個体/SSD (±2.2 個体), 平均サイズは 15.3 cm (±8.2 cm) であった。

実験 2 では, 開始後 76 日目に着床具の間隔を広げることで, 217 日目に, 平均サイズ 13.9 cm (±7.9 cm) のアラメが平均 5.9 個体 (標準偏差±3.5 個体) 育った移植用種苗を得ることができた。

Table 3. Mean numbers (ind./cm<sup>2</sup>) and lengths of *Eisenia bicyclis* grew on the same 10 SSDs after the start of Experiment 2 on October 26, 2011. Ten SSDs were bound as unit, and 65 units were fixed on a plastic grating (0.9 m×0.9 m), then units of SSDs were separated and re-fixed widely (80 SSDs/grating) on a grating 177 days after the start.

Days after the start	No. of <i>Eisenia</i> on a SSD		Length of <i>Eisenia</i> (cm)	
	Range	Mean (±SD)	Range	Mean (±SD)
189	0-9*	2.4 (2.5)	3-36*	15.9 (14.8)
205	0-7**	1.8 (2.2)	1-37**	16.2 (8.4)
217	0-7**	1.8 (2.2)	3-36**	15.3 (8.2)

Number of SSD with growing *Eisenia*: \*9, \*\*6

Table 4. Comparison of numbers of *Eisenia bicyclis* grew on two group of SSDs on Experiment 3 started on October 17, 2012. Fixed closely: 642 SSDs had been cultivated closely on the gratings until 188 days after the start and measured on the day. Re-fixed widely: 451 SSDs that had been cultivated closely until 98 days after the start, then measured 183 days after the start.

No. of <i>Eisenia</i>	Fixed closely		Re-fixed widely	
	No. of SSDs	%*	No. of SSDs	%*
0	38	5.9	18	4.0
1-5	193	30.1	138	30.6
6-10	202	31.5	149	33.0
11-15	126	19.6	84	18.6
16-20	57	8.9	36	8.0
21-25	23	3.5	15	3.3
26-30	3	0.5	9	1.9
31-35			2	0.4
Total	642		451	

\*Percentage show the composition of all SSDs

### 3.3 実験3

2012年10月17日の実験開始から220日目までの日平均水温をFig. 14に示した。開始日の水温は20.9°Cと高く、100日目でも11.0°Cを超え、最低水温は115日目の10.0°Cであり、以後は上昇した。2010年の実験2とくらべると、110日目まで継続して水温が平均1.6°C高かった (t-test.  $p < 0.001$ )。しかしそれ以降 (110日目から200日目) は両年ともに変動が大きく、2012年が平均0.8°Cほど高かった ( $p = 0.03$ )。

水槽にアラメの母藻を投入した後、60, 120, 180分後の樹脂紙へのアラメ遊走子の着生密度 [ind./cm<sup>2</sup>, 平均個体数×10<sup>4</sup> (±標準偏差×10<sup>4</sup>)]

はそれぞれ、1.1 (±0.5), 5.7 (±3.6), 3.0 (±1.1)であった。実験開始からの着床具配置のまま (以下、密間隔) 栽培した着床具642個に育ったアラメを188日目に計測し、着床具ごとのアラメの個体数をTable 4 (Fixed closely), また全てのアラメのサイズ組成をTable 5 (Fixed closely) に示す。実験開始後98日目、アラメが目視確認できた着床具451個を架台2基 (225個と226個) に間隔を広げて栽培し (以下、広間隔), 183日目に計測した、着床具ごとのアラメの個体数をTable 4 (Re-fixed widely) に、また全てのアラメのサイズ組成をTable 5 (Re-fix widely) に示す。密間隔の着床具は、642個中604個にアラメ

Table 5. Comparison of length (cm) of *Eisenia bicyclis* grew on two groups of SSDs on Experiment 3 started on October 17, 2012. Fixed closely: 642 SSDs had been cultivated closely on the gratings until 188 days after the start and measured on the day. Re-fixed widely: 451 SSDs that had been cultivated closely until 98 days after the start, then measured 183 days after the start.

Total length of <i>Eisenia</i> (cm)	Fixed closely		Re-fixed widely	
	No. of <i>Eisenia</i>	%*	No. of <i>Eisenia</i>	%*
1-5	4146	76.7	1858	46.9
6-10	744	13.8	1112	28.0
11-15	256	4.7	463	11.7
16-20	143	2.6	262	6.6
21-25	72	1.3	138	3.5
26-30	29	0.5	83	0.21
31-35	13	0.2	26	0.7
36-40	5	0.1	17	0.4
41-45	1	—	6	0.2
46-50	1	—	—	—
51-55	1	—	—	—
Total	5411		3965	

\*Percentage show the composition of all *Eisenia*

が育ち（生残率 94.0%），また広間隔の 451 個中 433 個にアラメが育っていた（96.0%）。密間隔の着床具（ $n=604$ ）のアラメの個体数は 1~27 個体/SSD（計 5,411 個体。平均 9.0 個体，標準偏差  $\pm 5.7$  個体），サイズは 1~52 cm（ $4.5 \text{ cm} \pm 5.09 \text{ cm}$ ）であった。広間隔の着床具（ $n=433$ ）で，着床具あたりのアラメの生育数は 1~35 個体/SSD（計 3,965 個体， $9.2 \text{ 個体} \pm 6.1 \text{ 個体}$ ），サイズは 1~44 cm（ $8.1 \text{ cm} \pm 6.9 \text{ cm}$ ）であった。広間隔の着床具では，密間隔にくらべてアラメのサイズが大きかった。密間隔では，5 cm 以下の個体が 76.7% を占め，広間隔では 6~25 cm の個体が，密間隔の 2 倍以上に増えていた。密間隔と広間隔では，個体数に有意差はなかったが（ $t$ -test,  $p=0.590$ ），サイズには有意な差があった（ $p < 0.001$ ）。

実験開始後 188 日目に間隔を広げた 244 個の着床具には，413 日目（2013 年 12 月 4 日），220 個（生残率 90.2%）の着床具に 606 個体のアラメが生育していた。中央葉は発達していたが，側葉が育ったものは末枯れが始まったものも多かった。生長については，側葉があるものは茎長，側葉数，最大側葉長を，側葉のないものは茎長と葉長求め

た。アラメの 497 個体（79.4%）には側葉が育ち，109 株には側葉は見られなかった。着床具（ $n=220$ ）あたりのアラメは 1~8 個体/SSD（平均 2.8 標準偏差  $\pm 1.6$ ）であった。

側葉の育った 497 個体は，Tables 6, 7 に示したように，茎長 1~39 cm（ $10.7 \text{ cm} \pm 7.0 \text{ cm}$ ），側葉数 1~17 枚（ $8.0 \text{ 枚} \pm 3.6 \text{ 枚}$ ），最大側葉長 1~57 cm（ $23 \text{ cm} \pm 14 \text{ cm}$ ）であった。側葉が無い 108 個体は，茎長 1~7 cm（ $2.0 \text{ cm} \pm 1.1 \text{ cm}$ ），全長（茎長+葉長）3~45 cm（ $16.3 \pm 8.2$ ）であった。側葉が育ったアラメで大きなものは，Fig. 17 のように仮根が着床具を完全に包みこんでいた。

実験 3 では，密配置のまま栽培して 188 日目に平均 9 個体/SSD（ $\pm 5.7$  個体），平均サイズ 4.5 cm（ $\pm 5.1 \text{ cm}$ ）の種苗，98 日目に間隔を広げて 183 日目に 9.2 個体/SSD（ $\pm 6.1$  個体），平均サイズ 8.1 cm（ $\pm 6.9 \text{ cm}$ ）の種苗，さらに密配置のまま栽培して 188 日目に間隔を広げ，417 日目の 2.8 個体，[側葉の育ったアラメ（90.2%。平均茎長 10.7 cm，平均側葉数 7.9 枚，平均最大側葉長 22.8 cm）または側葉の無いアラメ（9.8%。平均茎長 2.0 cm，平均全長 16.3 cm）] などの各種の移植用種苗を得ることができた。

Table 6. Length of stipe and number of pinna of 497 *Eisenia bicyclis* grew on SSDs 413 days after the start of Experiment 3 on October 17, 2012

Length of stipe (cm)	No. of pinna						Total
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	
1-5	54	62	21	6			143
6-10	9	45	62	35	5		156
11-15	2	5	21	32	14	3	77
16-20	2	5	17	42	7	3	76
21-25			5	17	3		25
26-30		1	1	5	6	1	14
31-35				3	2		5
36-40					1		1

244 SSDs from 604 SSDs that had been fixed closely until 189 days after the start, then 244 SSDs with *Eisenia bicyclis* were separated and re-fixed widely. 413 days after the start, 606 *Eisenia bicyclis* (497: with pinna, 109: no pinna) grew on 220 SSDs.

Table 7. Lengths of stipe and lengths of the longest pinna of 497 *Eisenia bicyclis* grew on SSDs 413 days after the start of Experiment 3 on October 17, 2012.

Length of stipe (cm)	Length of the longest pinna (cm)						Total
	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	
1-5	87	47	8	1			143
6-10	15	70	42	23	6		156
11-15	3	14	21	23	11	5	77
16-20	2	9	20	28	15	2	76
21-25		1	7	11	3	3	25
26-30		1	3	7	2	1	14
31-35			1	2	2		5
36-40				1			1

244 SSDs from 604 SSDs that had been fixed closely until 189 days after the start, then 244 SSDs with *Eisenia bicyclis* were separated and re-fixed widely. 413 days after the start, 606 *Eisenia bicyclis* (497: with pinna, 109: no pinna) grew on 220 SSDs.

#### 4. 考察

スラグセラミック製の海藻着床具を用いて3回の実験を行い、以下の結果が得られた。

##### 4.1 実験1の問題点

今までのサンゴ用着床具を用いた実験（田 他、

2013）では、遊走子放出用のアラメの止水状態の水槽への投入を約3時間とし、その後はアラメを取り除き、濾過海水かけ流しとエアレーションを行なった。

11月9日と13日の2回の実験は、海藻着床具の設置水深は今までと同じ0.2mで、今までは着

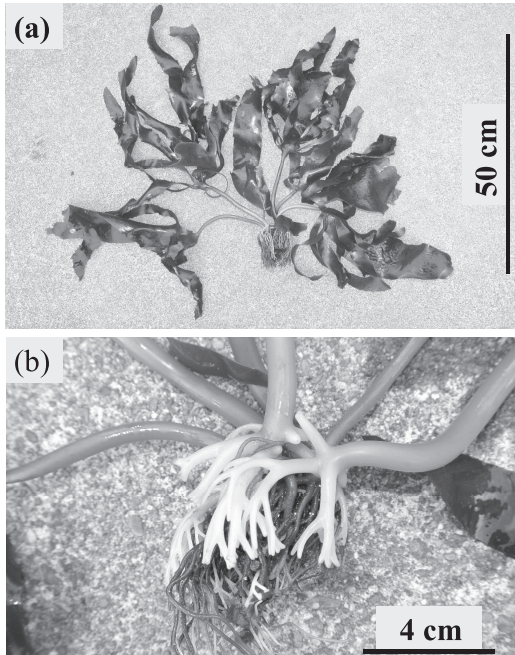


Fig. 17. Example of a seaweed settlement device 413 days after the start of Experiment 3 on October 17, 2012: SSDs were fixed closely until 189 days after the start, and then separated and re-fixed on rack widely. (a) Seven *Eisenia bicyclis* with pinnae, (2) growing sticking roots covered on a SSD.

生約3時間後にアラメを回収していたものを、アラメの投入時刻が遅かったことから、照明の暗い室内での母藻回収を延期し、翌朝回収（+約10時間）とした。11月9日に成熟葉を投入した場合には、遊走子着生数が全体的に少なく着床具間で着生数がばらばらであったため、少数のアラメが大きく生長した。11月13日に成熟葉を投入した場合には、着生数がそれより多く、着生数がばらばらであったため、多数のアラメが小さなまま密生した着床具と少数のアラメが大きく育ったものが混在したと考えられた。

この実験により、(1) アラメ遊走子を全ての着床具に均等に着生させること、(2) 着床具1個に大きなアラメを多数育てることが課題となった。

#### 4.2 遊走子着生法の改善

シュロ縄や細いロープを用いた遊走子着生（関山 他, 1998）は、それらを遊走子液の中で揉むなどして繊維間に遊走子を絡めて着生できる。しかし、平らに密に配置する海藻着床具はそうした

処理はできない（Figs. 6, 8）。架台に配置した海藻着床具は上面が平らなため、葉体が上面を覆った場合、遊走子の着生は阻害される。従来のサンゴ着床具は、円盤型の着床板を鉛直向きにして着生を行なったため、葉体に覆われても、それと密着するのは円盤の最頂部のみで、遊走子が拡散できる空間は確保され、着生数のバラツキが問題にならなかったと推測される。

全ての海藻着床具にアラメ遊走子を均等に着生させるため、(1) 子嚢斑を持たないアラメの葉は水槽に入れない、(2) 海水の遊走子密度を高め、(3) 止水状態でも多少の攪拌を行ない、(4) 投入した葉が同じ場所に留まらないよう適時場所を移動させた。

その結果、実験2では、実験開始後34日目から開始した着床具の観察により、着生密度は高いことが確認できた。同様の着生方法で行なった実験3については、密に配置したままの着床具642個を188日目まで栽培しても、アラメが生育した着床具は94%であった。アラメの生育数は着床具（ $n=604$ ）あたり平均9.0個体/SSD、平均サイズ4.5cmで、小さなアラメが多数育った状態を実現できた。

#### 4.3 着床具間隔を広げる時期

2011年の実験2で得た着床具上面、側面上部、側面下部の顕鏡計数アラメの密度（ $\text{cm}^2$ ）の推移と、目視計数アラメの3部分の生育数（Fig. 16）から、アラメが目視計数できた61日目（上面：2.7個体/ $\text{cm}^2$ ）には、顕微鏡でのみ計数可能なアラメも多数生育し（上面：32個体/ $\text{cm}^2$ ）、目視計数アラメの個体数は増加期にあった。このことから、着床具の間隔を広げるのはこの時点から行えると考えられる。数は76日目（上面：19個体/ $\text{cm}^2$ ）にピークとなり、128日目（上面：12個体/ $\text{cm}^2$ ）までは少しずつ減り、以後は減少速度を速めた。また実験開始後177日目まで密間隔で配置した着床具には、大きなアラメは数株以下しか育っていなかった。さらに338個の着床具から、比較的生育状況の良いものを90個選んで177日目に間隔を広げて計測対象を10個選んだが、アラメの斃死が続き、217日目にはアラメが育った着床具は6個となった。アラメの生育状況が悪化し始める時期に着床具の間隔を広げても、手遅れである。このことから、密間隔に配置した海藻着床具に着生したアラメの栽培は、128日目までが適切である。

実験2の密間隔の着床具は実験開始後177日目にアラメの株数が減少し、葉体が傷んだものも多かったが、実験3では、密間隔188日目のものに

も小さなアラメが広間隔同様に多数（全長は小さいが）、育つという違いがあった。このように2011年は着生実験開始後76日目と177日目の2回、2012年は、98日目と188日目の2回、着床具間隔を広げたが、両年とも最初の間隔広げ（76日目、98日目）では良好な結果が得られた。それに対し、約半年密間隔で栽培したあとの間隔広げ（177日目、188日目）では、アラメの個体数と葉状部長には大きな相違があった。この原因は、Fig. 14に示したように、実験開始後110日目までの水温が、実験3のほうが実験2よりも、平均1.6°C高かったためと考えられる。アラメは水温が高くなると成長が遅くなることから知られている（馬場、2010）。このため実験2では、実験3よりもアラメの成長が早く、競合による株数の減少が、より早く起きたものと推察される。以上のように、海藻着床具の間隔を広げる時期は、遊走子着生後の日数のみで判断するのではなく、着床具上面のアラメが目視観察できるようになってから、ピークを過ぎて、ピーク時の約半数以下になる前に行なうことが重要であろう。実験2, 3で行なったように、1度の着床具の間隔広げで、大きさの異なった移植用アラメを得ることができた。ちなみに、仮根が着床具を完全に包みこんだ状態（Fig. 17）で海藻礁に釘で固定しても、下側のスペーサ部の仮根がつぶれるのみで、アラメ自体を傷つける恐れは少ない。ただし、アラメがこのサイズまで成長すると、現在の海藻着床具の穴（直径3.5 mm）で使用できる釘は約3 mmφまでと細いため、着床具の固定強度の確保が難しい。海藻着床具の穴を直径5.5 mmまで広げれば、約5 mmφまでの太い釘を用いて確実に固定できる見通しが得られた。

#### 4.4 まとめ

スラグセラミック製の海藻着床具を開発し水槽でアラメの遊走子着生を試みた。着床具の上面が平面であるため、アラメの葉体が上面を覆うと、放出された遊走子が拡散するのに必要な空間が閉ざされ、着生数に大きなばらつきが生じた。そこで子囊斑のない葉体は除き、また子囊斑のある部分だけを切りとって、着生に用いた。着生中は水量を減らし、適時、遊走子密度が高いと思われる下層の海水をバケツすくって着床具上にかけ、また着床具上のアラメを適時移動させた。その結果、全ての着床具にほぼ均等にアラメを育てることができた。栽培中に、着床具の上面、側面上部、側面下部に育った若い胞子体の密度を顕微鏡で計数し、アラメが目視できる大きさに成長した後は、目視での計数も加えた。その結果、着床具上面に

着生した遊走子は側面のものより順調に生育し、側面に着生したものは胞子体への成長が遅くなることがわかった。密に固定した着床具の間隔を広げる期間は、着床具上面のアラメが目視できる大きさに生長した時から、ピークを過ぎて、ピーク時の約半数以下（ないし数十株以下）になる前に行なえばよい。遊走子着生後6ヶ月～14ヶ月の間には、8 cmのアラメが9個体育った着床具、14 cmのアラメが6個体育ったもの、側葉が育った大きなアラメ2.8個体のものなど、さまざまな移植用種苗（着床具）を生産できる見通しが得られた。

#### 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論生の石本大樹、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。これらの多くの方々に深謝する。

#### 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 (鶯谷いづみ編). 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.
- 木下順司 (2009): 人工リーフへのカジメ藻場移植と群落の拡大に関する研究. *水産工学*, **45**, 169-178.
- 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.
- 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.

- KOMATSU, T. (1997): Long-term change in the *Zostera* bed area in the Seto Inland Sea (Japan), especially along the coast of the Okayama Prefecture. *Oceanological Acta*. **20**, 209–216.
- 清水浩視 (2002): 大型藻類の種苗生産. 藻場再生技術の開発. *技術開発ニュース*. **98**, 11–12.
- 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.
- 田 闊, 岡本峰雄, 鴨下真吾, 岩田至 (2013): 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. *La mer*. **51**, 105–118.
- 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.
- 馬場将輔 (2010): 室内培養によるアラメ配偶体と幼孢子体の生育に及ぼす温度と光量の影響. *海生研研報*. **13**, 75–82.
- ROEROE KA. 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 26 年 1 月 14 日

受理: 平成 26 年 9 月 10 日