

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

千葉県坂田産オオバモクの季節的消長と再生

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-04-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山野, 旬郎 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1528

修士学位論文

千葉県坂田産オオバモクの季節的消長と再生

平成 28 年度
(2017 年 3 月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
海洋生命科学専攻

山野 旬郎

修士学位論文内容要旨
Abstract

専攻 Major	海洋生命科学	氏名 Name	山野 旬郎
論文題目 Title	千葉県坂田産オオバモクの季節的消長と再生		

近年、植食性魚類の食害による藻場の衰退が日本各地で問題となっており、千葉県南部でも近年、食害の増加が報告されている。千葉県館山市坂田地先では大型褐藻オオバモク *Sargassum ringgoldianum* Harvey ssp. *Ringgoldianum* が周年群落を形成しているが、本種の食害が詳細に調べられた事例はなく、本種の生態と外的環境を総合的に調査した例もない。そこで、本研究では坂田地先のオオバモクの季節的消長、水温環境、食害および再生について調査を行った。

季節的消長については、2014年5月～2016年11月に3地点（水深70～190cm、各5藻体）で標識藻体の継続観察、2015年5月～2016年11月に5地点（水深10～270cm、各5藻体）で地点別の藻体観察を毎月行った。成体では最大葉長、最大主枝長、欠損葉割合等8項目を調べ、幼体では葉の枚数も調べた。調査期間中、ロガーを用い水温を連続的に測定した。また、2017年7月に石膏半球を用いて流速を測定した。食害については、2016年1月に藻体切除実験を行った。切除は成体3段階、幼体1段階に分け（各3～5藻体）、その後の経過を毎月観察した。そのほか、植食性魚類によるオオバモクの嗜好性を調べるため、2016年10月に周辺に生育する大型褐藻類8種のポリフェノール含有量の分析と、周辺で多く見られるアイゴの消化管内容物の観察を行った。

結果、坂田地先のオオバモクの成体は、藻体が最小となる1月以降成長し、8～10月に最大となり成熟した後、10～1月に主枝が大きく欠落した。幼体は10月頃から加入が見られ、2年目に成体となり成熟した。大型の藻体が最も多かった地点は、水深210cmで流速が小さく（約8cm/s）、岩盤上で砂が被りにくい環境であった。葉長と欠損葉割合から、食害は例年4～6月および10～12月に発生することがわかった。特に本種の成熟時期でもある秋季には主にアイゴによると考えられる食害が激しかったが、葉や生殖器床が全て摂餌される程度ではなかった。欠損した生殖器床からは、9～11月頃に生殖器床の再生が認められ、短い生殖器床（3～5mm）でも造卵器や造精器の形成を確認できた。藻体切除実験の結果からは、食害を受けて葉が全て失われても主枝が元のまま残っていればほぼ再生し、翌夏には成熟することがわかった。アイゴの消化管からは、オオバモクの生殖器床が多く認められ、生殖器床のポリフェノール含有量は本種の他の部位よりも低く、他のホンダワラ類と同程度であった。以上、館山の漸深帯上部において、食害は本種の再生を阻害する段階には至っておらず、枝や葉の再生に加え、成熟時期においても速やかに生殖器巣床を再生させることにより個体群を維持している可能性が示唆された。

目次

1. 諸言	1
2. 材料と方法	
2-1. 調査地点の概要	3
2-2. 千葉県館山市坂田地先におけるオオバモクの季節的消長	5
2-2-1. 水温と流速の測定	5
2-2-2. 標識藻体の追跡	5
2-2-3. 新規加入幼体の追跡	6
2-2-4. 年輪の計測	7
2-2-5. 5 地点別の季節的消長	7
2-3. オオバモクの被食と植食性魚類の嗜好性	8
2-3-1. アイゴの消化管内容物の観察	8
2-3-2. 大型褐藻のポリフェノール含有量と粗タンパク質含有量の測定	8
2-4. オオバモク藻体の再生	11
2-4-1. 藻体の人為的切除実験	11
2-4-2. 生殖器床再生部位の観察	11
3. 結果	
3-1. 千葉県館山市坂田地先におけるオオバモクの季節的消長	13
3-1-1. 水温と流速の測定	13
3-1-2. 成体の追跡	13
3-1-3. 幼体の追跡	15
3-1-4. 新規加入幼体の追跡	16
3-1-5. 年輪の計測	16

3-1-6. 5 地点別の季節的消長.....	17
3-1-7. 被食葉割合の季節変化.....	18
3-1-8. 成熟時期	18
3-2. オオバモクの被食と植食性魚類の嗜好性.....	19
3-2-1. アイゴの消化管内容物の観察.....	19
3-2-2. 大型褐藻のポリフェノール含有量と粗タンパク質含有量の測定	19
3-3. オオバモク藻体の再生	20
3-3-1. 藻体の人為的切除実験.....	20
3-3-2. 生殖器床再生部位の観察.....	21
 4. 考察	
4-1. オオバモクの季節的消長.....	22
4-2. オオバモクの形態.....	24
4-3. 生育地点の比較.....	25
4-4. オオバモクの被食.....	26
4-5. オオバモク藻体の再生.....	29
 5. 謝辞	31
 6. 参考文献	32

1. 諸言

ホンダワラ類が形成するガラモ場は多様な生物の生息場であり（斉藤 1980, 難波 2003）, 魚類幼稚仔にとって重要な保護・育成場として機能する（金田 2005）。さらに、一次生産者として環境保全の役割を果たし（村瀬 2001, 2010）, 流失した枝葉は流れ藻として様々な生物の生育場となることで漁業資源の維持に貢献する（大野 1984, 吉田 2010）。

オオバモク *Sargassum ringgoldianum* Harvey は褐藻綱ヒバマタ目ホンダワラ科の海藻で、ガラモ場の主要構成種の 1 種であり、宮城県から静岡県（寺脇・後藤 1986）の本州太平洋岸に分布し、低潮線付近から漸深帯の岩上に生育する（吉崎 2003）。日本海側や西日本に生息する藻体は成熟時期や生殖器床の形状などに違いがあり、亜種のヤナギモク *Sargassum ringgoldianum* Harvey ssp. *coreanum* (J.Agardh) Yoshida (Yoshida 1983) もしくは別種 *Sargassum coreanum* J.Agardh (Dixon *et al.* 2014, Guiry & Guiry 2017) として区別される。オオバモクは円錐状の付着器から 1 本の太い茎を生じ、茎は数回分枝し、藻体の高さは 1~2m になる（Yoshida 1983）。また、本種は多年生で藻体自体は流出せず周年存在することから、比較的安定した群落を周年形成し（中久 1983）、アオリイカの産卵基盤としても利用される（新井・三浦 1991）。

一方、近年は、南日本を中心に、植食性魚類の食害による藻場の衰退および消失が問題となっており、食害が藻体に及ぼす影響にも関心が持たれている（新井 2000, 長谷川ら 2003, 小林ら 2005）。近年の海水温の上昇により、長崎県ではヤナギモクなどのホンダワラ類やアラメ・クロメ類が減少し、植食性魚類の摂食圧の増加、暖海性ホンダワラ類の分布域の北上も確認されている（桐山ら 2002, 桐山・藤井 2005, 桐山 2008, 2009, 長崎県水産部 2012）。植食性魚類のアイゴ類による食害の研究では、他の大型褐藻類と比べてホンダワラ類に対する摂餌圧が大きいことが示され（Mantyka & Bellwood 2007）、ヤナギモクで特に大きいことを野田ら（2011, 2014）が証明し、霜村ら（2005）はオオバモクでも大きいことを明らかにした。そのほか、吉村ら（2006）はアイゴの消化管内容物からヤナギモクの生殖器床が高い割合で確認されたことを報告しているが、近縁の

オオバモクにおいて食害の影響や被食からの再生が調べられた事例はない。植食動物による摂餌については、海藻に含まれるポリフェノール類による摂餌忌避効果（Hay & Fenical 1988, Pavia *et al.* 2002, Connan 2006, 野田ら 2013）やタンパク質含有量による摂餌選択性（Raubenheimer *et al.* 2005, You *et al.* 2014, Schwartz *et al.* 2016）などが報告されているが、魚類に対する効果は明らかではない。

本調査地点の千葉県館山市坂田地先では、オオバモクが水深 1～3m の砂礫帯および岩礁帯に群生しており、特に 2～3m で優占している（寺脇・新井 2001）。近年、坂田地先においても本種の食害が顕著になっており、少なくとも 2007 年にはオオバモクの茎のみが林立する状態が確認されている（貞松 2009）。ヤナギモクについては、徳島県由岐町阿部湾（中久 1983）や福井県小浜湾（Umezaki 1985, 1986）で成長に関する研究が行われているが、オオバモクでは神奈川県三浦半島小田和湾（寺脇・後藤 1986）、千葉県富津市竹岡棚海岸（吉崎 2003）、千葉県小湊（中嶋 1978, 1979：成熟に関して）のみで、いずれも植食性魚類による食害の影響については述べられていない。

そこで、本研究は、坂田地先のオオバモクの季節的消長、被食からの再生および植食性魚類による嗜好性の要因を明らかにすることを目的として行った。

2. 材料と方法

2-1. 調査地点の概要

千葉県館山市坂田地先は、東京湾湾口の房総半島先端部（34.9757 N, 139.7697 E）に位置する（Fig. 1）。坂田地先周辺の海底は、脆く崩れやすい頁岩で、浸食速度の差により、岩面には海岸線と平行に伸びる起伏が観察される。本地先は、湾口部に位置するため海況が変化しやすく、砂地が広がるため海中に懸濁物が多いが、栄養塩類は東京湾内と比較しても非常に低い（千葉県水産総合研究センター 2014, 2015, 2016）。

地点 1（Figs. 2, 3）は、小さな湾の湾岸付近の岩礁の窪み（水深 0.7m）に位置する。砂礫は少なく、ほとんど岩盤が露出しており、オオバモクは岩盤上に群生している。この窪みの周辺には潮が引くと干出する部分があり、5 月には干潮の影響で藻体の一部が黒化する（Fig. 3：右）。本地点は、水深が浅く、沖側に遮る物がないため、波の影響を強く受ける。

地点 2（Figs. 2, 4）は、小さな湾の湾口付近（湾奥の海岸線から約 90m）に位置し、水深は 1.2m ある。海底には砂礫と大小の岩が堆積しており、岩盤が露出している部分もある。台風などで波浪や流れが大きくなると、直径 60cm 程度までの岩は動かされ、砂礫の堆積により地形が大きく変わる。オオバモクは、砂の被らない岩盤や岩の上に群生し、不安定な基質（直径 30cm 以下で動きやすい岩）にも多く着生している。

地点 3（Figs. 2, 5）は、小さな湾の湾口部から約 40m 沖側の水深 1.9m に位置する。海底は、地点 2 と同様、岩盤に砂礫が堆積するが、礫の割合が少なく、砂が厚く堆積する。本地点の沖側には、水面近くまで発達する大きな岩礁が存在する。本地点には、オオバモクの 1 年目と推測される小さな個体が多く、成体はほとんど見られない（2014 年 5 月時点）。また、沖側の岩礁はアラメ優占域になっており、オオバモクはあまり見られない。

地点 A（Figs. 2, 6）は、湾奥の浅瀬、水深 0.1m に位置する。海底は砂地で覆われ、オオバモクは低い岩盤や不安定な基質の上に生育する。他地点と比較して穏やかな海域

であるが、台風などによって砂礫が運ばれると、オオバモクの付着器の上も被る (Fig. 6 : 右)。水深が浅く、地点 1 と同様、5 月には干潮の影響で藻体の黒化が見られる。

地点 B (Figs. 2, 7) は、湾内の湾口部寄り、水深 0.9m に位置し、環境は地点 2 と似る。オオバモクは低い岩盤の上に多く生育し、漂砂の影響を受けやすい。

地点 C (Figs. 2, 8) は、湾岸を形成する岬の先端から約 30m 沖の水深 1.7m に位置する。オオバモクは、高さ 30cm 程の岩盤の上に群落を形成し、砂礫は被らない。本地点の西側には、高さ 1~1.5m 程の大きな岩礁が点在し、岩礁上にはアラメが優占する。

地点 D (Figs. 2, 9) は、小さな湾の湾奥部、水深 2.1m に位置する。本研究での調査地点の中では、最も大きなオオバモクの群落が認められるが、周年を通して海中懸濁物が最も多い。オオバモクが生育する岩盤は海底から緩やかに傾斜しており、岩盤の下部は砂を被る。不安定な基質上に生育する大型のオオバモクも多く確認できる。

地点 E (Figs. 2, 10) は小さな湾の湾口部、水深 2.7m に位置する。環境は地点 D に似るが、水深は調査地点の中で最も深い。岩盤上に生育するオオバモクには砂礫は被らないが、海底の不安定な基質や岩盤下部に生育する藻体には被る。本地点周辺の海底には、時期によって寄り藻が多量に集積する (Fig. 10 : 右)。

2-2. 千葉県館山市坂田地先におけるオオバモクの季節的消長

2-2-1. 水温と流速の測定

水温は、2014 年 5 月～2016 年 12 月の間、地点 1 の海底に重りをつけたデータロガー (HOBO pendant data logger, Onset Computer 社, USA) を設置し (Fig. 11), 1 時間に 1 回の頻度で記録した。

流速については、2016 年 7 月 13 日 14 時 30 分～19 日 11 時 30 分の約 5.9 日間、石膏半球 (PH-80 (有)鈴木理化商会) を海底 6 カ所に設置し (Figs. 12, 13), 石膏半球の初期質量、残質量、浸漬時間などから、川俣 (2001) の以下の計算式に従って絶対流速を計算した。

$$\text{絶対流速: } \bar{U}_{\text{abs}} (\text{cm/s}) = 18.27 \bar{R}$$

$$\text{平均溶解速度: } \bar{R} (\text{mm/日}) = \frac{d_0}{2L} \left[1 - \left(\frac{m_L}{m_0} \right)^{1/3} \right]$$

$$\text{初期直径(mm): } d_0 = 80$$

$$\text{浸漬時間(日): } L = 5.9$$

$$\text{初期質量(g): } m_0 = 201$$

$$\text{残質量(g): } m_L$$

絶対流速計算時に用いる係数 18.27 は 5～17℃の水温範囲ではほぼ近似できるが、本研究では、測定期間の平均水温は 23.3℃であったため、絶対流速は調査地点ごとの相対的な流速として扱う。

2-2-2. 標識藻体の追跡

試料の計測は 2-1 で述べた地点 1～3 において、2014 年 5 月～2016 年 11 月の間、毎月 1 回、SCUBA 潜水により行った。それぞれの調査地点で各 5～6 藻体に結束バンドとタグで標識し (Fig. 14), 毎月計測した。

成体（地点 1, 2 : Figs. 15, 16）では、付着器径（mm : 2014 年 6 月以降）、主茎長（mm : 2014 年 6 月以降）、最大分茎長（mm : 2014 年 6 月以降）、最大主枝長（mm）、最大葉長（mm）、被食葉割合（% : 2014 年 6 月以降）、成熟の有無（2015 年 7 月以降）の 7 項目を計測した。標識した成体は各調査地点でいくつか流出したため、その月に流出藻体と似た大きさの藻体に再度標識し計測を行い、12 カ月以上追跡できたものをグラフに示した。

幼体（地点 2 : Fig. 17）では、付着器径（mm : 2014 年 6 月以降）、主茎長（mm）、最大主枝長（mm）、最大葉長（mm）、被食葉割合（% : 2014 年 6 月以降）の 5 項目を計測した。2 年目以降は成熟の有無も観察した。標識した幼体も成体と同様に流出が見られたため、適宜、追加で標識し計測を行い、8 カ月以上継続して観察できた 5 個体をグラフに示した。

各計測項目のうち、付着器径は最大直径、主茎長は円錐形の付着器上端から最初に茎が分岐する部分の下端までの長さ、最大分茎長は最初に茎が分岐した部分の下端から扁平形の主枝と区別ができる部分までの最大の長さとした（Fig. 16）。被食葉割合は、藻体全体の葉における欠損が見られる葉（Fig. 18）の割合を目視により概数で判断した。成熟の有無については、生殖器床形成および放卵の有無を観察した（Fig. 19）。

2-2-3. 新規加入幼体の追跡

10 月頃から目視で観察できる新規加入幼体を、地点 1 および 2 においてそれぞれ 2 カ所（1a, 1b, 2a, 2b）で観察し、各カ所で最大の 1~3 個体の茎長（mm : 2015 年 2 月以降）、最大主枝長（mm : 2015 年 3 月以降）、最大葉長（mm : 2014 年 11 月以降）、葉の枚数（mm : 2014 年 11 月以降）の 4 項目を毎月計測した。

1b では、成体の陰に生育するが、他の 3 カ所は成体の陰にならない場所で生育している。なお、2b では、観察開始から間もなく、覆砂等による影響で藻体が流出したため、データは示さなかった。

2-2-4. 年輪の計測

オオバモクの付着器断面に見られる年輪は藻体の年齢を表すことが報告されている (Yoshida 1960)。そこで、2014 年 7 月～2015 年 2 月の期間に地点 1～3 において 106 藻体をランダム採集し、付着器を縦断および横断し年輪の計数を行った (Fig. 20)。また、より簡易に付着器径から年齢が推定できるかどうかを確かめるため、各サンプルで付着器径を同時に計測し、付着器径と年輪数から回帰分析を行い、相関関係を調べた。

2-2-5. 5 地点別の季節的消長

地点ごとの藻体各部位の大きさから、その群落におけるオオバモク藻体の特徴を把握し、環境の違いにより藻体の生育状況にどのような変化が見られるかを調べるため、各調査地点で大型の藻体を選択し計測した。

調査は、A, B, C, D, E の 5 地点 (Figs. 2, 6～10) において、2015 年 5 月～2016 年 11 月の期間、毎月 1 回、SCUBA 潜水により行い、大型の 5 藻体を毎月選択し、付着器径 (mm)、主茎長 (mm)、最大分茎長 (mm)、最大主枝長 (mm)、被食葉割合 (% : 2015 年 7 月以降)、成熟の有無 (2015 年 7 月以降) の 6 項目を計測した。計測項目の詳細は 2-2-2. 標識藻体の追跡、と同様である。ただし、毎月の 5 藻体には、同一個体が繰り返し選択されている場合もある。

計測結果は、バートレット検定 (Bartlett test) を用いて等分散性を調べたが、分散の均一性が認められなかったため、計測部位ごとにスティール・ドゥワス (Steel-Dwass) 法を用い多重比較検定を行い、各地点間の有意差を求めた。さらに、藻体の各部位の長さに相関が見られるかを確かめるため、付着器径、主茎長、最大分茎長、最大主枝長の 2 群間においてスピアマンの順位相関係数 (Spearman's rank correlation coefficient) を計算し、相関関係を調べた。統計ソフトには R ver. 3.2.3 を用いた。

2-3. オオバモクの被食と植食性魚類の嗜好性

2-3-1. アイゴの消化管内容物の観察

長崎県では、アイゴ *Siganus fuscescens* の消化管内容物からヤナギモクの生殖器床が高い割合で確認されている（吉村ら 2006）ことから、坂田地先で最も多く見られる植食性魚類アイゴの食性を調べるため、消化管内容物の観察を行った。館山湾では、秋季にアイゴによる食害が激しくなる（秋山ら 2009）ことから、2015 年 10 月に調査地点周辺の湾内でアイゴの成魚 4 尾（標準体長 27.5~28.5cm, Fig. 21）を釣りにより採集し、直ちに冷凍し研究室に持ち帰り、解凍後、消化管内容物を観察した。また、2016 年には調査地点周辺でアイゴが採集できなかったため、9 月に館山湾の定置網に入ったアイゴの若魚 7 尾（標準体長 10.0~13.5cm, Fig. 22）の消化管内容物を観察した。消化管内容物はオオバモク、アラメ・クロメ、紅藻、緑藻・その他の 4 項目に分け、湿重量を計測した。

2-3-2. 大型褐藻のポリフェノール含有量と粗タンパク質含有量の測定

藻体のポリフェノール含有量の測定に用いたサンプルは本地先で食害が激しくなる 10 月（2015 年）に、調査地点周辺で生育している大型褐藻類 8 種（オオバモク *Sargassum ringgoldianum*, ノコギリモク *Sargassum macrocarpum*, ヤツマタモク *Sargassum patens*, ヒジキ *Sargassum fusiforme*, トゲモク *Sargassum micracanthum*, タマハハキモク *Sargassum muticum*, アカモク *Sargassum horneri*, アラメ *Ecklonia bicyclis*）を使用した。そのうち、オオバモクは、成体の葉、生殖器床、2 年目幼体の葉、新規加入幼体の葉の 4 部位、ノコギリモクは葉および生殖器床の 2 部位、アカモクは幼体の初期葉、その他の 5 種の海藻は成体の葉を使用し、計 12 試験区各 5 サンプルを分析した。

採集した藻体は、海水で洗浄した後、研究室に持ち帰り、葉状部または生殖器床を 0.1~0.2g（湿重量）に切り出し、ポリ袋に入れ冷凍保存した。同時に、各サンプルからそれぞれ 2~4 片切り出し、ドライオーブンをを用い 70℃で 2 日間乾燥させた後に計量し、その平均値から各部位の生重量と乾重量の比を求めた。この比はポリフェノール計測サ

ンプルの生重量から乾重量を求めるために使用し、ポリフェノール含有量は乾重量中の割合（% DW）で示した。さらに、植食動物の嗜好性と藻体のポリフェノール含有量を比較するため、2015 年 10 月のサンプル採集と同時に、周辺に生育する各藻体の被食の程度を海中において観察し、大（激しく被食）、中（部分的に被食）、小（ほとんど被食していない）の 3 段階に分けて記録した。

冷凍保存されたサンプルは細断し、70%メタノール中でガラス製ホモジナイザーを用い粉碎し、冷暗所（4℃）で 24 時間静置した後、遠心分離（3500rpm, 5min, 20℃）した上清をポリフェノール抽出液とした。ポリフェノール含量の分析は Folin & Denis (1912)、津志田（2000）の方法を参考に、Folin-Denis 法を用いた。Folin-Denis 法は野田ら（2013）のアラメ・カジメ類 5 種のポリフェノール含有量の測定にも使用されている。吸光度は分光光度計（日立 U03319）を用いて波長 725nm で測定し、標準物質にはフロログルシノール（和光 CAS No. 108-73-6）を使用した。Folin-Denis 法では、ポリビニルポリピロリドン（PVPP）を用いた処理が追加で行われることがあるが、処理区と無処理区で測定結果に誤差が出る程度である（ $\leq 1.7\%$, Targett & Arnold 1998）ため、本研究では PVPP 処理を行わなかった。測定結果は、コルモゴロフスミルノフ検定 (Kolmogorov-Smirnov test) およびバートレット検定 (Bartlett test) を用い各データの正規性と等分散性を確認したが、分散が均一でなかったため、スティーラー・ドゥワース (Steel-Dwass) 法を用いて多重比較検定を行い、各藻体部位間の有意差を求めた。統計ソフトには R ver. 3.2.3 を用いた。

藻体の粗タンパク質含有量の測定に用いたサンプルは、2016 年 11 月に調査地点周辺に生育する大型褐藻 4 種（オオバモク、トゲモク、ヤツマタモク、アラメ）を各 5 個体以上採集した。採集したサンプルは海水と真水で洗浄した後、研究室に持ち帰り、オオバモクは成体葉、生殖器床の 2 部位、その他の海藻は葉状部を切り分け、ドライオーブンを用い 70℃で 2 日間乾燥させた。乾燥した藻体は 2mm 角に粉碎し、各サンプルをそれぞれ 1 つにまとめ、計 5 サンプルに分別し、シリカゲルと共にポリ袋に入れ、ディー

プフリーザー（-20℃）で保存した。計測は各サンプルから計測用に 0.3～0.4g（乾重量）を 2 サンプルずつ用意し、ケルダール法により測定を行った。分解装置は Foss Tecator 2020 digester（Tecator 社）、ケルダール蒸留滴定はケルテック 2400（フォス・ジャパン株式会社）を使用し、定量した全窒素量に 6.25 を乗じて、粗タンパク質量を計算し、乾重量中の割合（% DW）で示した、被食の程度の比較には、上記の 2015 年 10 月の調査データを用いた。

2-4. オオバモク藻体の再生

2-4-1. 藻体の人為的切除実験

切除実験は植食性魚類による秋季以降の激しい食害からの再生を想定し、地点 2 の直径 1m 程度のオオバモク群落内において、2016 年 1 月に藻体の切除を行い、2016 年 12 月まで毎月 1 回観察を行った。切除は、成体では (1) 葉の全数、(2) 枝と葉の全数、(3) 茎中部より上、の 3 段階に分け、幼体は (4) 全ての葉の先端側半分を切除した (Fig. 23)。試験区 1 では葉の基部は主枝に残存し (Fig. 24 : 左)、試験区 2 では主枝の基部が茎部に残存した状態である (Fig. 24 : 中央) が、試験区 3 では完全に茎中部で分断した (Fig. 24 : 右)。また、切除実験を行ったオオバモク藻体は結束バンドで標識し、個体を識別した。対照区は、成体では周辺に生育する同時期に計測した個体 (対照区 1)、幼体では 2014 年の秋に新規加入した幼体 (対照区 2) とした。

成体の切除個体数は、(1) と (2) で 3 個体、(3) で 5 個体、幼体では、直径 30cm 程の岩上の個体全数 (2015 年秋に新規加入、約 30 個体) を切除、群落内で大型の 3 藻体を選択し計測した。計測は、上記の 4 つの試験区において、成体で葉の枚数と最大葉長 (mm)、幼体では上記項目に加え、主茎長 (mm : 2016 年 4 月以降) について行った。

2-4-2. 生殖器床再生部位の観察

2015 年 9 月の潜水調査時に、食害を受けたオオバモクの生殖器床からの再生を発見した (Fig. 25)。この再生部位が生殖器床としての役割を果たした場合、本種の被食への対抗手段となっている可能性が考えられたため、(1) 生殖器床切片の観察、(2) 再生した元の生殖器床 (欠損した生殖器床) の基部の長さの計測 (Fig. 25)、および (3) 生殖器床再生割合の調査を行った。

(1) 生殖器床切片の観察は、2015 年 9 月および 10 月に藻体を採集し、通常の生殖器床および再生した生殖器床の横断面の切片をマイクロームで 50 μ m の厚さに切り出し、光学顕微鏡を用いて行った。サンプルには、通常の生殖器床で 15~25mm 程度、再生し

た生殖器床 (Fig. 26) で 3~10mm 程度のものを使用した。

(2) 再生した元の生殖器床基部の長さの計測は、2015 年 10 月に採集した藻体の中から、生殖器床の再生部位を 30 カ所ランダムに選択して行った。

(3) 生殖器床再生割合は、2016 年 11 月に潜水調査によって、主枝が残存しているオオバモク藻体を各調査地点で計 51 藻体ランダムに選択し、藻体の主枝全体における生殖器床を、(a) 8 割以上再生 (藻体全体で生殖器床再生部位が確認できる)、(b) 2~7 割程度再生 (部分的に生殖器床の再生が確認できる)、(c) 再生が 1 割以下 (欠損した生殖器床から再生がほとんど確認できない) の 3 段階に分けて示した。

3. 結果

3-1. 千葉県館山市坂田地先におけるオオバモクの季節的消長

3-1-1. 水温と流速の測定

調査期間中の水温を Fig. 27, 平均水温を Table 1 に示した。2014 年度の月平均最高水温および最低水温はそれぞれ 9 月に 25.1℃, 2 月に 13.5℃であった。2015 年度の月平均最高水温および最低水温はそれぞれ 8 月に 26.1℃, 2 月に 14.7℃, 2016 年度の月平均最高水温は 8 月に 28.6℃となり, それぞれで前年度と比べ高かった。2014 年度とそれ以降の年の平均水温を比較すると, 8 月と 4 月に 2℃以上, 10 月, 12 月, 2 月にそれぞれ 1℃以上水温が高かった。2016 年は 8~11 月の月平均水温が調査期間中で最も高かった。2015 年度の 2 月 13 日 (2016 年) には, 黒潮が房総半島に近づき, さらに日本に南からの暖かい空気が入った影響で, 水温 19.0℃を記録した。

流速の測定結果を Table 2 に示した。絶対流速は最も浅い計測地点 1 で最大 19.3cm/s となった (Fig. 13)。流速が小さかった地点は, 岬の先端の 3 (8.1cm/s, 水深 1.7m), 最深部の 6 (8.4cm/s, 水深 2.1m) となり, 他計測地点の 2 分の 1 程度の流速であった。以上から, 3-1-5. 5 地点別の季節消長の地点 A~E (Fig. 13) において, 各地点の流速を相対的に推定し, A—中, B—大, C—中, D—小, E—小とした。

3-1-2. 成体の追跡

各部位の計測結果を Figs. 28~33 に示した。

付着器径の最大は 95mm (地点 2 No. 1), 最小は 19mm (地点 1 No. 3), 平均は 55 ± 15 mm であった (Fig. 28)。それぞれの個体で月による差が大きく (前月差は最大で 42mm), 季節的な増減は認められなかった。

主茎長も付着器径と同様に月による差が見られたが, 全体的に一定で, 季節による増減は認められなかった (Fig. 29)。地点 1 No. 3 の藻体は, 2016 年 3 月に枯死流出するまで主茎長が減少したが, そのほかの流出藻体には枯死の兆候は見られなかった。

最大分茎長は、成体でも個体差が大きく、最低で地点 2 No. 2 の $43\pm 10\text{mm}$ 、最高で地点 2 No. 1 の $319\pm 42\text{mm}$ となった (Fig. 30)。全体的に計測月毎で差は見られるものの、漸増傾向を示した。地点 1 No. 3 の藻体は、主茎長と同様に分茎長も減少し枯死流出した。

最大主枝長は 2014 年には 8 月、2015 年には 9 月、2016 年には 8 月に最大 (それぞれ $325\pm 96\text{mm}$, $389\pm 174\text{mm}$, $395\pm 45\text{mm}$) となり、以降、大きく減少し、それぞれ 1 月に最小となり、その後 8~10 月頃まで伸長した (Fig. 31)。その伸長時期 (2015 年 2~10 月) における主枝長の成長率 (mm/day) を Fig. 32 に示した。成長率は 8 月 (7 月 23 日~8 月 14 日) に最大 1.9mm/day 、次いで 3 月 (2 月 11 日~3 月 5 日) に 1.6mm/day となり、5 月 (4 月 17 日~5 月 8 日) に最小 -0.04mm/day となった。10 月頃から主枝および藻体上部の葉や生殖器床が無節サンゴモ類に覆われ始め (Fig. 34)、11 月および 12 月頃に主枝は欠落し (Fig. 35)、4~5 月頃には僅かな減少が認められた。地点 2 No. 5 の藻体は、2015 年 10 月に主枝長が 621mm であったのに対し、2016 年には 8 月に最大 446mm に留まった。地点 1 No. 3 の藻体は、主茎長および分茎長と同様に主枝長も減少し、2015 年 3 月からは大きな伸長が見られず、その 1 年後に枯死流出した。

最大葉長は 2016 年 2 月に最大 356mm (地点 1 No. 1)、2015 年 11 月に最小 91mm (地点 1 No. 3) となった (Fig. 33)。主枝長ほどの大きな季節変化は見られなかったものの、2014 年度はほぼ同様に 8~10 月に最大、11~12 月に最小となった。しかし、2015 年以降は月毎のばらつきが大きく、明確な増減は見られなかったが、地点 2 No. 1~4 では 11~12 月および 4~6 月頃に葉長が減少する傾向が認められた。なお、例年 4~6 月頃には、オオバモクの葉上にヨコエビ類が多数見られ、摂餌痕や巣も認められた (Fig. 36)。

3-1-3. 幼体の追跡

幼体の計測結果（2014 年 5 月から計測開始）を Figs. 37～41 に示した。この幼体は藻体の大きさから、2013 年度に加入した 1 年目の幼体と推定できる。

付着器径は、2014 年 6 月から増加し続け、2016 年 8 月に最大 63mm（地点 3 No. 2）となった（Fig. 37）。最も付着器径の成長が速かった地点 3 No. 3 では、2015 年 8 月に 59mm に達した。月毎の計測差も見られたが、明確な増加傾向が認められた。

主茎長は 2014 年 5 月以降、増加を続け、2015 年 8 月に最大（平均 $140\pm 20\text{mm}$ ）となった後、各個体で減少した（Fig. 38）。2 年目春以降に主茎は分岐し始め、分茎として区別できたため、主茎長は減少した。

最大主枝長は、2014 年 5 月以降、2015 年 8 月に最大（平均 $435\pm 35\text{mm}$ ）となるまで増加を続けた（Fig. 39）。成体の主枝長の変化と同様に、2015 年 10 月以降大きく減少し、1 月に最小（平均 $113\pm 25\text{mm}$ ）となったが、その後、伸長した。2014 年 5 月～2015 年 8 月における、幼体の主枝長の成長率の変化を Fig. 40 に示した。成長率は、最初の 1 年間は小さく、2015 年 4 月に初めて 1mm/day に達し、同年 8 月に最大 $2.5\pm 2.6\text{mm/day}$ となった。1 年目の秋季には、成体や 2 年目の幼体で見られたような顕著な主枝の欠損は認められなかった。

最大葉長は、計測を開始した 2014 年 5 月から減少を続け、それぞれの個体で 12～1 月に最小となった（Fig. 41）。2015 年の最大は、4 月に 275mm（地点 3 No. 1）となったが、2 年目の秋季には、1 年目ほどの減少は見られず、2016 年 7 月には最大 394mm（地点 3 No. 1）となった（Fig. 42）。葉長は、主枝長の変化と比較して早い時期から緩やかな減少が続いた。

3-1-4. 新規加入幼体の追跡

新規加入幼体の計測結果を、それぞれ Figs. 43～46 に示した。

主茎長 (Fig. 43) は、2015 年 2 月以降伸長し、2 年目 (2016 年) の 2～3 月に最大となった後、減少した。3-1-3. 幼体の追跡の結果、と同様に、2 年目の春から分茎として区別できたため、主茎長は減少した。

最大主枝長 (Fig. 44) は、2015 年 3 月から伸長を続け、2016 年 3 月および 4 月に減少が見られたものの、2016 年 7 月に最大 ($373\pm 59\text{mm}$: 地点 1a) となるまで増加し、その後、減少した。

最大葉長 (Fig. 45) は、2014 年 11 月以降伸長し、一年後の 2015 年 10 月には $190\pm 18\text{mm}$ に達した。2 年目の 11～12 月には各地点で減少したが、その後、再び伸長し、2016 年 8 月には最大 $254\pm 1\text{mm}$ (地点 1a, Fig. 47) となった。

葉枚数 (Fig. 46) は、2015 年 3 月までは月に 1, 2 枚程度の増加であったが、4 月以降は急激に増加し、地点 1a では 4 月に約 14 枚、6 月に約 26 枚となった。7 月にはさらに葉枚数が増加したため、水中での計測を終了した。

成体の陰に生育する地点 1b では、主茎、主枝および葉枚数の成長は悪かったが、最大葉長は他の地点とほぼ同様に変化した。

3-1-5. 年輪の計測

年輪と付着器径の相関図を Fig. 48 に、年輪および付着器径の頻度分布を Figs. 49, 50 に示した。回帰分析の結果、年輪と付着器径との間には正の相関が認められた ($R^2 = 0.3858$, $|R| = 0.6211$)。1～7 齢の藻体を確認でき、付着器径 50mm 以上の藻体は全て年輪 3 本以上であった。一方で、年輪 3 本および 4 本の藻体は、付着器径 30mm 以下でも確認できた。以上から、藻体の年齢は、幅はあるが、次の 4 段階で推定できることがわかった。(1) 付着器径 20mm 以下 : 2 齢以下, (2) 付着器径 30～40mm : 1～5 齢, (3) 付着器径 40～50mm : 2～5 齢, (4) 付着器径 50mm 以上 : 3 齢以上。

3-1-6. 5 地点別の季節的消長

地点別大型藻体の付着器径の変化を Figs. 51～54 に、各地点の特徴を Table 3 に、藻体部位ごとの相関を Table 4 に、多重比較検定の結果を Table 5 に示した。

付着器径には明瞭な季節変化は見られなかったが (Fig. 51), 地点 E で他地点より有意に小さかった ($p < 0.05$)。各地点の平均はそれぞれ A: 60 ± 15 mm, B: 60 ± 15 mm, C: 61 ± 16 mm, D: 53 ± 13 mm, E: 64 ± 17 mm であった。

主茎長でも, 付着器径と同様に明瞭な季節変化が見られず (Fig. 52), 地点 D で他地点より有意に大きく ($p < 0.05$), D 以外の地点には有意差が認められなかった。また, 主茎長, 付着器径ともに増減傾向は見られなかった。

最大分茎長でも季節変化は認められず (Fig. 53), 付着器径と同様に地点 E で最も小さかった ($p < 0.01$)。地点 D では, 地点 A および C よりも有意に大きかった ($p < 0.01$)。

最大主枝長では, 明瞭な季節変化が見られ, 2015 年度は 10 月に最大 (平均 553 ± 87 mm) となった後, 1 月に最小 (平均 187 ± 39 mm) となるまで減少し, その後, 9 月まで伸長を続けた (Fig. 54)。地点ごとの比較では, D が他地点よりも有意に大きく ($p < 0.01$), 地点 E は B より有意に大きかった ($p < 0.01$)。

大型藻体において藻体部位ごとの相関を調べた結果 (Table 4), 付着器－主茎間では地点 C ($r = -0.002$, $p < 0.01$) および D ($r = -0.400$, $p < 0.001$) で負の相関が見られた。付着器－分茎間では, 地点 B ($r = 0.338$, $p < 0.01$) および C ($r = 0.241$, $p < 0.05$) において弱い正の相関が見られた。付着器－主枝間では, 地点 B ($r = -0.356$, $p < 0.01$) で弱い負の相関があったが, 地点 E ($r = 0.308$, $p < 0.01$) では弱い正の相関が見られた。主茎－分茎間では, 地点 A, B, D においてそれぞれ負の相関が認められた ($r = -0.320$, $p < 0.01$, $r = -0.486$, $p < 0.001$, $r = -0.444$, $p < 0.001$)。主茎－主枝間および分茎－主枝間では, 相関は認められなかった。以上の相関は, 最大でも $r = 0.486$ と小さく, 全ての地点で同様の相関が見られた項目がなかったため, オオバモクでは部位ごとの明確な相関はないと言える。

3-1-7. 被食葉割合の季節変化

全調査地点における被食葉割合の変化を Fig. 55 に示した。

各調査地点で7月頃にアイゴによると推測される食痕 (Fig. 18) が見られ始め、10月～11月に最も多く確認された。その後、主枝は流出したが、被食されていない下部の葉が残り、1月頃から新しい葉が形成され始めた。一方、3～6月には被食葉割合は減少しなかったが、6月以降、生殖器床や藻体上部に小さい葉を急激に形成し始め、被食葉割合は減少した。

3-1-8. 成熟時期

全調査地点における生殖器床形成率の変化を Fig. 56 に示した。

生殖器床は、6月頃から形成され始め、2015年9～11月に形成率は90%以上となった。12月以降には食害や主枝の欠損によって生殖器床形成率は大幅に減少し、3月には生殖器床が残存している藻体が確認できたが、4月には0%となった。放卵は8～11月に観察でき、10月に割合が最も多かった。2016年度は7月の生殖器床形成率が低かったが、9月には約98%となった。

3-2. オオバモクの被食と植食性魚類の嗜好性

3-2-1. アイゴの消化管内容物の観察

2015 年 10 月に採集したアイゴ成体の消化管内容物の割合を Fig. 57 に示した。消化管内容物全体の湿重量はそれぞれ, No. 1 : 37.9g, No. 2 : 40.9g, No. 3 : 76.0g, No. 4 : 69.6g であった。アイゴの No. 1, 2, 4 では消化管内容物の 8 割以上をオオバモクが占めた。No. 3 ではオオバモクが 47.8%, アラメ・クロメが 35.9%, 緑藻・その他が 14.5%を占め, 他の個体と違った傾向が見られた (Fig. 58)。消化管内容物のオオバモクのうち, 大半を生殖器床が占めた。

2016 年 9 月に定置網によって採集されたアイゴの消化管内容物は消化が進んでおり, 全 7 個体で, 2~4mm のアラメの断片が 8 片, 2mm の紅藻の断片が 2 片, その他 2mm 程度の小型海藻 11 片のみ確認することができた。

3-2-2. 大型褐藻のポリフェノール含有量と粗タンパク質含有量の測定

ポリフェノール含有量の測定結果および被食の程度を Fig. 59 および Table 6 に示した。最も含有量が多かった部位はオオバモク幼体 ($13.26 \pm 5.10\%$ DW) で, 次いでオオバモク新規加入幼体 ($10.89 \pm 3.89\%$ DW), アラメ成体 ($10.85 \pm 2.22\%$ DW), オオバモク成体 ($10.72 \pm 4.68\%$ DW) が並んだ。一方, 被食の程度が大きいオオバモク生殖器床のポリフェノール含有量は $5.14 \pm 3.49\%$ DW で, 他のオオバモク計測部位よりも低かった。オオバモク以外のホンダワラ類は被食の程度が低く, ポリフェノール含有量も低い傾向にあったが, 多重比較検定の結果, 群間に有意差は認められなかった。

粗タンパク質含有量の測定結果を Fig. 60 および Table 6 に示した。最大はアラメの $13.21 \pm 0.01\%$ DW, 最小はオオバモク成体葉の $8.46 \pm 0.73\%$ DW, 被食の程度の低いトゲモクは $11.63 \pm 0.16\%$ DW となった。

3-3. オオバモク藻体の再生

3-3-1. 藻体の人為的切除実験

切除実験後の藻体計測結果を Figs. 61～63 に、藻体の変化を Figs. 64～67 に示した。試験区 3 では再生が見られなかったため、グラフに示していない。

試験区 1 (Fig. 64) では、切除翌月から葉の枚数が大幅に増加し (Fig. 61), 2 カ月目からは水中での計測が困難となったため、計測を終了した。最大葉長は、3 月に $111\pm 22\text{mm}$ まで伸長し、8 月には $228\pm 32\text{mm}$ となり対照区と同等の大きさに達し (Fig. 62), 3 個体中 2 個体が成熟した。12 月には主枝が欠落したが、藻体の枯死や衰弱は認められなかった。

試験区 2 (Fig. 65) では、葉の再生は緩やかで、10 カ月後の 11 月に平均 30 ± 22 枚となった (Fig. 61)。葉長の伸長も試験区 1 と比較して小さく、9 月に最大 $132\pm 66\text{mm}$ となった (Fig. 62)。7 月頃から主枝の伸長が見られた藻体もあったが、大きく伸長せず、3 個体とも成熟しなかった。12 月までほとんど再生しない個体も存在したが、何れの個体も流出しなかった。

試験区 3 (Fig. 66) では、11 カ月の観察期間を通して、再生が認められなかった。5 藻体のうち 3 藻体は流出し、残りの 2 藻体のうち 1 藻体は立ち枯れ状態となり、1 藻体では 11 月に無節サンゴモの付着が認められた。試験区 1～3 において、観察藻体が流出したのは試験区 3 のみであった。

試験区 4 (Fig. 67) では、葉は切断面より基部側で伸長したが、茎から生えた新しい葉も多く確認でき、4 月以降は切除を行った葉との判別が困難となった。葉長は切除後伸長を続け、9 月には $139\pm 55\text{mm}$ となり対照区とほぼ同様の大きさとなった (Fig. 62)。茎長は、計測時に藻体が脱落しないよう、ある程度成長した 4 月から計測を開始したが、11 月まで対照区とほぼ同様の成長を示した (Fig. 63)。

3-3-2. 生殖器床再生部位の観察

(1) 生殖器床切片の観察

生殖器床の切片の写真を Fig. 68 に示した。造精器および造卵器は再生した生殖器床でも確認することができた。また、再生してから時間の経たない 3mm 程度の生殖器床でも造精器および造卵器が認められた。また、海中での観察では、再生した 5mm 程度の生殖器床の放卵も観察することができた (Fig. 69)。

(2) 再生した元の生殖器床（欠損した生殖器床）の基部の長さ

再生した元の生殖器床基部の長さの分布を Fig. 70 に示した。生殖器床の再生は、基部の長さが 0mm（側枝から直接再生）の生殖器床で 3 例，1mm 以下の生殖器床で 2 例確認できた。最も再生の頻度が高かったのは基部の長さ 3～3.9mm の生殖器床であった。

(3) 生殖器床再生の割合

生殖器床再生の割合を Fig. 71 に示した。(a) 8 割以上再生は 18%，(b) 2～7 割程度再生は 68%，(c) 再生が 1 割以下は 14%となった。

4. 考察

4-1. オオバモクの季節的消長

寺脇・後藤（1986）は神奈川県三浦半島小田和湾においてオオバモクの調査を行っている。小田和湾では、藻体長は 12 月に最小となった後、3～6 月の水温 12～20℃の時期に伸長し 6 月に最大となり、6 月以降主枝が欠落したが、6～10 月の 20～26℃の期間に生殖器床を持ち成熟したと報告されている。一方、小田和湾に近い三浦半島の油壺湾では 11 月に成熟したオオバモクが採集され（Ogawa 1974）、小田和湾の湾奥部ではオオバモクの成熟時期が 11 月頃まで続くことが確認されている（寺脇・後藤 1986）。房総半島では、吉崎（2003）が千葉県富津市竹岡棚海岸においてオオバモクの調査を行っている。富津では、藻体長は 12 月が最小時期で、1～6 月に伸長し 6 月に最大となり、6～10 月に生殖器を形成し、11 月に主枝が流出したと報告されている。ただし、この調査では、幼体も含めて計測されたため、3～10 月には藻体の全長に大きな差は認められていない。

ヤナギモクでは、徳島県由岐町阿部湾（中久 1983）と福井県小浜湾（Umezaki 1986）で調査が行われており、阿部湾では、主枝は 5～10 月に伸長し藻体は 10 月に最大となり、8 月下旬から見られた生殖器床は 10～11 月の水温 24～18℃の水温下降期に成熟したと報告されている。一方、小浜湾では、2～9 月の水温 10～25℃の時期に主枝が伸長し 9 月に最大となって生殖器床形成し、10 月に 21.5℃まで水温が下降した時期に成熟したと報告されている。

本研究では、坂田地先のオオバモクの成体は、1 月頃（平均水温 15.4～16.0℃）に最小となり、その後、主枝が成長し、8～10 月頃に葉長および主枝長が最大となり、以降 1 月まで主枝が大きく欠損することが明らかになった。成体は 6 月頃から生殖器床を形成し始め、8 月には放卵し、3 月まで生殖器床を確認することができた。

坂田地先での主枝の最大時期は、小田和湾での調査結果（寺脇・後藤 1986）よりも 2～3 カ月遅れ、最小時期は 1 カ月遅れた。当時の小田和湾（1983 年）と本研究での坂田地先（2015 年）との月平均水温差は、夏季では 1℃未満であったが、11～3 月（2 月を除

く)には約 1.5℃以上坂田地先で高く、晩秋から早春での水温の上昇が確認できた。主枝の流出は、小田和湾では 6 月以降(水温 20℃を上回ってから)であったが、坂田地先(本研究)および富津(吉崎 2003)では 10 月頃(水温下降時期)と、4 カ月の差があった。成熟に関しては、生殖器床を形成し始める時期は 3 地先で同時期となり、生殖器床が見られなくなった時期のみ、坂田地先で 3 カ月以上遅れた。いずれも夏季の水温に大きな差はなかったが、晩秋から早春にかけての水温差が主枝の流出時期や生殖器床形成時期の長期化に影響を与えている可能性がある。また、オオバモクの先行研究では食害については述べられていないが、近年、関東沿岸でもアイゴ等の植食性魚類による藻場の衰退が報告されていることから(櫻井・工藤 2014)、食害の増加が藻体の生理に影響している可能性も考えられる。

ヤナギモクと比較すると、藻体の最大時期は同時期であったが、成熟時期はヤナギモクで 10 月以降の水温下降時期であるのに対し、坂田地先のオオバモクでは 6 月以降の平均水温が 20℃を超えた時期となり、Yoshida (1983)が報告した成熟時期の違いと一致した。

オオバモクの主枝の成長適温に関して、馬場(2011)は千葉県勝浦産のオオバモクの室内培養実験を行い、成体の主枝は 10~31℃のうち、特に 20~23℃で成長することを明らかにした。一方、本研究では 8 月頃(月平均水温約 24.0~26.3℃)に最も主枝の成長率が高く、次いで 3 月頃(月平均水温約 15℃)となり、室内培養実験とは異なる結果となった。この違いは自然環境下の外的環境に影響している可能性がある。坂田地先近海の栄養塩類は、2 月に最大(DIN: 124μg/L, DIP: 16μg/L)、6~8 月に最小(DIN: 13μg/L, DIP: 1.5μg/L)となる(過去 10 年間の平均, 千葉県水産総合研究センター 2014, 2015, 2016)。大型褐藻類は、おおよそ DIN 56~210μg/L, DIP 7.8~23.3μg/L の範囲で成長が飽和するとされており(吉田ら 2011)、冬季~早春は、最適水温ではないが、夏季よりも豊富な栄養塩類によって成長が促進されていると考えられる。さらに、藻体は 6 月以降に生殖器床を形成し成熟するため、成長適温時期である 6~7 月(水温 18~24℃)には主枝の

伸長ではなく成熟のために多くのエネルギーを使用していると考えられる。また、自然環境下では、食害や波浪、水流の変化などの様々な要因が影響するため、水温や栄養塩のみで一概に最適環境を示すことはできない（吉田ら 2011）。

オオバモクの発芽体では、水温 20～26℃が最も成長に適することが明らかにされている（馬場 2011）が、同じホンダワラ類のヤツマタモクおよびヨレモクの発芽体の室内培養実験（水温 10℃, 15℃, 20℃）では、ヤツマタモクで水温 20℃, ヨレモクで水温 15℃が最も成長に適していることが示されている（月舘 1984）。坂田地先では、オオバモクの発芽体は 10 月頃（平均水温 21.8～23.7℃）から肉眼で観察できるようになり、2 年目の夏季には成体と同様の大きさまで成長し、成熟した。京都府沿岸のヤツマタモクは 6 月中旬から下旬（水温 17～20℃）に成熟し（道家ら 1997）、青森県沿岸のヨレモクは 5 月頃の水温上昇期（水温 15℃前後）に成熟する（桐原・藤川 2000）ことから、オオバモク、ヤツマタモク、ヨレモクともに、発芽体については、室内培養で得られた成長最適水温の時期と自然環境下での発芽体生育時期が一致した。

坂田地先では、小田和湾での調査期間よりも冬季の水温が高いにもかかわらず、幼体の成長が小田和湾の水深 2～3m 以浅に設置されたコンクリートブロック上の幼体の成長（寺脇・後藤 1986）よりも悪かった（加入翌年の 10 月で全長約 100mm 差）。本研究では、3 つの幼体群落しか計測しておらず、計測した地点の環境がオオバモク幼体の生育に適した環境ではなかった可能性や、食害の有無、水深帯の違い、コンクリートブロックと自然石の上に生育する海藻の成長速度の違い（佐藤ら 2007）などが原因と考えられ、詳しい調査が必要である。

4-2. オオバモクの形態

本研究での藻体計測の結果、オオバモクの主茎長と分茎長は個体によって大きく異なった。5 つの調査地点のうち 3 地点では、主茎－分茎間で弱い負の相関（ $r = -0.320$, $p < 0.01$: $r = -0.486$: $p < 0.001$: $r = -0.444$, $p < 0.001$ ）が確認できた。一方、Umezaki (1985)

は、ヤナギモクの年齢階級によって分茎の分岐回数が増加するが 3 歳以上の藻体の主茎長は変化しないことを明らかにしており、本研究の長期観察でも成体の主茎長に増減傾向は見られず、分茎長は漸増した。以上、主茎の長さを決定する要因は、今回の調査では明らかにすることができなかったが、分茎長と年齢には相関がある可能性がある。

オオバモクの年齢推定について、本研究では付着器径と年齢との相関 ($R^2 = 0.3858$, $|R| = 0.6211$) を確かめることができた。今後、Umezaki (1985) が調べたヤナギモクの分茎の分岐回数と年齢の相関をもとに、オオバモクでも同様の傾向が見られるかを確かめれば、付着器径と組み合わせて海中で年齢を容易に推定できる。ただし、茎の分枝が 7 回以上の藻体 (Umezaki 1985) や、本研究で明らかにした付着器径が 60mm 以上の藻体では年輪の分布が様々で、年齢の推定は困難であろう。

4-3. 生育地点の比較

地点 E では、付着器径および最大分茎長が他地点よりも有意に小さかった。これにより、地点 E を構成する大型のオオバモク藻体群の年齢階級は比較的低いと考えられる。また、地点 E は、他調査地点の中で最も深い水深 2.7m に位置し、群落は疎生で、流速は比較的小さい (Table 3) ことから、食害の影響を受けやすい可能性もある。川俣・長谷川 (2006) および蒲原ら (2009) は、アイゴの摂餌が海水流動の強さにより制限されることを明らかにしている。地点 3 も同様に、2014 年 5 月には周辺に幼体しか見られず、秋季には植食性魚類によって激しく摂餌された (他地点では幼体への植食性魚類による食害は少なかった) ことから、比較的水深のある流速の穏やかな地点では、ある程度オオバモクは生育するものの、大きく安定した群落は形成されにくいと考えられる。

地点 B では、主枝長のみが地点 E, D よりも有意に小さかった。地点 B は最も海水流動が大きい地点と考えられ、漂砂礫による影響も懸念される。アラメの茎は漂砂によって摩耗欠損することが報告されている (川俣・木本 1997) が、オオバモクの主枝への影響は不明である。

地点 A および C では、水深に 1.6m の差があり、湾奥と湾外という違いもあるにもかかわらず、藻体のいずれの計測部位でも、ほぼ同様の値を示した。

地点 D では、主茎長および最大主枝長が他地点よりも有意に大きく、最大分茎長は地点 A, C, E よりも有意に大きかった。このため、地点 D は、群落を構成する大型藻体の年齢階級が高い（他地点よりも早く入植したか、群落が安定している）か、成長に適した環境である可能性が高い。大型海藻の分布と海水流動との関係を調べた今野（1985）や太田・二宮（1990）は、海水流動が中程度の地点にオオバモクまたはヤナギモクが多く生育し、海水流動の大きい地点および小さい地点では少なかったことと報告している。また、海藻の成長には 10cm/s 程度の流速があれば十分とされている（吉田ら 2011, Hurd 2000）が、2016 年 7 月の地点 D の平均流速は 8.36cm/s と小さかった。さらに、地点 D は比較的水深があり、魚類による食害を受けやすいと推察される。以上、地点 D は、実際には大きな群落が形成され、しかも比較的大型の藻体が多かったにもかかわらず、流動環境（7 月）や水深からみると必ずしもオオバモクの生育に適した環境ではない。しかし、この地点では、周年を通して海中懸濁物が最も多いなどの特徴があり、魚類による食害を回避しているのかもしれない。

4-4. オオバモクの被食

被食葉割合と最大葉長の計測結果から、食害は 4～6 月頃（17～23℃）および 10～11 月（27～20℃）に発生し、特に、秋季に植食性魚類による食害が激しいことが明らかになった。4～6 月頃にはオオバモク上でヨコエビ類が多数見られたため（Fig. 36）、この時期の食害はヨコエビ類による摂食（造巣行動とも関連）によると考えられる。ヨコエビ類による海藻の食害は、アマノリ類（阿知波ら 1995）やワカメ（青木ら 1998）、カジメ（太齋ら 1998）などで報告されており、ホンダワラ類をよく摂餌すること（Duffy 1990, Pereira & Valentin 1999, Jacobucci & Leite 2014）も示されているが、オオバモクでは報告がない。一方、Pereira & Valentin（1999）は、熱帯性のヨコエビ類 *Parhyale hawaiiensis* を

用いた摂餌実験で、ホンダワラ類のポリフェノール含有量 2%以上で摂餌量が低下することを示したが、本研究でのオオバモク葉状部のポリフェノール含有量は 10%を超えていた。このポリフェノール含有量は 10 月に採集した藻体の値で、ヨコエビ類に摂餌される時期には含有量が低い可能性もある。青森県大間崎産ツルアラメでは、春季のポリフェノール量は秋季の 5 分の 1 程度であった（小田桐・加藤 2014）という報告もあり、1 年を通して調査を行い、ヨコエビ類の摂餌量と合わせて検討する必要がある。なお、本研究では、4～6 月頃には魚類の食痕はほとんど確認できず、坂田地先のオオバモク藻体を大きく減少させるまでには至っていない。

10～11 月（27～20℃）に確認された食害は、オオバモクの葉部および生殖器床で認められた多数の食痕から植食性魚類によると考えられる。植食性魚類のうち、調査地点付近ではアイゴが多く見られたが、ブダイやイスズミ等はあまり確認できなかった。さらに、ブダイは水温 18℃付近で最も摂餌する（新井 2000）のに対して、アイゴは 20℃以下ではほとんど摂餌が確認できず、25～27℃または 27～29℃で活発に摂餌する（山内ら 2009, 海洋生物環境研究所 2012）ことが示されている。また、アイゴは夏季に成熟し摂餌量が低下し、秋期に摂餌量が増加する（増田ら 2000, 尾上ら 2005, 秋山ら 2009）。本研究では、10 月に調査地点付近で採集したアイゴの消化管内容物の大半はオオバモクで占められていた。坂田地先での 10～11 月の食害は、葉に残された食痕の大きさと規則的な鋸歯状の歯型（小林ら 2005）から、主にアイゴによると考えられる。

本調査海域では、10 月に周辺で生育するアカモク、トゲモク、ヤツマタモク、タマハハキモク、ヒジキ、ノコギリモクに比べ、オオバモクおよびアラメへの食害が激しく、オオバモク藻体のうち生殖器床が多く被食していた。長崎県（桐山 2009）や山口県蓋井島（野田ら 2014）での潜水調査でも同様に、ヤナギモクやアラメが激しい食害を受けているのに対して、周辺に生育するノコギリモク、トゲモク、アカモク、ヤツマタモクの被食は軽度であった。水槽実験では、アイゴの嗜好性はオオバモク、カジメで高く、ノコギリモクで低いことが明らかにされている（霜村ら 2005）。また、トゲモク、クロメ、

ノコギリモクの順で嗜好性が高いという報告（桐山・藤井 2005）や、ヤツマタモクでオオバモクより摂餌選択性が高いという報告もある（海洋生物環境研究所 2012）。

藻体のポリフェノール類の含有量と魚類に対する摂餌忌避性の関係について、野田ら（2013）は、アイゴにより多く摂餌されたサガラメ *Eisenia arborea* のポリフェノール含有量は摂餌の少なかったカジメ *Ecklonia cava* よりも低いことを示した（サガラメ：2.7±1.4% DW，カジメ：6.2±1.2% DW）。本研究では、藻体のポリフェノール含有量は嗜好性の低いホンダワラ類（アカモク，トゲモク，ヤツマタモク，タマハハキモク，ヒジキ，ノコギリモク）で低く（7%以下），オオバモクおよびアラメで高い（10%以上）結果となり，10月に調査した各種の被食の程度と比較して植食性魚類に対する摂餌忌避効果は認められなかった。ただし，アイゴの嗜好性が高かったオオバモクの生殖器床のポリフェノール含有量（5.14±3.49% DW）は，オオバモク藻体の他の部位と比較しても低かった。生殖器床のポリフェノール含有量が他部位よりも低いことは Pavia ら（2002）もヒバマタ目の *Ascophyllum nodosum* で報告しており，Endo ら（2013）はヤツマタモクにおいて藻体の成長率が高い部位はフロロタンニン含有量が低いことを明らかにしている。ホンダワラ類の生殖器床が選択的に摂餌される事例は桐山・藤井（2005）や吉村ら（2006）が報告しており，生殖器床のポリフェノール含有量の低さが摂餌選択性の高さに影響している可能性も示唆される。なお，ポリフェノール含有量は，ヤナギモクで 15.6%（Heo et al. 2003：韓国済州島産，3～10月採集）または 38%（Nakai et al. 2006：佐渡島産），カジメで 15.6%，アカモクで 3.3%（Heo et al. 2003：韓国済州島産，3～10月採集），ヤツマタモクで 3%前後（Endo et al. 2013：秋田県男鹿半島鵜ノ崎産，7月採集）との報告があり，本研究の結果とは多少の差があったものの，オオバモク・ヤナギモク，アラメ・カジメ類で高く，他のホンダワラ類で低いという傾向は一致した。

タンパク質含有量に関しては，本研究では被食との関係が認められなかった。一方，タンパク質含有量と摂餌選択性との関係について，Raubenheimer et al.（2005）は，メジナの一種 *Girella tricuspidata* において，デンプン含有量が高くタンパク質含有量の低い海

藻を選択的に摂餌したこと、Pillans *et al.* (2004) はアイゴ *Siganus fuscescens* が海藻の窒素含有量よりも、消化の速い海藻を選択的に摂餌したことを報告している。反対に、You *et al.* (2014) は、タンパク質含有量が高い海藻はアイゴ属の 1 種 *Siganus canaliculatus* の嗜好性が高かったことを報告した。これらの結果は、アイゴなどの植食性魚類の嗜好性がタンパク質含有量のみでは決定しないことを示唆している。

なお、京都府舞鶴市田井地先では、キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* によるヤナギモクの減耗（道家ら 2004）が報告されているが、坂田地先ではウニによるオオバモクへの食害は認められていない。

以上、自然環境下では海藻の現存量や生育帯は種毎に異なっており、混生群落と純群落でも植食性魚類の嗜好性は変化する（野田ら 2014）ことから、海藻の成分だけでなく、海藻の現存量や藻体の動揺の程度、海底からの高さ等の摂食のされやすさも含めて複合的に調査する必要がある。

4-5. オオバモク藻体の再生

国産ホンダワラ類の藻体の再生に関して、八谷ら（2012）は、ホンダワラ類 13 種の付着器からの再生を観察したが、ヤナギモクは付着器から再生しなかったことを確認しており、難波（1993）はジョロモク *Myagropsis myagroides* とアカモクの幼体切片の再生について報告している。本研究での切除実験の結果、オオバモクは葉の基部が残っていれば、葉を全て失ってもほぼ完全に再生し、翌夏には成熟した。また、幼体でも同様に、切除藻体は未切除藻体と同様の主茎の成長を示した。一方、主枝を全て除去した藻体では再生はしたが成長は悪く、茎部で切除したオオバモクの藻体は八谷ら（2012）の報告と同様に再生しなかった。本切除実験は、群落内の一部の藻体について行ったため、切除後に未切除藻体の陰になり成長が悪かった可能性がある。以上、坂田地先での食害は、オオバモクの葉が全てなくなる段階には至っておらず、現段階では十分に再生できる程度の食害と言える。

生殖器床の再生に関して、ヒバマタ目ではタマハハキモク *Sargassum muticum* (Fletcher

& Fletcher 1975, Hales & Fletcher 1992), *Carpophyllum flexuosum* (Dawson 1940), *Fucus vesiculosus* (Moss 1964) の 3 種で報告されており、国産ホンダワラ類では本研究で初めて報告した。Hales & Fletcher (1992) は、切除から 3 週間後に、再生した生殖器床が卵および精子を放出したことを報告している。本研究でも、再生した生殖器床 (5mm 以下) に、造精器および造卵器や放卵が確認されており、被食に対してオオバモクが素早く反応していることが明らかになった。さらに、生殖器床の再生は、元の生殖器床が完全に欠損した場合でも、その根元の側枝においても見られ、全体の 2 割以上の生殖器床で再生が見られる藻体が 11 月には 90% 近く確認できた。

以上、オオバモクは、植食性魚類による激しい食害を受けても、その高い再生能力で枝葉や生殖器床を再生させることにより成熟を続け、群落を維持していることが示唆された。一方、西日本ではヤナギモクの群落が衰退している (桐山 2008, 2009, 長崎県水産部 2012) という報告がある。これは、ヤナギモクが食害の盛期にあたる秋に成熟することと関連している可能性があり、関東でも食害が激しくなった場合に、夏季に成熟するオオバモクがどのような影響を受けるか、今後、注目する必要がある。

5. 謝辞

本研究の計画，遂行および論文の作成に際し，多大なご指導および本稿の校閲を賜った東京海洋大学応用藻類学研究室の藤田大介准教授に深く御礼申し上げます。また本研究の調査および計測等にご助力いただいた秋田晋吾氏，川田健太氏，陳柏原氏，早川雄飛氏，町田一真氏をはじめ応用藻類学研究室の学生諸氏に深く感謝する。

ならびに本研究を進めるにあたり多大なご協力をいただいた，東京海洋大学水圏科学フィールド 教育研究センター館山ステーションの技術職員および滞在学生の皆様，成分分析時にご協力いただいた東京海洋大学水族栄養学研究室の芳賀穰准教授および学生諸氏に深く感謝の意を表する。

6. 参考文献

- 阿知波英明・石元伸一・菅沼光則・伏屋満 1995. 端脚類による養殖アマノリの幼芽の食害. 付着生物研究 12: 15-17.
- 秋山清二・長沼美和子・片山知史 2009. 千葉県館山湾におけるアイゴの生活年周期. 水産工学 46: 107-115.
- 青木優和・土屋泰考・植田一二三・横浜康継 1998. 伊豆半島鍋田湾における穿孔性ヨコエビ類による養殖ワカメの食害について. 日本藻類学会第 22 回大会講演要旨. 藻類 46: 92.
- 新井朱美・三浦昭雄 1991. オオバモク幼体の生長におよぼす塩分と照度の影響. 水産増殖 39: 315-319.
- 新井章吾 2000. 南日本における藻食魚による藻場崩壊の機構について. 藻類 48: 76-77.
- 馬場将輔 2011. オオバモクとウミトラノオの成長と生残に及ぼす温度の影響. 海洋生物環境研究所研究報告 14: 1-8.
- 千葉県水産総合研究センター 2014. 東京湾海況情報集. 平成 26 年度.
- 千葉県水産総合研究センター 2015. 東京湾海況情報集. 平成 27 年度.
- 千葉県水産総合研究センター 2016. 東京湾海況情報集. 平成 28 年度.
- Conan, S., Delisle, F., Deslandes, E. and Gall, E. A. 2006. Intra-thallus phlorotannin content and antioxidant activity in Phaeophyceae of temperate waters. Bot. Mar. 49: 39-46.
- 太齋彰浩・本多正樹・藤永愛・川崎保夫. 1998. カジメ海中林現存量動態に及ぼす植食動物の摂食影響－2. 植食動物（サザエ, ヨコエビ類）の摂食速度とカジメ生産力のバランスと海中林衰退について. 日本藻類学会第 22 回大会講演要旨. 藻類 46: 76.
- Dawson, A. E. E. 1940. Studies in the Fucales of New Zealand. II. Observations on the female frond of *Carpophyllum flexuosum* (Esp.) Grev. = *Carpophyllum phyllanthus* (Turn.) Hook. & Harv. The New Phytologist 39: 283-302.

- Dixon, R. R. M., Matteo, L., Huisman, J. M., Payri, C. E., Bolton, J. J. and Gurgel, F. D. 2014. North meets south - Taxonomic and biogeographic implications of a phylogenetic assessment of *Sargassum* subgenera *Arthrophykus* and *Bactrophykus* (Fucales, Phaeophyceae). *Phycologia* 53: 15-22.
- Duffy, J. E. 1990. Amphipods on seaweeds: partners or pests? *Oecologia* 8: 267-276.
- Endo, H., Suehiro, K., Kinoshita, J., Gao, X. and Agatsuma, Y. 2013. Combined effects of temperature and nutrient availability on growth and phlorotannin concentration of the brown alga *Sargassum patens* (Fucales: Phaeophyceae). *American J. Plant Sci.* 4: 14-20.
- Fletcher, R. L. and Fletcher, S. M. 1975. Studies on the recently introduced brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. II. Regenerative ability. *Bot. Mar.* 18: 157-162.
- Folin, O. and Denis, W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J. Biol. Chem.* 12: 239-243.
- Guiry, M. D. and Guiry, G. M. 2017. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>: searched on 27 February 2017.
- Hales, J. M. and Fletcher, R. L. 1992. Receptacle regeneration in *Sargassum muticum* (Phaeophyta). *Phycologia* 31: 591-601.
- 長谷川雅俊・小泉康二・小長谷輝夫・野田幹雄 2003. 静岡県榛南海域における磯焼けの持続要因としての魚類の食害. 静岡県水産試験場研究報告 38: 19-25.
- Hay, M. E. and Fenical, W. 1988. Marine plant-herbivore interactions: the ecology of chemical defense. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 19: 111-45.
- Heo, S. J., Lee, K. W., Song, C. B. and Jeon, Y. J. 2003. Antioxidant activity of enzymatic extracts from brown seaweeds. *Algae* 18: 71-81.
- Hurd, C. L. 2000. Water motion, marine macroalgal physiology, and production. *J. Phycol.* 36: 453-472.

- Jacobucci, G. B. and Leite, F. P. P. 2014. The role of epiphytic algae and different species of *Sargassum* in the distribution and feeding of herbivorous amphipods. Lat. Am. J. Aquat. Res. 42: 353-363.
- 海洋生物環境研究所 2012. 火力・原子力関係環境審査調査（温排水生物群集影響調査）報告書.
- 蒲原聡・服部克也・甲斐正信・原田靖子・桑原久実・鈴木輝明・高倍昭洋 2009. 伊勢湾東部知多半島先端域のサガラメ *Eisenia arborea* 群落における波浪流速がアイゴ *Siganus fuscescens* の採食圧に与える影響. 水産工学 45: 221-228.
- 金田友紀 2005. 藻場の持つ機能. 一静穏域形成による魚類幼稚仔の保護・育成場一. 北水試だより 69: 21-23.
- 川俣茂 2001. 石膏半球を用いた波動流速測定. 日本水産工学会学術講演会講演論文集 13: 53-56.
- 川俣茂・長谷川雅俊 2006. アイゴの海藻摂食に及ぼす振動流の影響. 日本水産学会誌 72: 717-724.
- 川俣茂・木元克則 1997. 波浪による海藻の流出に関する研究. 水産工学研究所研究報告.
- 桐原慎二・藤川義一 2000. ヨレモク. シンポジウムーホンダワラ類の繁殖・生態と藻場造成技術一. 日本水産学会誌 66: 752-753.
- 桐山隆哉 2009. 長崎県沿岸の近年における大型褐藻群落の衰退現象に関する研究. 長崎県水産試験場研究報告 35: 15-78.
- 桐山隆哉 2008. 昭和 53 年と平成 19 年の比較からみた大型褐藻群落の変化. 長崎県総合水産試験場. 漁連だより 153.
- 桐山隆哉・藤井明彦 2005. 藻食性魚類による大型褐藻類に対する食害の実態把握に関する研究. 長崎県総合水産試験場研究報告.
- 桐山隆哉・大橋智志・藤井明彦・吉村拓 2002. 藻場に対する食害実態調査. 長崎県総合水産試験場平成 14 年度事業報告. 95-102.

- 小林時正・吉村拓・長谷川雅俊・霜村胤日人・尾上静正・内海訓弘・桐山隆哉・藤井明彦 2005. 藻食性魚類の大型褐藻類に対する食害の実態解明. 静岡県・大分県・長崎県総括研究報告.
- 今野敏徳 1985. 漸深帯大型海藻の帯状分布に及ぼす波浪の影響. 東京水産大学研究報告 72: 85-97.
- Mantyka, C. S. and Bellwood, D. R. 2007. Macroalgal grazing selectivity among herbivorous coral reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 352: 177-185.
- 増田博幸・角田利晴・林義次・西尾四良・水井悠・堀内俊助・中山恭彦 2000. 藻食性魚類アイゴの食害による造成藻場の衰退. *水産工学* 37: 135-142.
- 道家章生・宗清正廣・辻秀二・井谷匡志 1997. 京都府の海藻. ―ホンダワラ類の種苗技術―. 京都府立海洋センター研究報告 19: 28-34.
- 道家章生・葭矢護・井谷匡志 2004. 植食動物の摂食によるホンダワラ科海藻の消長. 京都府立海洋センター研究報告 26: 15-20.
- Moss, B. L. 1964. Wound healing and regeneration in *Fucus vesiculosus*. (Ed. by Davy de Virville, A. D. and Feldmann, J.) *Proc. 4th Int. Seaweed Sym. Biarritz. Sep. 1961.* pp. 117-122. Pergamon. Oxford.
- 村瀬昇 2001. 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardh の生態学的研究. 水産大学校研究報告 49: 131-212.
- 村瀬昇 2010. 藻場の生産力を調べる. 藤田大介・村瀬昇・桑原久実(編) 藻場を見守り育てる知恵と技術. pp. 105-115. 成山堂書店. 東京.
- 長崎県水産部 2012. 長崎県における磯焼け対策ガイドライン.
- 中久喜昭 1983. オオバモクの生態と群落造成. *水産土木* 20: 45-49.
- Nakai, M., Kageyama, N., Nakahara, K. and Miki, W. 2006. Phlorotannins as radical scavengers from the extract of *Sargassum ringgoldianum*. *Mar. Biotech.* 8: 409-414.

- 中嶋泰 1978. 小湊産ホンダワラ属海藻の形態変動ならびに成熟に関する特性の比較. 東京海洋大学. 修士学位論文.
- 中嶋泰・今野敏徳 1979. 千葉県小湊の漸深帯に生育するホンダワラ属海藻の成熟・卵放出期間と季節的消長. 日本藻類学会第3回春期大会講演要旨. 藻類 27: 53.
- 難波信由 1993. 褐藻ジョロモクとアカモクの幼体切片の再生. 日本水産学会誌 59: 789-794.
- 難波信由 2003. 生殖細胞, 初期発芽体の特性. ホンダワラ類. 能登谷正浩(編) 藻場の海藻と造成技術. pp. 1-2. 成山堂書店. 東京.
- 野田幹雄・大神賢志・大原啓史・村瀬昇・池田至・田上保博 2013. アイゴの嗜好性に及ぼすアラメ・カジメ類5種(コンブ目レソニア科)のポリフェノール含有量と藻体の硬さの効果. 水産増殖 61: 113-117.
- 野田幹雄・大原啓史・村瀬昇・池田至・山元憲一 2014. アイゴによるアラメおよび数種のホンダワラ類の被食過程と群落構造の関係. 日本水産学会誌 80: 201-213.
- 野田幹雄・大原啓史・浦川賢二・村瀬昇・山元憲一 2011. 響灘蓋井島のガラモ場に出現したアイゴ成魚の餌利用. ー大型褐藻類の採餌との関連ー. 日本水産学会誌 77: 1008-1019.
- 小田桐慎一郎・加藤陽治 2014. ツルアラメに含まれる糖質, アミノ酸およびポリフェノールの季節変化. 日本水産学会誌 61: 268-277.
- 尾上静正・内海訓弘・山田英俊・田村勇司 2005. 藻食性魚類による大型褐藻類に対する食害の実態把握に関する研究. 大分県農林水産研究センター水産試験場報告書.
- Ogawa, H. 1974. On the antheridium development of *Sargassum micracanthum* and *S. ringgoldianum*. Mar. Biol. 27: 21-26.
- 大野正夫 1984. 土佐湾沖の流れ藻の藻類学的研究. 日本水産学会誌 50: 1653-1656.
- 太田雅隆・二宮早由子 1990. ホンダワラ属海藻の分布と海水流動との関係. 藻類 38: 179-185.

- Pavia, H., Toth, G. B. and Aberg, P. 2002. Optimal defense theory: elasticity analysis as a tool to predict intraplant variation in defenses. *Ecology* 83: 891-897.
- Pereira, R. C. and Valentin, Y. Y. 1999. The role of polyphenols from the tropical brown alga *Sargassum furcatum* on the feeding by amphipod herbivores. *Bot. Mar.* 42: 441-448.
- Pillans, R. D., Franklin, C. E. and Tibbetts, I. R. 2004. Food choice in *Siganus fuscescens*: influence of macrophyte nutrient content and availability. *J. fish Biol.* 64: 297-309.
- Raubenheimer, D., White, W. L. Z., Phillips, R. J. and Clements, K. D. 2005. Algal Macronutrients and food selection by the omnivorous marine fish *Girella tricuspidata*. *Ecology* 86: 2601-2610.
- 貞松大樹 2009. 葉状部が欠損した褐藻アラメの再生に関する研究. 東京海洋大学. 修士学位論文.
- 斉藤雄之助 1980. 瀬戸内海およびその周辺海域におけるホンダワラ科藻類の分布について. 西海区水産研究所研究報告 12: 51-68.
- 櫻井繁・工藤孝浩 2014. 神奈川県沿岸域におけるアイゴ未成魚の出現について. 神奈川県水産技術センター研究報告 7: 37-40.
- 佐藤利夫・桑原智之・佐藤周之 2007. 産業廃棄物利用藻礁コンクリートによる藻場形成に関する研究. 日本水産学会誌 61: 54-65.
- Schwartz, N., Rohde, S., Shimabukuro, H. and Schupp, P. J. 2016. Understanding the invasion success of *Sargassum muticum*: herbivore preferences for native and invasive *Sargassum* spp. *Mar. Biol.* 163: 181.
- 霜村胤日人・長谷川雅俊・山田博一・相楽充紀・柳瀬良介 2005. 藻食性魚類による大型褐藻類に対する食害の実態把握に関する研究. 静岡県水産試験場伊豆分場研究報告.
- Targett, N. M. and Arnold, T. M. 1998. Predicting the effects of brown algal phlorotannins on marine herbivores in tropical and temperate oceans. *J. Phycol.* 34: 195-205.
- 寺脇利信・新井章吾 2001. 藻場の景観模式図. 千葉県館山市坂田地先. 藻類 49: 131-135.

- 寺脇利信・後藤弘 1986. 三浦半島小田和湾におけるオオバモクの生長と成熟. 水産増殖 34: 141-146.
- 月舘潤一 1984. ヤツマタモクとヨレモクの幼体の最適生長条件について. 南西海区水産研究所研究報告 16: 1-9.
- 津志田藤二郎 2000. 機能性食品成分の分離・構造決定. ポリフェノールの分析法, 篠原和毅・鈴木建夫・上野川修一 (編) 食品機能研究法. pp. 318-322. 光琳. 東京.
- Umezaki, I. 1985. Growth of the stem in *Sargassum ringgoldianum* Harv. subsp. *coreanum* (J. Ag.) Yoshida in Obama Bay, Japan Sea. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 51: 1441-1445.
- Umezaki, I. 1986. Growth of the primary laterals in *Sargassum ringgoldianum* Harv. subsp. *coreanum* (J. Ag.) Yoshida in Obama Bay, Japan Sea. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 52: 957-963.
- 山内信・木村創・高橋芳明 2009. アイゴのカジメに対する摂餌率の日変化と季節変化. 和歌山県水産試験場研究報告 1: 13-16.
- 八谷光介・清本節夫・吉田吾郎・吉村拓 2012. 九州西岸に生育するホンダワラ属 13 種の付着器からの再生能力. 藻類 60: 41-45.
- 吉田吾郎 2010. 藻場が多いと魚も捕れる. 一瀬戸内海の藻場の現状・特性とこれから一. 瀬戸内海区水産研究所研究成果発表会.
- 吉田吾郎・新村陽子・樽谷賢治・浜口昌巳 2011. 海藻類の一次生産と栄養塩の関係に関する研究レビュー. 一および瀬戸内海藻場の栄養塩環境の相対評価一. 水研センター研究報告 34: 1-31.
- Yoshida, T. 1960. On the growth rings found in the root of *Sargassum ringgoldianum* Harvey (Fucales). Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 26: 673-678.
- Yoshida, T. 1983. Japanese species of *Sargassum* subgenus *Bactrophycus* (Phaeophyta, Fucales). J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. V (Bot.) 13: 99-246.

- 吉村拓・桐山隆哉・清本節男 2006. 変わりゆく九州西岸域の藻場. オオバモク. 藤田大介・村瀬昇・桑原久実 (編) 海藻を食べる魚たち. ー生態から利用までー. pp. 41-43. 成山堂書店. 東京.
- 吉崎誠 2003. 生物季節学的調査ー種の発生から成熟, 脱落までの生活環調査 (ホンダワラ類の季節的消長). 竹内均 (監) 地球環境調査事典. 第 3 巻沿岸編. pp. 912-913. フジ・テクノシステム. 東京.
- You, C., Zeng, F., Wang, S. and Li, Y. 2014. Preference of the herbivorous marine teleost *Siganus canaliculatus* for different macroalgae. J. Ocean Univ. China 13: 516-522.

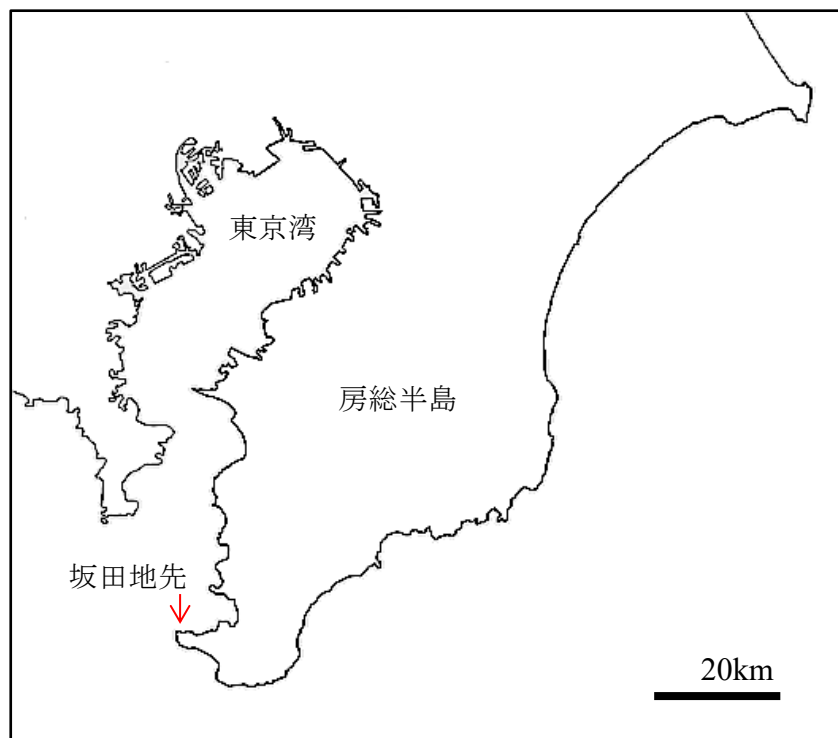


Fig. 1 調査地坂田地先の位置

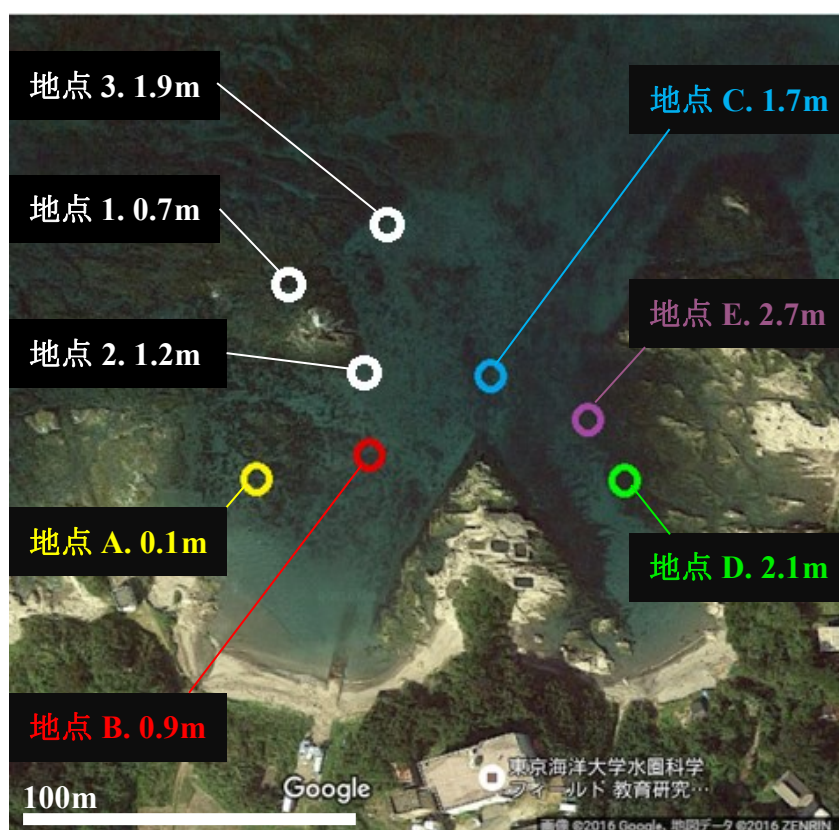


Fig. 2 各調査地点と水深 (番号, アルファベットはそれぞれ水深順)



Fig. 3 地点 1 の景観（左：2016 年 3 月，右：一部が黒化した藻体 2015 年 5 月）



Fig. 4 地点 2 の景観（左：2015 年 1 月，右：2016 年 9 月）



Fig. 5 地点 3 の景観（左：2014 年 8 月，右：2016 年 3 月）



Fig. 6 地点 A の景観（左：2015 年 12 月，右：付着器が砂に埋まった藻体 2016 年 7 月）



Fig. 7 地点 B の景観（左：2015 年 1 月，右：2016 年 9 月）



Fig. 8 地点 C の景観（左：2015 年 12 月，右：2016 年 8 月）



Fig. 9 地点 D の景観（左：2015 年 5 月，右：2016 年 1 月）



Fig. 10 地点 E の景観（左：2016 年 11 月，右：地点周辺に集まった寄り藻 2016 年 11 月）

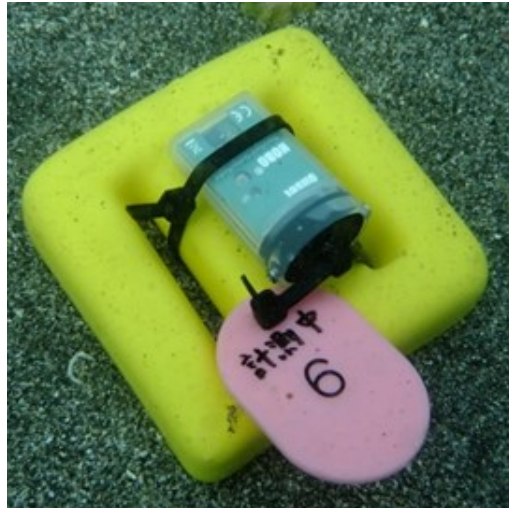


Fig. 11 海底に設置したロガー



Fig. 12 海底に設置した石膏半球（左：設置時 2016 年 7 月 13 日，右：回収時 2016 年 7 月 19 日）

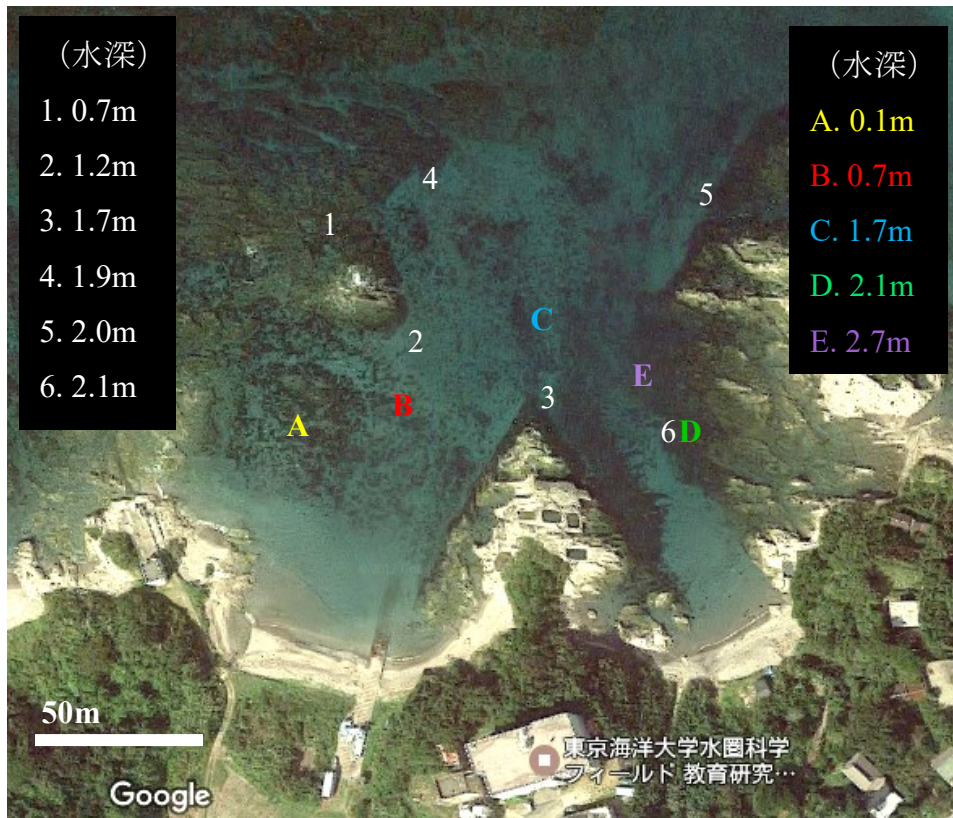


Fig. 13 石膏半球設置場所（1～6）と5地点別の季節的消長の調査地点（A～E）および各地点の水深（番号およびアルファベットは水深順）



Fig. 14 結束バンドとタグによる藻体の標識



Fig. 15 オオバモクの成体（2015年3月採集）

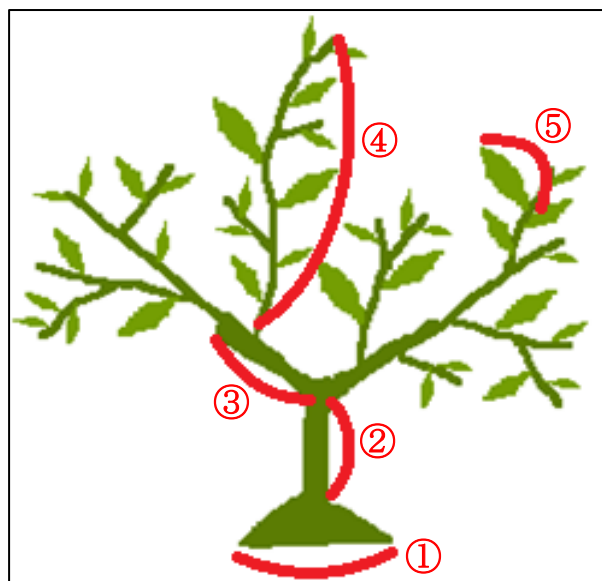


Fig. 16 計測部位の概略（①付着器径，②主茎長，③最大分茎長，④最大主枝長，⑤最大葉長）



Fig. 17 オオバモクの1年目の幼体（2014年6月採集）

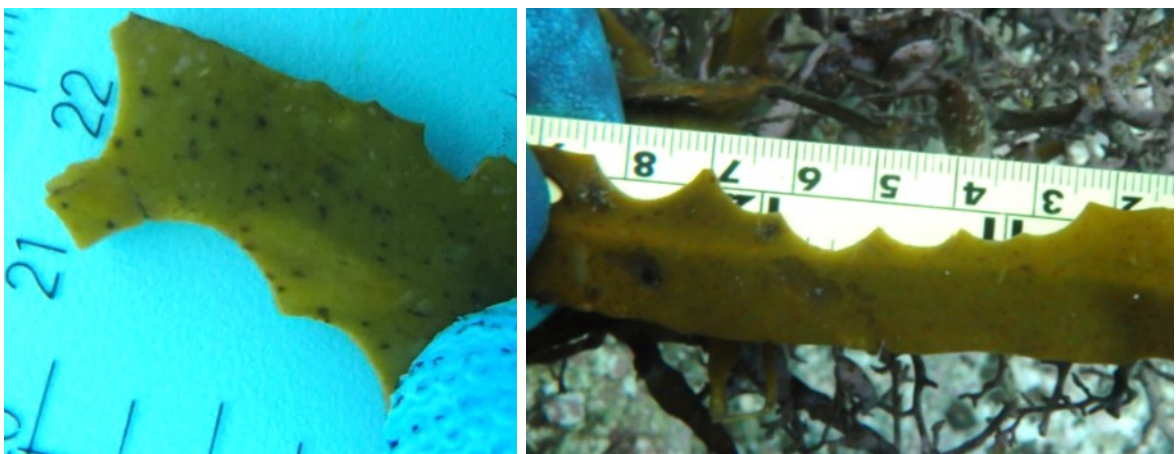


Fig. 18 オオバモクの葉に残された食痕（左：2014年9月，右：2015年10月）

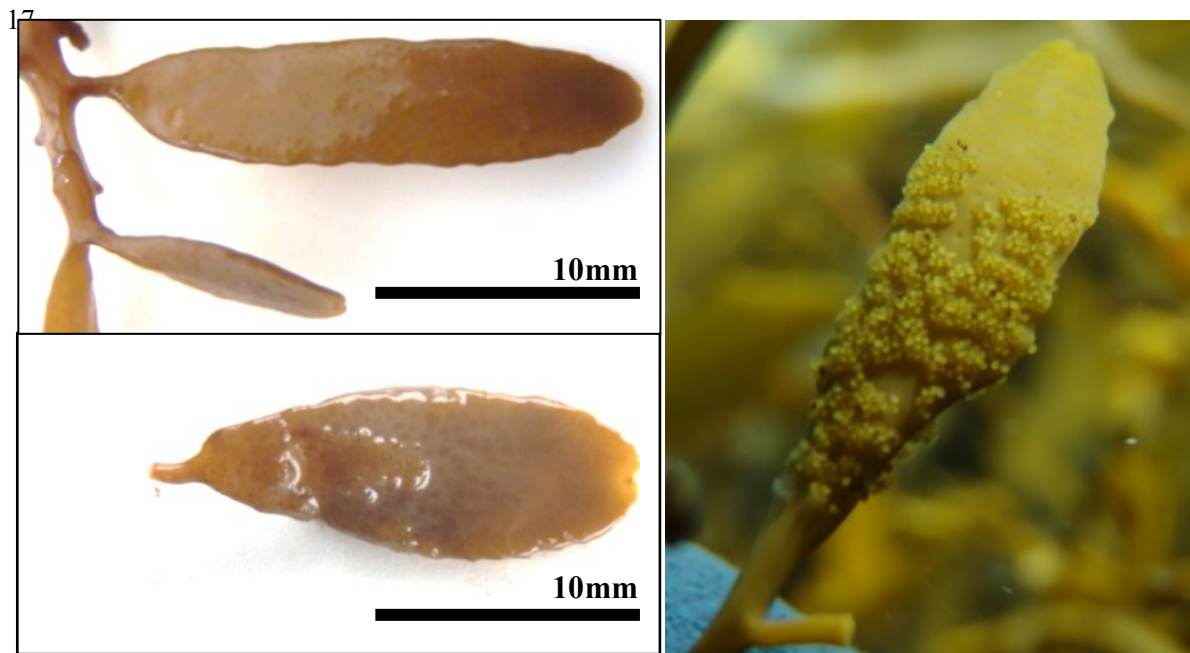


Fig. 19 オオバモクの生殖器床（左上：雄性生殖器床，左下：雌性生殖器床，右：放卵した生殖器床 2015 年 8 月）



Fig. 20 付着器の縦断面（左）と横断面（右），スケールバー：10mm

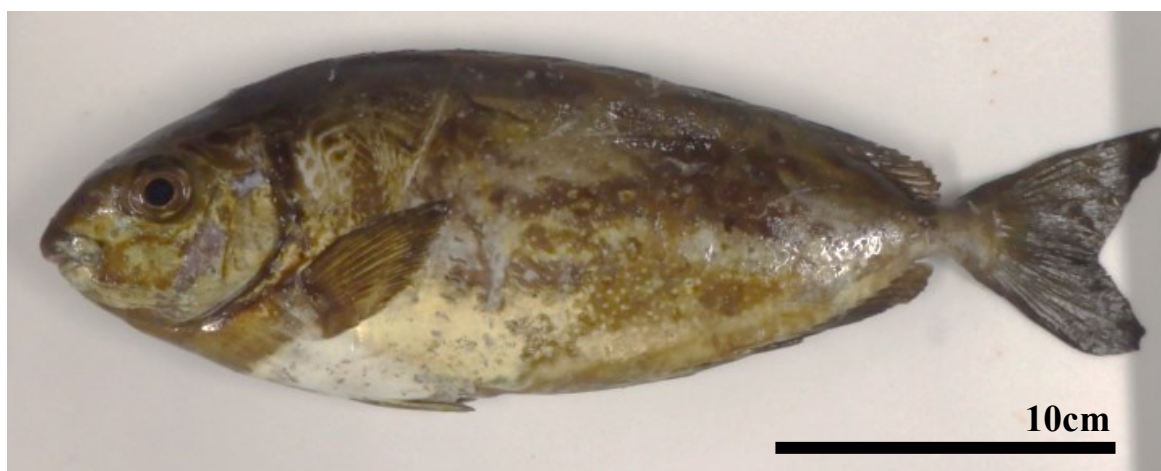


Fig. 21 釣りで採集したアイゴ成魚，2015 年 10 月

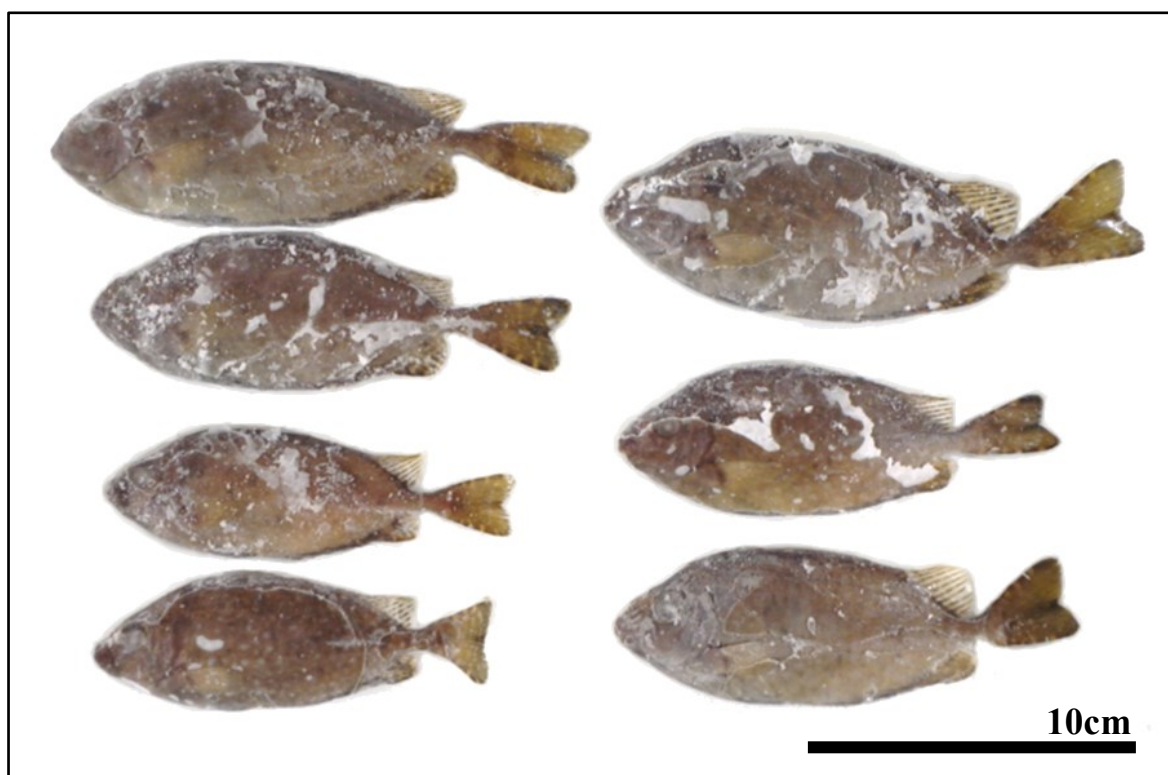


Fig. 22 定置網で採集されたアイゴ若魚（冷凍後），2016 年 9 月

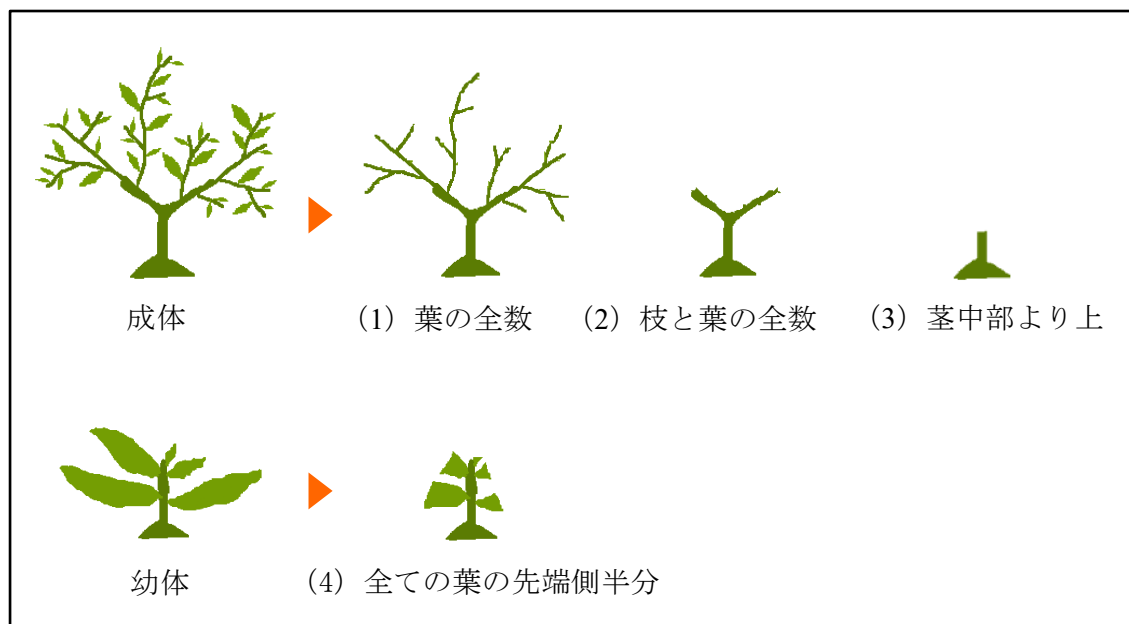


Fig. 23 切除段階の略図



Fig. 24 切除実験の藻体 左：(1) 葉の全数を切除—葉の基部は枝に残存，中央：(2) 葉と枝の全数を切除—主枝の基部が茎に残存，右：(3) 茎中部より上を切除 (2016年1月)

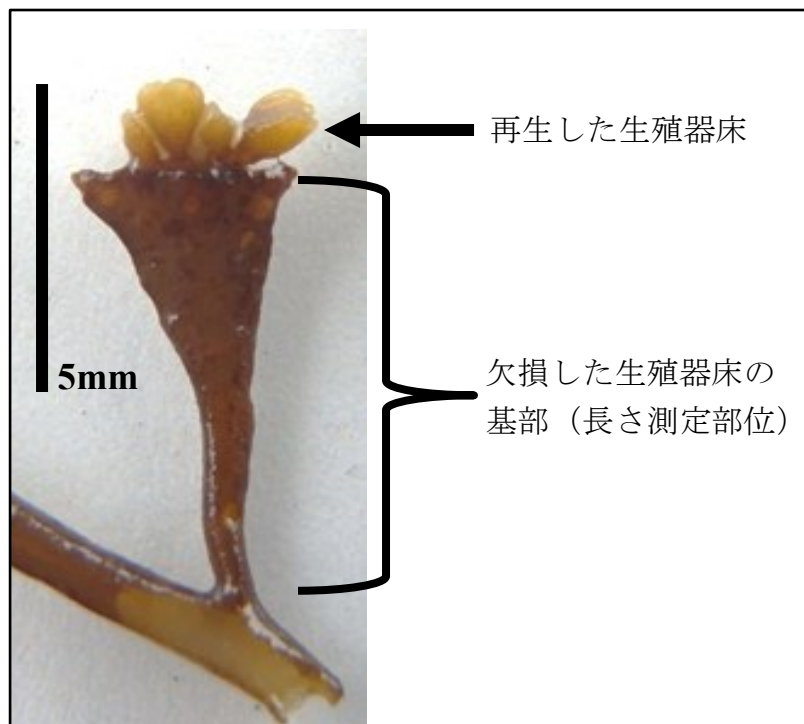


Fig. 25 欠損した生殖器床の基部と断面から再生した生殖器床



Fig. 26 再生した雄性生殖器床（左）と雌性生殖器床（右）

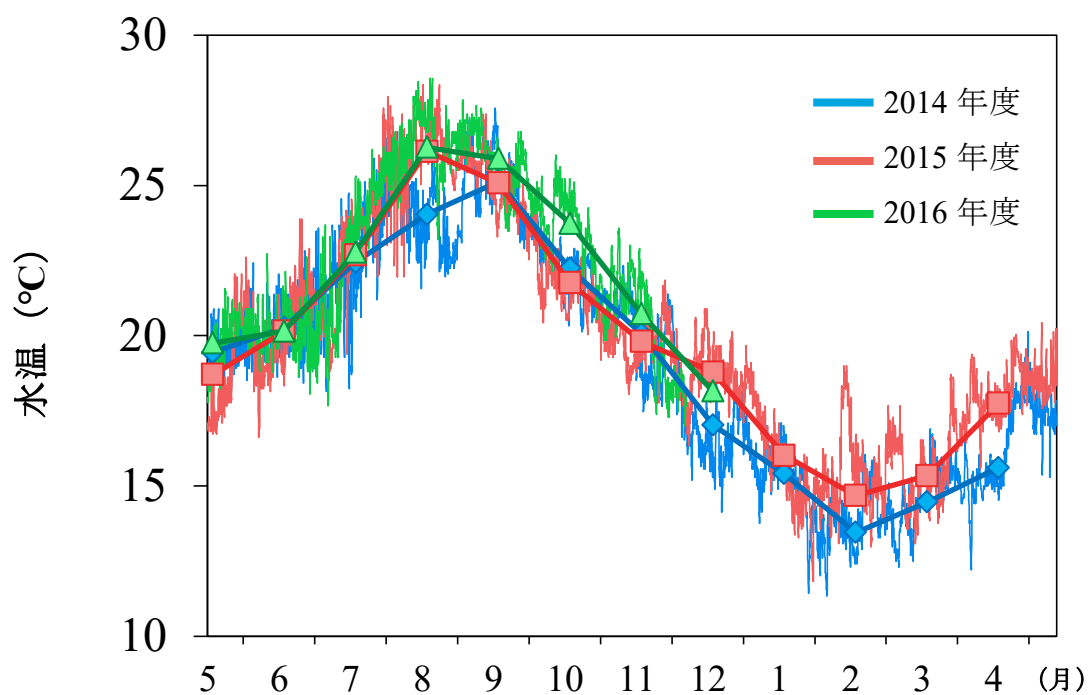


Fig. 27 各年度における水温の変化（プロットは月平均を示す）

Table 1 各年度各月の水温平均と前年度との差

	水温 (°C)											
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
2014 年度	19.5	20.3	22.5	24.0	25.1	22.3	20.1	17.0	15.4	13.5	14.5	15.6
2015 年度	18.7	20.2	22.7	26.1	25.1	21.8	19.8	18.8	16.0	14.7	15.4	17.8
2016 年度	19.8	20.2	22.8	26.3	25.9	23.7	20.7	18.2				
2015-2014 年度の差	-0.8	-0.1	0.2	2.1	0.0	-0.5	-0.3	1.8	0.6	1.2	0.9	2.2
2016-2015 年度の差	1.1	0.0	0.1	0.2	0.8	1.9	0.9	-0.6				

Table 2 地点ごとの石膏半球の質量変化と流速

計測地点	水深 (m)	初期質量 (g)	減少量 (g)	残質量 (g)	平均溶解度 (mm/日)	絶対流速 (cm/s)
1	0.7	201	80	120	1.06	19.28
2	1.2	201	73	127	0.95	17.3
3	1.7	201	37	163	0.44	8.12
4	1.9	201	67	133	0.86	15.66
5	2.0	201	66	134	0.84	15.39
6	2.1	201	38	162	0.46	8.36

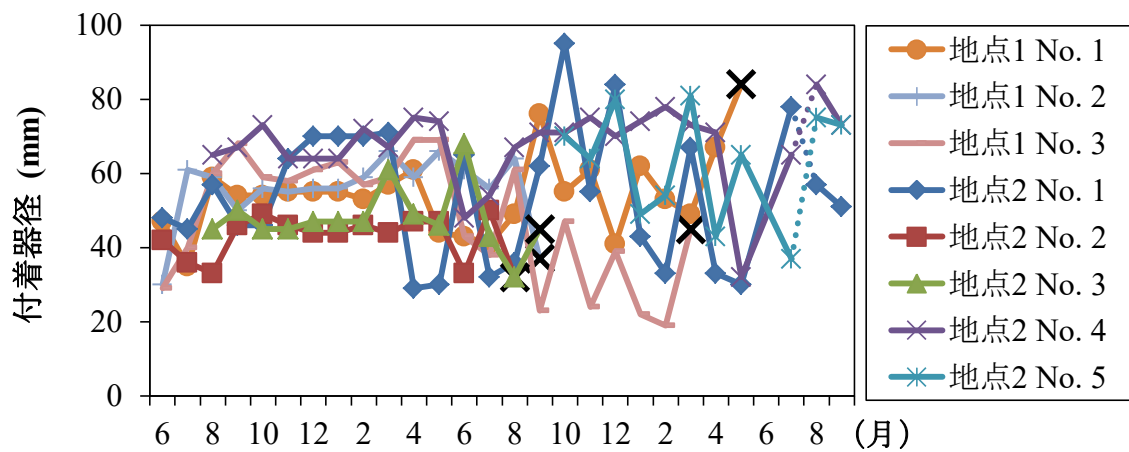


Fig. 28 追跡藻体（成体）の付着器径の変化（×：流出，2014年6月～2016年9月）

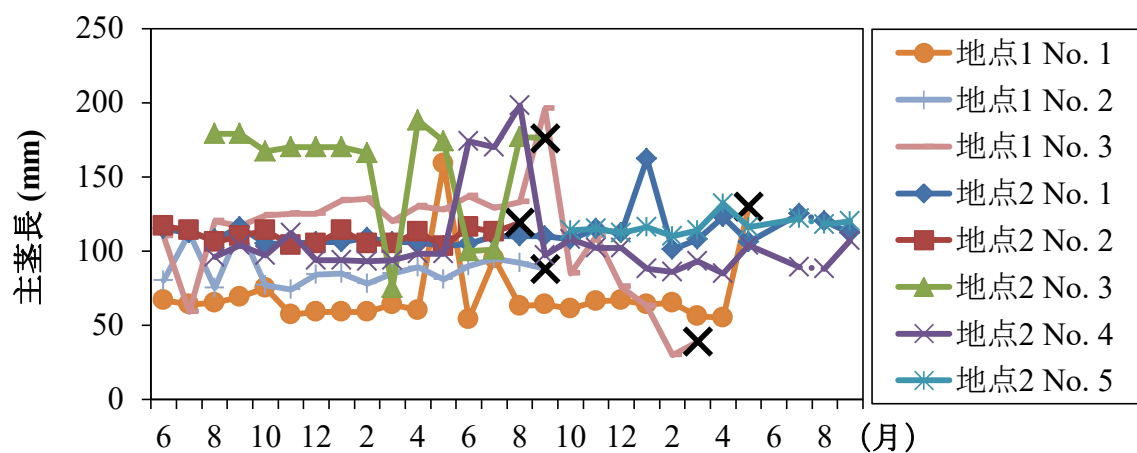


Fig. 29 追跡藻体（成体）の主茎長の変化（×：流出，2014年6月～2016年9月）

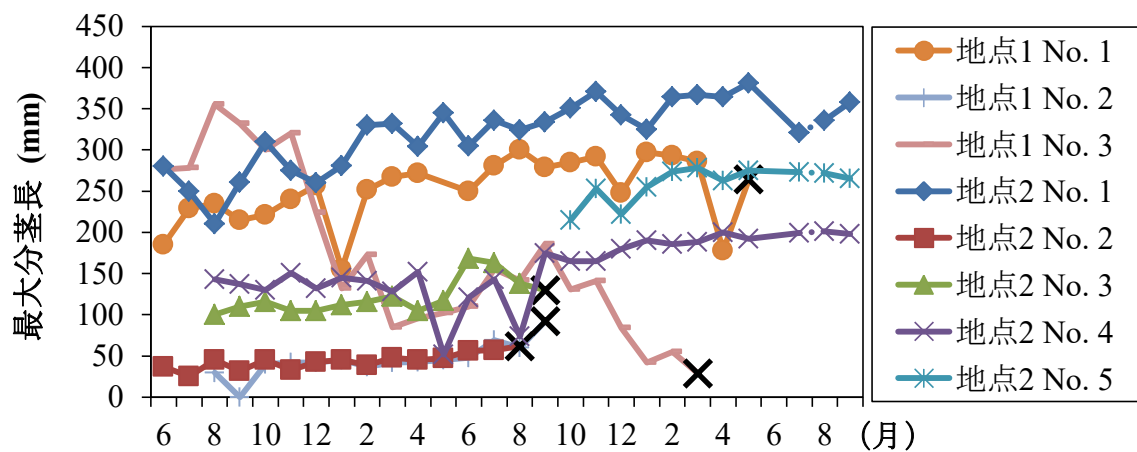


Fig. 30 追跡藻体（成体）の最大分茎長の変化（×：流出，2014年6月～2016年9月）

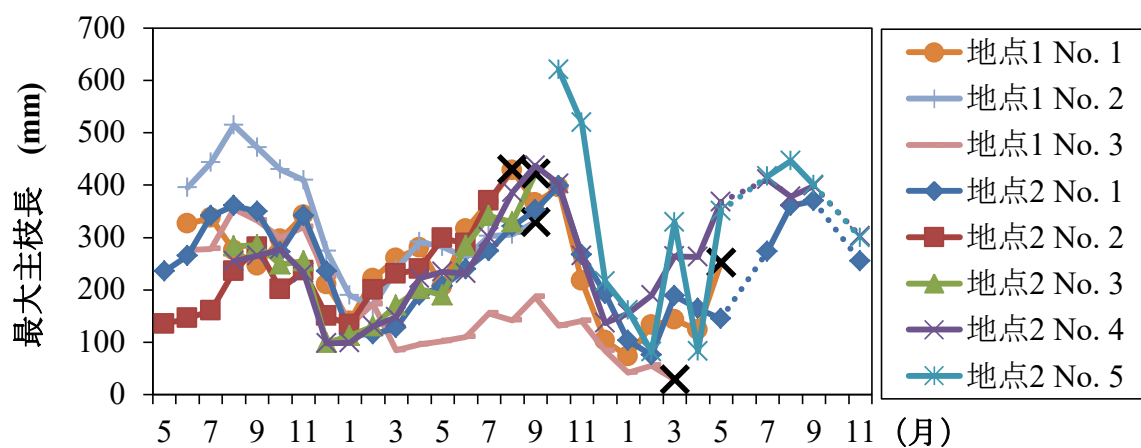


Fig. 31 追跡藻体（成体）の最大主枝長の変化（×：流出，2014年5月～2016年11月）

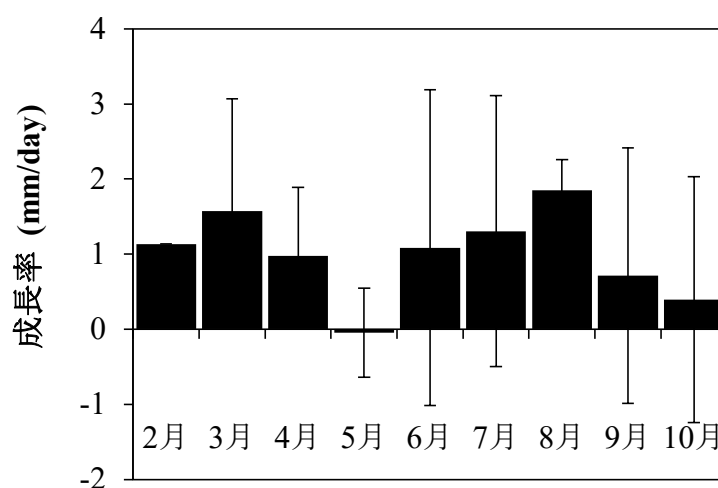


Fig. 32 追跡藻体（成体）の成長時期における主枝長の成長率の変化（mm/day，2015年2～10月，地点1 No. 3 および地点2 No. 5 を除く計測藻体の成長率の平均）

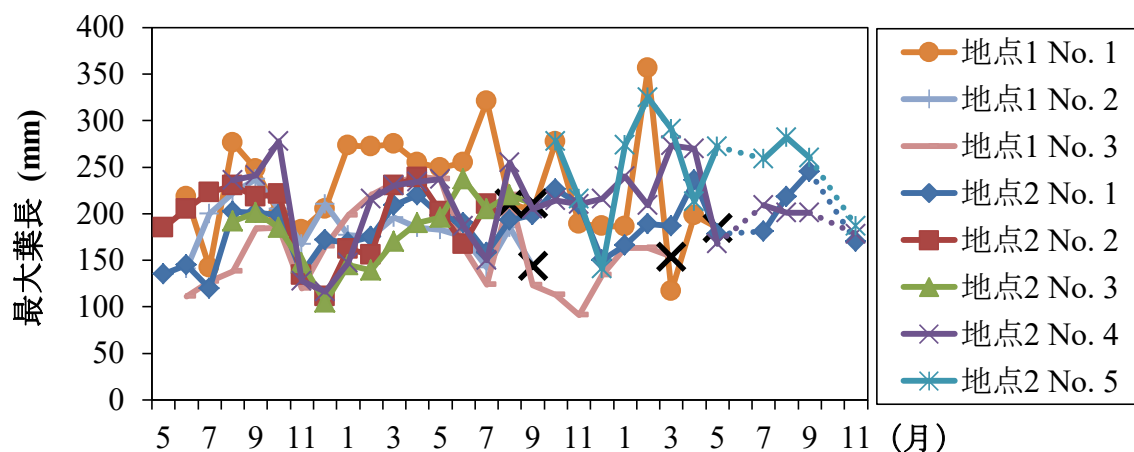


Fig. 33 追跡藻体（成体）の最大葉長の変化（×：流出，2014年5月～2016年11月）

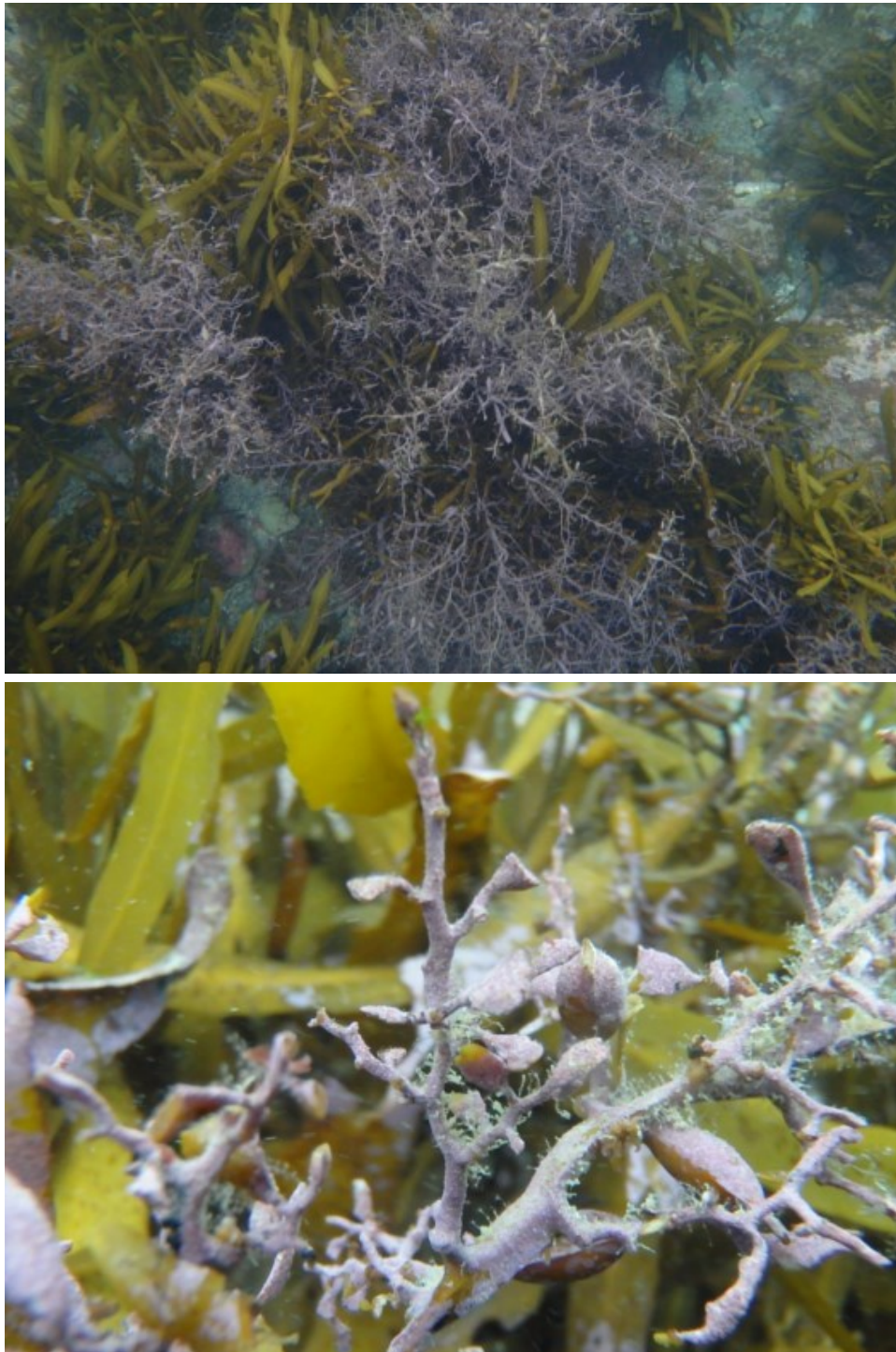


Fig. 34 無節サンゴモ類に覆われたオオバモク（上：俯瞰，下：詳細，
2016年11月）

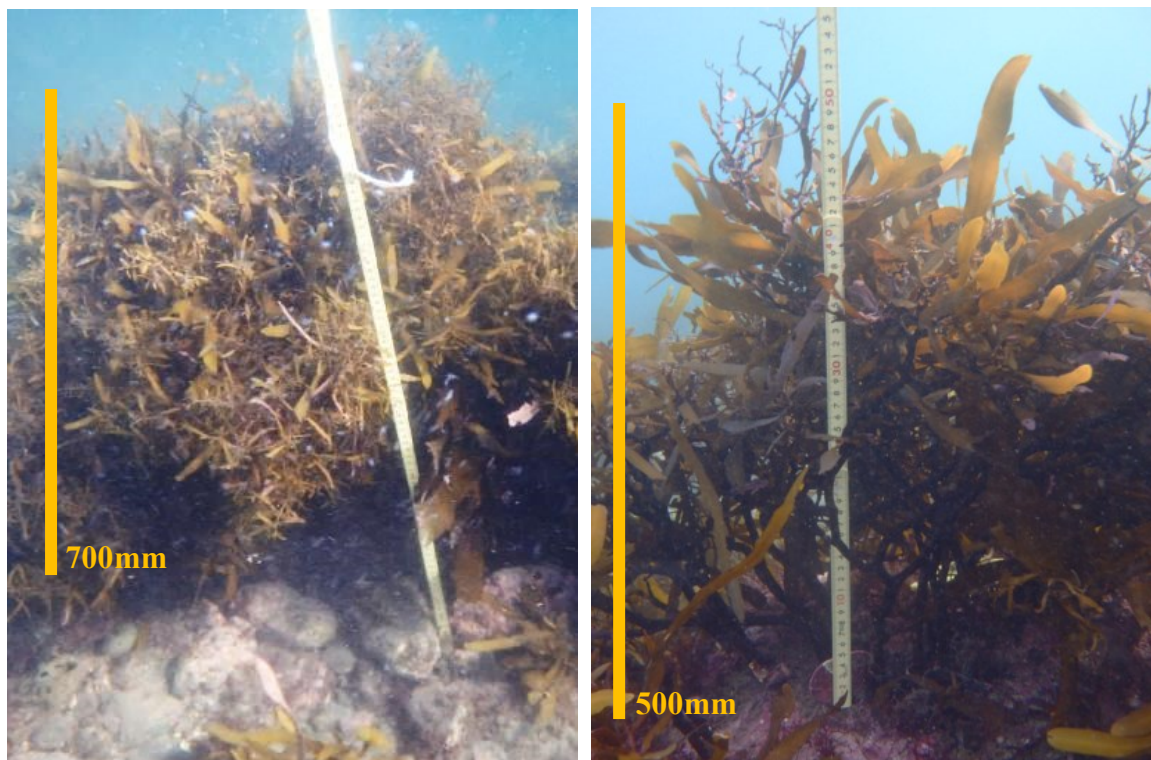
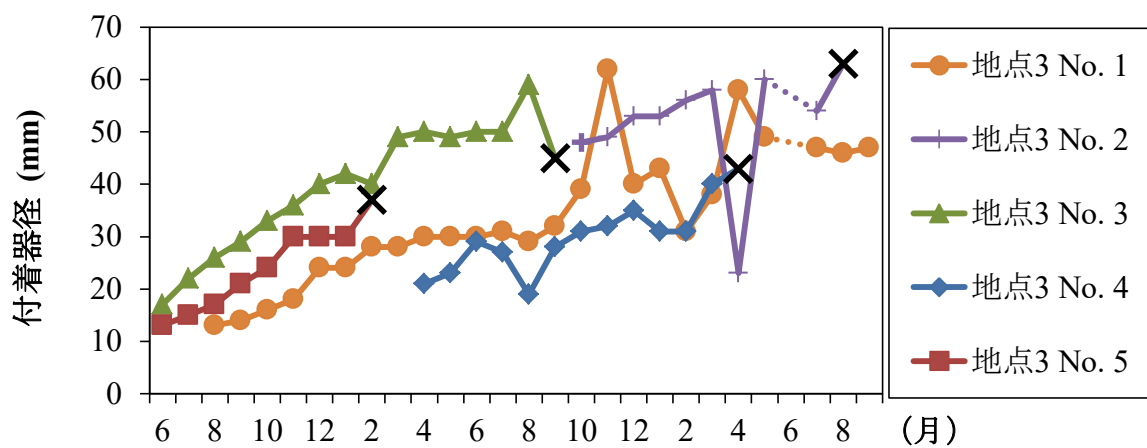


Fig. 35 オオバモク成体の季節変化（地点 2 No. 1, 左：主枝が繁茂し成熟 2016 年 8 月, 右：大部分の主枝が欠落 2016 年 11 月）



Fig. 36 オオバモクの葉上に出現したヨコエビ類（上：ヨコエビと摂餌痕，下：ヨコエビと巣および摂餌痕，2015年5月）



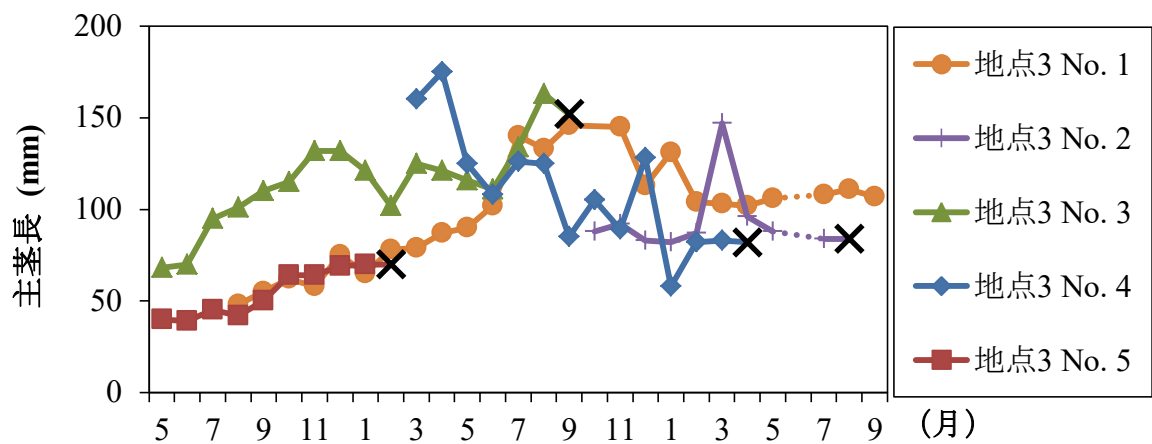


Fig. 38 追跡藻体（幼体）の主茎長の変化（×：流出，2014年5月～2016年9月）

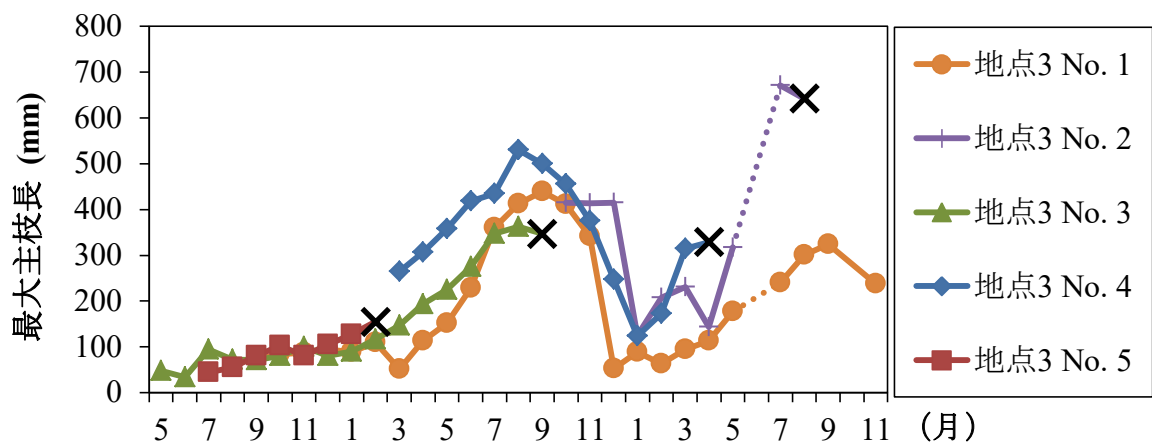


Fig. 39 追跡藻体（幼体）の最大主枝長の変化（×：流出，2014年5月～2016年11月）

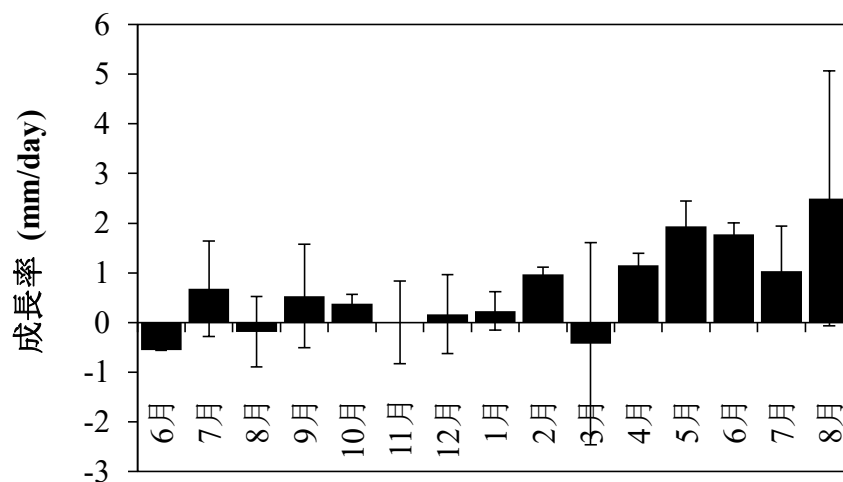


Fig. 40 追跡藻体（幼体）の成長時期における主枝長の成長率の変化（mm/day，2014年6月～2015年8月，地点3 No. 2を除く計測藻体の成長率の平均）

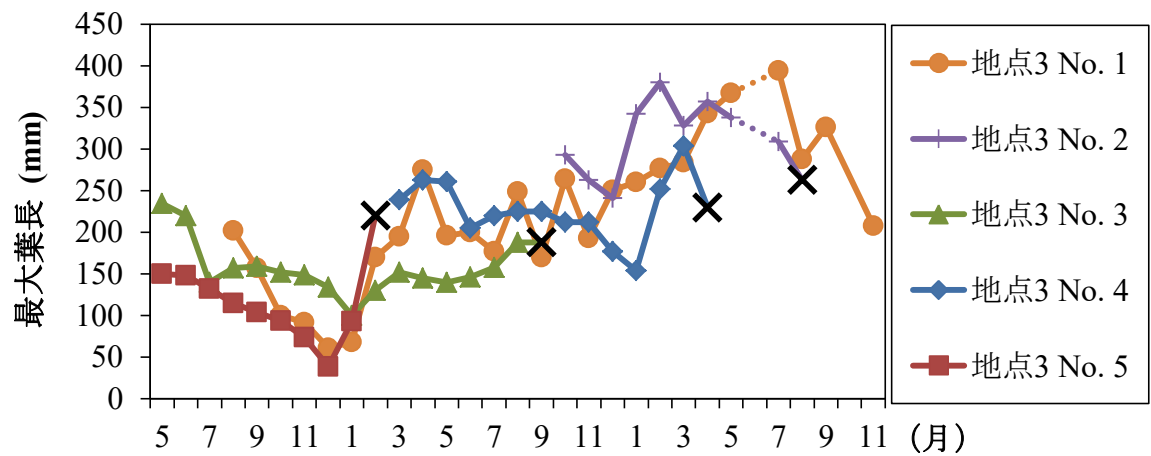


Fig. 41 追跡藻体（幼体）の最大葉長の変化（×：流出，2014年5月～2016年11月）



Fig. 42 オオバモク幼体の季節変化（地点3 No. 1）

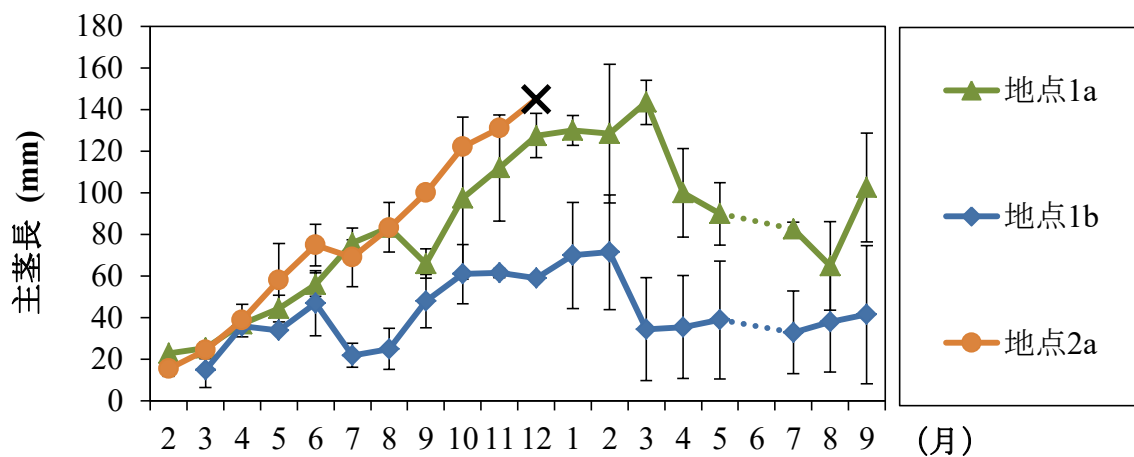


Fig. 43 新規加入幼体の主茎長の変化 (×：流出, 2015年2月～2016年9月)

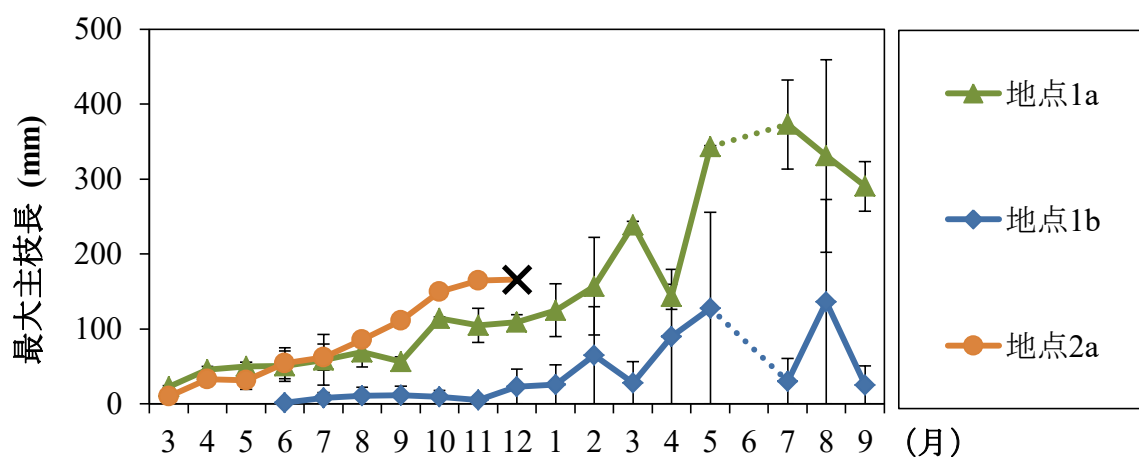


Fig. 44 新規加入幼体の最大主枝長の変化 (×：流出, 2015年3月～2016年9月)

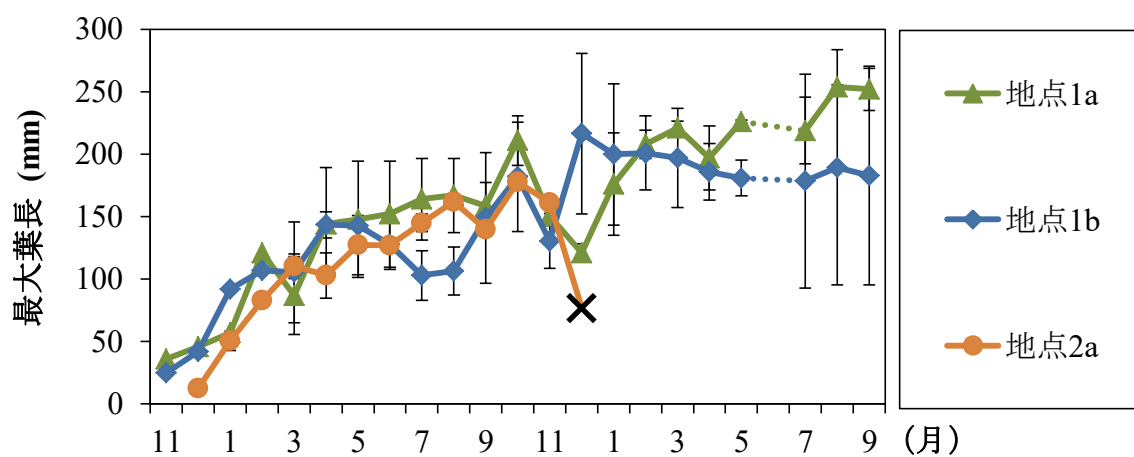


Fig. 45 新規加入幼体の最大葉長の変化 (×：流出, 2014年11月～2016年9月)

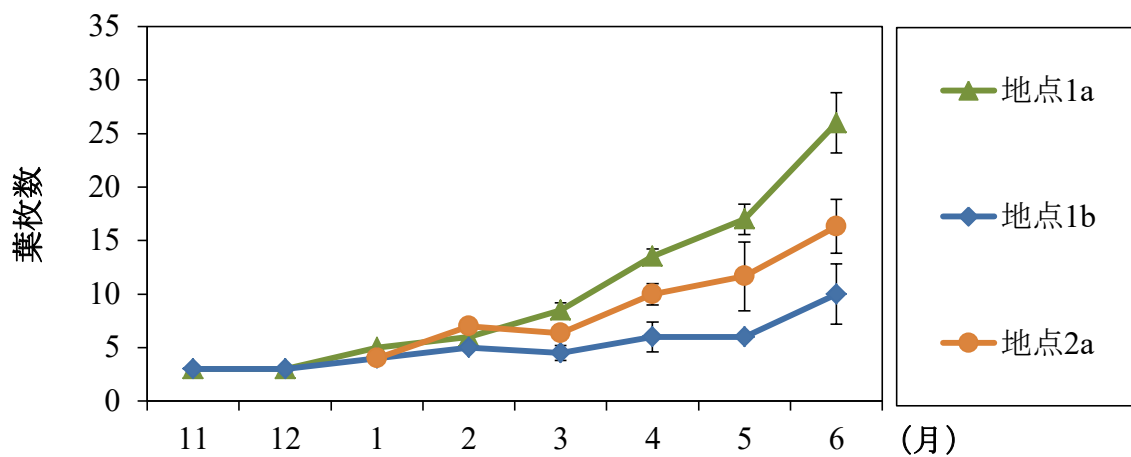


Fig. 46 新規加入幼体の葉枚数の変化 (2014 年 11 月～2015 年 6 月)

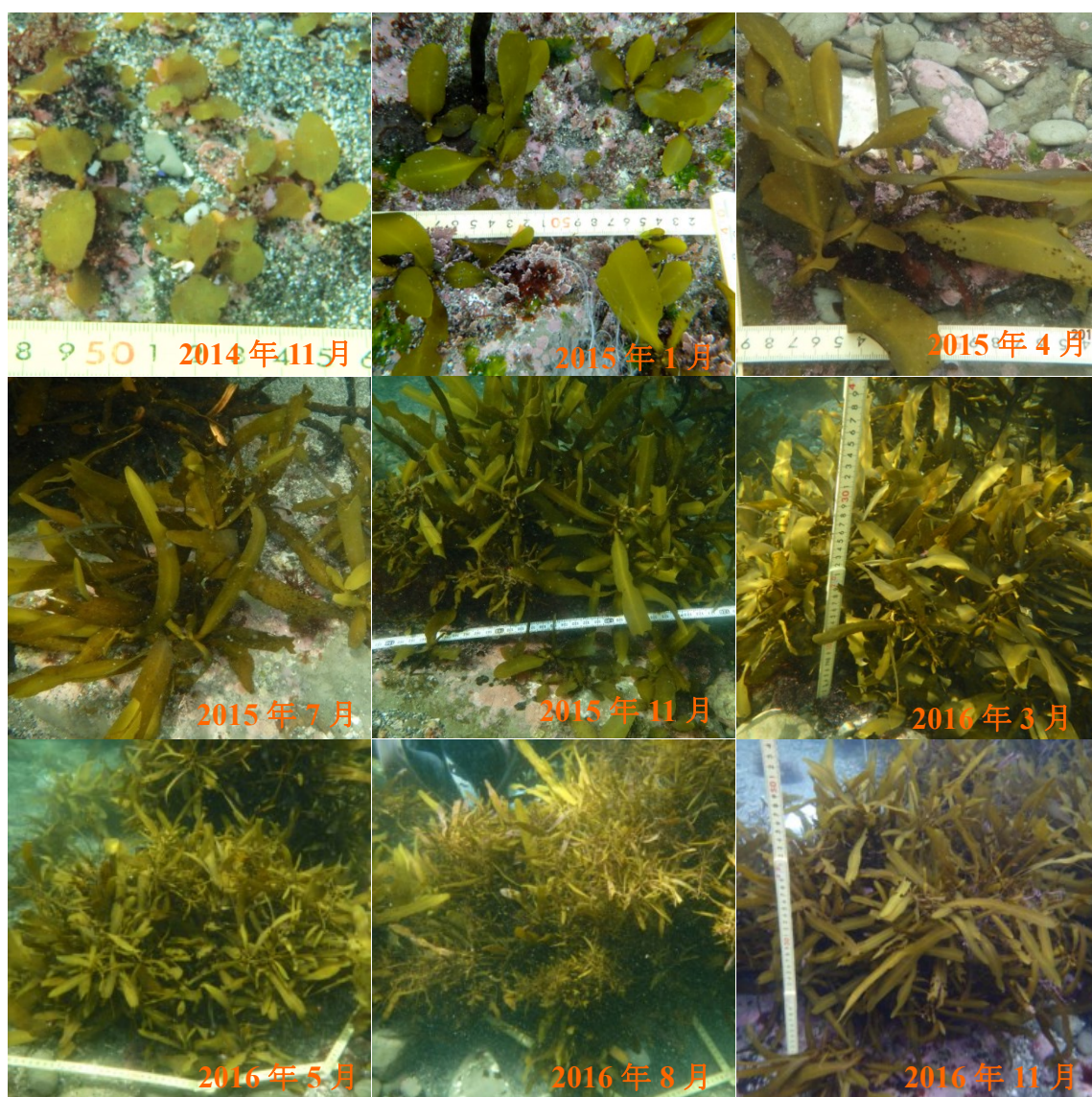


Fig. 47 新規加入幼体の変化 (地点 1a : 2014 年 11 月～2015 年 11 月)

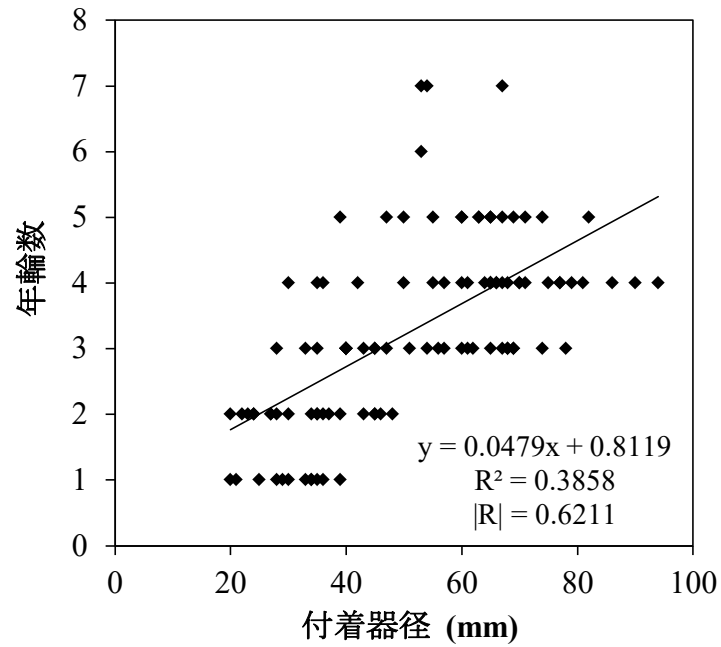


Fig. 48 年輪と付着器径の相関（直線は線形近似）サンプルは地点 1～3 で採集

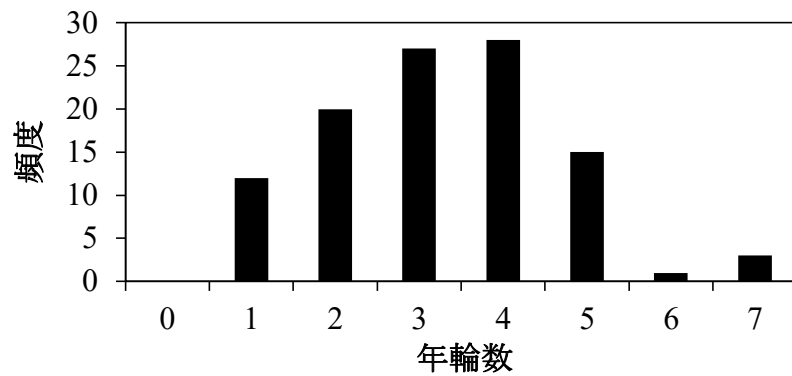


Fig. 49 年輪の頻度分布（n = 106）サンプルは地点 1～3 で採集

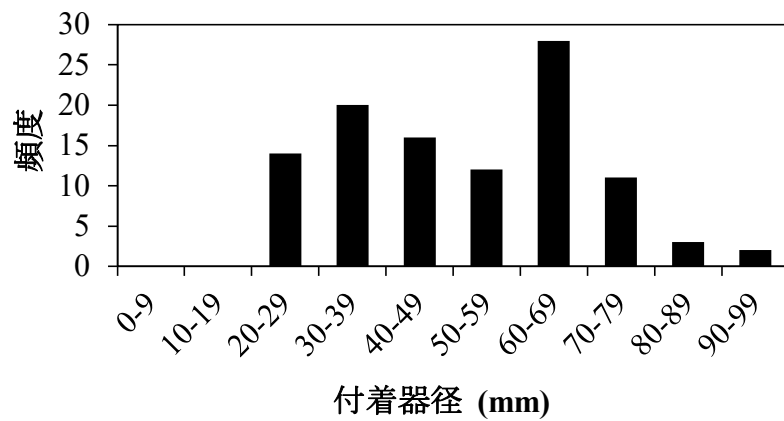


Fig. 50 付着器径の頻度分布（n = 106）サンプルは地点 1～3 で採集

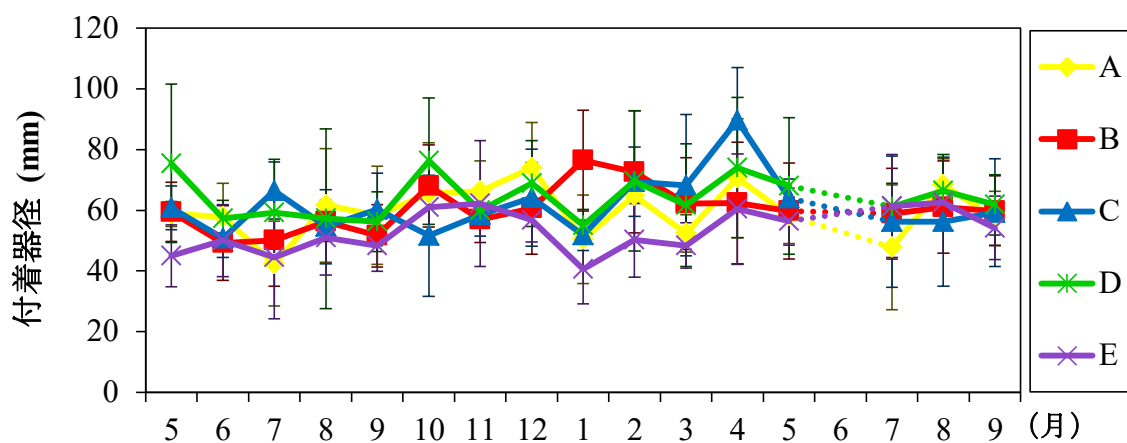


Fig. 51 地点別大型藻体の付着器径の変化 (2015 年 5 月～2016 年 9 月)

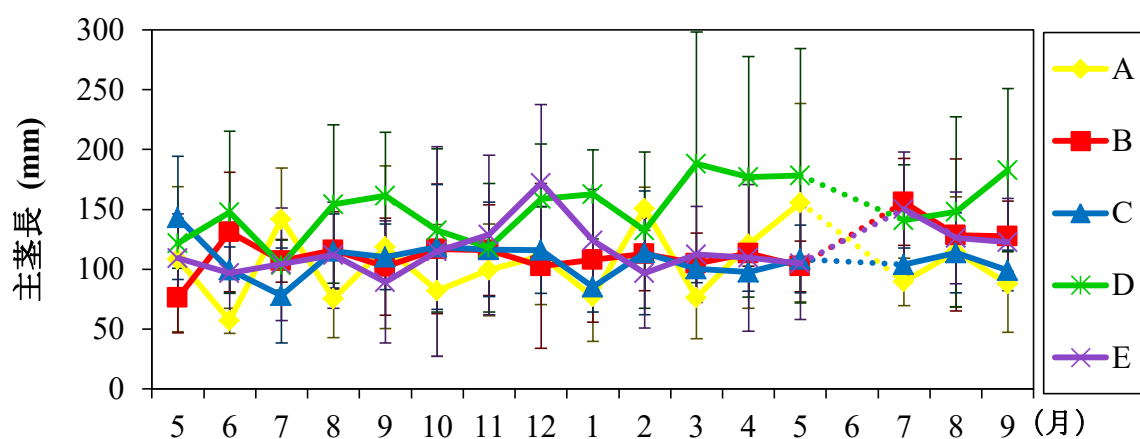


Fig. 52 地点別大型藻体の主茎長の変化 (2015 年 5 月～2016 年 9 月)

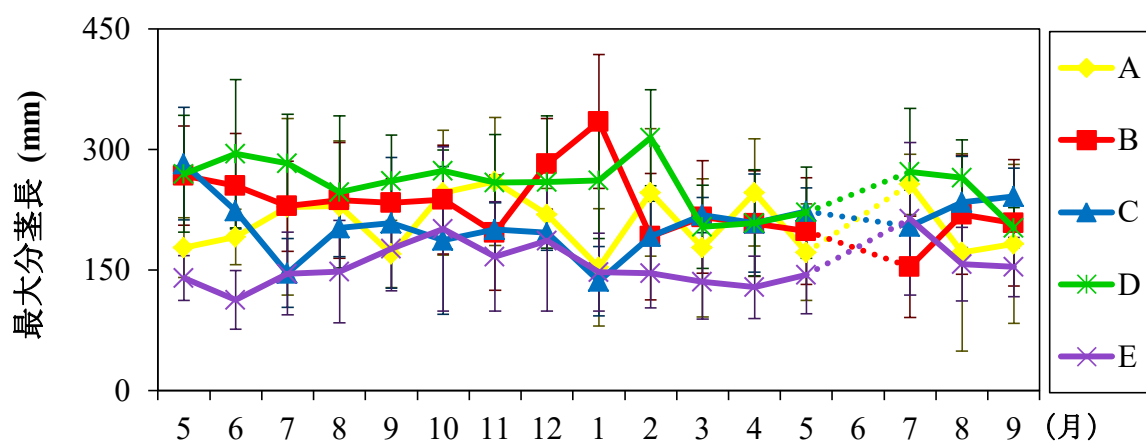


Fig. 53 地点別大型藻体の最大分茎長の変化 (2015 年 5 月～2016 年 9 月)

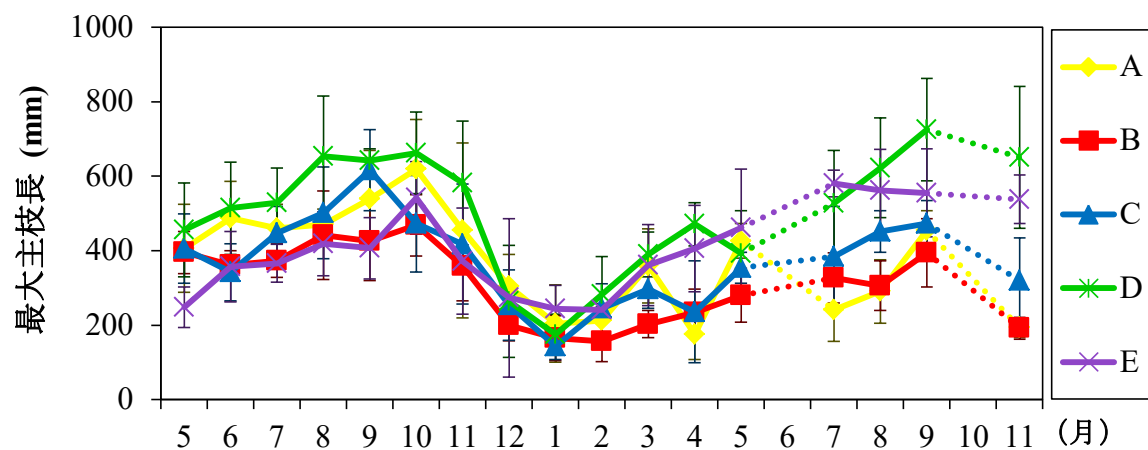


Fig. 54 地点別大型藻体の最大主枝長の変化（2015年5月～2016年11月）

Table 3 各地点の水深，流速（相対）および冠砂の状況

地点	水深	流速（相対）	冠砂
A	0.1m	小	時期により砂を被る
B	0.9m	大	時期により砂を被る
C	1.7m	中	ほとんどなし
D	2.1m	小	低い位置は常に砂を被る
E	2.7m	小	低い位置は常に砂を被る

Table 4 藻体部位ごとの相関（スピアマンの順位相関係数）

地点	付着器-主茎		付着器-分茎		付着器-主枝		主茎-分茎		主茎-主枝		分茎-主枝	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
A	-0.016	0.558	0.197	0.040	-0.120	0.285	-0.320	0.004	-0.204	0.068	0.007	0.947
B	-0.131	0.246	0.338	0.001	-0.356	0.002	-0.486 < 0.001		0.028	0.799	-0.123	0.274
C	-0.332	0.003	0.241	0.017	-0.106	0.347	-0.030	0.786	0.147	0.194	0.216	0.056
D	-0.400 < 0.001		0.085	0.449	0.040	0.724	-0.444 < 0.001		0.018	0.877	-0.119	0.292
E	-0.043	0.702	0.190	0.046	0.308	0.006	-0.121	0.283	0.080	0.477	0.110	0.330

相関大： $|r| > 0.7$ ，相関中： $|r| > 0.4$ ，相関小： $|r| > 0.2$ ，有意水準： $p < 0.05$

Table 5 地点別の藻体各部位の比較 (Steel-Dwass 法を用いた多重比較検定)

付着器径				主茎長			
地点 1	地点 2	<i>t</i>	<i>p</i>	地点 1	地点 2	<i>t</i>	<i>p</i>
A	B	0.147	0.100	A	B	-1.726	0.418
A	C	-0.546	0.982	A	C	-1.328	0.674
A	D	-1.268	0.711	A	D	-4.505	< 0.001 **
A	E	2.829	0.038 *	A	E	-1.643	0.470
B	C	-0.605	0.974	B	C	0.470	0.990
B	D	-1.524	0.547	B	D	-3.516	0.004 **
B	E	2.778	0.04 *	B	E	-0.701	0.956
C	D	-0.655	0.966	C	D	-3.955	0.001 **
C	E	3.189	0.012 *	C	E	-1.204	0.749
D	E	4.137	< 0.001 **	D	E	2.908	0.030 *

最大分茎長				最大主枝長			
地点 1	地点 2	<i>t</i>	<i>p</i>	地点 1	地点 2	<i>t</i>	<i>p</i>
A	B	-2.115	0.213	A	B	2.560	0.078
A	C	-0.443	0.992	A	C	0.091	1.000
A	D	-4.189	< 0.001 **	A	D	-3.908	< 0.001 **
A	E	4.621	< 0.001 **	A	E	-0.809	0.928
B	C	2.261	0.158	B	C	-2.507	0.089
B	D	-2.155	0.197	B	D	-6.141	< 0.001 **
B	E	6.133	< 0.001 **	B	E	-3.395	0.006 **
C	D	-4.679	< 0.001 **	C	D	-4.165	< 0.001 **
C	E	5.691	< 0.001 **	C	E	-0.897	0.898
D	E	8.126	< 0.001 **	D	E	3.319	0.008 **

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

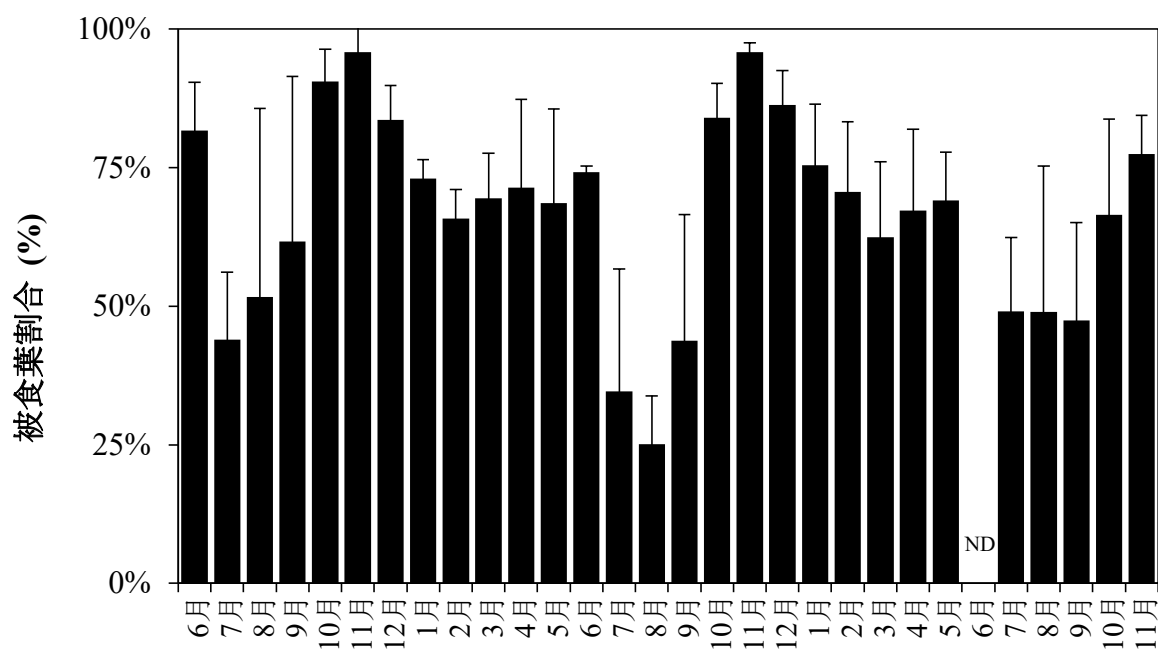


Fig. 55 被食葉割合の変化（全調査地点の平均，2014年6月～2016年11月）

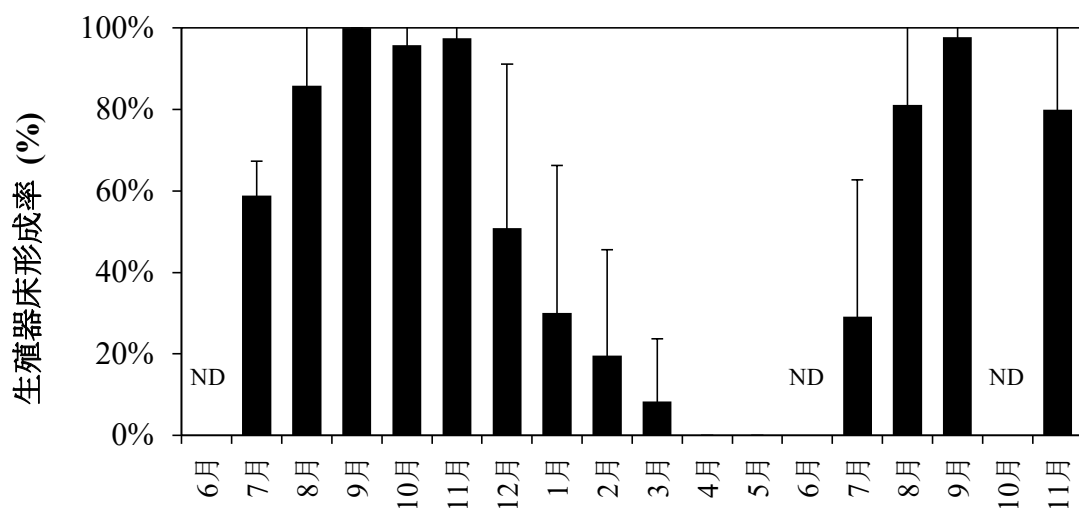


Fig. 56 生殖器床形成率の変化（全調査地点の平均，2015年6月～2016年11月）

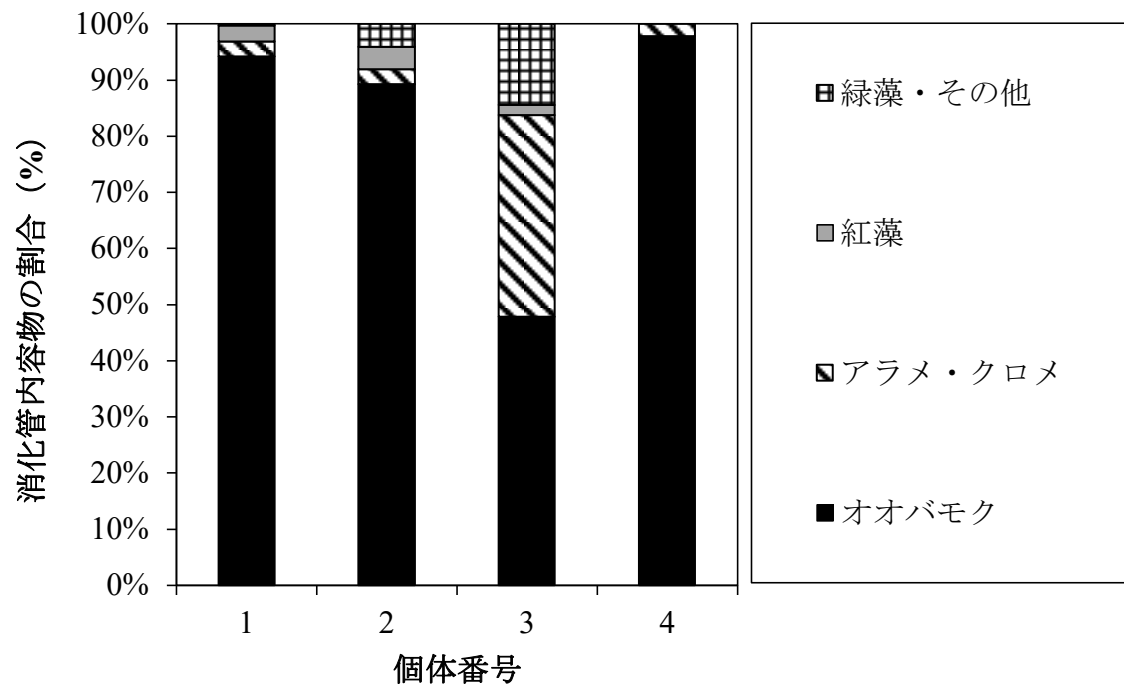


Fig. 57 アイゴ成体の消化管内容物の割合（4 個体，2015 年 10 月に釣りにより採集）

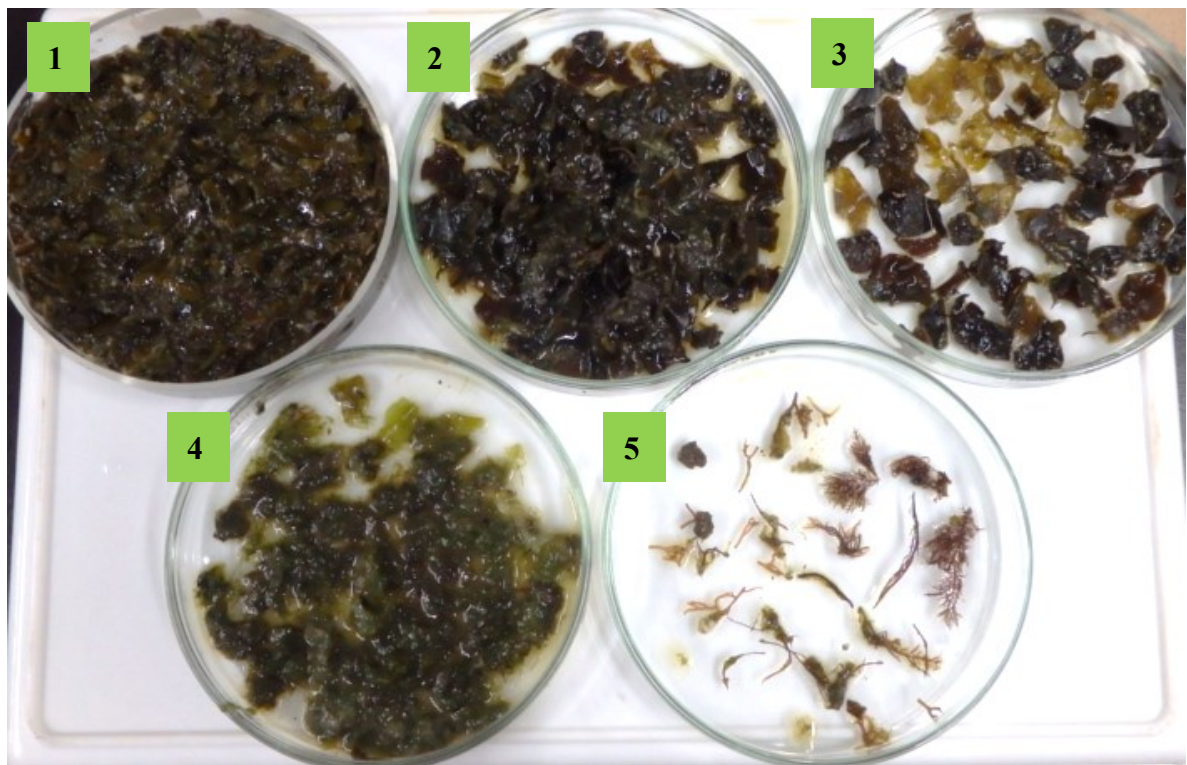


Fig. 58 アイゴ No. 3 の消化管内容物（1：オオバモク，2：アラメ・クロメ，3：アラメ・クロメ，4：緑藻・その他，5：紅藻）

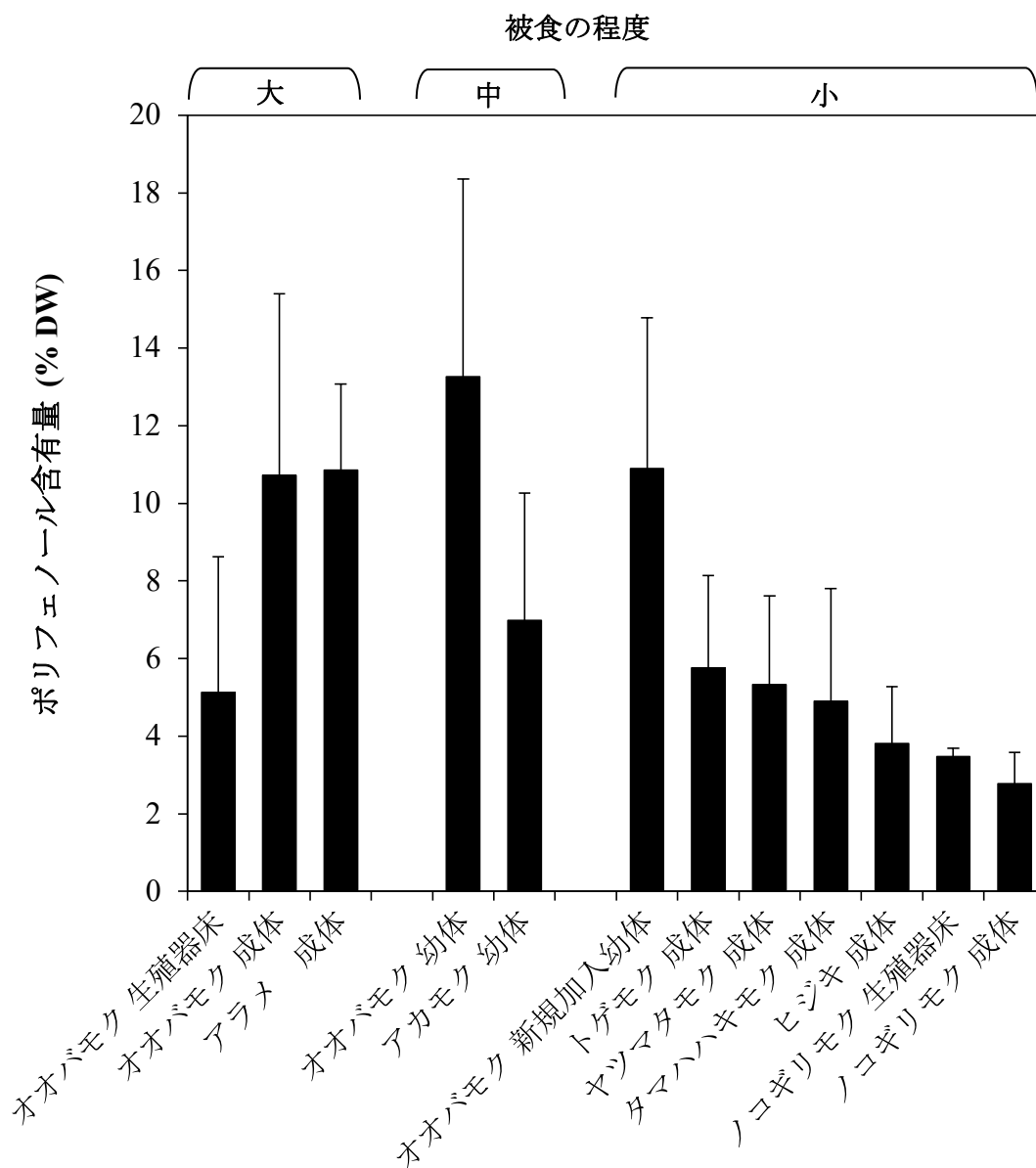


Fig. 59 藻体のポリフェノール含有量と被食の程度の比較

Table 6 藻体のポリフェノール含有量，粗タンパク質含有量および被食の程度（ポリフェノール：2015 年 10 月採集藻体，粗タンパク質 2016 年 11 月採集藻体）

種類	部位	ポリフェノール含有量（% DW）	粗タンパク質含有量（% DW）	被食の程度
オオバモク	幼体・葉	13.26±5.10		中
オオバモク	新規加入幼体・葉	10.89±3.89		小
オオバモク	成体・葉	10.72±4.68	8.46±0.73	大
オオバモク	生殖器床	5.14±3.49	11.15±0.13	大
アラメ	成体・葉	10.85±2.22	13.21±0.01	大
アカモク	幼体・葉	6.98±3.28		中
トゲモク	成体・葉	5.76±2.38	11.63±0.16	小
ヤツマタモク	成体・葉	5.34±2.28	8.56±0.12	小
タマハハキモク	成体・葉	4.90±2.90		小
ヒジキ	成体・葉	3.82±1.46		小
ノコギリモク	生殖器床	3.48±0.21		小
ノコギリモク	成体・葉	2.78±0.81		小

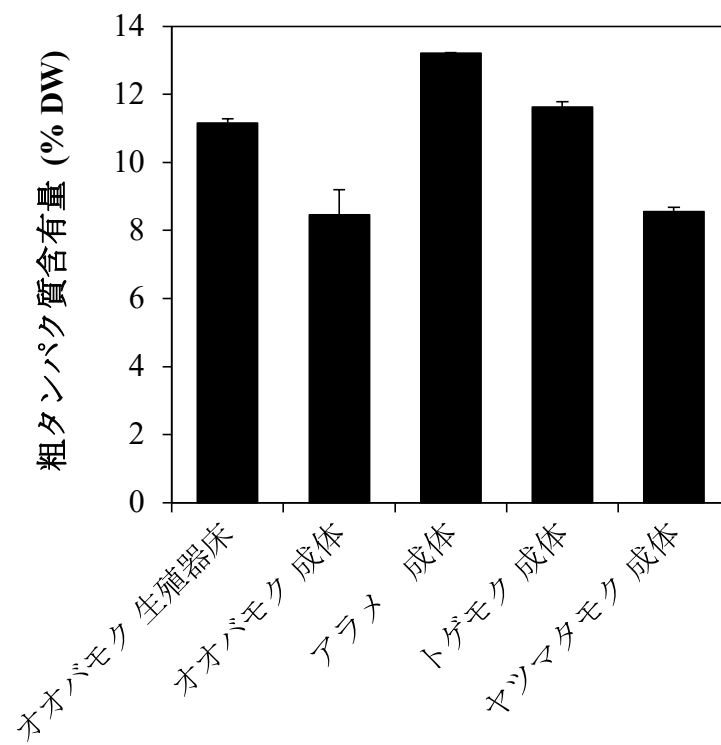


Fig. 60 藻体の粗タンパク質含有量の比較

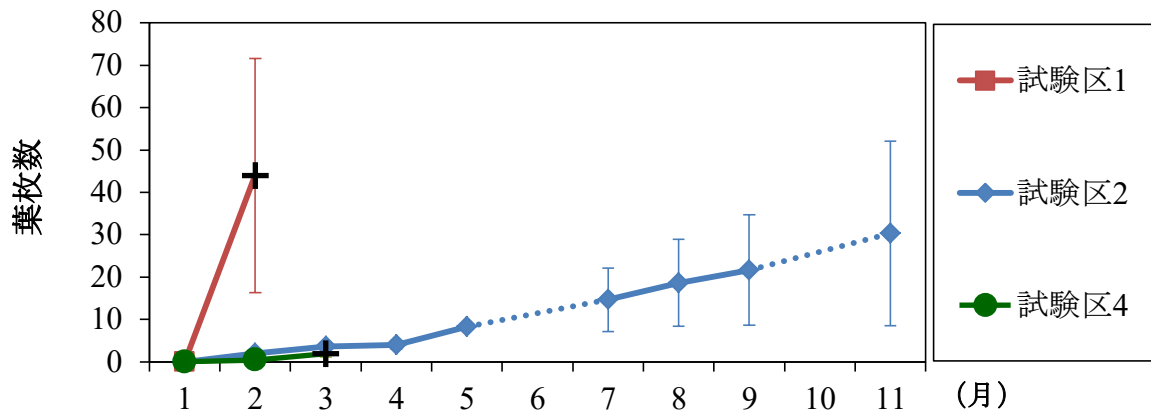


Fig. 61 切除後の葉枚数の変化 (+ : 計測終了, 2016 年 1 月～2016 年 11 月まで)

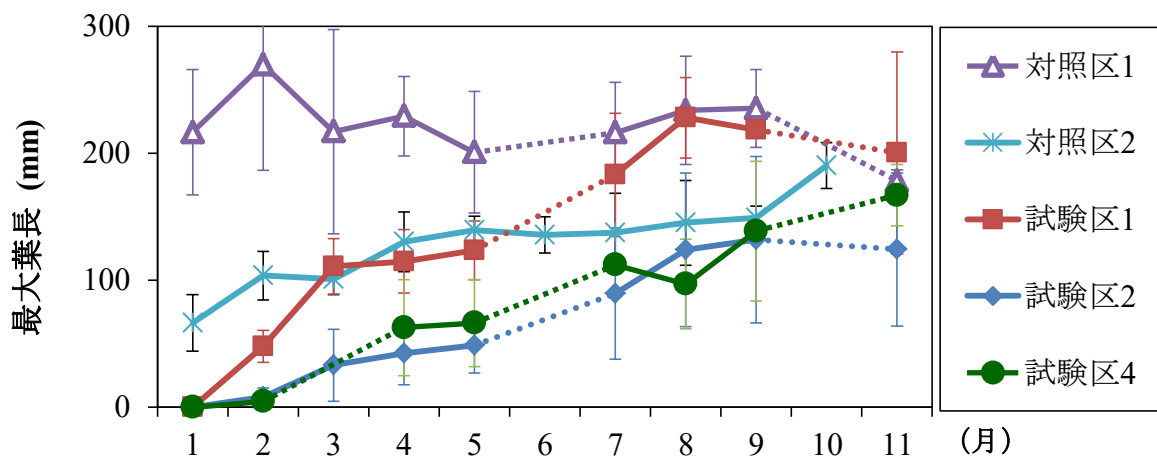


Fig. 62 切除後の最大葉長の変化 (対照区 1: 成体, 対照区 2: 幼体, 2016 年 1 月～2016 年 11 月まで)

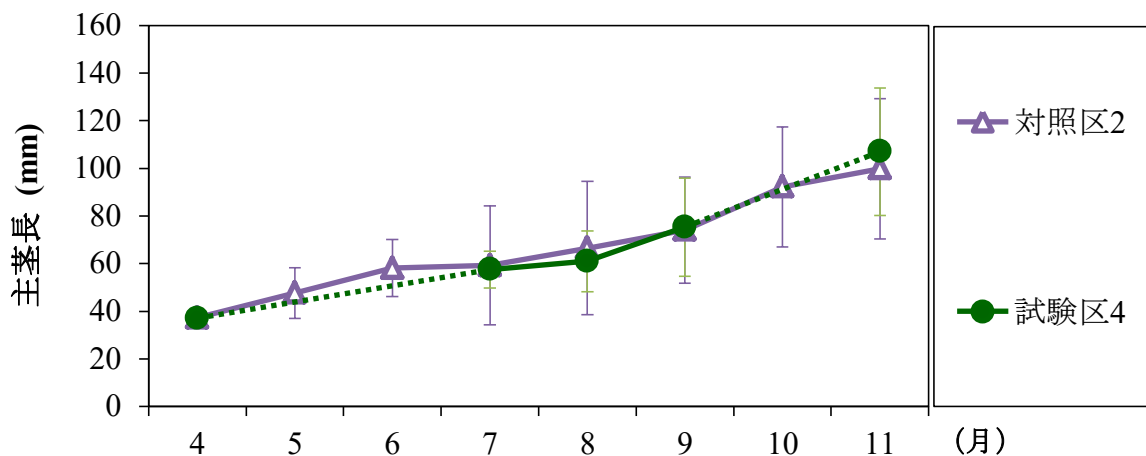


Fig. 63 切除後の幼体の主茎長の変化 (対照区 2: 幼体, 2016 年 4 月～2016 年 11 月まで)

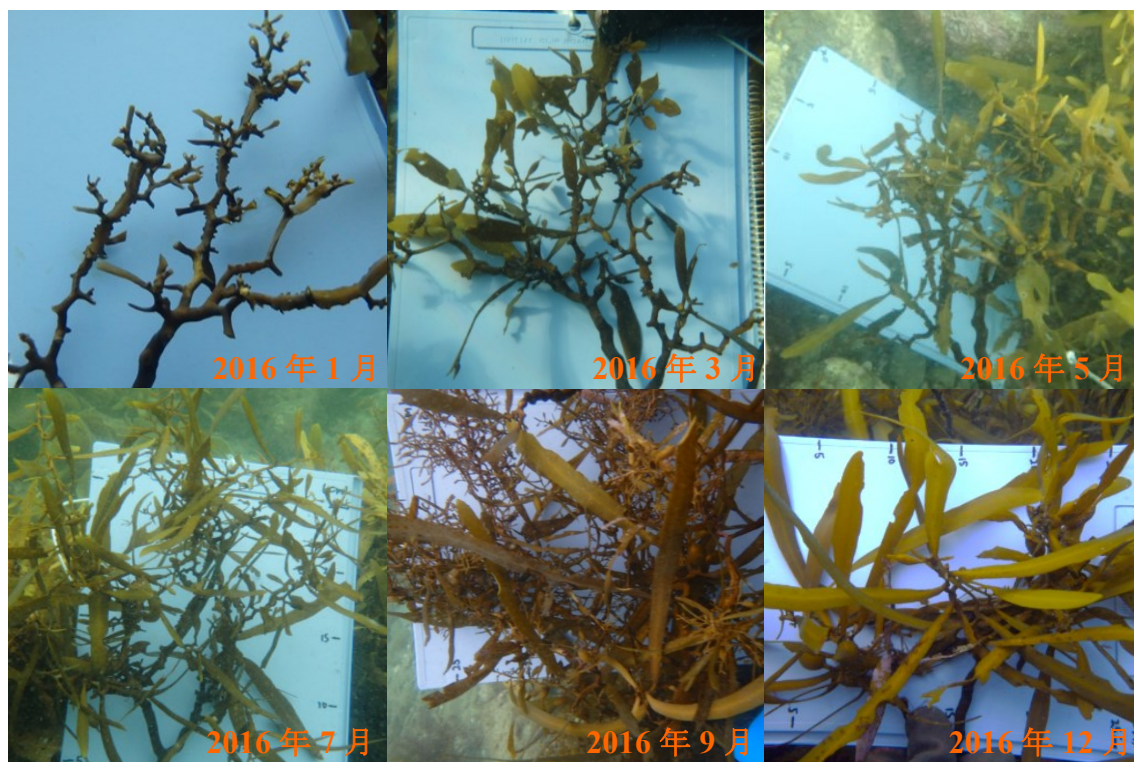


Fig. 64 切除後の藻体の変化 (1) 葉全数切除 (2016 年 1 月～2016 年 12 月)



Fig. 65 切除後の藻体の変化 (2) 枝と葉の全数切除 (2016 年 1 月～2016 年 12 月)



Fig. 66 切除後の藻体の変化 (3) 茎中部より上切除 (2016 年 1 月～2016 年 11 月)

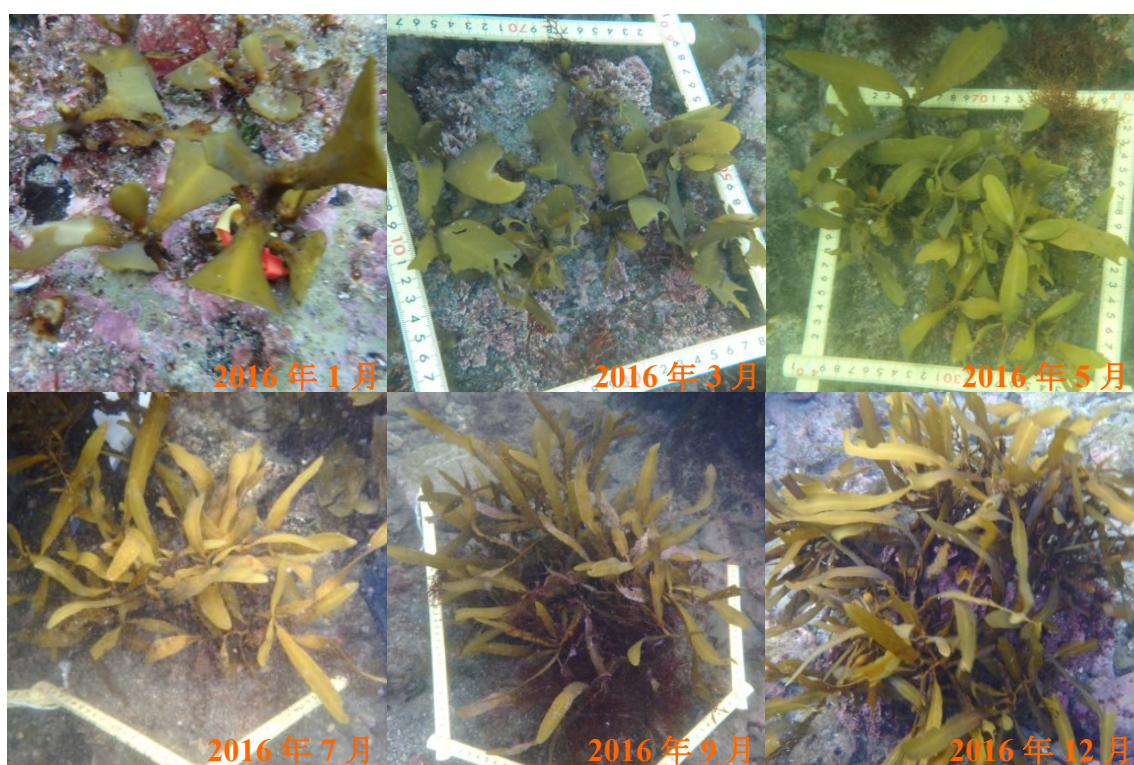


Fig. 67 切除後の藻体の変化 (4) 幼体の全葉の先端側半分を切除 (2016 年 1 月～2016 年 12 月)

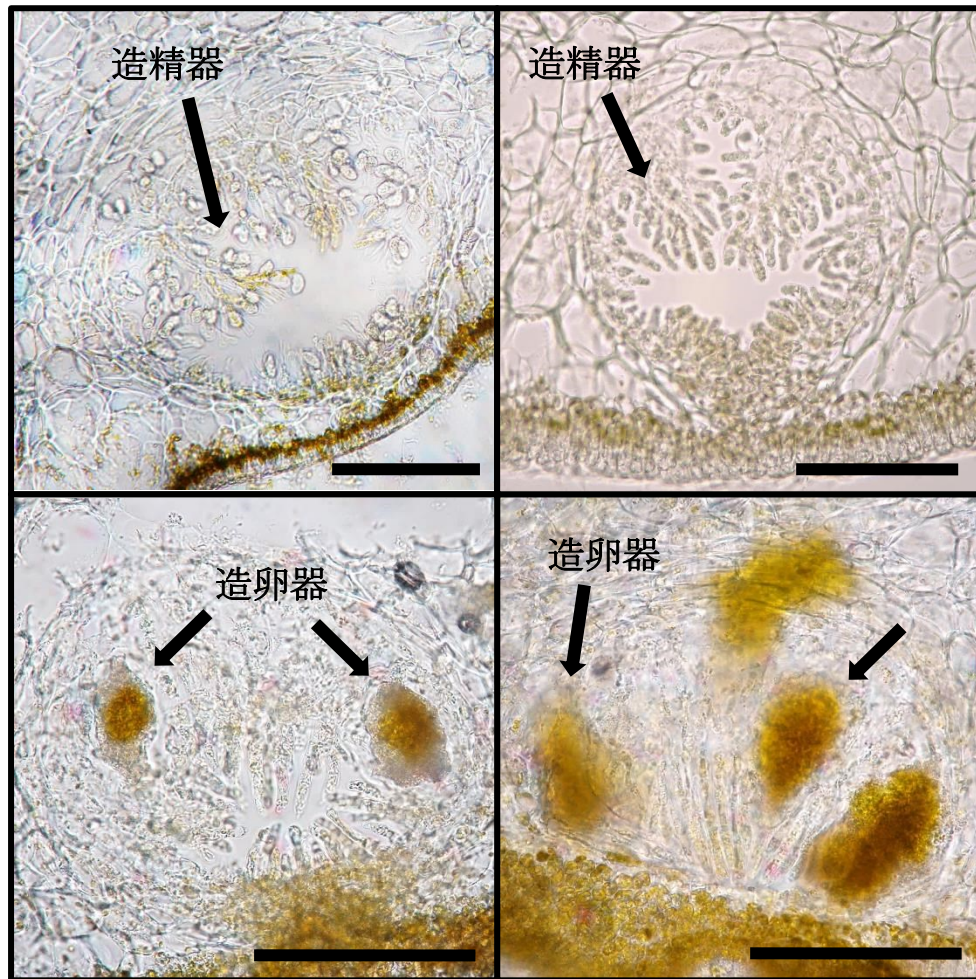


Fig. 68 生殖器床の切片（左上：通常の雄性生殖器床，右上：再生した雄性生殖器床，左下：通常の雌性生殖器床，右下：再生した雌性生殖器床，スケールバー：100 μ m）



Fig. 69 放卵する再生生殖器床（2015年11月）

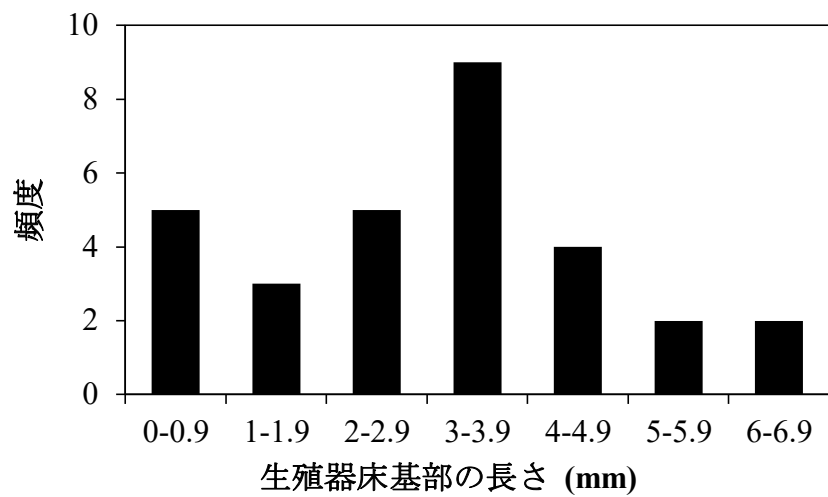


Fig. 70 再生した元の生殖器床基部の長さの頻度分布 (n = 30)

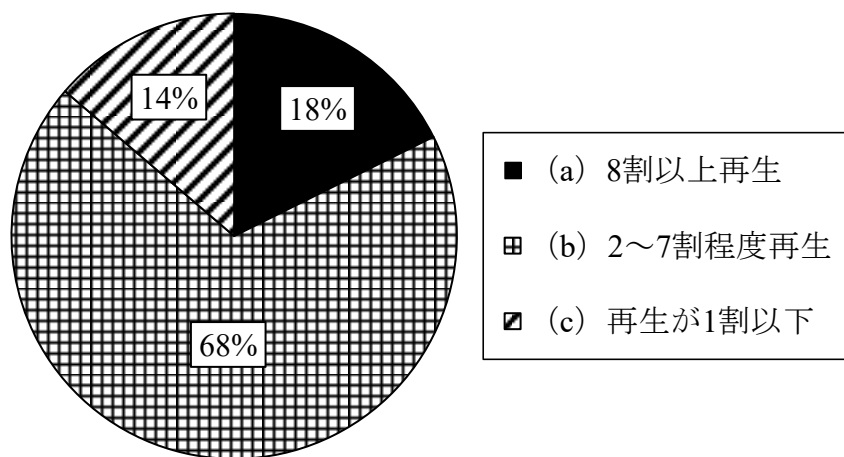


Fig. 71 2016 年 11 月の生殖器床再生割合 (n = 51)