

## 干潟に設置した逆さ竹林礁の生物増殖機能の検証

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 水産大学校 公開日: 2024-10-11 キーワード (Ja): キーワード (En): artificial reefs; benthos; echinoderm fisheries; reproduction; tidal flats 作成者: 浜野, 龍夫, 柳井, 芳水, 山名, 裕介 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2011900">https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2011900</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



## 干潟に設置した逆さ竹林礁の生物増殖機能の検証

浜野龍夫<sup>1†</sup>, 柳井芳水<sup>1</sup>, 山名裕介<sup>2</sup>

### Assessment of fishery resources enhanced by bamboo reefs on a tidal flat

Tatsuo Hamano<sup>1†</sup>, Yoshimi Yanai<sup>1</sup> and Yusuke Yamana<sup>2</sup>

**Abstract** : Bamboo reefs were set on a tidal flat in the western part of the Seto Inland Sea on May 27, 2006. To examine the propagation effect, various experiments were carried out. From inside the bamboo reef, animals were monitored using an underwater CCD camera during spring tides in August, September, November 2006, January, April, and May 2007. A total of 5,640 individuals were observed (22 fish species and 2 cephalopod species). And fishes are feeding plankton inside bamboo reefs, sessile organisms on the bamboo branches and epifauna, infauna in sand bottom. A total of 3,731 individuals were observed by SCUBA diving around the bamboo reefs (26 fish species, 2 mollusk species, 2 arthropod species, and 4 cephalopod species). Also *Sepia lycidas* eggs on branches of bamboo in June 2006. Previously *Apostichopus japonicus* had not existed in the study area. These are observed on March 2007 and collected 457 individuals (95% interval estimation is 1,763 to 2,560 individuals) on May 2007. Mean standard body length of *Apostichopus japonicus* of green type was 59.3 mm and black type was 57.5 mm.

**Key words** : Artificial reefs ; Benthos ; Echinoderm fisheries ; Reproduction ; Tidal flats

### 緒 言

人工魚礁の造成は、その目的により、漁場造成と増殖場造成の2つに区別される<sup>1)</sup>。このうち増殖場造成は、水産物の増殖を目的としており、沿岸漁業の安定的な発展を図る重要な役割を担っていると見える。増殖場造成の効果としては、天然稚仔等の定着の増大、天然稚仔の保護・育成、人工稚仔の保護・育成などが挙げられる。対象となる生物は、メバル類 *Sebastes spp.*, マアジ *Trachurus japonicus*, マダイ *Pagrus major*, サバ類 *Scomber spp.*, ヒラメ *Paralichthys olivaceus*, カレイ類 *Pleuronectes spp.*, スルメイカ *Todarodes pacificus*, ミズダコ *Octopus dofleini* などである<sup>2)</sup>。

筆者らは、特殊金属杭を用いて竹を枝付きのまま逆さに立て、その基部や周囲に建材ブロックを敷いて増殖場造成をおこなうことを発案し、山口県の瀬戸内海沿岸において、これを実際に干潟に設置した（以下、枝付き竹と健在

ブロックで構成される人工礁を竹林礁と定義する）。この竹林礁は、50万円程度の予算の場合（2008年7月現在）、金属杭と竹を85セット、建材ブロック1,000枚を使って、20名程度の協働により3時間程度で完成するものであり、一般的に大規模な工事を必要とする増殖場造成に比べ、簡易に設置できる点で優れている。この礁は、竹枝が日陰を作り出すことから、周囲の干潟上で直射日光を受ける場所よりも、礁内の温度がより低く保たれる効果があることが判明した<sup>3)</sup>。筆者らの調査では、夏の大潮干潮時に、竹林礁および周辺の干潟域で、経時的に温度を測定した結果、特に、潮溜まりの水温には顕著な違いが認められ、干潟上で37.9℃と高かったが、竹林礁内では31.6℃であり、6.3℃もの差があった。このとき干潟上で観測された37.9℃は、比較的高温に耐性があるとされるアサリ稚貝<sup>4,5)</sup>、クルマエビの稚エビ、ガザミの稚ガニ、稚ナマコでも短時間の間に斃死する温度である<sup>6-8)</sup>。しかし同じ条件でも、竹林礁

2008年8月11日受付。Received August 11, 2008.

1 水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

2 北海道大学大学院水産科学院 (Benthos Research Group, Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan)

† 別刷り請求先 (corresponding author) : hamanot@fish-u.ac.jp

では日陰を作ることによって、これらの生物の斃死を回避することができると考えられ、干潟域に生息する水産生物の増殖に効果的であると判断されている<sup>3)</sup>。

本研究では、竹林礁の生物増殖機能の検証を目的に、山口県の瀬戸内海沿岸の干潟に設置した竹林礁において、来遊する生物の種類と出現頻度、および礁の利用形態を調査し、さらに礁内で増殖したマナマコ *Apostichopus japonicus* の生息実態について、個体数の推定と分布調査をおこなったので報告する。マナマコは、北海道から鹿児島県種子島までの日本沿岸に広く見られ、主に生食で利用される水産上重要種であり、その煮干品である乾ナマコは中華食材として中国で珍重される。本種は形態や腹部の色彩などにより、青色型、黒色型、赤色型の3つの色型に分けられ、その分布や生態に差異が認められることから区別して扱われることが多い。また、色型によって商品価値も異なる。近年では、これら3つの色型のうち、赤色型が遺伝的に独立しており、青色型と黒色型には遺伝的差異がないと報告されている<sup>9)</sup>。

## 材料と方法

### 調査地

全ての調査は、瀬戸内海の西部に面した山口県平生町にある水産大学校田名臨海実験実習場に隣接する干潟でおこなった (Fig. 1)。ここでは、毎月の大潮最大干出時には、

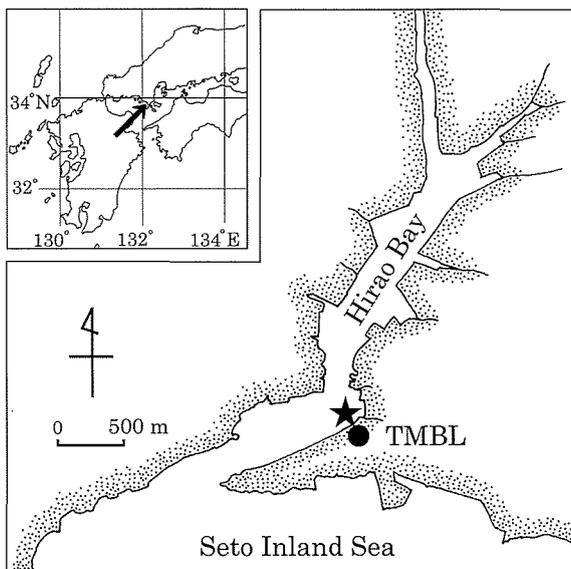


Fig. 1. Study area and location in Hirao Bay. Star denotes the experimental site on the tidal flat. TMBL: Tana Marine Biological Laboratory of National Fisheries University.

海岸線から沖方向へ20~70 m程度の間が干出し、長径5~200 cm程度、水深5 cmまでの潮溜まりが多数出現する。潮位レベル+0~50 cm (基本水準面: CDL) の干潟最下部は砂泥からなり、ホソウミナ *Batillaria cumingii* やイボウミナ *B. zonalis*、アラムシロ *Reticunassa festiva* が群生するほか、アカニシ *Rapana venosa*、ハボウキガイ *Pinna bicolor*、モミジガイ *Astropecten scoparius*、ハリサンショウウニ *Temnopleurus reevesii* がわずかに認められる。干潟上には、カキ殻や貝殻の破片が散在する以外に基質は乏しく、海藻藻類の生育は認められない。

本研究で用いる竹林礁は、2006年5月25日の大潮干潮時に設置した。まず鋼製の金属杭 (ファームパイル, (株)新笠戸ドック) を干潟に打ち込み、次に建材ブロックを配置し、最後に約2 mの枝付き竹 (モウソウチク) を金属杭に縛り、逆さに立てた状態で固定した。枝付きのモウソウチクは、近隣の竹林の間伐により切り出された廃棄部分を用いた。竹林礁の設置方法については、浜野ら<sup>3)</sup> に詳しい。

より効果的な竹林礁の設置方法を検討するために、竹と建材ブロックの配置は6通りとし (Fig. 2)、1 m格子タ

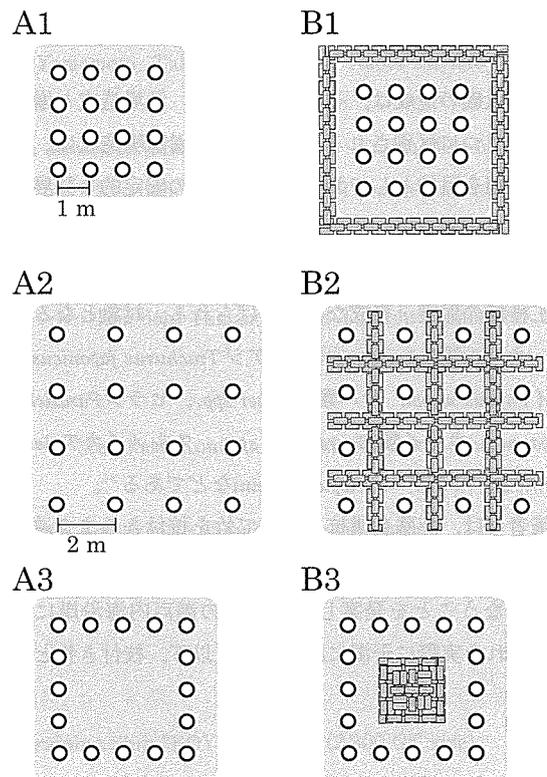


Fig. 2. Design drawings of six bamboo reefs as viewed from top. White circles indicate steel piles and bamboos. Small squares of B are concrete blocks. All reefs are composed of 16 piles and 32 bamboos. Shaded area denotes the tidal flat affecting by bamboo branches. Number of the blocks in B 1, B 2, and B 3 are, 120, 240, and 120, respectively.

イプ (A1), 2 m格子タイプ (A2), 1 m正方形タイプ (A3), 1 m格子タイプの外周に建材ブロックを120枚設置したタイプ (B1), 2 m格子タイプの内側に格子状に建材ブロックを240枚設置したタイプ (B2), 1 m正方形タイプの内側に建材ブロックを120枚積み上げたタイプ (B3) の6つの礁を設置した。なお、B1とB2の建材ブロックは下段から2-1の配置とした。つまり、下段には約15 cmの間隔を空けて2枚のブロックを平行に並べ、この間隔を覆うように上段に1枚のブロックを置いた。またB3では、建材ブロック間を約15 cm空けながら、下段から78-32-10とピラミッド状に設置した。各礁には、金属杭を16本ずつ使用し、金属杭1本にモウソウチクを2本、計32本ずつ使用した。これら6つの礁は、潮位レベル+40 cm (CDL) の等深線上に中心を揃え、約5 mの間隔を空けてランダムに設置した (Fig. 3)。また、同様に約5 mの間隔を空けて、何も手を加えない干潟上5×5 mの区域を対照区として設けた。

### 水中ケーブルカメラによるモニタリング

本研究では、冠水時の竹林礁に来遊する生物を観察するため、水中ケーブルカメラによるモニタリングをおこなった。観察対象はA1の竹林礁とし、水中ケーブルカメラ (T-WATER-7000DX-D/N70M, (株) 塚本無線) を用いて、干潟表面まで40 cmの高さで、竹林礁まで50 cmの位置か

ら撮影をおこなった (Fig. 3の★I)。カメラは、海底と金属杭と竹の主幹と竹枝と海面が1つの画面に収まるよう設置した。モニタリングは、2006年8月9日、9月5日、11月6日、2007年1月18日、4月19日、5月14日の合計6回、24時間ずつおこなった。また、2007年5月15日には、竹林礁から等深線に沿って約15 m離れた場所で、竹林礁の影響の小さいと考えられる沖側の干潟上に向けて、海底と海面を画面に収めるよう水中ケーブルカメラを設置し、24時間のモニタリングを行った (Fig. 3の★O)。

水中ケーブルカメラの映像はDVDに録画し、研究室で目視観察による調査を行った。24時間のモニタリング映像のうち、生物の識別が困難な夜間の映像、水中ケーブルカメラが干出している間の映像については、調査の対象から除外した。映像上での調査範囲の奥行きは、一番手前に映っている竹から隣の竹までの約1 mの範囲内に限定し、その範囲内に現れた生物を観察対象とした。干潟上の★Oの場合も同様に、奥行き約1 mを調査範囲とした。出現した生物のうち、体表の8割以上が映った個体を1個体と計数し、摂餌行動がみられた個体については、竹枝 (付着生物や表在生物の捕食)、底 (表在生物や埋在生物の捕食)、水塊 (プランクトン等の捕食) に分けて摂餌行動回数を記録した。竹枝の摂餌行動回数については、濁りによって摂餌行動が分かりにくい場合もあり、毎回、確実に観察できた手前の竹だけを対象にした。摂餌行動を伴わずに調査範囲内に留まっていた個体については、連続観察できた時間が1分以上であれば、これを礁内での滞留時間として記録した。出現した生物は目視観察により種同定し、全出現種のリストを作成した。出現生物の大多数を占める魚類のリスト作成では、科の配列と学名・和名は中坊<sup>10)</sup>の記載に従った。

### 満潮時の潜水調査

水中ケーブルカメラによるモニタリングと並行し、冠水時の竹林礁に来遊する生物を観察するため、2006年5月30日、6月13日、7月11日、8月9日、9月8日、10月8日、11月5日、12月19日、2007年1月18日、2月15日、3月16日、4月19日の昼夜1回ずつ、合計24回の潜水調査を実施した。これらの調査日時は、いずれも大潮満潮時として選定された。毎回の調査では、竹林礁A1~A3, B1~B3, および対照区において、調査員1名による30~40分間の観察を実施した。調査員は、SCUBA潜水を用いて海底を這うようにゆっくりと礁を一周し、目視観察により発見した生物の種類と個体数を記録した。なお、夜間の調査は、調

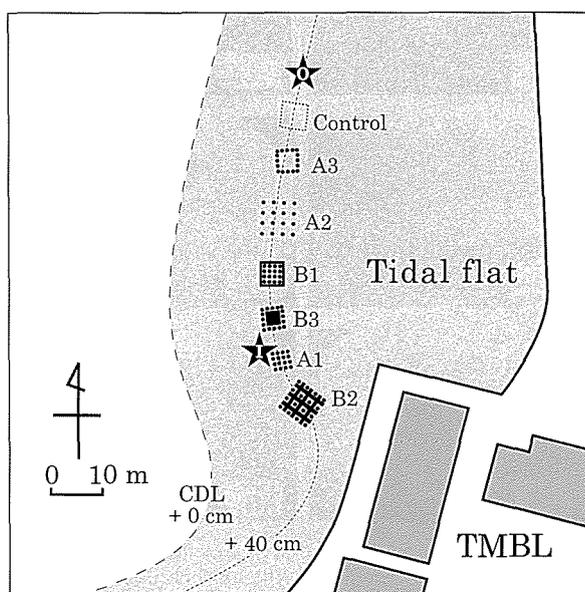


Fig. 3. Arrangement of bamboo reefs. A1, 1 m-grid type; A2, 2 m-grid type; A3, 1 m-square type. B1, B2 and B3 are equal to A1, A2 and A3 with concrete blocks, respectively. Stars I and O denote the sites of underwater CCD camera (see text).

査員が携行した水中ライト (Toshiba Light BK-145, (株) 東芝) の照明下でおこなった。調査範囲は, 竹林礁の一番外側の竹枝より内側とし, 視界の及ぶまでの範囲内に現れた生物を観察対象とした。対照区も同様に, 5×5 mの外周から視界の及ぶまでを調査範囲とした。

### 干潮時の目視調査

竹林礁に生息する底生生物を観察するため, 潜水調査の前後1日以内の日程で合計12回, 大潮最大干出時に目視観察を実施した。毎回の調査では, 竹林礁A1~A3, B1~B3, および対照区において, 竹, 建材ブロック, 干潟のそれぞれで, 表面の状態と生物の分布状態の観察を行った。建材ブロックについては, 各礁で無作為に選んだ5枚を観察した。また, 竹枝全面にシロスジフジツボ *Balanus albicostatus* が着生したことから, 毎月, 無作為に選んだ竹枝1本を実験室に持ち帰り, シロスジフジツボをランダムに20個体選び, 殻底長径をノギスで測定して, その成長を記録した。

### マナモコの数量推定

2007年3月の目視調査の際, 建材ブロックの間に稚ナマコの出現が認められたことから, 2007年5月15日の大潮最大干出時に, 稚ナマコの生息実態について, 建材ブロックの抽出による個体数の推定と分布調査をおこなった。本調査地では, 2006年まで稚ナマコの生息は確認されておらず, 最も近い稚ナマコの成育場まで500 mの距離があることから<sup>11)</sup>, 本調査で認められた稚ナマコは全て竹林礁内で増殖したとみなした。目視調査の際, 建材ブロックを置いていない竹林礁A1~A3および対照区には, 稚ナマコが出現しなかったことから, 稚ナマコの調査はB1~B3だけで実施した (Fig. 2, 3)。建材ブロックの抽出方法は, B1では岸側と沖側の建材ブロックから各10枚, B2では岸側と沖側に加え中心から各20枚, B3では上部4段から8枚をランダムに選び, 合計88枚の建材ブロックから稚ナマコを探索して取り上げた。色彩が地味で形状の定まらない稚ナマコは, 見落としが非常に多くなることが知られているため<sup>12)</sup>, 建材ブロックの空洞やブロック表面に付着するアナオサ *Ulva pertusa* の間などは, 特に念入りに探索を行った。取り上げた稚ナマコは, 実験室に持ち帰り, デジタルカメラで撮影した画像から体長 ( $L$ ) と体幅 ( $B$ ) をそれぞれ mm 単位で測定し, 標準体長  $Le^{13,14)}$  を次式から計算した:

$$\text{青色型: } Le = 2.32 + 2.02 (L \cdot B)^{1/2}$$

$$\text{黒色型: } Le = 1.34 + 2.12 (L \cdot B)^{1/2}$$

## 結 果

### 水中ケーブルカメラによるモニタリング

モニタリング映像の観察時間は, 2006年8月9日に517分, 9月5日に465分, 11月6日に636分, 2007年1月18日に612分, 4月19日に395分, 5月14日に534分, さらに2007年5月15日の干潟上のモニタリングで536分となった。このうち, 2007年4月のモニタリングでは, 夜間にカメラのレンズがプランクトンに覆われ, その後の映像からの目視観察が難しくなったため, 他の調査日と観察時間が大きく変わらないようにするため, 次のようにして補正した。24時間の映像のうち, 夜間 (約10時間) と干出時間 (約5時間) を除く9時間の映像に対し, 観察可能な時間が395分であったことから, ここから270分 (9時間の50%) を無作為に抽出し, 観察値を2倍 (540分) にして全体の推定値とした。

全調査を通じて観察された生物は, 魚類19科22種, 頭足類2科2種, のべ5,769個体であった (例としてFig. 4)。

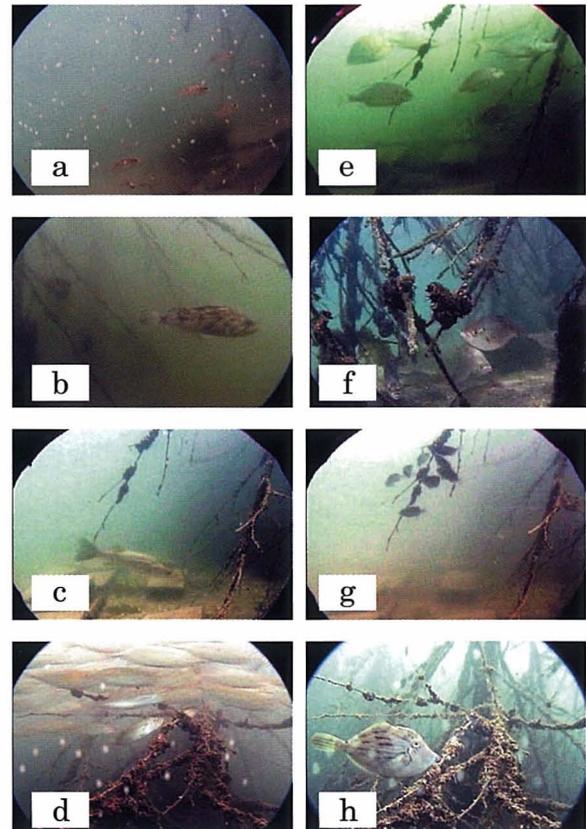


Fig. 4. Animals observed using an underwater CCD camera. a, juveniles of black rockfish *Sebastes inermis*; b, Schlegel's black rock fish *Sebastes schlegelii*; c, Japanese sea bass perch *Lateolabrax japonicus*; d, school of Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus*; e, school of black sea bream *Acanthopagrus schlegelii*; f, surf perch *Ditrema temmincki*; g, school of rudder fish *Girella punctata*; h, thread-sail filefish *Stephanolepis cirrhifer*.

最も個体数の多かった種はクロダイ *Acanthopagrus schlegelii* で、総出現個体数の38.2%を占めた。その他には、ウミタナゴ *Ditrema temmincki* (18.0%), カタクチイワシ *Engraulis japonicus* (9.4%), メジナ *Girella punctata* (8.5%), マアジ (7.2%) などが多かった。頭足類は、2007年4月にマダコ *Octopus vulgaris*, 2007年5月にアオリイカ *Septoteuthis lessoniana* が観察された。のべ観察種数および個体数は、2006年11月に14種1,726個体、2007年1月に3種82個体となった。これらの種数および個体数のデータから計算された種多様性指数<sup>15)</sup> Shannon-Wiener's  $H'$  は、低水温期には小さく高水温期には大きくなる傾向を示した (Fig. 5)。最高水温は2006年8月に28.9℃、最低水温は2007年1月に9.8℃が記録され、種多様度は2006年9月に最大値  $H' =$

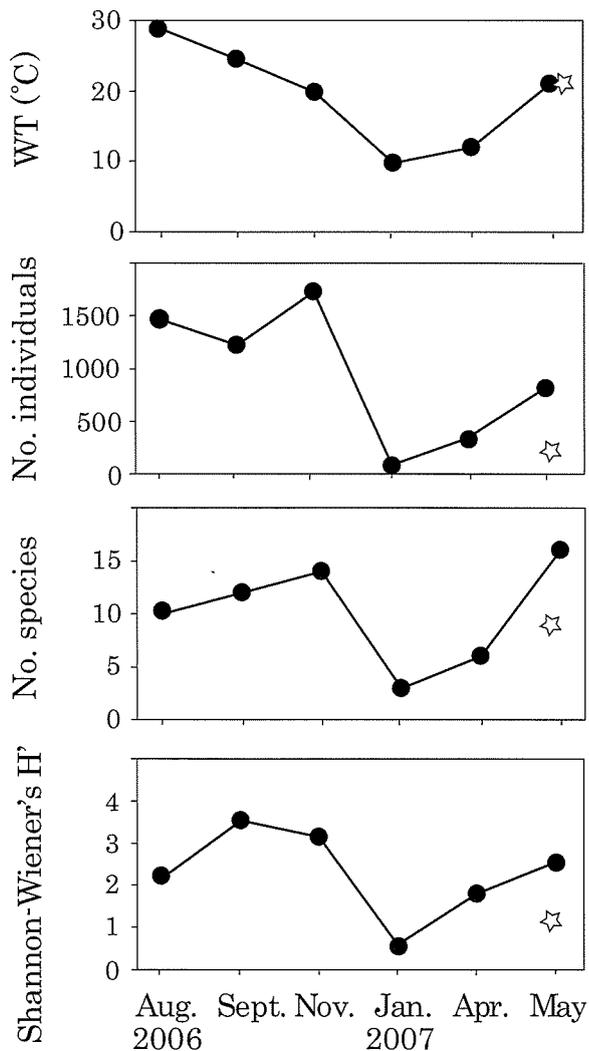


Fig. 5. Monthly changes of surface water temperature, abundance of animals, abundance of animal species, and Shannon-Wiener function ( $H'$ ). Water temperature was measured at high tide in the morning. Stars denote the values obtained at the site of star O of Fig. 3.

3.54, 2007年1月に最小値  $H' = 0.55$  が記録された。また、2007年5月のモニタリングでは、竹林礁から離れた干潟上の観察値 (9種190個体,  $H' = 1.20$ ) は、竹林礁で記録された値 (16種816個体,  $H' = 2.54$ ) より明らかに低い値を示した (Fig. 5の☆)。

各月の観察個体数について、上位3種の種組成を見ると (Table 1~6), 2006年8月はクロダイ (53.0%), メジナ (16.6%), ウミタナゴ (11.3%), 9月はクロダイ (35.3%), ウミタナゴ (27.3%), マアジ (14.6%), 11月はカタクチイワシ (31.3%), クロダイ (23.6%), マアジ (13.4%), 2007年1月はクロダイ (90.2%), ウミタナゴ (6.1%), クサフグ *Takifugu lavidus* (3.7%), 4月はウミタナゴ (66.7%), クロダイ (26.5%), アミメハギ *Rudarius ercodes* (4.5%), 5月はクロダイ (68.9%), メバル *Sebastes inermis* (22.4%), ウミタナゴ (18.1%) であった。また、竹林礁から離れた干潟上では、クロダイ (68.9%), ボラ *Mugil cephalus cephalus* (16.8%), ウミタナゴ (7.4%) であった。竹林礁内での摂餌行動は、2007年1月を除く全ての調査で観察され (Table 1~6), 竹枝, 底, 水塊に分けて記録した摂餌行動回数のうち、竹枝での摂餌行動回数が他の2つを大きく上回ることが多かった。竹枝での摂餌行動は、主にクロダイ, ウミタナゴ, メジナにおいて観察され、2006年8月に1,349回, 9月に1,831回, 11月に329回, 2007年4月に92回, 5月に563回となった。底での摂餌行動は、2007年4月に464回, 5月に181回だけ、竹枝の3種に加えてキュウセン *Halichoeres poecilopterus* において観察された。水塊での摂餌行動は、2006年11月にマアジで115回, 2007年5月にボラで4回だけとなった。摂餌以外で竹林礁内に滞留していた場合、1個体当たりの平均滞留時間は、2006年8月で1.0秒, 9月で1.8秒, 11月で0.3秒, 2007年1月で74.6秒, 5月で10.4秒であり、2007年4月には滞留していた個体はいなかった。滞留していた主な種は、メバル, クロダイ, ウミタナゴ, メジナであった。

### 満潮時の潜水調査

調査期間中に観察された魚類は23科26種, 貝類は2科2種, 甲殻類は2科2種, 頭足類は3科4種, のべ3,731個体であった。この他にカミナリイカ *Sepia lycidas* の卵が約300個, アカニシ *Rapana venosa* の卵囊が約200個観察された (Fig. 6, Table 7~9)。対照区では、2006年12月にテンジクダイ *Apogon lineatus* の群れが観察された他には、年間を通して0~3個体の生物しか観察されなかった。最も多かった種はマアジで全体の39.7%を占めた。年間を通し



Table 2. List of animals and number of pecking times observed by the underwater camera in September 2006

Scientific name	Japanese name	Observed animals in total						Branch			Bottom			Water column			
		Total length (mm)	No. inds. [a]	Times (sec) [b]	Average [b/a]	No. inds. [c]	No. peckings [d]	Average [d/c]	No. inds. [e]	No. peckings [f]	Average [f/e]	No. inds. [g]	No. peckings [h]	Average [h/g]			
<i>Aetobatus flagellum</i>	NARUTOBIEI	400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Engraulis japonicus</i>	KATAKUCHIHASHI	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	BORA	200-300	35	-	-	-	-	3	54	18.0	-	-	-	-	-	-	-
		300-400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes inermis</i>	MEBARU	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes schlegelii</i>	KUROSUI	50-100	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes oblongus</i>	TAKENOKOMEBARU	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudoblennius percoides</i>	ANAHAZE	150	1	65	65.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lateolabrax japonicus</i>	SUZUKI	150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500-600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Apogon semilineatus</i>	NENBUTUDAI	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trachurus japonicus</i>	MAAJI	50-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	179	-	-	-	-	3	3	1.0	-	-	-	-	-	-	-
		100-150	64	-	-	-	-	9	139	15.4	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	KURODAI	150-300	317	1065	3.4	-	-	39	625	16.0	-	-	-	-	-	-	-
		300-400	50	-	-	-	-	8	130	16.3	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sillago japonica</i>	SIROGISU	200-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ditrema temminckii</i>	UMITANAGO	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	180	-	-	-	-	7	104	14.9	-	-	-	-	-	-	-
		200-300	154	770	5.0	-	-	27	431	16.0	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	ISHIDAI	100-150	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	9	-	-	-	-	3	3	1.0	-	-	-	-	-	-	-
<i>Girella punctata</i>	MEJINA	100-150	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	114	-	-	-	-	2	27	13.5	-	-	-	-	-	-	-
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	KYUSEN	200-300	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	AKAOISHIMAHAZE	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paralichthys olivaceus</i>	HIRAME	100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		200-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rudarius ercodes</i>	AMIMEHAGI	50-100	66	120	1.8	-	-	9	140	15.6	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	KAWAHAGI	100-200	33	120	3.6	-	-	10	157	15.7	-	-	-	-	-	-	-
<i>Takifugu poecilonotus</i>	KOMONHUGU	100-150	5	-	-	-	-	1	18	18.0	-	-	-	-	-	-	-
<i>Takifugu flavidus</i>	KUSAHUGU	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Septeuthis lessoniana</i>	AORIKA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Octopus vulgaris</i>	MADAKO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			1225	2140	1.7	-	-	114	1831	161.3	0	0	0	0	0	0	0

Table 3. List of animals and number of pecking times observed by the underwater camera in November 2006

Scientific name	Japanese name	Total length (mm)	Observed animals in total			Branch			Bottom			Water column				
			No. inds. [a]	Times (sec) [b]	Average [b/a]	No. inds. [c]	No. peckings [d]	Average [d/c]	No. inds. [e]	No. peckings [f]	Average [f/e]	No. inds. [g]	No. peckings [h]	Average [h/g]		
<i>Aetobatus flagellum</i>	NARUTOBIEI	400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Engraulis japonicus</i>	KATAKUCHIHASHI	150	540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	BORA	200-300	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		300-400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes inermis</i>	MEBARU	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes schlegelii</i>	KUROSUI	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes oblongus</i>	TAKENOKOMEBARU	50-100	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudoblennius percoides</i>	ANAHAZE	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lateolabrax japonicus</i>	SUZUKI	150-200	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500-600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Apogon semilineatus</i>	NENBUTUDAI	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trachurus japonicus</i>	MAAJI	50-150	161	-	-	-	1	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	70	-	-	-	1	1.0	-	-	-	-	-	-	2	115
		100-150	84	-	-	-	4	34	8.5	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	KURODAI	150-300	278	-	-	-	3	45	15.0	-	-	-	-	-	-	-
		300-400	46	-	-	-	3	9	3.0	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sillago japonica</i>	SIROGISU	200-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ditrema temmincki</i>	UMITANAGO	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	155	-	-	-	2	54	27.0	-	-	-	-	-	-	-
		200-300	41	-	-	-	2	17	8.5	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	ISHIDAI	100-150	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Girella punctata</i>	MEJINA	100-150	68	-	-	-	6	111	18.5	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	21	480	22.9	-	3	36	12.0	-	-	-	-	-	-	-
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	KYUSEN	200-300	88	-	-	-	1	2	2.0	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	AKAOBISHIMAHAZE	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paralichthys olivaceus</i>	HIRAME	100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		200-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rudarius ercodes</i>	AMIMEHAGI	50-100	29	-	-	-	2	19	9.5	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanolepis cirrifer</i>	KAWAHAGI	100-200	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Takifugu poecilonotus</i>	KOMONHUGU	100-150	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tatifuqu flavidus</i>	KUSAHUGU	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-150	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	AORIKA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Octopus vulgaris</i>	MADAKO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			1726	480	0.3	28	329	106.0	0	0	0	0	115	57.5		



Table 5. List of animals and number of pecking times observed by the underwater camera in April 2007

Scientific name	Japanese name	Observed animals in total				Branch			Bottom			Water column		
		Total length (mm)	No. inds. [a]	Times (sec) [b]	Average [b/a]	No. inds. [c]	No. peckings [d]	Average [d/c]	No. inds. [e]	No. peckings [f]	Average [f/e]	No. inds. [g]	No. peckings [h]	Average [h/g]
<i>Aetobatus flagellum</i>	NARUTOBIEI	400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Engraulis japonicus</i>	KATAKUCHIHWASHI	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	BORA	200-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		300-400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes inermis</i>	MEBARU	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes schlegelii</i>	KUROSOI	50-100	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes oblongus</i>	TAKENOKOMEBARU	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudoblennius pervoides</i>	ANAHAZE	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lateolabrax japonicus</i>	SUZUKI	150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500-600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Apogon semilineatus</i>	NENBUTUDAI	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trachurus japonicus</i>	MAAJI	50-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	KURODAI	100-150	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-300	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		300-400	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sillago japonica</i>	SIROGISU	200-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ditrema temmincki</i>	UMITANAGO	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		200-300	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	ISHIDAI	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Girella punctata</i>	MEJINA	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	KYUSEN	200-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	AKAOBISHIMAHAZE	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paralichthys olivaceus</i>	HIRAME	100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		200-300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rudarius ercodes</i>	AMIMEHAGI	50-100	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	KAWAHAGI	100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Takifugu poecilnotus</i>	KOMONHUGU	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Takifugu flavidus</i>	KUSAHUGU	50-100	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	AORIIKA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Octopus vulgaris</i>	MADAKO	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			264	0	0	0	10	92	13.0	28	464	21.8	0	0

Table 6. List of animals and number of pecking times observed by the under water camera in May 2007

Scientific name	Japanese name	Total length (mm)	Observed animals in total				Branch			Bottom			Water column			Control No. inds.	
			No. inds. [a]	Times (sec) [b]	Average [b/a]	No. inds. [c]	No. peckings [d]	Average [d/c]	No. inds. [e]	No. peckings [f]	Average [f/e]	No. inds. [g]	No. peckings [h]	Average [h/g]			
<i>Aetobatus flagellum</i>	NARUTOBIEI	400-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
<i>Engraulis japonicus</i>	KATAKUCHIHASHI	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	BORA	200-300	30	-	-	2	7	3.5	-	-	-	-	-	-	4	4	1.0
		300-400	7	-	-	4	23	5.8	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Sebastes inermis</i>	MEBARU	50-100	182	4710	25.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
		100-200	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes schlegelii</i>	KUROSOI	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sebastes oblongus</i>	TAKENOKOMEBARU	50-100	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	6	1270	211.7	16	32	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudoblennius percooides</i>	ANAHAZE	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lateolabrax japonicus</i>	SUZUKI	150-200	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500-600	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Apogon semilineatus</i>	NENBUTUDAI	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trachurus japonicus</i>	MAAJI	50-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	KURODAI	100-150	62	240	3.9	4	61	15.3	-	-	3	3	1.0	-	-	14	-
		150-300	166	1500	9.0	7	260	37.1	-	-	2	4	2.0	-	-	107	-
		300-400	74	570	7.7	11	53	4.8	-	-	2	10	5.0	-	-	10	-
		400-500	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sillago japonica</i>	SIROGISU	200-300	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dirrema temmincki</i>	UMITANAGO	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-200	102	120	1.2	4	73	18.3	-	-	3	5	1.7	-	-	9	-
		200-300	46	-	-	6	53	8.8	-	-	3	11	3.7	-	-	5	-
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	ISHIDAI	100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Girella punctata</i>	MEJINA	100-150	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Halihoeres poecilopterus</i>	KYUSEN	200-300	36	-	-	-	-	-	-	-	5	128	25.6	-	-	1	-
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	AKAOBISHIMAHAZE	100	4	-	-	-	-	-	-	-	5	20	4.0	-	-	-	-
<i>Paralichthys olivaceus</i>	HIRAME	100-200	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		200-300	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		400-500	1	90	90.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rudarius erodes</i>	AMIMEHAGI	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanolepis cirrifer</i>	KAWAHAGI	100-200	1	-	-	1	1	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Takifugu poecilonotus</i>	KOMONHUGU	100-150	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Takifugu flavidus</i>	KUSAHUGU	50-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100-150	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150-200	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	AORIKA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Octopus vulgaris</i>	MADAKO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			816	8500	10.4	55	563	96.5	23	181	42.9	4	4	1.0	190		



Table 8. List of animals observed by diving survey in September to December 2006

Scientific name	8 September 2006				8 October 2006				5 November 2006				19 December 2006															
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Control	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Control	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Control							
<i>Dasyatis akajei</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Anguilla japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Conger myriaster</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Plotosus lineatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Sebastes schlegelii</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Sebastes inermis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Pseudoblennius pervoides</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Hexagrammos agrammus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Hexagrammos otakii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Lateolabrax japonicus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Apogon lineatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Trachurus japonicus</i>	600	700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	5	21	6	29	4	10	-	16	23	3	19	17	230	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Sillago japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Ditrema temminckii</i>	13	-	1	16	3	14	-	6	2	1	9	-	-	-	3	2	1	2	1	-	-	-						
<i>Rhynchoelates oxyrinchus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	2	10	9	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Girella punctata</i>	-	90	-	113	-	51	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	-	-	-	-	-	-	-	2	7	-	6	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	-	-	-	-	2	1	1	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Pleuromichthys cornutus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Pleuromichthys yokohamae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	-	-	-	3	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Takifugu poecilonotus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Takifugu niphobles</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Rapana venosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Glossaulax didyma</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Charybdis japonica</i>	-	3	2	3	-	-	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Portunus pelagicus</i>	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Senia lycides</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Octopus vulgaris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<i>Octopus minor</i>	-	-	-	-	-	-	-	2	7	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
Total	620	828	21	170	9	79	1	29	44	8	47	261	8	8	31	9	10	82	19	36	0	6	4	7	12	4	8	31

Table 9. List of animals observed by diving survey in January to April 2007

Scientific name	18 January 2007			15 February 2007			17 March 2007			19 April 2007																	
	A1	A2	Control	A1	A2	Control	A1	A2	Control	A1	A2	Control															
<i>Dasysatis akajei</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Anguilla japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Conger myriaster</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Plotosus lineatus</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-															
<i>Migil cephalus cephalus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Sebastes schlegelii</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-															
<i>Sebastes inermis</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Pseudoblennius percoides</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-															
<i>Hexagrammos agrammus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Hexagrammos otakii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-															
<i>Lateolabrax japonicus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Apogon lineatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Trachurus japonicus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Sillago japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Ditrema temminckii</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Rhynchopelates oxyrinchus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Girella punctata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Haichoeres poecilopterus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Pleuronichthys cornutus</i>	2	1	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-															
<i>Pleuronectes yokohamae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Takifugu poecilonotus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Takifugu niphobles</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Rapana venosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Glossaulax didyna</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Charabdis japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Portunus pelagicus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Sepia lycidas</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Scopoteuthis lessoniana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Octopus vulgaris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<i>Octopus minor</i>	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
Total	2	3	4	4	4	2	3	0	3	1	1	2	2	1	1	6	1	1	1	0	3	3	1	3	2	3	0

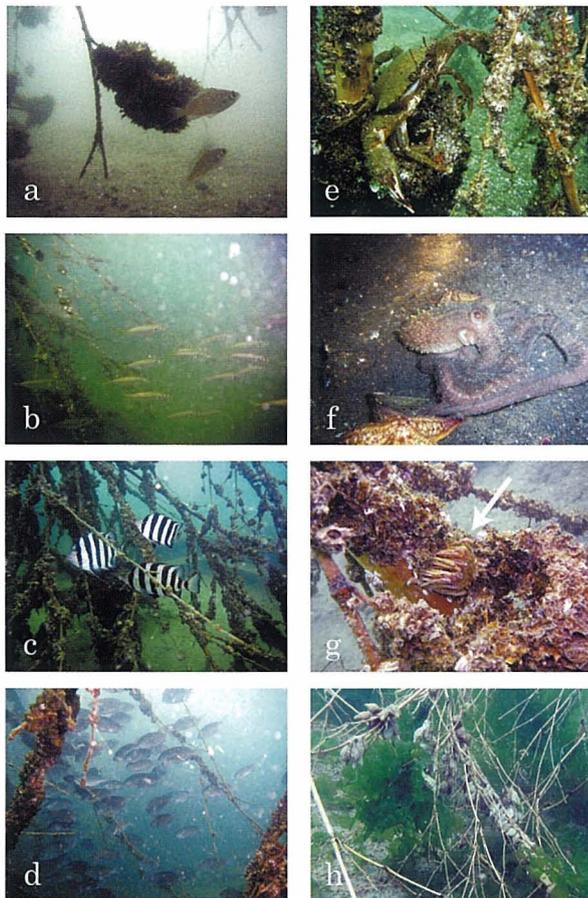


Fig. 6 . Animals observed by diving survey. a, juveniles of black rockfish *Sebastes inermis* ; b, school of Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus* ; c, striped beakperch *Oplegnathus fasciatus* ; d, school of rudder fish *Girella punctata* ; e, shore swimming crab *Charybdis japonica* ; f, minor octopus *Octopus minor* ; g, egg sacs of Asian rapa whelk *Rapana venosa* ; h, eggs of cuttlefish *Sepia lycidas*.

て個体数の多かった上位10種のうち、周辺水域で水産上重要種とされるものは、マアジ、メジナ、クロダイ、イシダイ *Oplegnathus fasciatus*、クロソイ *Sebastes schlegelii*、カワハギ *Stephanolepis cirrhifer* の6種であった（山口県漁業協同組合平生町支店 私信）(Fig. 7)。これらの出現は夏季（6月～8月）に始まり、夏季の終わりから秋季（9月～11月）の始めにかけてピークとなった。その後、冬季（12月～2月）にはほとんど観察されず、水中ケーブルカメラによるモニタリングによる生物の出現と同様の傾向を示した。

### 干潮時の目視調査

竹林礁の設置から1ヶ月後の2006年6月にはすでに、竹枝および金属杭にシロスジフジツボが着生していたほか、竹枝の下部にカミナリイカの卵が産み付けられていた。また、竹の周囲にはアナアオサが堆積し、建材ブロックにも着生していた。建材ブロックの周辺では、アラムシロガイ、スガイ *Lunella coronata coreensis*、ヒライソガニ *Hemigapsus sanguineus* が、ブロックとブロックの間隙では、ヨコエビ類やゴカイ類が多く観察された。7月になると、魚類による直径15 cm程度の食痕が干潟全体に確認されはじめた (Fig. 8)。食痕の数は8月、9月に著しく増大し、底土中に多数生息するホトトギスガイ *Musculista senhousia* の砕けた殻が多数散乱していたほか、竹枝や金属杭を覆うシロスジフジツボにも、魚類による摂食痕が多く見られるようになった (Fig. 9)。また、この時期には、干潟表面にツメタガイ *Glossaulax didyma* の卵塊（砂茶碗）、竹の主幹に

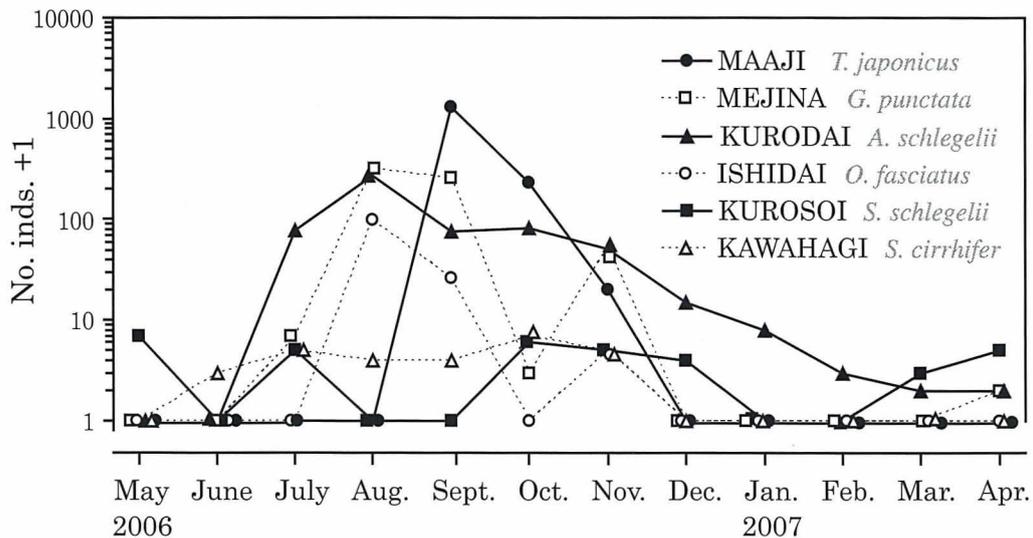


Fig. 7 . Changes of number of individuals of six commercially important species.



Fig. 8. Small hollows made by fishes in the tidal flat.

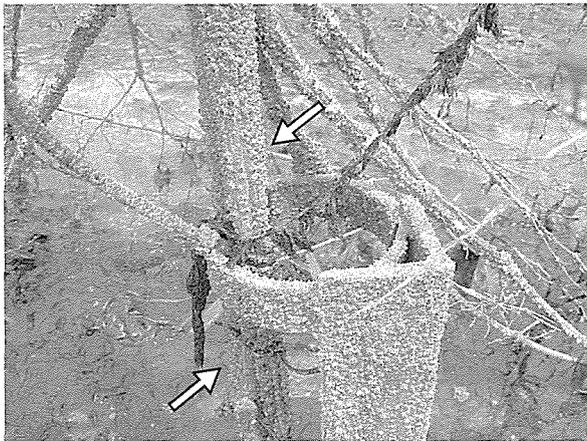


Fig. 9. Predatory marks from fish grazing on barnacles *Balanus albicostatus* on a bamboo in July 2006.

アカニシの卵嚢が産み付けられていた。10月には、建材ブロックの空洞や竹枝の先端にケガキ *Saccostrea kegaki* が目につくようになった。10~11月の一時期には、金属杭の下部や干潟表面にマヒトデ *Asterias amurensis* が講集し、10月9日の夜間には、ホトトギスガイに対する捕食も観察された。これらのマヒトデは2007年12月には姿を消した。12月以降、建材ブロックの空洞や表面では、シロウスボヤ *Didemnum moseleyi*, ユウレイボヤ *Ciona savignyi*, イタボヤ *Batrylloides violaceus* が多数観察された。2007年3月からは、マナマコが建材ブロックの間隙で確認されるようになった。

竹枝上の餌料生物となったシロスジフジツボの平均殻底長径は、2006年6月に2.2 mm, 8月に6.6 mm, 12月に7.6 mm, 2007年5月に17.9 mmまで成長した (Fig. 10)。この間、竹主幹における本種の被度は増大し、礁設置4ヶ月後の9月には、約100%に達した。

### マナマコの数量推定

取り上げた稚ナマコ (青色型, 黒色型) は, B1 で67個体 (38個体, 29個体), B2 で328個体 (208個体, 120個体), B3 で62個体 (32個体, 30個体) の計457個体 (278個体, 179個体) であった。体サイズは, 青色型の最大がB2の77.0 mm, 最小がB1の42.4 mm, 黒色型の最大が64.6 mm, 最小がB2の47.2 mm, 平均は青色型59.3 mm, 黒色型57.5 mm であった (Fig. 11)。抽出した88枚の建材ブロックのデータから, ピーターセン法<sup>16)</sup> により推定した礁全体

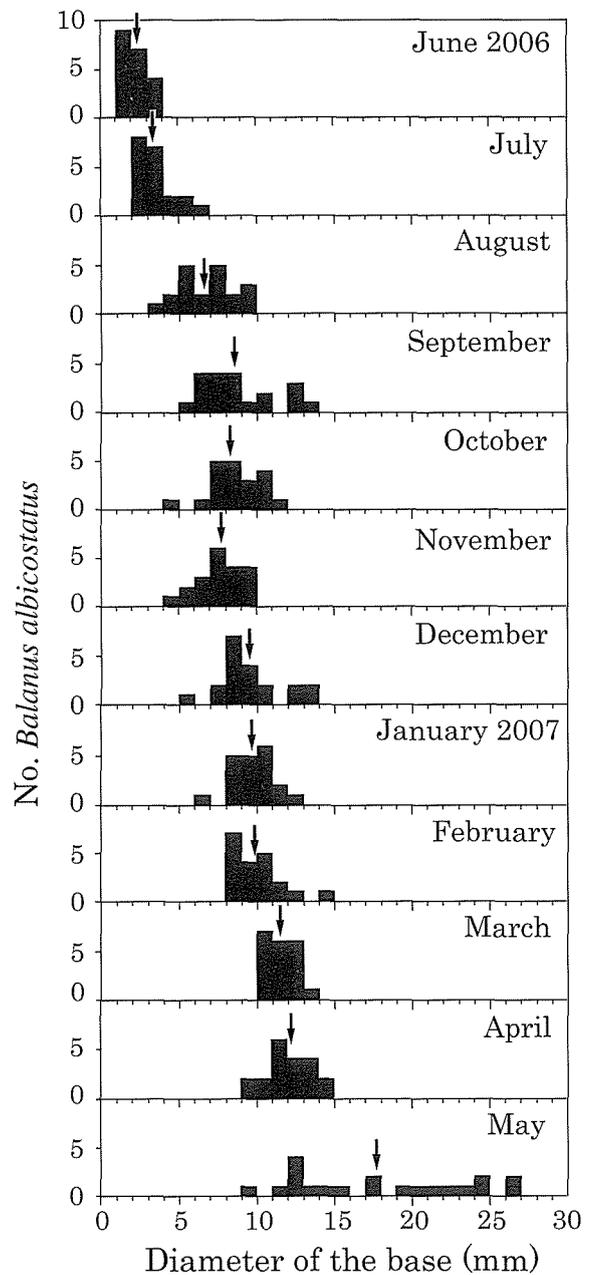


Fig. 10. Monthly size frequency distribution of 20 barnacles *Balanus albicostatus* sampled at random from a branch. Arrows indicate average size.

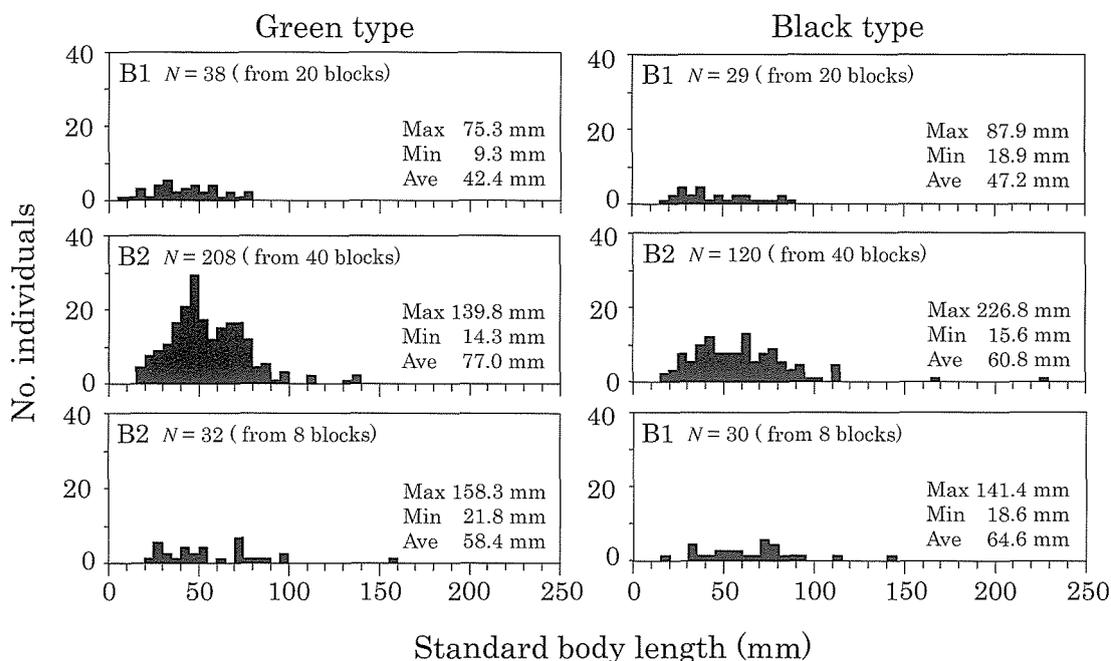


Fig.11. Size frequency distribution of sea cucumber *Apostichopus japonicus* collected at the bamboo reef in May 2007.

の個体数は1,763~2,560個体 (95%信頼区間) であった。

発見された稚ナマコのうち、建材ブロックの空洞内と建材ブロックの側面や下面に全体の76.6%が分布していた (Table10)。B2では、沖側に配置した建材ブロックに8.6個体/枚と稚ナマコは多かったが、B1では、1.8個体/枚と少なかった。また、各礁の建材ブロック1枚あたりの平均個体数は、B1が3.4個体、B2が5.5個体、B3が7.8個体となり、全て平均すると5.6個体であった。なお、実験当初に設置した建材ブロックの総数は480枚 (B1が120枚、B2が240枚、B3が120枚) であったが、実験終了時に底土中に埋没していたブロック78枚 (B1は無し、B2で33枚、B3で45枚) を除き、底土上に出ていた402枚を有効なブロック数として計算に用いた。

### 考 察

Kikuchi<sup>17)</sup> は、天草富岡湾のアマモ場に出現する魚類を、周年定住種、季節定住種、一時的来遊種、遇来種の4つのグループに分けた。海草藻場における魚類群集が、これら4つのグループによって構成されていることは、世界的にみても一般的な傾向とされる<sup>18)</sup>。水産的な視点で見ると、周年定住種は、アミメハギ *Rudarius ercodes*、小型ハゼ類に代表される魚類で、水産上重要種とされるものは含まれない。季節定住種は、幼稚魚期に藻場を利用するメバル、マダイ *Pagrus major*、カワハギなど、多くの水産上重要種が含まれる。一時的来遊種は、藻場を含む広い行動範囲を持ち、主に索餌を目的として夜間や高潮時に藻場に来遊する

Table 10. Number of individuals of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* observed (average) from blocks of bamboo reefs. 20 blocks from B1, 60 blocks from B2 and 8 blocks from B3 were inspected.

	B1		B2			B3	
	Shore*	Offshore*	Shore*	Center*	Offshore*		
Upper	10 (1.0)	- (-)	- (-)	12 (0.6)	37 (1.9)	24	(3)
Inside	24 (2.4)	14 (1.4)	19 (1.0)	68 (3.4)	86 (4.3)	24	(3)
Under and lateral	15 (1.5)	4 (0.4)	9 (0.5)	39 (2.0)	38 (1.9)	10	(1.3)
Between blocks	- (-)	- (-)	- (-)	9 (0.5)	11 (0.6)	4	(0.5)
Total	49 (4.9)	18 (1.8)	28 (1.5)	128 (6.4)	172 (8.6)	62	(7.8)

\* Shore, center and offshore indicate the shoreward, central part and offshoreward sections of the reefs, respectively.

種で、クロダイ、ウミタナゴの成魚、シマイサキ *Rhynchopelates oxyrhynchus*、メイトガレイ *Pleuronichthys cornutus* など水産上重要種が含まれる。一方、魚礁に生物が蟄集する要因は藻場と異なると考えられており<sup>2)</sup>、隠れる場所(隠れ場機能)、環境変化に対する休息(休息機能)、餌生物の分布とその捕食機会(摂餌場機能)、卵や孵化仔魚の保護・育成(産卵場機能)等の条件が魚礁に備わるためとされる。

一般に海草藻場では、端脚類、等脚類、小型巻貝類などが多く、加えて堆積した腐植を栄養源とする埋没性ベントスが豊富であり、魚類の摂餌場所として機能するほか、多様な生物の隠れ場および産卵場として利用される<sup>19)</sup>。本調査の結果、竹林礁では、メバル、クロソイ、マアジ、イシダイ、メジナ、メイトガレイ、カワハギ、クロダイ、ウミタナゴなど、多くの水産上重要種が来遊し(Table 1~9)、その多くは摂餌行動を伴い、さらにマハゼ *Acanthogobius fravimanus* やアミメハギなども観察されるなど、Kikuchi<sup>17)</sup> のアマモ場の出現種の構成と似ていた。また、竹枝や竹の主幹にカミナリイカの卵やアカニシの卵塊が産み付けられており、産卵場としても機能していた。以上の結果、水産的視点では、竹林礁は海草藻場に似た機能を有すると考えられた。

竹林礁に出現する生物の種数、個体数、種多様度の変動は、概ね水温の季節変動に従った(Fig. 5)。このうち種数については、水温の変動より遅れて11月にピークを示した。魚類の飼育下での選好温度は、天然での分布適温よりも高い値を示す傾向があるが、クロソイ、メバルで20~21℃、マアジ、シロギスで24~25℃、ボラ、イシダイ、カワハギで27~28℃、クロダイ、スズキで28~30℃と報告されている<sup>20)</sup>。これらにとって、8月の本調査地の30℃という温度環境は厳しいと推察され、種数の増加が遅れる原因になったかもしれない。個体数については、水温の変動より遅れて2006年11月に極端に高い値を示したが、これはカタチイワシとマアジの魚群が来遊したことによる。また、毎月の観察時間は日長や潮汐リズムによって異なり、これらの傾向にバイアスを与えている可能性があるため、毎月まとめた個体数で出現したクロダイの出現個体数と竹枝での摂餌行動回数について、日長時間による補正を試みたところ、補正前と変わらない傾向を示した(Fig. 12)。このようなバイアスは、他の生物の傾向についても同様に、無視できるレベルであると考えられた。

シロスジフジツボの産卵期は春から秋である<sup>21)</sup>。付着適水温は21~24℃であるため<sup>21)</sup>、本調査地では5~10月に新規加入があると考えられる。本調査で6月に認められた本

種の着生は、5月の竹林礁の設置直後に新規加入したものであろう。平均殻底長径による竹枝上のシロスジフジツボの成長率は、2006年9月に急激に低下し1.0に近づき(成長停滞)、さらに10月と11月に1.0を割り込んだが(マイナス成長)、これは、この期間中の竹枝での摂餌行動回数の多さから、魚類による捕食の影響と考えられる(Fig. 13)。これは、シロスジフジツボ群落に魚類による摂食痕が多く見られるようになった時期とも重なる。体長組成図からは(Fig. 10)、殻底長径10 mm以上の大型個体が減少したことが明らかであり、これらは選択的に捕食対象になることが推察された。

竹林礁から発見された稚ナマコは、物陰やタイドプールなど、常に海水が乾かない場所、特に建材ブロックの空洞内およびブロック同士の間隙に潜んでいた(Table 10)。浜野ら<sup>3)</sup>は、干出時に竹林礁から滴る水滴が建材ブロックに湿りを与え、さらに竹林礁が日差しを遮ることによって、底質やタイドプールの温度上昇を生物の致死温度以下に留めることを明らかにしている。よって、このような稚ナマコの分布状況からは、竹林礁におけるマナマコの増殖には、竹林礁の昇温抑制効果<sup>3)</sup>の寄与が大きいことが推測される。また、本調査地は山名ら<sup>11)</sup>によって稚ナマコの生息に不適であるとされ、近接する転石地帯でも稚ナマコは0.1個体/m<sup>2</sup>の低密度で分布するに過ぎなかった。しかし近隣のホンダワラ藻場では10個体/m<sup>2</sup>以上の高密度の分布が認められており<sup>11)</sup>、本研究で認められた大量のマナマコの発生の理由として、竹林礁が藻場のような物理的的特

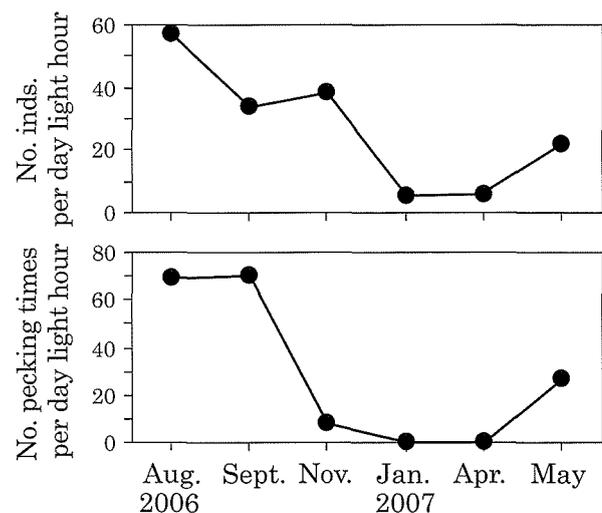


Fig. 12. Monthly changes in number of individuals per day light hour and number of pecking times per day light hour for black sea bream *Acanthopagrus schlegelii*.

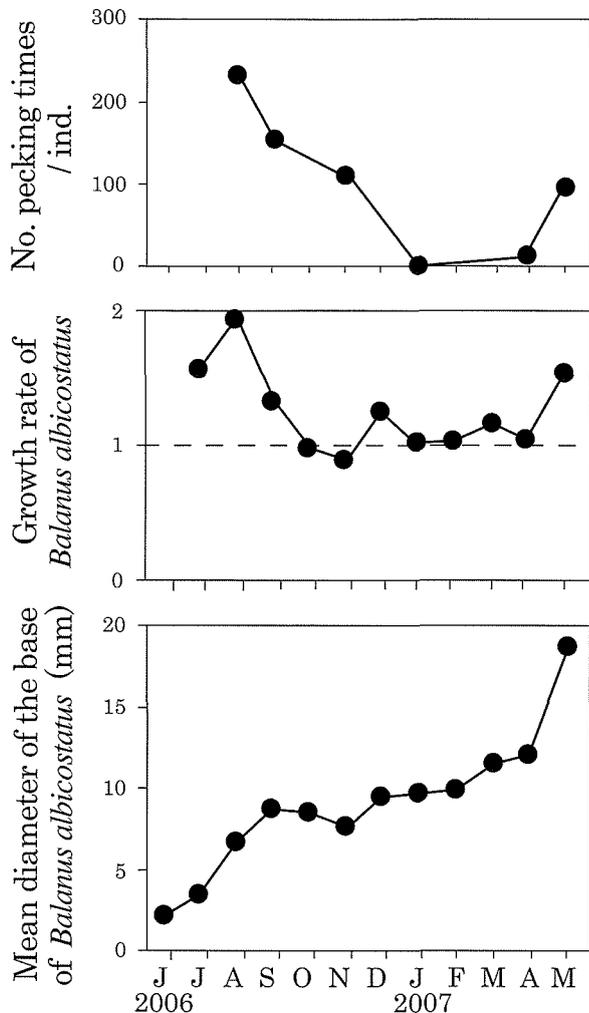


Fig. 13. Number of pecking bamboo branches per observed fish, change of growth rate of barnacle *Balanus albicostatus*, and change of the mean diameter of the base of the barnacle.

性を有し、浮遊幼生の着底促進効果が働いたためと考える。

B1の沖側やB2では、建材ブロックが砂に埋まり、1枚あたりの平均個体数は1.8個体や1.5個体と少なかったことから、漂砂は稚ナマコの生残に好ましくないことが明白であった。また、アナアオサに覆われた建材ブロックの上では、アナアオサの陰に稚ナマコが見出されることがあったが、覆われない建材ブロックの上に見出されることはなかった。山名ら<sup>11)</sup>は、潮位レベル+40 cm (CDL)に転石や捨石が存在し、ホンダワラ類やアオサ類が密生している場所が、本調査地周辺における稚ナマコの成育適地としており、これらの条件が本竹林礁で近似された結果、稚ナマコの増殖に役立ったのであろう。また、マナマコの漁業資源が漁場に加入するメカニズムとして、岩場などの

稚ナマコの成育場から、周辺の砂泥底の漁場へ個体が徐々に染み出していくことが知られており<sup>23)</sup>、竹林礁で成育したマナマコも同様、成長に伴ってナマコ資源として周辺の漁場に供給されると考えられる。

建材ブロックの配置タイプ別に稚ナマコの個体数を比較すると、竹林礁の周囲に置いたB1では建材ブロック1枚当たり3.4個体、竹林礁の中に格子状に置いたB2では5.5個体、竹林礁の中に積み上げたB3では7.8個体であった (Table 10)。建材ブロック1枚当たりの個体数が最も多かったのは、B3であるが、建材ブロックを積み上げるほど崩れやすく、面積あたりの重さが増すため埋没しやすいという欠点がある。次に稚ナマコが多かったB2では、岸側のブロックだけに注目すると8.6個体と最も多く、竹林礁の波浪軽減効果が働いた可能性が高い。本竹林礁ではどれも16本の金属杭と32本の竹を使用しているが、ブロックの枚数は異なる。そこで、稚ナマコの推定個体数=ブロック1枚当たりの平均個体数×使用ブロックの枚数、で計算すると、B1では408個体、B2では1,139個体、B3では585個体となる。以上より、今回の結果からは、稚ナマコの増殖効果が最も高い建材ブロックの配置はB2であると考えられた。

一方、竹の配置による差については、本調査の結果から生物増殖効果に大きく影響しないと考えられ、配置のタイプ別に比較するよりも、浜野ら<sup>3)</sup>の報告した竹林礁の昇温抑制効果を期待するべきであろう。昇温抑制効果高めするには、1 m格子タイプ (A1) で配置すれば、干潟表面に途切れることなく日陰を作ることが出来るのでより効果的である。これは、昇温抑制だけでなく波浪の軽減にも優れると考えられるが、1 m間隔で設置した竹の枝が密集するため、設置やメンテナンスの作業性が低下する。そこで、外周は1 m間隔で竹を立て、内側は2 m間隔で竹を立てる方法が理想的であろう。また、マナマコの増殖を期待するのであれば、このような配置の竹林礁に、B2のように格子状に建材ブロックを配置するのが有効と考えられる (Fig. 14)。建材ブロックを配置する際には、漂砂による埋没の可能性を考慮して、数段に重ねて配置する必要がある。しかし、高さが増すと今度は波浪の影響を受けやすくなるので、本実験のB1やB2 (Fig. 2) と同様に、下段から2-1と配置するのが良いだろう。底土が柔らかく埋没が懸念される場合には、最下段が埋没することを想定して3-2-1のブロックの配置とするのも良いかもしれない (Fig. 14)。

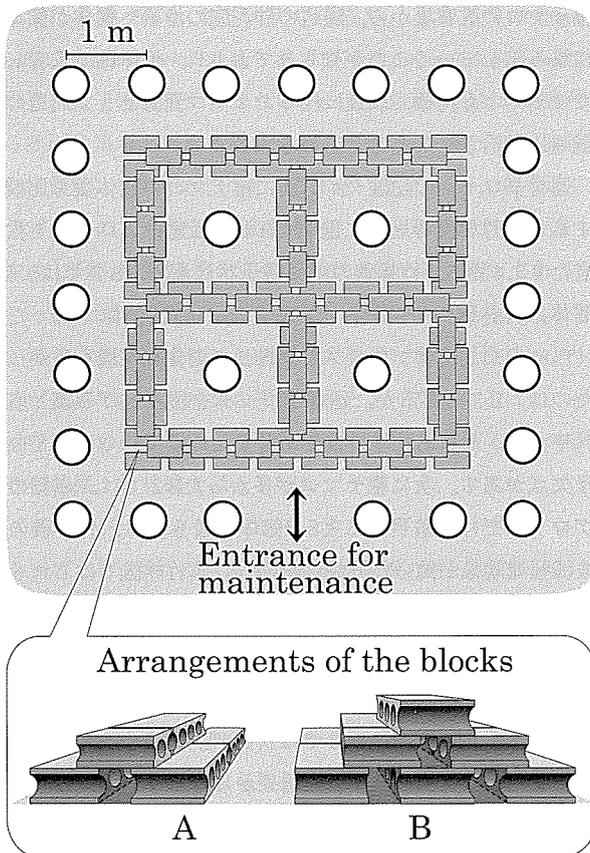


Fig. 14. Design drawings of an example of bamboo reef proposed in present study. White circles indicate steel piles and bamboos. Shaded area denotes the tidal flat affecting by bamboo branches. Small squares are concrete blocks, and its basic arrangement is A or B.

## 謝 辞

竹林礁の設置は、山口県漁業協同組合田布施支店および平生町支店、平生町役場、山口県柳井水産事務所、山口県水産研究センター内海研究部、(株)新笠戸ドックの皆様にご助力いただいた。竹の切り出しは、山口県菊川竹林ボランティアの皆様にご指導いただいた。また、水産大学校田名臨海実験実習場の三木浩一氏、同校動物学研究室の学生の皆様には、調査を行うにあたり多大なご尽力を賜った。水中映像からの魚類の摂餌行動の解析には、同校生物生産学科の野田幹雄准教授にご指導いただいた。以上の皆様に深謝する。

本研究の一部は、平成18年度水産大学校内競争資金および平成19年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業委託事業「乾燥ナマコ輸出のための計画的生産技術の開発」により実施した。

## 要 約

瀬戸内海西部の干潟に2006年5月27日に、逆さ竹林礁を設置し、その生物増殖効果を実証するために実験を行った。2006年8月、9月、11月、2007年1月、4月、5月の大潮時に竹林礁に来遊する生物のモニタリングを水中ケーブルカメラを用いて行った。その結果、魚類19科22種、頭足類2科2種、合計5,640個体が確認され、竹枝に付着する生物、表在する生物、竹枝の間に浮遊する生物、を頻繁に摂餌する様子が見られた。また、2006年5月から2007年4月まで、大潮満潮時に潜水調査を行い、魚類23科26種、貝類2科2種、甲殻類2科2種、頭足類3科4種、合計3,731個体が確認された。2006年6月にはカミナリイカの卵が竹枝下部に産み付けられていた。この干潟には、2006年までマナマコは全く確認されなかった。2007年3月からマナマコが見られ始め、5月には457個体(95%区間推定1,763~2,560個体)のマナマコ(平均標準体長は青型59.3 mm, 黒型57.5 mm)が分布していた。以上のことから、この礁は生物の増殖に効果があると判断した。

## 文 献

- 1) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会：水産基盤整備事業用語辞典(漁場整備関連)。社団法人全国沿岸漁業振興開発協会(2003)
- 2) 沿岸漁場整備開発事業人工魚礁造成計画指針編集委員会：水産庁監修 沿岸漁場整備開発事業人工魚礁造成計画指針 平成12年度版(2001)
- 3) 浜野龍夫, 柳井芳水, 早杉 啓, 渡邊敏晃：干潟に設置した逆さ竹林礁による昇温抑制効果。水大研報, 56, (2008)
- 4) 池松 弥, 松本 直：沈着初期アサリの低比重並びに高温に対する抵抗力。有明海研究報告, 3, 16-23 (1956)
- 5) 倉茂英次郎：アサリの生態, 特に環境要素について(松本文夫編)。水産学集成, 東京大学出版会, 東京, 611-655 (1957)
- 6) 石岡宏子：クルマエビ人工種苗の生理生態に関する研究。南西水研研報, 6, 59-84 (1973)
- 7) 山口県水産課：Ⅶ ガザミ。栽培漁業のてびき, (社)山口県漁村振興協議会, 147-173 (1987)
- 8) 水産生物と温排水研究協議会：水生生物と温排水。日本水産資源保護協会, 東京 (1973)

- 9) Kanno M, Suyama Y, Li Q, Kijima A: Microsatellite analysis of Japanese sea cucumber, *Stichopus (Apostichopus) japonicus*, supports reproductive isolation in color variants. *Marine Biotechnology*, 8: 672-685 (2006)
- 10) 中坊徹次: 日本産魚類検察 全種の同定 第二版. 東海大出版, 東京 (2000)
- 11) 山名裕介, 浜野龍夫, 三木浩一: 山口県東部平生湾の潮間帯におけるマナマコの分布 —種ナマコの生育適地の環境条件—. *水大研報*, 54, 111-120 (2006)
- 12) 浜野龍夫, 近藤正和, 大橋 裕, 立石 健, 藤村治夫, 末吉 隆: 放流したマナマコ種苗の行方. *水産増殖*, 44, 249-254 (1996)
- 13) Y. Yamana and T. Hamano: New size measurement for the Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Stichopodidae) estimated from the body length and body breadth. *Fisheries Science*, 72, 585-589 (2006)
- 14) 山名裕介, 浜野龍夫: マナマコの新標準体長の有効性. *水大研報*, 54, 105-110 (2007)
- 15) 伊藤嘉昭, 山村則男, 嶋田正和: 動物生態学. 蒼樹書房, 東京, 343-379 (1992)
- 16) 赤峰達郎: 水産資源解析の基礎 第3章個体数推定. 恒星社厚生閣, 東京, 47-68 (2007)
- 17) T. Kikuchi: An ecological study on animal communities of the *Zostera marina* belt in Tomioka Bay, Amakusa, Kyushu. *Publications from the Amakusa Marine Biological Laboratory*, 1, 1-106 (1966)
- 18) 中村洋平: 海草藻場の衰退に伴って, 魚類の種数や個体数はどのように変化するか. 2006年度日本魚類学会公開シンポジウム 生息場所の劣化が沿岸魚類群集に与える影響—現場からの報告— 講演要旨集, 日本魚類学会, 8-15 (2006)
- 19) 菊池泰二: 1・2藻場生態系. *海洋学講座第9巻 海洋生態学*, 東京大学出版, 23-37 (1976)
- 20) 土田修二: 沿岸性魚類の温度選好に関する実験的研究. *海生研研報*, 4, 11-66 (2002)
- 21) 平野礼次郎: フジツボの生活史と付着生態. “海洋科学”別冊第3・生物海洋学研究, 海洋出版株式会社, 40-44 (1978)
- 22) 平野礼次郎, 大串 順: 付着生物に関する研究—I 油壺湾におけるフジツボ付着量と成長率の季節的变化. *日水誌*, 18 (11), 27-31 (1952)
- 23) 畑中宏之: ナマコこぎ網の漁獲効率の推定について. *水産増殖*, 42, 227-230 (1994)