

島根県水産技術センター研究報告

第14号

令和4年3月

島根県水産技術センター

島根県水産技術センター研究報告

第14号

2022年3月

目次

報 文

- 島根県沿岸における岩礁性重要貝類の増養殖に関する研究
.....佐々木 正 1
- 宍道湖のヤマトシジミ資源量が2018～2019年に急変した際の各種条件の比較
.....清川智之・谷 幸則・原口展子・岡本 満・平松大介・福井克也 139

資 料

- あなごかご漁業用餌料へのグリシンの添加効果
.....寺門弘悦・沖野 晃・岡本 満 149
- 島根県における磯焼け対策の実態調査—隠岐の島町蔵田の事例—
.....寺戸稔貴・堀内正志・向井哲也 157
- グリセリン浸透法による魚介類の色彩保存標本作製の検討
.....安原 豪 165
- 2020年の江の川におけるアユの産卵状況
.....谷口祐介・寺門弘悦・寺戸稔貴・安原 豪 171

短 報

- 小田川および田儀川におけるアユの生息状況
.....寺門弘悦・福井克也 177

- 本号掲載要旨..... 181

- 他誌掲載論文の抄録..... 183

島根県沿岸における岩礁性重要貝類の 増養殖に関する研究¹

目 次

第I章 緒言	1
第II章 サザエの初期生態に関する研究	
第1節 成熟と産卵期	7
第2節 浮遊幼生採集用人工コレクターの開発	16
第3節 浮遊幼生の出現期と分布特性	22
第4節 着底過程と初期減耗	31
第5節 0～1歳貝の初期成長と密度変化	41
第III章 イワガキの人工種苗生産技術の改善に関する研究	
第1節 半屋外 100 kℓ 大型水槽を用いた付着期幼生の大量生産	50
第1項 予備試験	50
第2項 飼育条件の検討	61
第3項 キートセロス・カルシトランスの屋外における大量安定培養	78
第2節 シングルシード用の樹脂製軟質採苗器の開発	102
第IV章 総合考察（総括）	120
謝 辞	124
引用文献	125

¹ 本論文は鳥取大学審査学位論文である。

Summary	131
要 約	134
学位論文の基礎となる学術論文	137

第 I 章 緒言

全国で 10 番目に長い海岸線を有する島根県では、釣り、刺網、磯根漁業および養殖業などの沿岸漁業が盛んであり、その就業者数は県全体の就業者数の約 55%¹⁾を占めることから地域の漁村集落を支える重要な漁業となっている。しかし、現在、島根県の沿岸漁業では高齢化に伴う就業者数の減少傾向が継続し、この 20 年間で就業者数は約 2,800 人から約 1,400 人に半減し、¹⁾将来的には漁村集落の存続も危ぶまれる状況にある。そのため、島根県では漁業就業者数の減少に歯止めをかけることを目的に、後継者の育成や UI ターンの積極的な誘致などによる新規就業者確保の取組みが重点的に実施されている。

一方、島根県の沿岸域では岩礁域が発達し、アラメ類やホンダワラ類の大型海藻群落が発達され、それを餌とするサザエ *Turbo (Batillus) sazae* H. Fukuda, 2017 やアワビ類などを漁獲対象とする磯根漁業が全域で営まれている。また、隠岐諸島や県東部の島根半島ではリアス式海岸が発達し、日本海の冬季の季節風を防ぐことのできる好適な条件を利用してイワガキ *Crassostrea nippona* をはじめとする養殖業が営まれ、数少ない安定した収入源として貴重な役割を担っている。これらの定着性の高い水産物を漁獲対象とする磯根漁業や給餌作業の不要な養殖業は、比較的少ない初期投資である程度安定した収入が見込める漁業でもあることから、新規就業者を確保する上で、これらの漁業の動向が重要な鍵となってくると考えられる。

そこで、本研究ではそれぞれの漁業で重要な位置づけにある岩礁性貝類のサザエとイワガキを対象に、それぞれが抱える問題点や課題の解決について検討を行うこととした。

岩礁性巻貝であるサザエの島根県における 2017 年の生産量は、421 トンで全国総生産量の約 6.9% (全国都道府県別で第 5 位) を占め、日本海側では全国 2 位の山口県に次いで主要な産地となっている。²⁾このため、本県のサザエは、他の主要な磯根漁業対象種であるアワビ類、ウニ類、ナマコ類と比較してもその生産量は突出して多く、直近 3 年間の平均値 (島根県漁獲統計システム 2015-2017 資料) で比較すると、全体 (主要磯根漁業 4 種) に占める割合は生産量で約 75% (418 トン)、生産金額で約 51% (2 億 5 千 2 百万円)

となり (Fig. 1)、磯根漁業を代表する最も重要な種であるといえる。

全国のサザエの生産量 (Fig. 2) をみると、1998 年の 12,556 トンをピークに漸減傾向となり、直近 5 年間はピーク時の約半分の 5~6 千トン付近を推移している。²⁾島根県においても、生産量のピーク (1988 年: 1,377 トン) は全国と異なるものの、それ以降は全国と同様に漸減傾向となり、近年はピーク時の 3~4 割の 4~5 百トン付近を推移している状況にある (Fig. 2, 3)。本来サザエは卓越年級群の発生などにより、数十年単位で資源が大きく変動する種と考えられており、^{3,4)}島根県においても漁獲量が 1984 年の 174 トンから 1988 年の 1,377 トンまで 4 年間で約 8 倍に増加したが、これは殻高組成調査から 1983 年発生 of 卓越年級群に由来するものであることが推定されている。⁵⁾また、近年では大洋規模の気候変動が、数年~数十年単位でサザエを含む巻貝類の資源変動に影響を及ぼす可能性も指摘されている。⁶⁾

生産量が減少傾向にあるサザエ資源について、今後もその動向が注視されることであるが、島根県の磯根漁業においてサザエに次いで重要なアワビ類でも生産量が減少していることから (Fig. 3)、このまま生産量の減少に歯止めがかけられない場合は、磯根漁業ひいては本県の沿岸漁業の経営に大きな影響を及ぼす可能性があるといえる。

こうした資源の減少傾向への対策として、サザエではアワビ類と同様に種苗放流技術の研究開発⁷⁻⁹⁾により栽培漁業の取り組みが全国的に実施され、2016 年では太平洋側 (東京都、神奈川県) や日本海側 (石川県、京都府、兵庫県、鳥取県、長崎県) の各都府県において年間約 300 万個の種苗が生産され、各海域に放流されている。¹⁰⁾しかし、島根県のような数百トンレベルの漁獲資源を種苗放流によって増大させるには相当数の種苗が必要となることや販売単価が約 10 倍以上あるアワビ類と比較すると、その費用対効果などの経済面での有効性は限定的であると推察される。

したがって、島根県において今後サザエ資源を安定的に維持・利用するためには、資源管理による手法^{11,12)}がより適していると考えられる。現在、島根県では県の漁業調整規則において、漁獲禁止サイズ (蓋径 2.5cm 以下) や禁漁期 (5, 6 月) を

設定して資源保護を図っているが、資源の減少が継続していることからこれらの管理手法だけでは不十分であり、より有効な資源管理体制を確立することが急務となっている。特に資源変動の大きいサザエでは、資源の発生状況に応じた管理を行うことが望ましいと考えられるが、近縁のアワビ類と比較すると生態学的な知見が乏しく、産卵から着底に至る初期生態の情報不足、資源解析の基礎となる加入量の変動機構の解明が課題であった。

一方、岩礁性二枚貝であるイワガキは、1992年に島根県が全国に先駆けて人工種苗生産の実用化に成功したことを契機に、隠岐諸島を主体とした海域において養殖技術の研究開発¹³⁻¹⁶⁾が進み、養殖が普及した。2017年の島根県の養殖イワガキの生産個数は103万個、生産金額は2億3千3百万円 (Fig. 4) であり、島根県は全国有数の養殖産地となっている (隠岐支庁水産局資料、松江水産事務所資料)。近年では、古くから行われていたワカメ養殖を生産量、金額ともに上回り、イワガキは島根県の海面養殖を代表する最も重要な種として位置づけられている。養殖種苗の需要の増加に伴い、1996年からは島根県栽培漁業センターにおいて人工種苗の量産が開始され、現在、公益社団法人島根県水産振興協会栽培漁業センター (以下栽培センターと略す) において養殖用種苗の大部分となる年間100万個以上の種苗が生産され、県内の養殖業者に出荷されている (Fig. 5) (栽培漁業センター資料)。

しかし近年では、イワガキ養殖業者の増加に伴って養殖用種苗の需要が拡大しつつあることや付加価値向上を目的としたシングルシード養殖法の新たな取り組み¹⁷⁾が開始されたことから、栽培センターでは種苗のより効率的な大量安定生産方法やシングルシード用種苗の新たな生産方法などの技術開発が急務となっている。

そこで本研究において、サザエでは資源管理に必要な産卵から稚貝の発生までの加入量変動に関わる初期生態の解明を、イワガキでは養殖の安定化に欠くことのできない人工種苗生産技術における諸課題を解決することを目的として以下の調査・研究を行った。

サザエの初期生態に関する研究

第II章第1節では、島根県におけるサザエの産卵期を明らかにするための研究を行った。¹⁸⁾島根

県では産卵期間中の母貝の保護のために古くから県の漁業調整規則において5,6月の禁漁期が設けられているが、近隣の山口県、京都府の調査事例や、県内の磯根漁業従事者への聞き取り結果などの実態から、現行の禁漁期の設定の妥当性を明らかにする必要があると考えられた。そこで、島根県沿岸のサザエの生殖巣熟度指数 (GI)、組織学的成熟度および卵径分布の調査を実施し、本県のサザエの産卵期について検証を行った。その結果、島根県における現行の禁漁期間の設定は、実際の産卵期と一致しないことを明らかにした。

第II章第2節では、サザエ浮遊幼生採集用人工コレクター (以下コレクターと略す) の開発を試みた。¹⁹⁾浮遊幼生や着底稚貝の定量的な調査において、浮遊幼生の出現量や稚貝の着底量をより効率的に推定する目的でコレクターを考案し、野外試験により検証を行った。その結果、市販の塩化ビニール製鶏卵パックを材料としたコレクターを用いた調査方法により、サザエの浮遊幼生の効率的な採集が可能であることを示した。

第II章第3節では、特に知見が乏しいサザエの浮遊幼生の動態を解明するために、島根県東部においてプランクトンネットおよび前述のコレクターを用いて浮遊幼生の出現期、分布域について調査を行った。²⁰⁾その結果、数日間の急激な水温変化がサザエの配偶子放出を誘起する一つの環境要因であることや、サザエのベリジャー期の浮遊幼生は底層よりも中層から表層付近に偏って分布する傾向があることを明らかにした。

さらに、第II章第4節では、サザエの着底場として有節石灰藻群落に着目し、島根県東部の有節石灰藻群落において着底直後のサザエ稚貝を連続的に採集し、サザエ稚貝の着底過程および着底直後の減耗過程について追跡した。²¹⁾その結果、着底後の稚貝の分布水深、減耗過程およびその減耗要因を明らかにした。

続く第II章第5節では、同調査区域においてサザエの着底直後から1歳貝までの期間を対象に連続的な採集を実施し、その初期成長と密度変化を調査した。²²⁾その結果、サザエの満1歳時における成長や、発生翌年の春季以降に稚貝が成長と共に徐々に有節石灰藻群落外へ生息域を拡大することを明らかにした。また、発生翌年の春季に、有節石灰藻群落内の稚貝を定量的に調査することにより、効率的なサザエの加入量の予測ができる可能性を示した。

イワガキの人工種苗生産技術の改善に関する研究

第Ⅲ章第1節1項では、近年のイワガキ養殖業者の増加に伴って養殖用種苗の需要が拡大しつつあり、その種苗の供給機関である栽培センターではより安定的な種苗生産技術の構築が重要な課題となっていることから、半屋外の100klの大型水槽を使用したイワガキの付着期幼生の生産を試験的に試みた。²³⁾その結果、大型水槽を使用した粗放的な生産方法でも、従来の小型水槽を使用した集約的な生産方法と同様に付着期幼生の生産ができる可能性を示した。

続く第Ⅲ章第1節第2項では、大型水槽を使用した浮遊幼生の大量生産方法をより安定的で効率的な手法とするために、基本的な飼育条件について検討した。²⁴⁾その結果、初期餌料、D型幼生の収容密度および水槽換えなどの適切な基本条件を把握し、屋外で粗放的に培養した餌料を用いて大量の付着期幼生を低コストで省力的に生産できることを明らかにし、栽培センターにおける従来の生産方法のバックアップ用の生産方法として適していることを示した。

さらに、第Ⅲ章第1節第3項では、珪藻類の中でも利用価値が高く優れた餌料である *Chaetoceros calcitrans* (以下カルシトランスと略す)の屋外における大量安定培養の可能性を明らかにすることを目的に、屋外培養に適している *Chaetoceros neogracile* (以下ネオグラシーレと略す)と比較することにより評価を行った。²⁵⁾

その結果、これまで屋外培養が困難とされていたカルシトランスは、高水温期には最高細胞密度がネオグラシーレにやや劣る傾向があるものの、

屋外での安定的な培養が十分可能であることが判明した。また、夏季の高温期に遮光幕を用いて培養水温を低下させる培養方法は、高温耐性が低いカルシトランスをはじめ、高温耐性が高い *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate) (以下タヒチと略す) やネオグラシーレの安定培養に効果的であることを明らかにした。

さらに、屋外培養したカルシトランスを用いた二枚貝類(イワガキ、サルボウガイ *Anadara kagoshimensis*)の種苗生産試験を行い、屋外培養したカルシトランスは実用的な使用が可能であることを確認した。

第Ⅲ章第2節では、栽培センターにおいて採苗効率が高いシングルシード用の新型採苗器を開発することを目的として、樹脂製の採苗器を試作して採苗試験を行い、その有効性や実用性について評価・検討を行った。²⁶⁾その結果、耐久性が高く、繰り返し利用が可能なポリプロピレン樹脂がシングルシード用の採苗器の材質に適しており、採苗器の表面に凹凸状の微細な構造があること、採苗器の形状は立体的(傘型)であることなどが幼生の付着効率を高めることが判明した。新型採苗器ではこれらの有効な条件を組み合わせることにより、従来のホタテ殻採苗器と同等の付着効率を有することを確認した。さらに、使用後の採苗器は、未使用のものより稚貝の付着効率が高くなることから、繰り返しの使用により低コストで効率的なシングルシードの生産が可能となることを示した。

これらの研究成果を元に、第Ⅳ章では、研究結果を総括した上で、サザエ・イワガキといった岩礁性重要貝類の増養殖に関して有効な資源管理手法や種苗生産技術についての提言を行った。

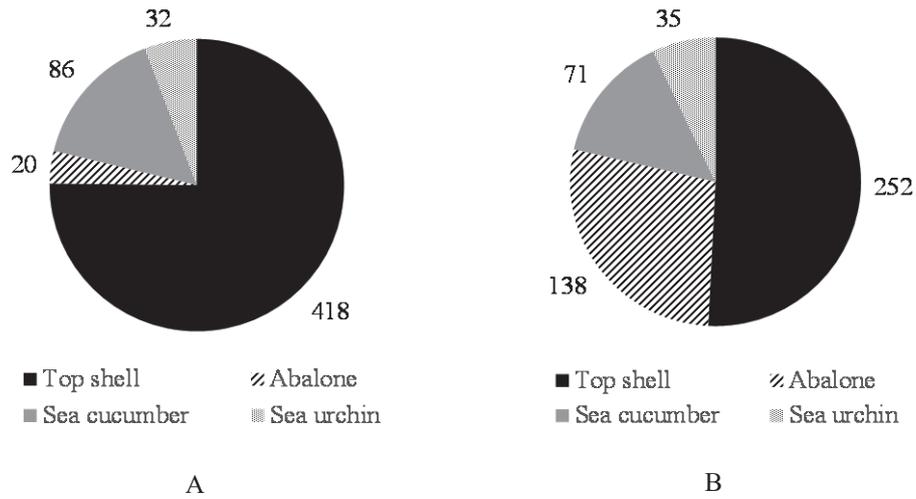


Fig. 1. Annual fisheries production (A, in tons) and value (B, in million yen) from 2015 to 2017 of the four main species (Japanese top shell, abalone, sea cucumber, and sea urchin) inhabiting the rocky shores of Shimane Prefecture.

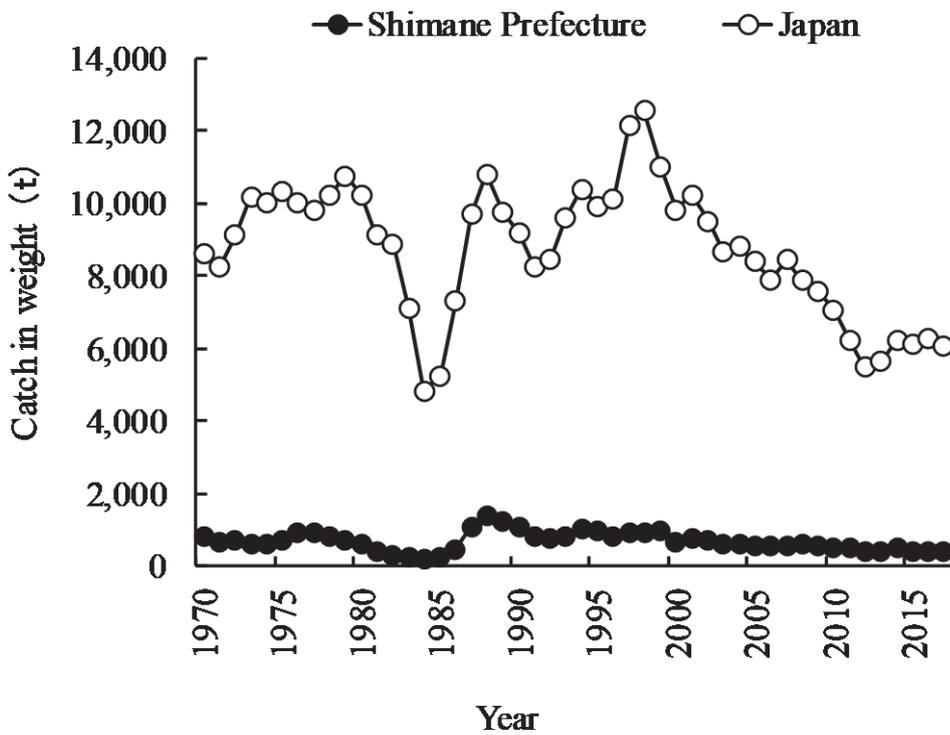


Fig. 2. Changes in the annual fisheries production (in tons) of the Japanese top shell in Japan and in Shimane Prefecture.

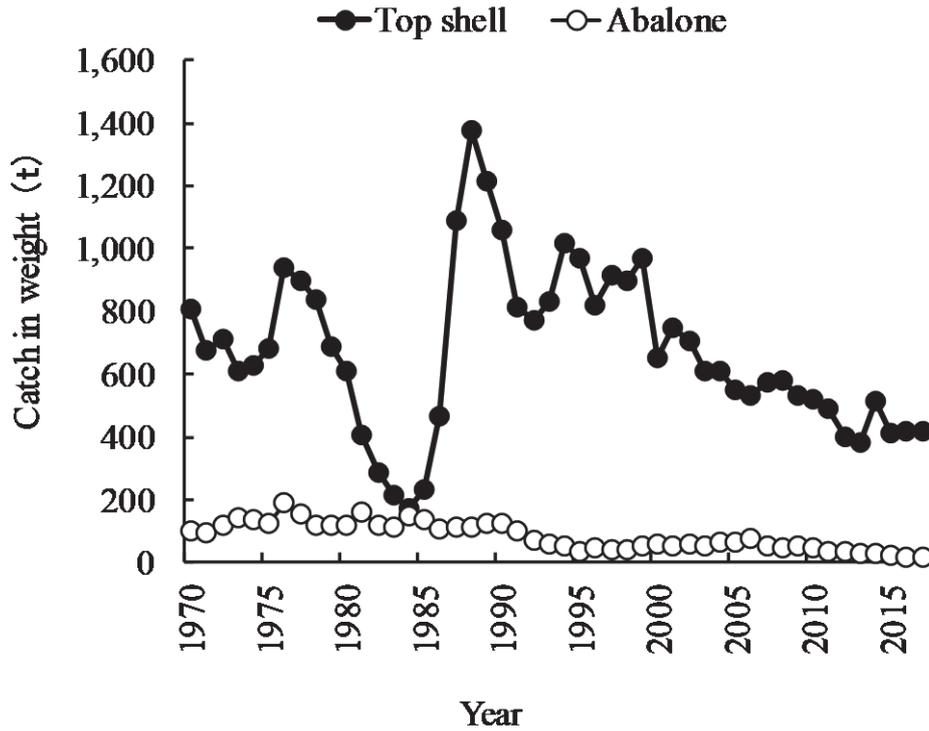


Fig. 3. Changes in the annual fisheries production (in tons) of the Japanese top shell and abalone in Shimane Prefecture.

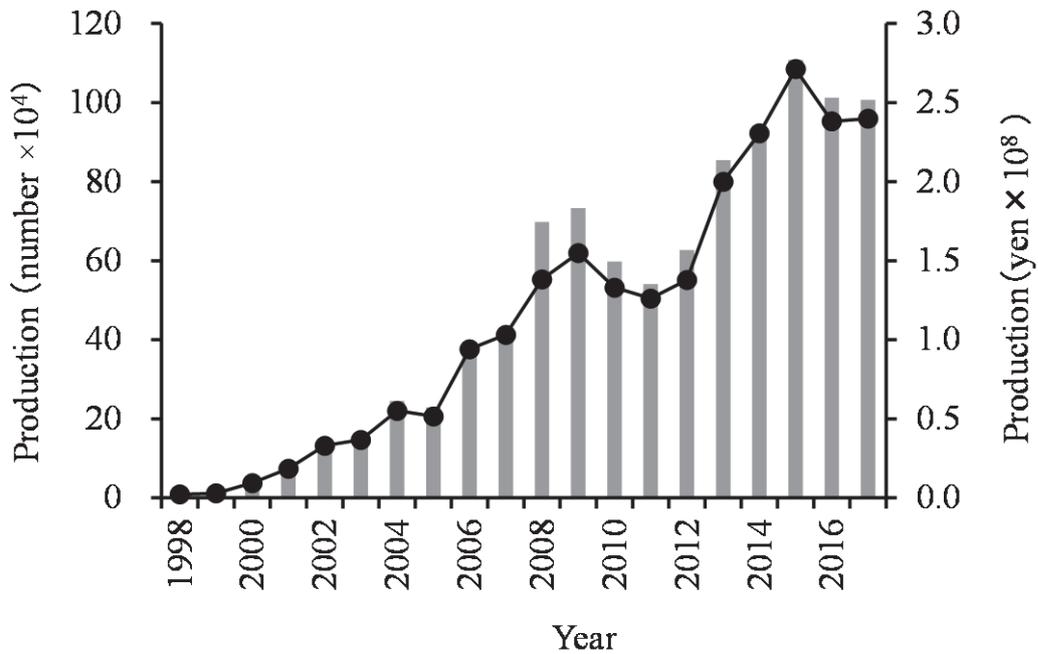


Fig. 4. Changes in the annual aquaculture production (■, in number of individuals) and value (●, in hundred million yen) of Iwagaki oysters in Shimane Prefecture.

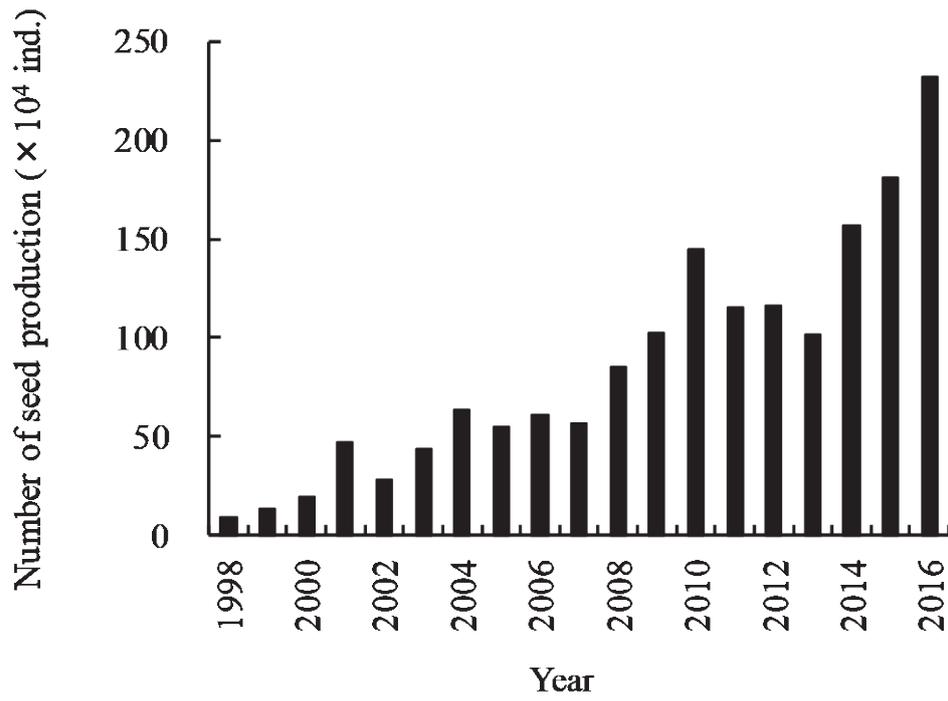


Fig. 5. Changes in the annual artificial seed production (in number of individuals) of Iwagaki oysters at the Shimane Prefectural Sea Farming Center.

第II章 サザエの初期生態に関する研究

第1節 成熟と産卵期

島根県においてサザエは磯根漁業を代表する巻貝である。そのため、古くから県の漁業調整規則において5, 6月の漁獲および蓋径2.5 cm以下の漁獲が制限されており、このうち禁漁期の設定は産卵期間中の母貝の保護のためと解釈されている。しかし、島根県のサザエの産卵期に関する詳細な報告は無く、その根拠が不明確であった。

一方、近隣の山口県、²⁷⁾京都府²⁸⁾では、サザエの産卵期は6~10月でその盛期は7, 8月とされている。また、県内の磯根漁業従事者も、サザエの放精を7, 8月に観察することが多いとしており、本県の禁漁期間である5, 6月は実際の産卵期と異なることが推察される。

そこで本節では、1990年から3年間、島根県沿岸のサザエの成熟と産卵期の状況を調べ、島根県における実態を明らかにした。

材料および方法

標本は島根県沿岸の水温条件の異なる東部(多古)、隠岐島(浦郷)、西部(益田)の3地区から入手した(Fig. 6)。東部地区は素潜り、隠岐島と西部地区はかなぎ(見突き)で漁獲された殻高60~80 mm(東部地区の一部を除く)の範囲のものを対象に、1990年、1991年および1992年(西部地区を除く)の4月から10月にかけて月に1~2回の頻度で調査を行った。1回当たりの標本の個数は各地区とも30~40個体とした。

標本は生鮮状態で試験場に運搬後、殻高、殻付重量、軟体部重量を測定し、10%ホルマリン溶液で固定した。数ヶ月後に水洗して70%エタノール溶液中で保存した。その後、雌雄各10個体を無作為に抽出し、既往の方法²⁹⁾にしたがって、生殖巣を先端から1/3の部位で切断し、断面積中に占める生殖巣の面積割合から生殖巣成熟度指数(Gonad Index:GIと略す)を算出した。

生殖巣成熟度指数(GI) = (生殖巣の面積 / 断面全体の面積) × 100

さらに、1990年の標本については、前述の断面部分から常法に従ってパラフィン切片を作製し、ヘマトキシリン・エオシンで二重染色後、生殖巣の成熟

度を観察した。卵細胞の成熟度は以下の5段階²⁹⁾に分けた。

I期(卵原細胞期) : 最も若い生殖細胞で平均細胞直径は8 μm.

II期(染色仁期・無卵黄期) : ヘマトキシリンに濃染され、平均細胞直径は10~40 μm.

III期(油球期) : 油球の蓄積が始まり、細胞長径は40~80 μm.

IV期(卵黄球期) : 細胞質に卵黄が蓄積し、卵細胞はゼリー質で囲まれる。不規則な楕円形で細胞長径は120~200 μm.

V期(成熟期) : ほぼ球形で平均細胞直径は180 μm.

雄の生殖細胞の成熟度は既往の方法³⁰⁾に従い、精原細胞、精母細胞、精細胞、精子に分類し、生殖組織像全体に占める精子の面積比率を目測により10%単位で測定した。

以上の成熟度の分類による生殖組織像の観察結果をもとに、雌ではV期の卵細胞が生殖組織中で面積的に優占するものを成熟個体と判定した。同様に雄では生殖組織全体に占める精子の面積比率が50%以上のものを成熟個体と判定した。

また、1990年に東部地区で採集した殻高60~80 mmの標本について、上記の断面部分から卵細胞を分離し、卵細胞の径(長径と短径の平均)を計測した。標本は各回5個体ずつ無作為に抽出し、計測は1標本につき卵細胞100個とし、30 μm未満のものは計測しなかった。

さらに、1990年に東部地区で採集した殻高60 mm未満の小型の群について、成熟期である6月の標本30個体を用いて殻高とGIおよび組織の成熟度の関係をもとに生物学的最小型の推定を行った。

結果

組織学的成熟度の経月変化(1990年)

(1) 殻高60~80 mm

雌の成熟度 各地区とも4月にはIV期の卵細胞が主体であったが(Fig. 7-1)、5月以降V期の卵細胞の占める割合が増加し、6月後半~7月前半に生殖巣はV期の卵細胞で充満した(Fig. 7-2, 3)。その後、7月後半~8月後半にV期の卵細胞の割合が徐々に減少するとともに、IV期以下の若い卵細胞や退行変性に陥った退化卵および崩壊途上にある卵細胞の割合

が増加した。退化卵は卵黄が融合し、細胞質とモザイク状を呈した (Fig. 7-4)。

V期の卵細胞の占める割合は8月下旬に最低となった後、9月にかけてふたたび増加し、生殖巣はV期の卵細胞で充満した (Fig. 7-5)。そして、10月にはV期の卵細胞はほとんど消失し、崩壊途上にある残存卵とIII期以下の若い卵細胞で占められた (Fig. 7-6)。7月後半～8月後半のV期の卵細胞の減少傾向は、東部、隠岐島地区で顕著で、西部地区でゆるやかであった。

雄の成熟度 各地区とも4月にはすでに精子の形成がみられ、生殖組織像全体に占めるその面積比率は10～30%程度であった (Fig. 7-7)。5月以降その割合は増加し、6月後半～7月前半には全ての標本で面積比率が50%以上となり、生殖巣は精子で充満した。その後精子の面積比率は急減し、東部、隠岐島地区は8月後半に、西部地区は7月後半に10～20%まで減少した。しかし、9月にはふたたび精子の面積比率が50%以上まで増加し、生殖巣は精子で充満した。その後10月に精子はほとんど消失し、その面積比率は0～10%となり、放出痕とみられる空隙が多く観察された。また、6月後半～9月に生殖巣の精子密度がある部分から急変し、密度を2分する像が観察された (Fig. 7-8)。この密度変化は精子が部分的に放出された状態を示すものとみなされ、その放出過程には生殖巣の一端から他端に向ける方向性が確認された。この像は西部地区の6月後半～7月後半に最も多く観察され、その出現割合は各回標本の40～60%であり、この期間の放精が活発であったことを示した。

Fig. 8-a, b, cに生殖組織像の観察から判定した各地区における成熟個体の出現割合の推移を示す。各地区とも6月後半～7月前半と9月の2回に高い値を示し、雌雄がほぼ同調した。

(2) 殻高 60 mm 未満

標本の殻高は43.9～59.8 mmの範囲にあり、その調査回次ごとの平均値は50.8～55.2 mmであった。

Fig. 8-dに生殖組織像の観察から判定した成熟個体の出現割合の推移を示す。組織像における成熟、退化過程は雌雄とも同地区の殻高60 mm以上の群とほぼ同様の傾向を示し、雌雄が同調したが、6月後半の成熟ピーク後のV期の卵細胞および精子の消失傾向はより顕著であった。また、雄の成熟期の精子の面積比率は、殻高60 mm以上の群よりも高い傾向があり、最大で80%の個体も観察された。

GI の変化

(1) 1990 年

Fig. 8-a, b, cに1990年の各地区の殻高60 mm以上の群のGIの平均値と頻度組成の推移を示す。各地区とも雌雄がほぼ同調し、GIの平均値は6月～7月前半に最高値を示した。その値は雌雄それぞれ東部地区で75.5, 72.8, 隠岐島地区で77.0, 68.5, 西部地区ではともに76.4であった。その後GIは減少し、8月後半には雌雄とも平均40前後となったが、9月にはふたたび増加し、平均値は雌雄それぞれ東部地区で53.1, 55.0, 隠岐島地区で41.7, 41.3, 西部地区で65.2, 67.0となった。この増加傾向は西部地区で顕著で、隠岐島地区ではわずかであった。各地区ともGIの変動傾向は生殖組織の成熟個体の出現率の変動傾向とよく対応したが、西部地区ではGIの平均値のピークは成熟個体の出現率のピークよりわずかに早かった。

Fig. 8-dに殻高60 mm未満の群のGIの平均値と頻度組成の推移を示す。GIの変動傾向は雌雄がほぼ同調したが、同地区の殻高60 mm以上の群と比較すると全体的にGIは低く、そのピークは不明瞭であった。GIの平均値が最高となったのは雌が6月中旬、雄が5月中旬で値は各々39.9, 48.8であった。

(2) 1991 年

Fig. 9に1991年の各地区のGIの平均値と頻度組成の推移を示す。各地区ともGIは雌雄がよく同調し、その平均値は東部、西部地区では7月前半に、隠岐島地区では8月前半に最高値を示した。その値は雌雄それぞれ東部地区で72.2, 76.2, 隠岐島地区で75.4, 64.7, 西部地区で83.6, 80.7であった。調査回数が少ないため、1990年9月にみられたようなGIの明瞭な再上昇は確認できないが、東部、隠岐島地区ではGIの組成変化から9～10月にわずかながら増加傾向が認められた。また、西部地区の9月のGIは1990年と同様に比較的高い値を示した。

(3) 1992 年

Fig. 10に1992年の東部地区と隠岐地区のGIの平均値と頻度組成の推移を示す。両地区ともGIは前年と同様に雌雄がよく同調し、その平均値は6月後半～7月前半に最高値を示した。その値は雌雄それぞれ東部地区で77.9, 74.5, 隠岐島地区で75.6, 67.5であった。

以上、3年間のGIは、年によって異なるがおよそ6月から7月にかけて高い値を示した。

卵径分布の経月変化 (1990年東部地区)

Fig. 11 に 1990 年の東部地区の殻高 60~80 mm の個体の卵細胞の卵径分布の推移を示す。卵径は 4 月以降増大し、7 月と 9 月に大型の卵細胞の割合が増加した。大型の卵細胞の割合の減少傾向から、放卵期は 7~8 月と 9~10 月の 2 回確認された。各月の卵径分布を卵細胞の成熟段階による区分に当てはめると、4~9 月は IV, V 期、10 月は III 期以下および退化卵に相当し、9 月の成熟は 8 月の IV 期の卵細胞に由来することが示された。

生物学的最小型の推定 (1990 年東部地区)

1990 年東部地区の 6 月の標本の殻高 60 mm 未満の群の殻高と GI および組織の成熟度の関係を Fig. 12 に示す。30 個体中雌は 13 個体、雄は 15 個体で殻高 47.5 mm と 49.8 mm の 2 個体は生殖巣が未発達で性別が不明であった。雌雄とも殻高が大きくなる程 GI が大きくなる傾向があった。雌では殻高 43.9 mm と 47.1 mm の 2 標本が III 期以下の卵細胞しか認められなかったが、それ以外の標本は全て V 期の卵細胞が認められた。雄ではすべての標本において精子の形成が認められた。

考察

3 年間の GI の調査では、各地とも GI のピークは 6~7 月にあり、7 月以降その低下がみられた。しかし、1990 年の組織学的成熟度調査では、GI の増加はわずかではあるが、9 月に 6~7 月と同様に成熟度が高くなることが認められ、卵径分布においても大型の卵細胞の割合が増加した。GI と組織学的成熟度の変化はほぼ対応したが、成熟期において GI のピークが早くなる場合があること、および 9 月の組織像の変化は、GI の増減に現れにくい点で異なった。このことは生殖巣の状態を GI は量的に、組織学的成熟度は質的に捉えていることに起因すると考えられる。

GI、組織学的成熟度および卵径分布の調査結果を総合すると、島根県沿岸におけるサザエの産卵期は 6 月後半~10 月の間で、その盛期は GI が急減する 7~8 月であると推定される。そして、産卵期が比較的長期に及ぶのは個体差に由来するのではなく、同一個体において成熟と産卵が繰り返されることによるものと考えられる。

種苗生産においてサザエは生殖巣の発達する夏よりも秋の方が母貝の誘発率は高いとされ、室内実験³¹⁾では同一個体が夏と秋に放精することから、産卵は水温の上昇期と下降期に分かれると推定している。採集地付近の表層水温の変動状況は年により異なり、島根県水産試験場海洋観測結果によると、夏季の水温は平年に比べ 1990 年はかなり高く、1991 年、1992 年はやや低く推移した (Fig. 13)。1990 年の成熟、産卵過程をその年の水温変動と対応させると、産卵は成熟後の 7~8 月の水温上昇期と 9~10 月の水温下降期に行われたものと考えられ、前述の知見と合致する。そしてサザエの室内飼育で、産卵が水温変動の大きい時に行われたこと³²⁾から、短期間の水温変動が産卵の一つの誘発要因であると考えられ、成熟後の 7~8 月の水温上昇の程度により、産卵の進行度合が決定されると推察される。

したがって、産卵の過程は水温条件により年および海域で異なると考えられ、1990 年の産卵過程は成熟後の水温上昇が顕著であったため、産卵が同調的に行われたと推定される。そして、水温上昇期の産卵が 8 月前半でほぼ終了するとともに、残存する若い卵細胞、精細胞が成長を開始し、水温下降期に再び成熟、産卵に至ったと考えられる。

一方、1990 年東部地区の殻高 60 mm 未満の群の組織の成熟度の観察結果から、少なくとも、雄は殻高 45 mm 以上で放精が、雌は殻高 50 mm 以上で産卵が可能であると推察される。しかし、GI は小型のものほど低い傾向があるため、その産卵加入初期の 1 個当たりの放精・産卵量はわずかであると考えられる。

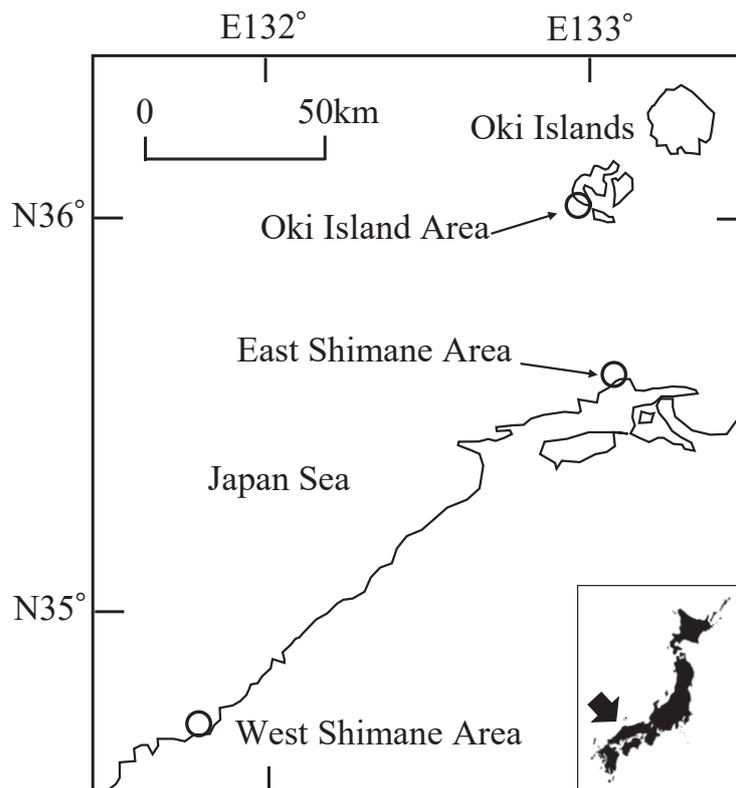


Fig. 6. Location of sampling areas along and off the coast of Shimane Prefecture.

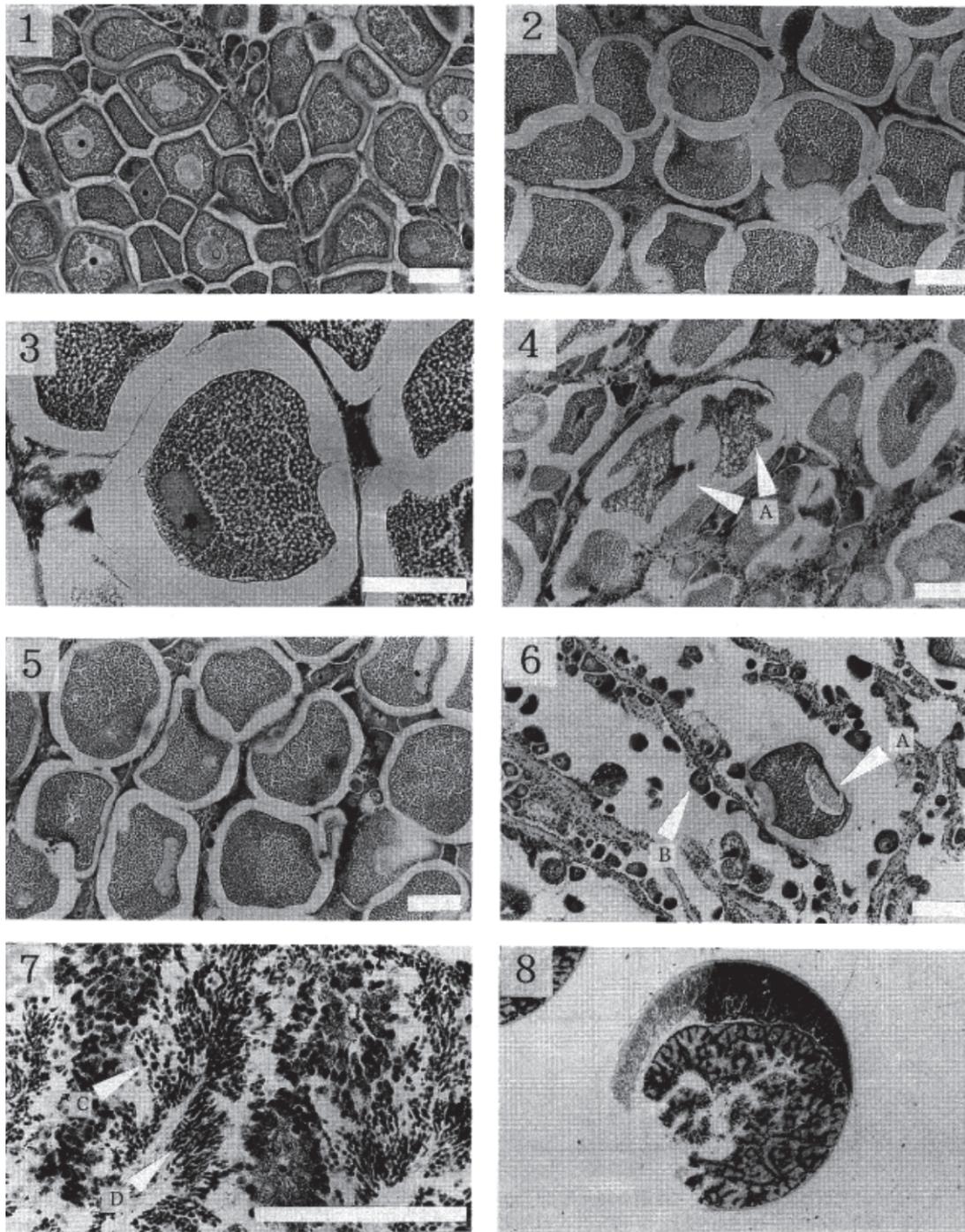


Fig. 7. Photomicrographs of different histological sections from gonads of the Japanese top shell.

1. Ovary in Phase IV collected in April. Bar = 100 μ m (\times 100)
2. A mature ovary in Phase V collected in June. Bar = 100 μ m (\times 100)
3. A mature ovary in Phase V collected in June. Bar = 100 μ m (\times 200)
4. A spent ovary in Phase IV collected in August. Arrow (A) indicates the spent ovary. Bar = 100 μ m (\times 100)
5. A mature ovary in Phase V collected in September. Bar = 100 μ m (\times 100)
6. A spent ovary in Phase III collected in October. Arrow (A) indicates the spent ovary. Arrow (B) indicates ovary in Phase III. Bar = 100 μ m (\times 100)
7. Testis collected in April. Arrow (C) indicates a spermatid. Arrow (D) indicates a sperm. Bar = 100 μ m (\times 400)
8. A section of the male gonad collected in August. (\times 40)

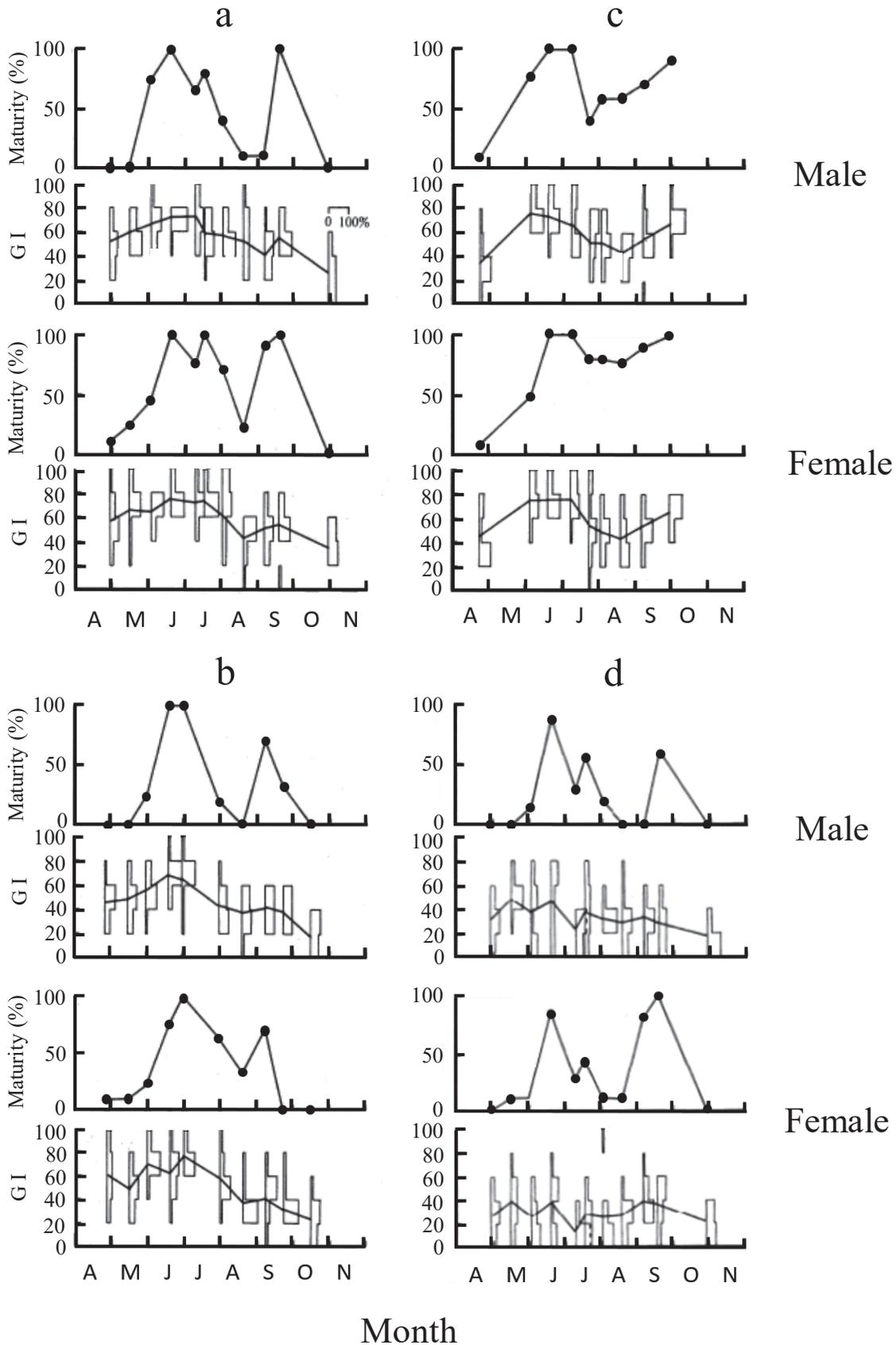


Fig. 8. Seasonal changes in the sexual maturity rate (solid circles) and gonad index (GI) of the Japanese top shells in 1990. a. East Shimane area (shell height ≥ 60 mm); b. Oki Islands area (shell height ≥ 60 mm); c. West Shimane area (shell height ≥ 60 mm); d. East Shimane area (shell height < 60 mm).

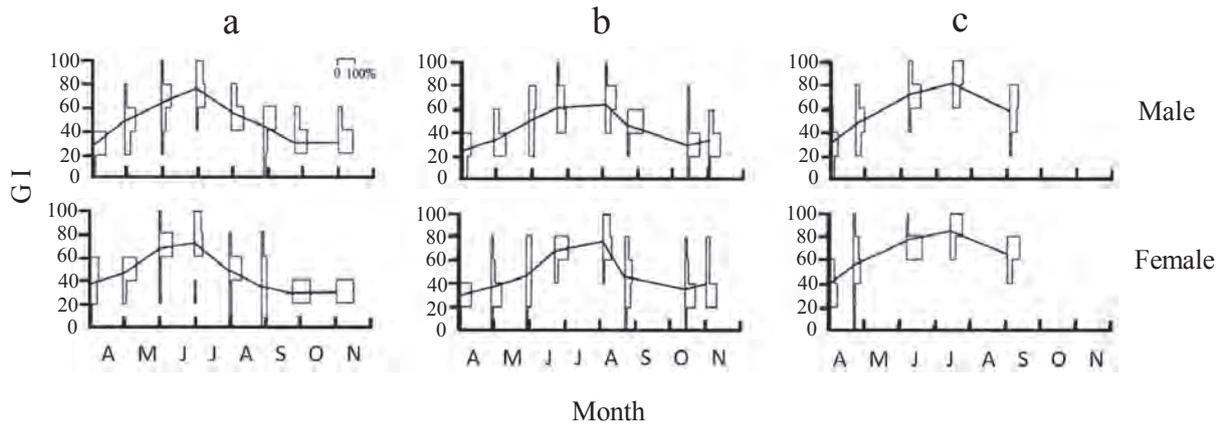


Fig. 9. Seasonal changes in the gonad index (GI) of the Japanese top shells in 1991.
 a. East Shimane area (shell height ≥ 60 mm); b. Oki Islands area (shell height ≥ 60 mm); c. West Shimane area (shell height ≥ 60 mm).

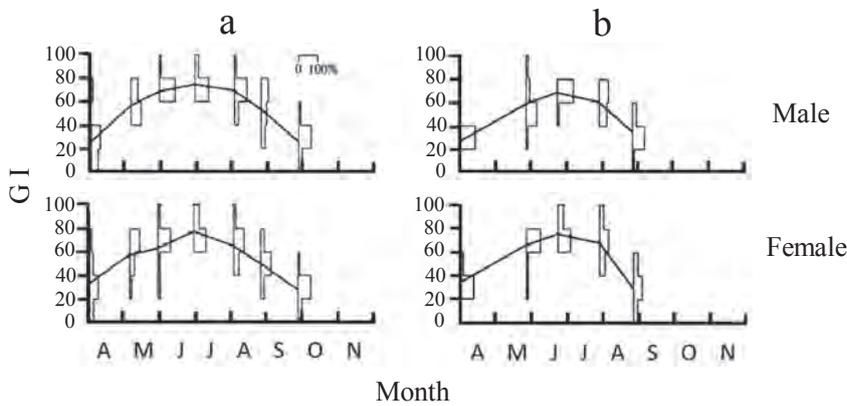


Fig. 10. Seasonal changes in the gonad index of the Japanese top shells in 1992.
 a. East Shimane area (shell height ≥ 60 mm); b. Oki Islands area (shell height ≥ 60 mm).

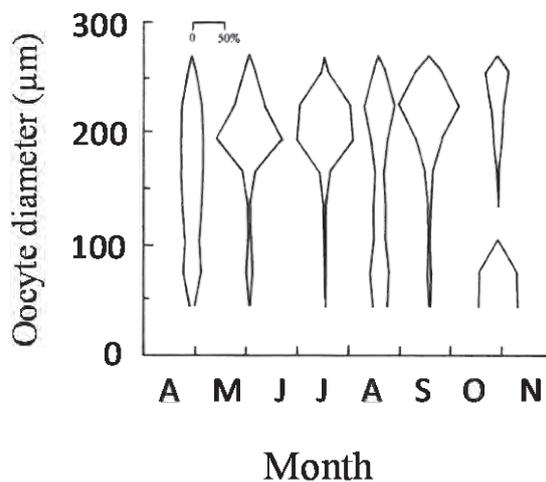


Fig. 11. Frequency distributions of the oocyte diameter of the Japanese top shells in East Shimane area in 1990.

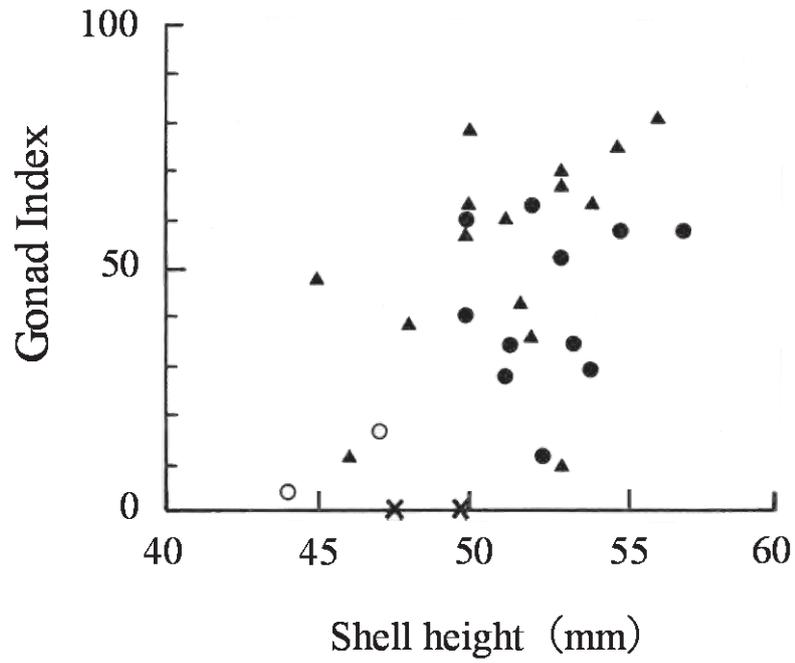


Fig. 12. Relationship between gonad index (GI) and shell height of the Japanese top shells sampled in East Shimane area (shell height < 60 mm) in 1990.

● = Mature female in Phase V; ○ = Immature female in Phase +III; ▲ = Mature male with sperm; × = Indeterminable.

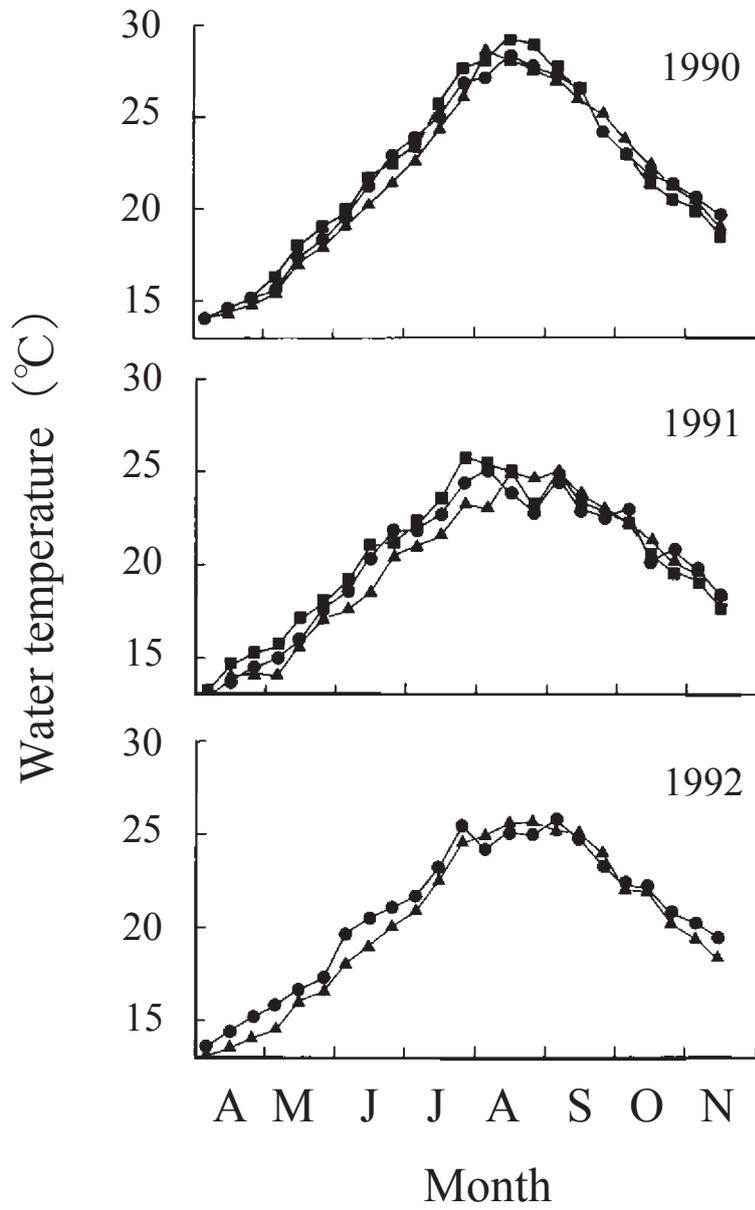


Fig. 13. Seasonal changes in the surface water temperature of each research area from 1990 to 1992.

● = East Shimane; ▲ = Oki Islands; ■ = West Shimane.

第2節 サザエ浮遊幼生採集用人工コレクターの開発

サザエの初期生活史において、産卵に続いて資源の加入量に影響を及ぼす要因である浮遊幼生から着底稚貝の動態について把握することが重要であり、そのためには浮遊幼生の出現と分布状況について連続的かつ定量的に調査を行う必要がある。浮遊幼生の採集にはプランクトンネット曳きによる方法、ポンプによる揚水法などがあるが、産卵期が比較的長くかつ浮遊期間が3日程度³³⁾と短いサザエでは、これらの方法による浮遊幼生の定量化は多くの労力を要する。

そこで、出現する浮遊幼生を人工的に作成した付着基盤に付着させることにより浮遊幼生の定量化を試みることにし、市販の塩化ビニール製鶏卵パックを材料としたサザエの浮遊幼生採集用の人工コレクター（以下コレクターと略す）を考案した。

コレクターを用いて天然海域において検証を行った結果、簡便で実用的な浮遊幼生のモニタリングが可能であることが明らかとなった。

材料および方法

採集試験

コレクターの設置場所は島根半島中部の多古地区、片句地区の2地点とした（Fig. 14）。両区とも海底は転石と岩盤が混在し、サザエの漁場となっている。

巻貝類の浮遊幼生については、近縁種であるエゾアワビ *Haliotis discus hannai* において、ホタテ貝殻、³⁴⁾ポリカーボネイト製波板、³⁵⁾アクリル板³⁶⁾などを用いたコレクターによる浮遊幼生の採集が試みられているが、サザエでのコレクターを用いた調査事例は無い。サザエの稚貝はアワビ類に比較して付着力が弱いと考えられることから、コレクターの付着基盤には波浪による付着後の稚貝の脱落を防ぐための構造が必要であると考えられた。そこで、コレクターの材料には、複雑な構造を有する市販の塩化ビニール製鶏卵パック（株式会社栗原製作所製）を用いた。鶏卵パック1個のサイズは、縦24 cm、横21 cm、高さ2.5 cm、厚さ0.2 mmで、表面積は約0.2 m²である。鶏卵パックはあらかじめ約2週間陸上水槽にて微細藻類などを着生させた後、口径46 cm、長さ80 cm、オープニング4.5 mmのポリエチレン製ネット（通称ニンク袋）に20枚を重ねないように詰めてコレクターとした（Fig. 15）。

コレクターの設置および回収の回数は、多古地区が1994年7月12日から同年11月1日までに4回、片句地区が1994年6月9日から同年11月1日までの5回であった。設置期間は20日前後を目安としたが、波浪などの影響により多古地区が13~41日、片句地区が23~35日の間隔となった。設置方法は底層式（Fig. 16-Aタイプ）とし、水深4 mの海底からコレクターの下端が約30 cm上に立ち上がるように、コレクターの内部に小型の浮子（浮力400 g）を入れて浮力を調整した。

コレクターの設置、回収はスキューバ潜水により行った。回収したコレクターは稚貝の脱落に留意して船上に揚げ、ナイロン袋に入れて持ち帰った。その日のうちに100 l水槽に入れた水道水中で1枚ずつよく振って稚貝を剥離し、100 μmのネットで濾した後、残渣を約5%ホルマリン溶液で固定した。サザエ稚貝の計数は実体顕微鏡下で行った。

コレクターへの微細藻類付着による前処理の有効性

コレクターへ予め珪藻などの微細藻類を着生させたもの（処理区）と、無処理のもの（無処理区）との比較試験を実施した。処理区は鶏卵パックを陸上水槽の砂ろ過海水の流水中で約2週間放置した後、前述の方法と同様にコレクターを作成した。着生した微細藻類は自然に着生したものであり、取り上げ時の外見は薄く褐色に色付く程度であった。無処理区は新品の鶏卵パックをそのまま使用した。

設置場所は前述の2地区のそれぞれ水深5、10 mの地点で、設置方法は垂下式（Fig. 16-Bタイプ）とした。水深5 mの地点は下層（深度4 m）に、水深10 mの地点は上層（深度1 m）および下層（深度9 m）にコレクターを1器ずつ設置した。コレクターの設置、回収は船上から行った。試験は2地区とも1995年8月2日から8月17日および9月26日から10月11日の2回実施した。回収したコレクターは前述と同様の方法で処理した後、サザエ稚貝を計数した。

処理区と無処理区の稚貝の付着数の有意差の検定には、*t* 検定を用い、有意水準は5%とした。解析にはMicrosoft社製Excelを用いた。

結果と考察

採集試験

コレクターを用いた多古地区のサザエ稚貝採集結果をTable 1に、片句地区のサザエ稚貝採集結果をTable 2に示す。

多古地区は全ての回で稚貝が採集された。ただし、4回目に採集された稚貝は設置期間に比べて殻径が大きい。そのため、浮遊幼生由来のものではなく、着底稚貝が波浪により巻き上げられて再度付着したものであると判断された。設置1日当りの稚貝の採集数は1回目が最も多く、その後徐々に低下した。付着個体数と殻径組成から判断すると、浮遊幼生の付着期は8~10月でそのピークは8月であったと推定された。

片句地区は3、4回目で稚貝が採集された。なお、5回目は波浪によりコレクターが流失した。10月以降のデータは欠落しているが、1、2回目で付着が無いこと、設置1日当りの採集数および稚貝の殻径組成などから判断すると、浮遊幼生の付着は8~9月で多古地区と同様に8月がピークであったと推定された。

コレクターへの微細藻類付着による前処理の有効性

コレクターを用いた多古地区、片句地区のサザエ稚貝の採集数を Table 3 に示す。稚貝の採集数は、試験1回次の片句地区10m上層、多古地区10m下層、試験2回次の多古地区5m下層で無処理区の方が処理区より多くなったが、その差は僅かであった。統計的に有意な差が認められなかったが、大部分のコレクターにおいて処理区は無処理区より採集数が多く、前述の3例を除くとその採集数の平均値は処理区が無処理区の約3.4倍多かった。この理由は以下のように考えられた。付着性微細藻類が浮遊幼生の着底に及ぼす影響については、エゾアワビでは浮遊幼生の着底が付着珪藻によって誘起されることが知られている。^{37,38)}サザエについても、種苗生産の採苗時において波板に珪藻付けを行った方が幼生の付着率が向上することが経験的に知られている。³⁹⁾したがって、無処理区には設置直後にコレクターの基面に珪藻類などの着底、変態誘起因子が存在しなかったため幼生の付着が少なかったと推測された。また、たとえ付着があったにしてもコレクター上の餌料条件が悪く、餌不足のため付着後脱落した可能性も考えられた。

採集数の多かった試験1回次の多古地区、片句地区の10m上層のコレクターで得られたサザエ稚貝について、その殻径組成を Fig. 17 に示す。両地区とも処理区が無処理区に比べて試験前半に付着した大型個体の割合が高い傾向があり、これは前処理が影響したものと考えられる。片句地区の無処理区では試験後半に付着した300 μ m未満の小型貝の割合が

高かったが、この原因としては、ある程度時間が経過したことにより試験後半には無処理のコレクター表面の餌料環境が処理区と比較して浮遊幼生の付着にとってより良好であった可能性が考えられる。

試行回数が限られるので前処理の有無の比較において統計的に有意な差は認められなかったものの、コレクターの設置期間が短い場合には予め珪藻類などの微小藻類による処理を行った方が稚貝の付着の促進に効果的である可能性が高いと推察された。

天然海域におけるサザエの浮遊幼生調査例は少ないが、総じてその出現密度は低く、最大でも21.0個/m³、⁴⁰⁾6.8個/m³⁴¹⁾である。そのため調査定点、時期で出現数にばらつきが大きく、浮遊幼生の出現傾向を定量的に示すに至っていない。これを明らかにするためには調査定点、頻度をできる限り増加する必要があるが、現実的には限度があり、浮遊幼生を直接定量化する方法には限界がある。その点、コレクターによる採集法では浮遊幼生の着底を促す環境を人工的に作り出すことにより、コレクターに接する幼生を集積することが可能となり、その結果、コレクターに付着した稚貝は浮遊幼生の出現量の相対的な指標となると考えられる。したがって、コレクターの設置時期や設置場所を変化させることにより、浮遊幼生の発生期や分布密度の推定を効率的に行うことができると考えられる。ただし、コレクターの基質は浮遊幼生の着底条件およびその後の生存条件を満たし、かつ、波浪による振動、海水の流動による稚貝の脱落を防ぐ構造を持つことが要求される。

本試験で作成したコレクターは、基質に鶏卵パックを採用したことでこれらの必要条件を満たしていると考えられる。すなわち、鶏卵パックは透光性に優れているので付着性微細藻類の着生が良好となるため、浮遊幼生の付着や稚貝の餌料の供給において好適な条件を作り出しやすいと考えられる。そして、袋詰めによりさらに複雑性が向上するので稚貝の脱落が軽減されると推察される。この他にもこのコレクターは、以下に述べる特色を持ち、波板などを使用した従来のものと比較しても同等かそれ以上の実用的な条件を有していると考えられる。

- ・軽量である (コレクター1個当り重量: 約300g)
- ・表面積が大きい (コレクター1個当り表面積: 約4m²)
- ・材料単価が低い (コレクター1個当り金額: 約133円)
- ・耐久性がある (数十日の設置後も原形を留めた)
- ・作製方法が簡便

これらの条件を備えた鶏卵パックを材料としたコレクターによる浮遊幼生の採集法は、サザエのように浮遊幼生の分布密度が低く、浮遊期間が短い種類にとっては非常に有効な手段であり、限られた調査回数から浮遊幼生の出現期、分布域や稚貝の着底量

に関する情報が簡便に得られ、加入機構の解明に役立つと考えられる。また、サザエだけでなく、近縁のアワビなどの藻食性生物の調査にも十分に応用が可能であると考えられる。

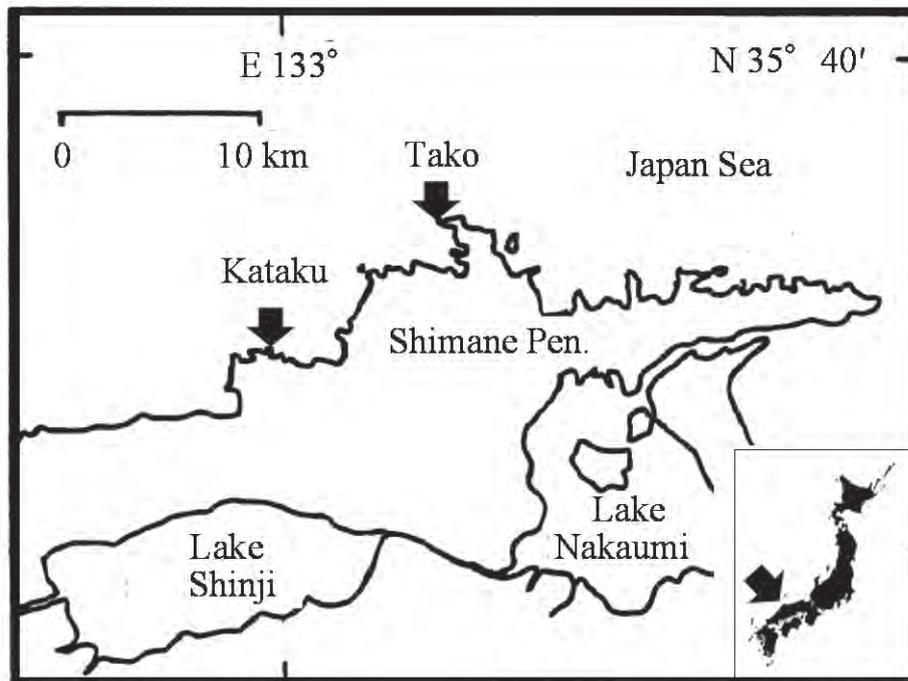


Fig. 14. Location of the sampling sites.

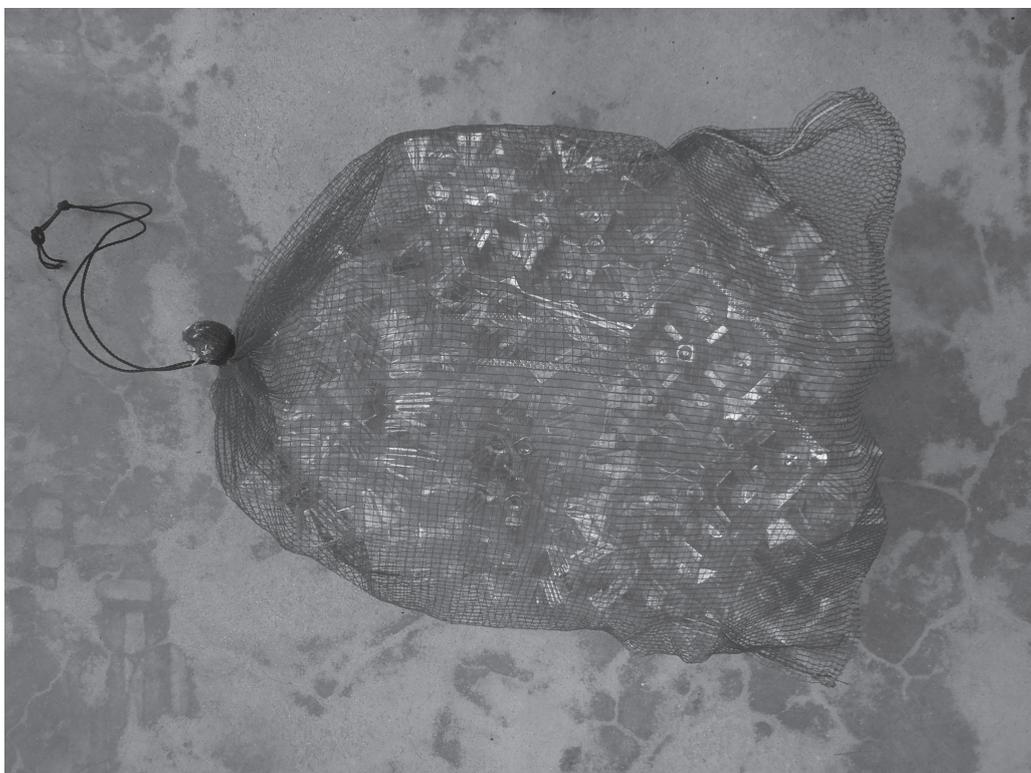


Fig. 15. An artificial collector (60 × 30 × 25 cm) made from vinyl chloride egg containers.

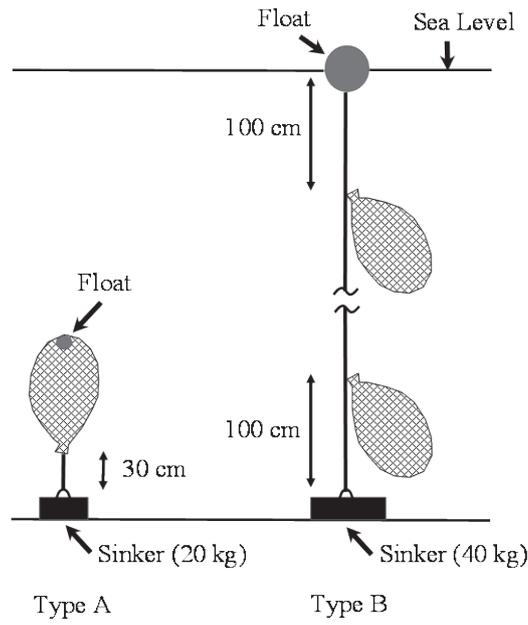


Fig. 16. A schematic diagram of the method for installing the artificial collectors previously shown in Fig. 15.

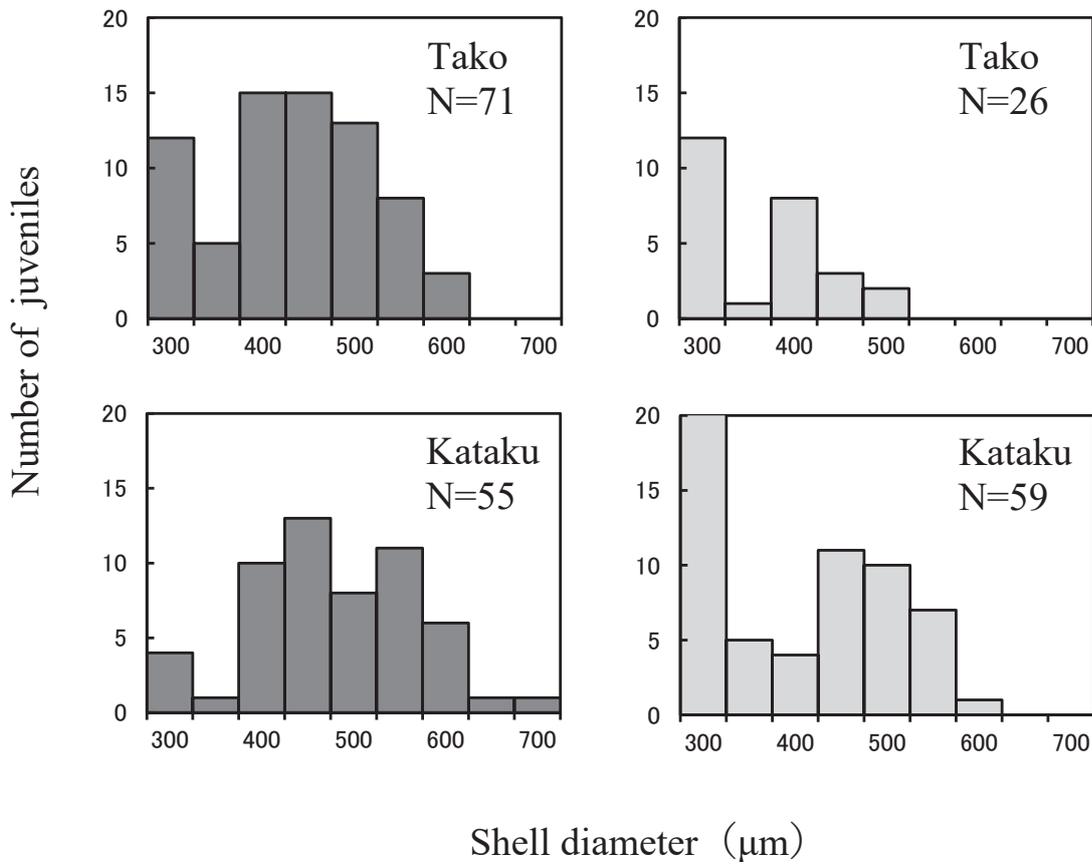


Fig. 17. Comparison of the size frequency distributions (in shell diameter, μm) of the juvenile Japanese top shells between artificial collectors (10m upper, test 1) with attached microorganisms and diatoms (■) and those without attachment (□).

Table 1. Number and shell diameter of juvenile Japanese top shells sampled with the artificial collectors in Tako

Date	7.12 – 8.26	8.26 – 9.21	9.21 – 10.19	10.19 – 11.1
Time (days)	41	26	29	13
Number of juveniles	22	7	4	3
Range of shell diameter (μm)	390 ~ 670	270 ~ 940	290 ~ 450	420 ~ 600
Number of juveniles / day	0.54	0.26	0.13	0.23

Table 2. Number and shell diameter of juvenile Japanese top shells sampled with the artificial collectors in Kataku

Date	6.9 – 7.7	7.7 – 8.8	8.8 – 8.31	8.31 – 9.27	9.27 – 11.1
Time (days)	28	32	23	27	35
Number of juveniles	0	0	33	8	※
Range of shell diameter (μm)	–	–	280 ~ 800	330 ~ 790	
Number of juveniles / day	0	0	1.43	0.29	※

Note: ※ = Lost collectors.

Table 3. Comparison of the number of juvenile Japanese top shells sampled with the artificial collectors with attached microorganisms and diatoms (+) and those without attachment (-)

Depth (m)	Layer	Test 1 (8.2 – 8.17)				Test 2 (9.26 – 10.11)			
		Tako		Kataku		Tako		Kataku	
		+	-	+	-	+	-	+	-
5	Lower	24	11	18	14	1	2	5	3
10	Upper	71	26	55	59	36	9	14	2
10	Lower	1	2	9	7	4	1	3	1

第3節 浮遊幼生の出現期と分布特性

サザエの加入機構を解明するための調査の一環として、産卵から着底に至る過程で重要となる浮遊幼生の動態を把握するための調査を行った。前節で開発したコレクターおよびプランクトンネットを用いて浮遊幼生を採集し、水温・波浪の環境要因との比較から本種の配偶子放出に関する有益な知見を得るとともに、沿岸域における本種の浮遊幼生の分布特性を明らかにした。

材料および方法

調査区の概要

プランクトンネットおよびコレクターによる調査は、島根半島東部に位置する多古地区で実施した (Fig. 18)。多古地区沿岸は転石と岩盤が混在する岩礁域であり、サザエの好漁場となっている。多古地区の南西向きおよび北西向きの海岸に岸側から沖側に向けて各々一本の調査ライン (前者:ライン A, 後:ライン B) を設けた。ライン A 付近の底質は岸側から水深 20 m まで転石帯が続き、以降は徐々に砂泥域に達する。転石帯における植相は小型海藻ではヒメモサヅキ *Jania adhaerens*, ピリヒバ *Collarina pilulifera*, フサカニノテ *Marginisporum aberrans* などのサンゴモ科海藻やヘラヤハズ *Dictyopteris prolifera* などのアミジグサ科の海藻が優占し、大型海藻ではイソモク *Sargassum hemiphylum*, ヨレモク *S. siliquastrum*, ヤナギモク *S. ringgoldianum*, ノコギリモク *S. macrocarpum* などのホンダワラ科褐藻類が優占している。ライン B 付近の底質は主として岩盤帯であり、植相は小型海藻ではサンゴモ科海藻が優占し、大型褐藻類ではホンダワラ科褐藻類やクロメ *Ecklonia kurome* が優占している。また、ライン B は外海に面するためライン A より波浪が直接的に接岸する。

プランクトンネット調査は各ラインにおける水深 10 m 付近を採集地とし、コレクター調査は各ラインの水深 5, 10, 20, 30 m 付近を定点とした。また、ライン A の水深 5 m 付近で採集したサザエを用いて成熟度調査を実施した。

プランクトンネットによる浮遊幼生の採集

プランクトンネットによる採集は 1995 年 6 月 1 日～11 月 7 日の間、時化の日を除いて毎日実施した。プランクトンネットには北原式プランクトンネット

(口径 46 cm, オープニング 100 μm) を使用した。多古地区における従来の調査⁴²⁾では、サザエの浮遊幼生は主に表層から中層で採集されている。このため曳網する深度は 1～2 m 層とし、定点を基点に約 30 m の距離の水平曳きを行った。曳網方向は岸に対し水平方向に、曳網回数は各定点で 1 回、曳網速度は約 1 kt で実施した。採集物は約 5% の中性ホルマリンで固定後、直ちに実体顕微鏡で検鏡した。サザエ幼生の同定は被面子で原殻の長径が 270～290 μm の範囲であること、周口部がラップ状に開くことおよび原殻表面の種固有の模様があること⁴³⁾などで行った。

調査期間中の環境データとして水温と波浪について調査した。水温はプランクトンネットの曳網と同時に各定点の表面水温を測定し、その平均値を用いた。波浪データは松江地方気象台の鹿島波浪計の資料に依拠し、平均有義波高 2 m 以上を時化日とみなして用いた。サザエのベリジャー幼生の出現は 1～3 日前の産卵に由来すると考えられている³³⁾ことから、サザエの浮遊幼生の出現と水温、波浪との関係について検討した。

母貝の熟度調査

成熟度の調査には GI を用い、算出方法は第 1 節の方法と同様とした。1995 年 5 月～10 月までの間、毎月 1～2 回の頻度で標本をスキューバ潜水により採集し、殻高 60 mm 以上の個体について雌雄各 10 個体を無作為に抽出して GI を求めた。

コレクターによるサザエの浮遊幼生の出現期および分布域の調査

コレクターによる調査は、サザエの浮遊幼生の出現期および浮遊幼生の分布域の推定を目的として実施した。

出現期の調査 コレクターは立縄式 (Fig. 16-B タイプ) とした。調査定点はコレクターの波浪などによる流失を防ぐために、波浪の比較的穏やかなライン A の 2 水域に設けた。各定点の水深は 10 m と 5 m で、水深 10 m 地点では上層 (深度 1 m) と下層 (深度 9 m) の 2 ヶ所に、水深 5 m 地点では下層 (深度 4 m) のみにコレクターを各々 1 器ずつ設置した。調査期間は 1995 年 6 月 12 日～11 月 6 日の間で、この間約 2 週間ごとにコレクターの設置と回収を繰り返した。なお、水深 10 m 地点に 8 月 29 日設置したコレクターについては流失したため回収できなかった。

分布域の調査 コレクターの設置方法は、出現期の調査と同様に立縄式 (Fig. 16-B タイプ) とし、ライン A, B の水深 5, 10, 20, 30 m の各定点において 5~10 m の深度ごとにコレクターを設置した (Fig. 19)。水深 5 m 地点は上層 (深度 1 m) と下層 (深度 4 m) にコレクターをそれぞれ 1 器設置した。水深 10, 20, 30 m 地点は上層 (深度 1~2 m)、中層 (水深 10 m 地点は深度 5 m、水深 20 m 地点は深度 10 m、水深 30 m 地点は深度 10 m および 20 m)、および下層 (海底から上方に 1~2 m) にコレクターをそれぞれ 1 器設置した。調査期間は 1995 年 6 月 12 日~10 月 30 日の間で、この間約 5 週間ごとにコレクターの設置と回収を 4 回繰り返した。なお、ライン B の水深 5 m および 10 m の定点については波浪が激しく、コレクターの施設の維持が困難であったので途中で調査を中止した。また、ライン A の定点の一部については、波浪や船舶の接触などによりコレクターの施設が流失または大きく移動したため欠測となった。

コレクターの構造は、前節と同様にポリエチレンネットに付着基質として塩化ビニール製鶏卵パックを 20 枚詰めたものである。出現期の調査のコレクターには、浮遊幼生の着生を促すため海中に設置する直前に陸上水槽で約 2 週間珪藻などの微細藻類を付着させる前処理を行った。しかし、分布域の調査のコレクターは前処理をせずそのまま使用した。

コレクターの設置および回収作業は、基本的にスキューバ潜水により行ったが、波浪により潜水できない場合は船上に施設を引き上げて行った。回収したコレクターは淡水中で丁寧に稚貝を剥離し、100 μm のネットで濾過した後、残査を約 5%ホルマリン溶液で固定した。サザエ稚貝の選別、計数は実体顕微鏡下で行った。

結果

母貝の成熟

採集したサザエの GI の平均値の推移を Fig. 20 に示す。GI は雌では 7 月 4 日に 87、雄では 7 月 19 日に 81 とピークを示した。その後、8 月 4 日に雌雄とも減少し、雌は 62、雄は 67 となった。以後 9 月まで雌は 70 以上、雄は 60 以上の高い値を維持した後、10 月 11 日には雌雄とも急減し、その値は雌では 35、雄では 41 となった。GI の平均値は雄に比べ雌がやや高い値を示したが、その減少期は雌雄ともほぼ同

様の傾向を示し、7 月後半~8 月前半と 9 月後半~10 月前半の 2 回減少した。

プランクトンネットによるサザエの浮遊幼生の採集および物理的環境条件

ライン A, B の定点におけるプランクトンネットにより採集されたサザエのベリジャー幼生数、表面水温の推移および 2 m 以上の有義波高の出現状況について Fig. 21 に示す。

サザエの浮遊幼生はライン A, B とも 8 月と 9 月に多く採集された。ライン A では、浮遊幼生は 8 月前半と 9 月に多く採集された。1 曳網当たり採集数は 9 月が 8 月より多い傾向があり、9 月 25 日には調査期間中の最大値 22 個を記録した。ライン B では、浮遊幼生は 8 月前半に多く採集され、1 曳網当たり採集数は 1~9 個であった。9 月は 8 月よりも採集された回数は減少したが、ライン A で最大値を記録した 25 日の採集数は、曳網当たり 7 個と高い値を示した。サザエの浮遊幼生の最初の採集日 (6 月 30 日) の表面水温は 21.7 $^{\circ}\text{C}$ 、最後の採集日 (10 月 26 日) の表面水温は 21.1 $^{\circ}\text{C}$ であった。また、サザエの浮遊幼生が採集された日のうち、表面水温の最高値は 8 月 25 日の 29.5 $^{\circ}\text{C}$ であった。

表面水温は 7 月下旬と 9 月下旬に数日間で大きな変動を示した。前者は 7 月 23 日~28 日の 5 日間で 4.2 $^{\circ}\text{C}$ 上昇した。後者は 9 月 15 日~21 日の 6 日間で 4.7 $^{\circ}\text{C}$ 下降した後、9 月 21 日~25 日の 4 日間で 3.2 $^{\circ}\text{C}$ 上昇した。

水温、波浪の環境変化とサザエの浮遊幼生の出現との関係を検討したところ、9 月の水温の変動期に明らかな対応がみられた。9 月 15 日~24 日の急激な水温変化直後の 25 日にライン A で浮遊幼生の最大値を記録し、ライン B でも多くの浮遊幼生が採集された。一方、時化日と浮遊幼生の出現との関係については、9 月 11 日の有義波高 2.4 m に対し、翌日の 12 日にはライン A で 1 曳網当たり 7 個、ライン B で 1 曳網当たり 5 個と比較的多くの浮遊幼生が採集された。しかし、有義波高の最大値 3.7 m を記録した 9 月 17 日には、対応する浮遊幼生の出現はみられなかった。

プランクトンネットによる浮遊幼生の採集状況から、多古地区の 1995 年のサザエの産卵期は 6 月下旬~10 月下旬の間で、水温 21 $^{\circ}\text{C}$ 以上の水温上昇期および下降期に産卵したものと判断された。

コレクターによる浮遊幼生の出現期の調査

コレクターで採集したサザエ稚貝数の推移を Fig. 22 に示す。水深 10 m の表層 (深度 1 m 付近) では、6 月 12 日～7 月 4 日の間設置したコレクターで殻径 280 μm の付着直後のサザエの稚貝が 1 個体採集された。しかし、その後 7 月 4 日～18 日および 7 月 18 日～8 月 2 日の間設置したコレクターで稚貝は採集されなかった。8 月 2 日～17 日の間設置したコレクターでは 71 個採集され、この定点における最大値を記録した。その後、採集数は 8 月 17 日～29 日の間設置したコレクターで減少したが、9 月 13 日～25 日の間設置したコレクターで再び増加し、10 月 11 日～24 日の間設置したコレクターまで連続して採集された。一方、水深 10 m の下層 (深度 9 m 付近) では 8 月 2 日～17 日、9 月 13 日～25 日および 9 月 25 日～10 月 11 日の間設置したコレクターでサザエの稚貝が採集されたが、その採集数は 1～4 個体と少なかった。

水深 5 m の下層 (深度 4 m 付近) では、7 月 18 日～8 月 2 日の間設置したコレクターで初めてサザエの稚貝が採集された。8 月 2 日～17 日の間設置したコレクターでは 24 個採集され、水深 10 m の表層と同様にこの定点における最大値を記録した。その後、採集数は 8 月 17 日～29 日の間設置したコレクターで減少したが、8 月 29 日以降設置したコレクターで再び増加し、10 月 11 日～24 日の間設置したコレクターまで連続して採集された。

水深 10 m の定点の一部に欠測があるが、コレクターで採集されたサザエ稚貝数の変化やその殻径組成から、多古地区のサザエの浮遊幼生の出現期は 7 月上旬～10 月下旬の間で、そのピークは 8 月前半と 9 月後半であった。

コレクターによる稚貝の採集数とプランクトンネットによる浮遊幼生の採集数および GI は、ほぼ対応して変化した。コレクターで稚貝が多く採集された 8 月前半および 9 月後半は、浮遊幼生が比較的多く採集された時期であり、この期間は GI の減少期でもあった。以上のことから、1995 年の多古地区のサザエの産卵ピークは 8 月前半と 9 月後半の 2 回であったことが示された。

コレクターによる浮遊幼生の分布域の調査

ライン A, B に設置したコレクターで採集したサザエ稚貝の鉛直分布を Fig. 23 に示す。ライン A, B ともにサザエ稚貝は底層より表層から中層付近で多く採集される傾向があった。特に、7 月 18 日～8 月 22 日の間設置したコレクターでは、設置水深が

浅い程サザエ稚貝の採集数が多くなる傾向があった。また、水平的な拡がりについて、ライン A の上層に設置したコレクターで採集されたサザエの稚貝数を同一ライン上で比較すると、沖側 (深所) の方が多い場合 (7 月 18 日～8 月 22 日の間設置したコレクター) と岸側 (浅所) が多い場合 (8 月 22 日～9 月 25 日の間設置したコレクター) があり、水深を反映した傾向は認められなかった。

考察

浮遊幼生の出現と産卵および水温、波浪との関係

第 1 節の調査では、生殖巣の観察と水温変動の関係からサザエは表層水温 21～23 $^{\circ}\text{C}$ で最も成熟し、1990 年のように夏季の水温上昇が顕著な年の産卵期は 7～8 月の水温上昇期と 9～10 月の水温下降期に分かれることが確認されている。今回のプランクトンネットによる調査でも、浮遊幼生が表層水温 21 $^{\circ}\text{C}$ 以上の時期に出現したことから、島根県沿岸のサザエの産卵は表層水温約 21 $^{\circ}\text{C}$ 以上で行われるものと考えられる。そして、1995 年の夏季も水温上昇が比較的顕著であったことから、産卵盛期が 8 月前半の水温上昇期と 9 月後半の水温下降期に分かれたものと推定される。

海産巻貝類の配偶子放出を誘起する環境要因に関し、エゾアワビ^{34,44-49)}をはじめ、暖流系アワビ⁵⁰⁻⁵²⁾ やトコブシ *Haliotis diversicolor*⁵³⁻⁵⁵⁾ で研究が行われ、浮遊幼生の出現には直前の水温変動や波浪が関係し、特に台風の通過時などの波浪により大規模な産卵が行われることが報告されている。

本研究において浮遊幼生の採集数が最大値を示した 9 月 25 日には、直前の急激な水温変化との対応がみられた。また、天然海域でのサザエの産卵行動の観察において、直前の表層水温の変化 (2 日で約 2 $^{\circ}\text{C}$ の上昇) との比較から水温変動の関与が指摘されている。⁵⁶⁾ これらのことから、数日間の急激な水温変化は、サザエの配偶子放出を直接的に誘起する一つの環境要因であるといえる。この時、浮遊幼生の採集場所とほぼ同地点のサザエの GI が 9 月中旬以降急激に低下していることから、この期間に集中的な産卵があったと考えられる。一方、アワビ類で観察された台風の通過時の波浪の産卵への直接的な対応は本研究では認められなかったものの、それを契機に水温の大幅な低下がみられたことから、産卵への間接的な関与があったと推察される。

浮遊幼生の分布

垂下深度の異なるコレクターで稚貝の採集数を比較する場合、垂下深度によって照度が異なり、底層に垂下したコレクターでは照度不足により付着珪藻などの餌料環境が悪く、稚貝が付着後に減耗する可能性が考えられる。しかし、出現期の調査でコレクターに事前に珪藻などの微細藻類が十分に着生し、餌料環境を良好にした基盤を使用したものでも稚貝の採集数は下層より表層が著しく多い結果となっていることや、サザエのベリジャー期の浮遊幼生が底層より中層から表層で多く採集されていることから、⁴²⁾コレクターによる稚貝の採集数の多寡は付着後の稚貝の生残率の差異よりもその場の浮遊幼生の数量に由来するものであるといえる。したがって、サザエのベリジャー期の浮遊幼生は、中層から表層方面に偏って分布する傾向があると考えられる。

日本の岩礁域に生息する巻貝類の浮遊幼生の鉛直分布の調査事例は少なく、エゾアワビの浮遊幼生では、主に6 m以深に多く出現した浮遊幼生が夜間は3 m以浅に出現する日周変動があること⁵⁷⁾や沖側で

は水深15 m～表層付近に、岸側ではその海底近くの水深3～6 m層付近に多く出現したこと⁵⁸⁾などが報告されている。一方、*Tegula*属のクボガイ *Tegula lischkei* とコシダカガンガラ *Tegula rustica* の浮遊幼生は、沖合域では水深10 m～表層付近に、岸側では表層1 m付近に出現したこと⁵⁸⁾が報告されている。これらと比較すると、サザエの浮遊幼生は沖側、岸側ともエゾアワビよりは*Tegula*属の分布と近似していることが示唆され、これらの分布の違いは種特性によるものである可能性が考えられる。

日本海におけるサザエの1歳未満の稚貝の生息場所については、潮間帯⁵⁹⁾および水深1～4 m⁴²⁾などの浅い海域での報告がある。本研究でみられた岸近くでのサザエの浮遊幼生の表層付近への分布が幼生の能動的な行動に起因するのか、水塊の移動による受動的なものなのかは不明であるが、1歳未満の稚貝の分布と岸近くでの浮遊幼生の分布の傾向が一致したことから、サザエの着底過程と浮遊幼生の分布特性との関連性が示唆される結果となった。

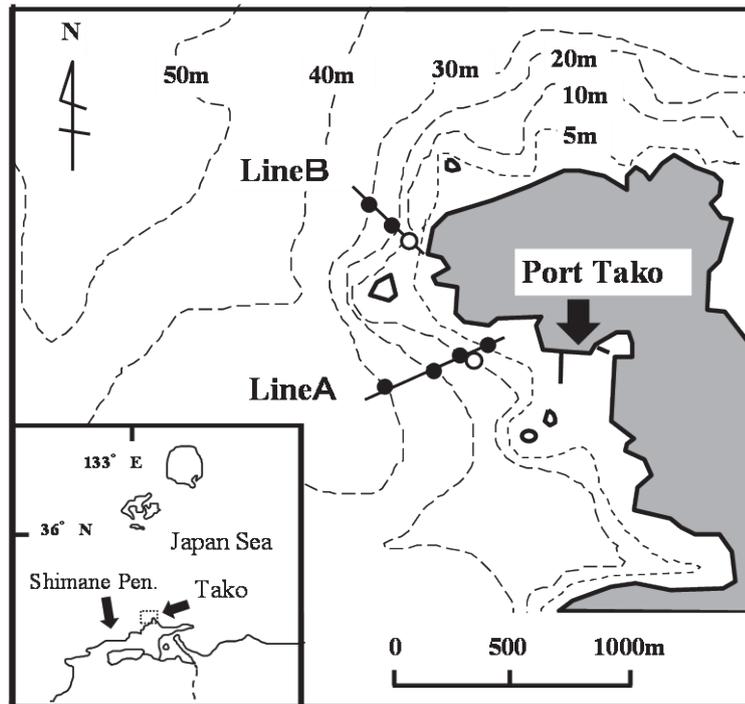


Fig. 18. Location of the sampling stations. Open circles denote sampling stations where plankton nets were used while. Solid circles denote sampling stations where artificial collectors were used.

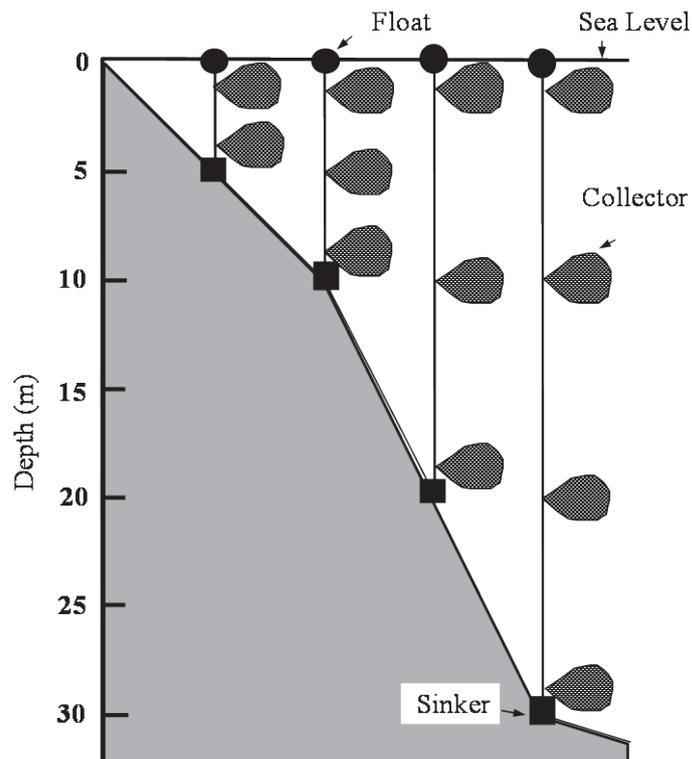


Fig. 19. A schematic diagram of the method for installing the artificial collectors. The shaded portion represents the sea bottom.

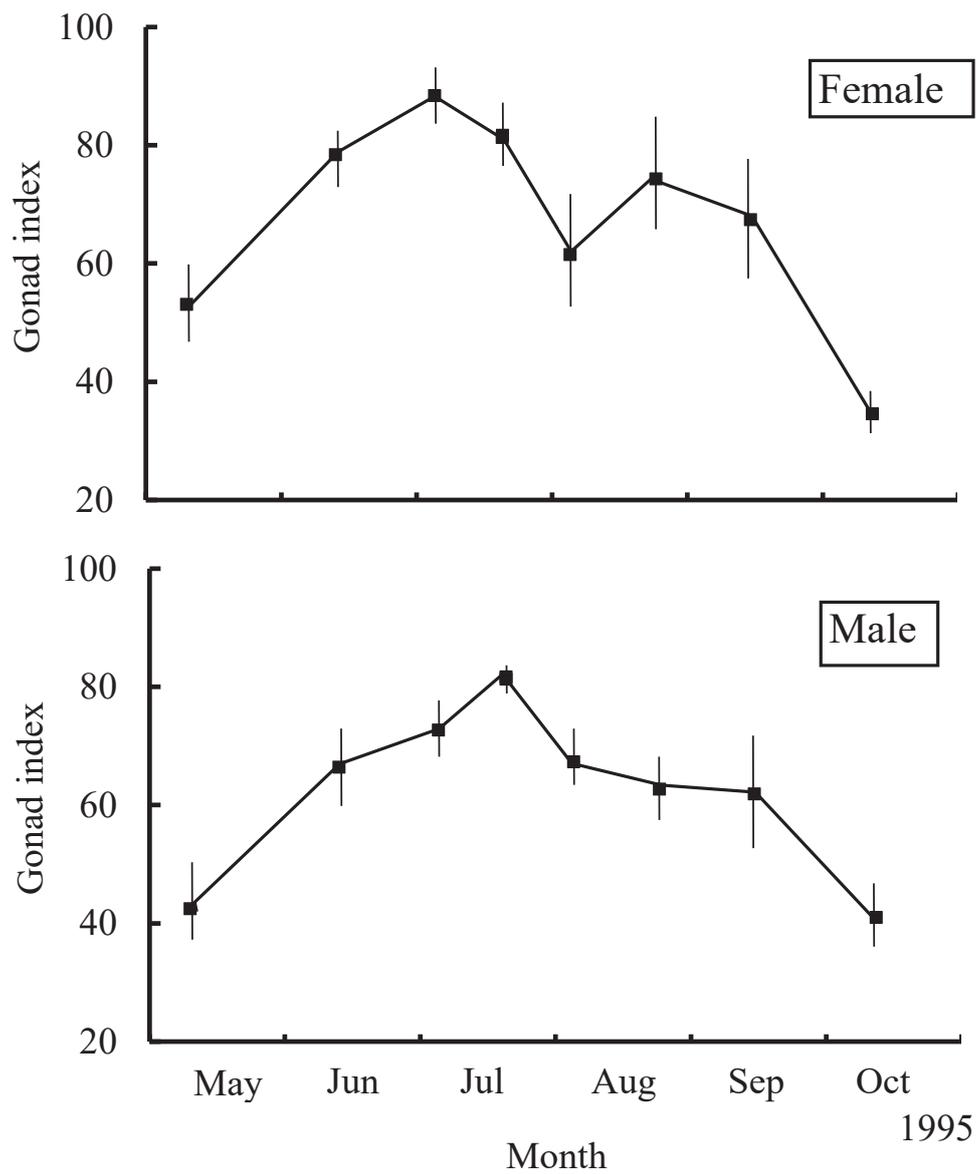


Fig. 20. Seasonal changes in the gonad index (GI) of the Japanese top shells in 1995. Solid squares and vertical bars indicate the means and standard deviation (\pm SD), respectively.
 GI = Gonad area / Total area of section \times 100.

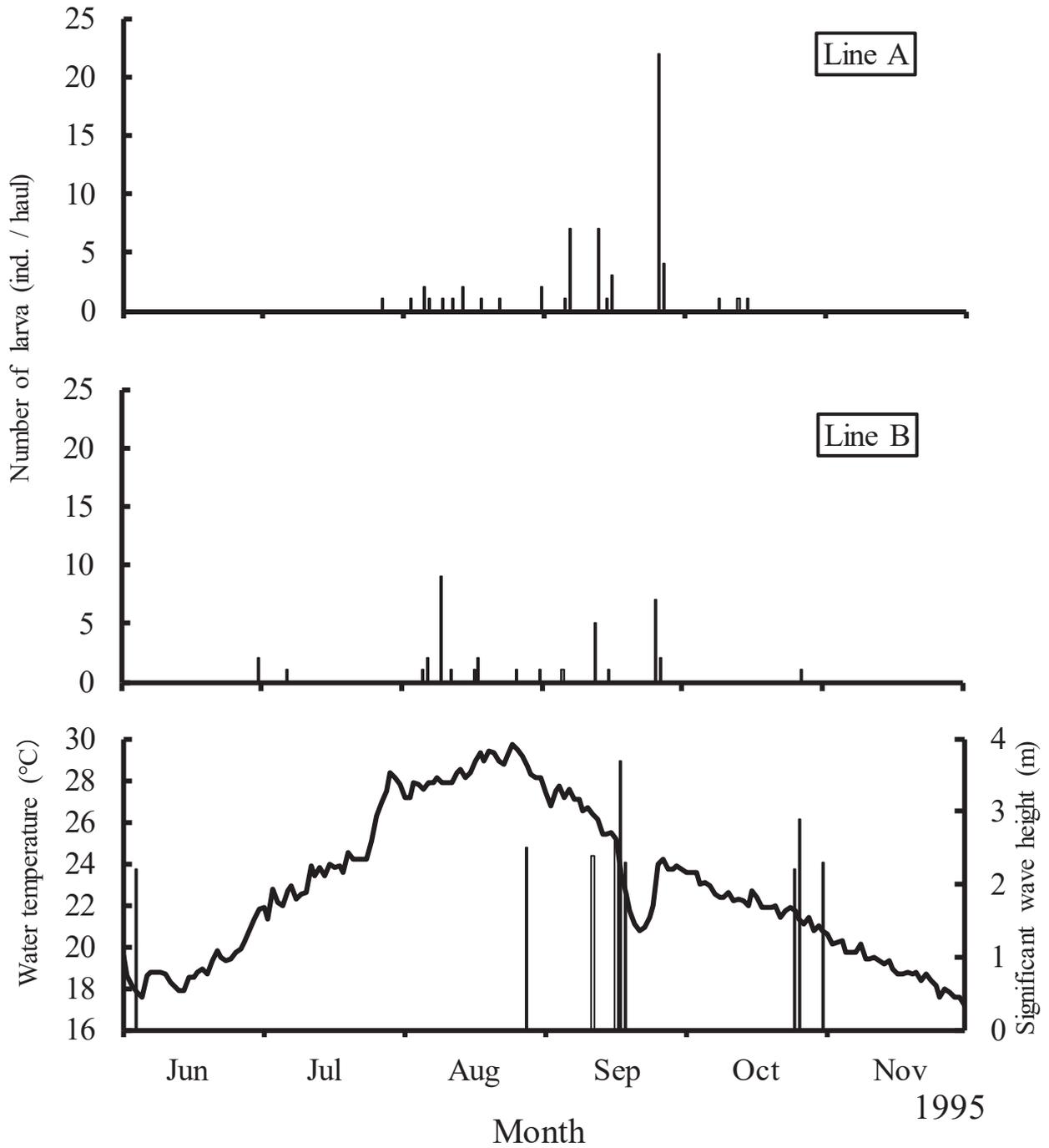


Fig. 21. Timing of the appearance of the larval stage of the Japanese top shell in correlation to fluctuations in surface water temperature (in °C), and daily mean of the significant wave height (in m) in 1995.

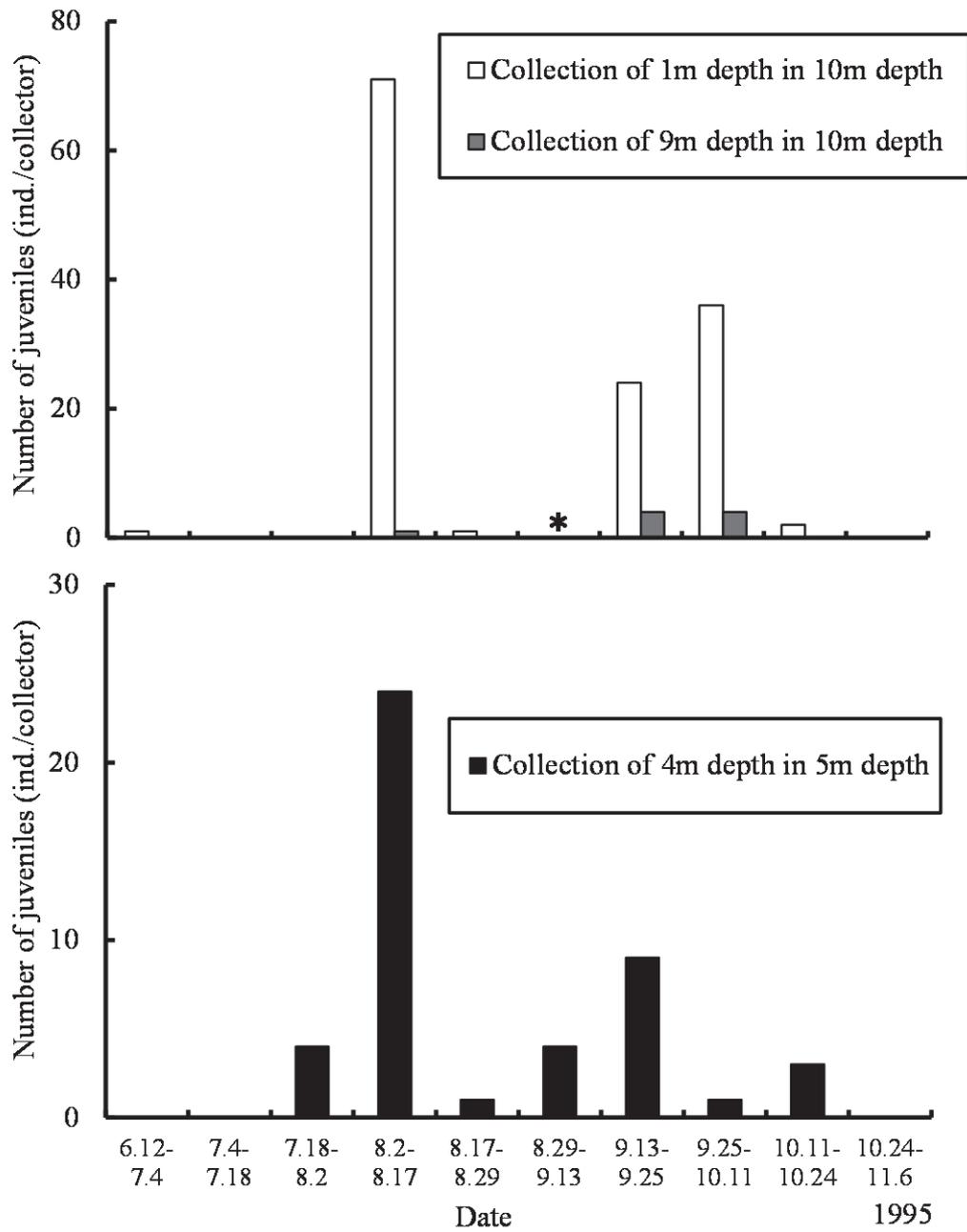


Fig. 22. Seasonal changes in the number of juvenile Japanese top shells collected from artificial collectors at the station of Line A (upper, 10 m depth; lower, 5 m depth) in 1995. The asterisk denotes sampling date with lost collectors.

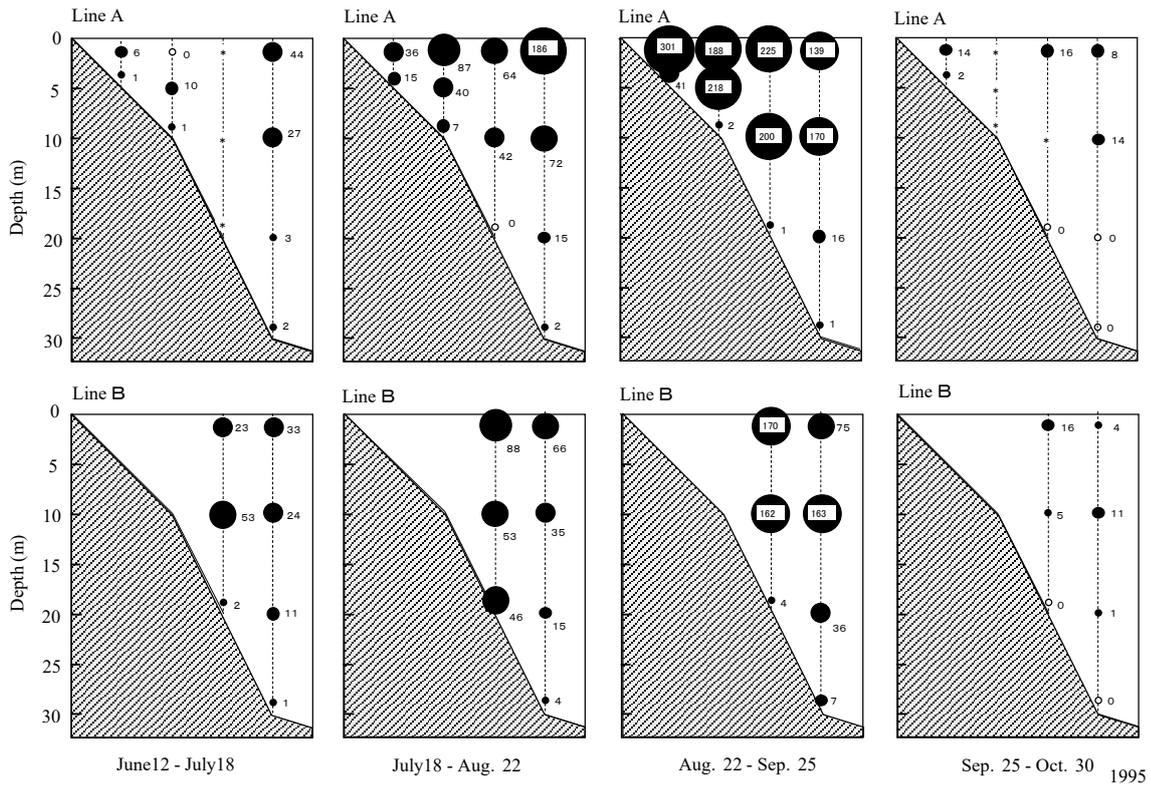


Fig. 23. Vertical distributions of the juvenile Japanese top shells sampled with the artificial collectors at Lines A (upper) and B (lower) in 1995. Data values denote the number of juveniles (ind./collector) collected at each corresponding depth. Asterisks denote data values with lost collectors. The shaded portion represents the sea bottom.

第4節 着底過程と初期減耗

サザエの加入機構を解明するための調査の一環として、コレクターおよび潜水調査による着底直後の稚貝の連続的な採集を実施し、本種の着底過程および着底直後の減耗過程を明らかにした。

材料および方法

調査区の概要

サザエ稚貝の採集は、島根半島中央部に位置する片句地区で実施した(Fig. 24)。片句地区沿岸は外海に面し、転石と岩盤が混在する岩礁域であり、サザエの好漁場となっている。片句漁港の東に位置する通称チジラ湾の西岸湾口部に位置する水域を調査区域とし、岸側から沖側に向けて一本の調査ラインを設けた。調査ライン付近の底質は岸側から水深8~10 mまでは平坦な棚状の岩盤帯が続き、それ以降は転石帯となっている。調査ライン付近における植物相は、下草として有節のサンゴモ科の海藻（以下有節石灰藻とする）がベッド状に群落を形成し、その上にエビアマモ *Phyllospadix japonica*, フクロノリ *Colpomenia sinuosa*, ヘラヤハズなどの小型海藻やナラサモ *S. nigrifolium*, イソモク, ヤツマタモク *S. patens*, ヤナギモク, ノコギリモクなどのホンダワラ科海藻およびクロメの大型海藻の着生がみられる。これを水深帯ごとの優占種でみると、水深0~4 m帯はヒメモサヅキ, ピリヒバ, フサカニノテなどの有節石灰藻およびイソモクが、水深5~7 m帯はクロメ, ヤナギモクが、水深8 m以深はノコギリモクがそれぞれ優占種となっている。調査ライン付近の動物相は、ハナチグサガイ *Cantharidus callichrous*, サラサバイ *Phasianella solida*, ヒメヨウラクガイ *Ergalatax contractus*, ムギガイ *Mitrella bicincta*, ボサツガイ *Anachis misera misera*, フトコロガイ *Euplica scripta* などの小型の巻貝やエビスガイ *Calliostoma unicum*, コシダカガンガラ, オオコシダカガンガラ *Tegula pfeifferi carpenteri*, ウラウズガイ *Astraea haematraga*, サザエ, レイシガイ *Thais bronni* などの中型の巻貝およびバフンウニ *Hemicentrotus pulcherrimus*, ムラサキウニ *Heliocidaris crassispina* などのウニ類の生息がみられる。

稚貝の採集

サザエ着底稚貝の採集は、産卵期直前の1995年6月から1996年1月までスキューバ潜水により実施し

た(Table 4)。調査頻度はサザエの産卵期である7~10月を主体に、1ヶ月に1回程度の割合で行った。サザエ稚貝の採集場所としては調査ライン付近の有節石灰藻群落を選定した。有節石灰藻群落を選定したのは、1) 経験上、殻高10 mm未満のサザエ稚貝が肉眼で発見される頻度が高いこと、2) サザエ0歳貝の採集事例⁵⁹⁻⁶¹⁾があること、3) 定量的な採集が比較的容易であることなどの理由によった。

採集場所の水深帯は水深2 mと水深4 mの2地点とした。水深の上限を2 mとしたのは、それ以浅では波浪の影響により安定した採集が困難であり、水深の下限を4 mとしたのは、それ以深では経験的に小型のサザエがあまり観察されないことなどの理由によった。この他、8月と1月には採集水深の範囲を拡大し、水深1 m, 6 mおよび8 mにおいても採集を実施した。有節石灰藻群落における採集は、亀裂や段差のある場所を避け、平坦な場所で行った。採集地点はできる限り無作為に選定し、32×32 cm (0.1 m²) の方形枠を用いて1水深帯当たり0.25~0.5 m²採集した。

稚貝の採集にはエアリーフティングを用いた採集機を用いた(Fig. 25)。この採集機は本体、採集袋、空気タンクからなり、採集物の剥離と吸い上げを同時に行う構造となっている。本体は口径30 mmの塩化ビニール管にエアージェットのノズルを上方に向けて固定したものであり、採集袋はポリエチレン製ネット(口径400 mm, 長さ470 mm)を使用した。採集袋の目合いは7~10月には180 μm, 1月には500 μmのものを使用した。採集物でネットが詰まり、袋内にたまった空気で採集器が浮き上がるのを防止する目的で、本体の先端部に1~2 kgの鉛製の錘を付けて調整した。空気タンクには潜水用のものを用いた。

採集物は採集袋に入れたまま実験室に持ち帰り、淡水で数回洗浄後、10%の中性ホルマリンで固定し、70%のエタノール溶液中で保存した。その後、採集物を3段階(4, 2, 1 mm)の目合の篩を用いて試料として分割した。2 mm以上の目合の篩に残った試料については、目視によってサザエ稚貝を選別した。2 mmの目合を通過したものは、全て実体顕微鏡下で選別した。1 mmの目合を通過した試料については、全量もしくは1/2量を検鏡した。着底直後のサザエの同定は原殻の長径が260~290 μmの範囲であること、原殻の周口部がラップ状に開くことおよび原殻表面の種固有の模様⁴³⁾があることなどで行った。以上の手順で選別したサザエ稚貝の殻径を計測した。

さらに、軟体部の無い個体は死殻とみなし、生貝と同様に殻径を計測し、貝殻の損傷の有無を観察した。

コレクターによる浮遊幼生の出現調査

浮遊幼生の出現期および出現量を定量化し、着底稚貝の出現との関係を比較する目的で、第2節で開発したコレクターによる調査を実施した。コレクターの設置個数は1個とし、設置方法は垂下式 (Fig. 26) とした。設置定点は調査ライン付近の水深5m地点の深度4mに設けた。コレクターの設置と回収はスキューバ潜水および船上から行った。調査期間は1995年6月20日～10月24日で、この間約2週間ごとにコレクターの設置と回収を繰り返した。回収したコレクターは淡水中で丁寧に稚貝を剥離し、100 μm のネットで濾過した後、残渣を5%ホルマリン溶液で固定した。サザエ稚貝の選別、計数は実体顕微鏡下で行った。サザエの同定は前述と同様に原殻表面の種固有の模様などの特徴によって行った。

結果

着底稚貝

サザエ0歳貝の生貝および死殻の採集水深ごとの採集密度をTable 5に、平均殻径をTable 6に示す。水深2mと水深4mの調査において、生貝は6月28日の調査では採集されなかったが、7～10月の調査では毎回採集された。この間8月4日には水深2mで176個/ m^2 、10月11日には水深4mで177個/ m^2 と比較的高い密度で採集された。死殻も生貝と同様に7～10月の調査で毎回採集されたが、その密度は生貝よりやや低い値を示した。その後、1月22日の調査では生貝、死殻ともにその採集密度は低い値となった。生貝の平均殻径は7月以降増加したが、その割合は緩やかであった。

生貝、死殻の採集密度を水深2mと水深4mと比較すると、生貝、死殻ともにその採集密度は7、8月では水深2mの方が水深4mよりも高く、9、10月は逆に水深4mの方が水深2mよりも高い傾向があった。また、採集水深の範囲を拡大した8月24日の調査では、生貝の採集密度は水深が浅くなる程高い傾向がみられ、特に水深1mでは312個/ m^2 と調査期間中の最大値を示した。1月22日の調査では、8月24日とは逆に生貝、死殻の採集密度は水深が浅い地点では低く、水深6m、8mで高い傾向を示した。

水深2、4m (1月22日は稚貝の採集数が少なかったため水深6mも含めた) で採集されたサザエ0歳貝について、1 m^2 あたりに換算したサザエ0歳貝殻径頻度分布組成の推移をFig. 27に示す。

生貝については、7月19日、8月24日および10月11日の各調査においていずれも400～500 μm の階級にモードがみられた。8月4日の調査では800～900 μm の階級にモードがあり、その大きさから7月19日のモードに由来すると判断された。1月22日には、稚貝は殻径900～3,300 μm の範囲に断続的にみられた。この間の生貝の採集密度は7月から8月にかけて急増し、8～10月に120～136個/ m^2 の密度を維持した後、1月には18個/ m^2 まで急激に減少した。死殻については、各調査において生貝と同様にモードがみられたが、その階級は生貝のモードより1～2階級小さい方にずれる傾向にあった。この間の死殻の採集密度は生貝の傾向とやや異なり、7月から8月にかけて80～92個/ m^2 まで増加した後、9月に24個/ m^2 まで減少したが、10月には再び83個/ m^2 と増加し、その後1月には6個/ m^2 まで急激に減少した。

採集された死殻の殻径頻度分布組成をFig. 28に示す。死殻の大きさは着底直後の殻径260 μm から殻径2,100 μm までの範囲にあった。死殻には破壊などの大きな損傷はほとんど無かったが、一部に穿孔が観察され (Fig. 29)、その割合は死殻全体の24%であった (Fig. 28)。

コレクターにより採集されたサザエ稚貝

コレクターの設置期間ごとのサザエ稚貝採集数をFig. 30に示す。サザエの稚貝は6月20日～7月3日設置したコレクターでは採集されなかったが、7月3～18日に設置したコレクターから9月26日～10月11日設置したコレクターまで連続して採集された。この間、7月3～18日および9月13～26日に設置したコレクターでは多くのサザエ稚貝が採集された。

考察

着底過程

6月28日の着底稚貝の調査で稚貝が採集されず、コレクター調査でも6月20日～7月3日設置のコレクターで稚貝が採集されなかったことから、1995年の片句地区におけるサザエの稚貝の着底は7月3日以降に始まったと推定される。

7月19日の殻径組成において400~500 µmの階級に出現したモード群は、コレクター調査において7月3~18日設置のコレクターで300 µm以上の稚貝が多く採集されたことから、7月上旬に着底した群であり、この時期には規模の大きな着底があったと考えられる。

8月4日の殻径組成において7月19日のモード群に由来すると判断される700~800 µmの群の他に500 µm未満の階級にまとまった群が出現したが、この群はその大きさから7月下旬以降に着底した群であると考えられる。

8月24日の殻径組成において400~500 µmの階級に出現したモード群は、コレクター調査において8月2~17日設置のコレクターでややまとまった量の稚貝が採集されたことから、8月上~中旬に着底した群であると考えられる。また、1,100~1,400 µmの階級に出現した小さな群は、それまでの殻径組成の推移から7月19日のモード群に由来する可能性が高く、この間の減耗により密度が低下したものと考えられる。

9月14日の殻径組成では大きなモード群はみられなかった。1,200 µm未満の階級で連続して出現した群は、それまでの殻径組成の推移から8~9月に着底した群であると考えられる。また、1,400~2,000 µmの範囲に断続的に出現した群は、それまでの殻径組成の推移から7月に着底した群であると考えられる。

10月11日の殻径組成において400~500 µmの階級に出現した大きなモード群は、コレクター調査において9月13~26日設置のコレクターで300 µm未満の付着後間も無い稚貝が多く採集されたことから、9月下旬の着底群であり、この時も7月上旬と同様に比較的規模の大きな着底があったと考えられる。400 µm未満の階級の個体については、コレクター調査において9月26日~10月11日設置のコレクターで稚貝が採集されたことから10月上旬に着底したものであると推定される。また、それまでの殻径組成の推移から、1,300~1,800 µmに連続的に出現した群は8月に着底した群であり、2,300~2,400 µmの階級に出現した個体は7月に着底したものであると考えられる。

1月22日の殻径組成において稚貝が1,000~3,300 µmの広い範囲に断続的に低い密度で出現したが、これらは10月11日の殻径範囲との比較から7~10月の着底に由来する個体であると推定される。

着底後の減耗過程とその要因

着底直後の稚仔の減耗に関し、近縁種であるアワビ類ではいくつかの調査事例があり、エゾアワビでは天然玉石から着底直後の稚仔を186~192個/m²の密度で採集し、その後8~12日で10~18%まで急激に減耗したことが報告されている。⁵⁸⁾今回の調査における生貝の殻径組成の追跡から、サザエもアワビ類と同様に着底直後から急激に減耗していくものと考えられる。死殻から得られる情報については、死亡後の時間経過を異にする個体が混在することや波浪などにより調査区外へ流失した可能性があることから、稚貝の死亡の実態を必ずしも正確に反映するものではない。しかし、各調査日の殻径組成において生貝のモードから1~2階級小さい所に死殻のモードがあったことから、死殻の殻径組成は調査日より少し前の死亡の実態をある程度反映しているといえる。したがって、各調査日の死殻の殻径組成から総合的に判断すると、着底直後のサザエ稚貝の殻径は260~290 µmであるため300 µm未満の階級での死殻の採集数は少ないものの、300 µm以上では小型サイズほどその数が多い傾向にあることから、着底初期ほど減耗の程度は大きく、その減耗の主因は稚貝の死亡によるものであると推察される。そして、生貝の採集密度が8~10月は120~136個/m²とあまり変化がなかったのは、稚貝の着底による新規加入と死亡による減耗が均衡していたためであると考えられる。

稚貝の減耗要因は、エゾアワビ⁴⁵⁾で佐々木が指摘したように餌不足による死亡も考えられるが、死殻に観察された穿孔はアクキガイ科の肉食性巻貝の捕食⁶²⁾を受けた可能性を示唆し、有節石灰藻から採取した試料中に、同科に属するヒメヨウラクガイ、レイシガイの稚貝が多く観察されたことから、これらの種の食害による減耗があったと考えられる。サザエの食害種については、人工種苗の放流後の観察^{63,64)}や室内捕食実験^{64,65)}から、前述の種の他にヒトデ類やカニ類が報告されている。ヒトデ類については捕食を受けた痕跡が残らないことから食害の有無は不明であるが、大きく破損した死殻はほとんど採集されなかったことからカニ類による食害は少なかったと考えられる。

幼生の着底と有節石灰藻および水深との関係

サザエの着底後数ヶ月を経過した時点での調査事例には、既述の内場ら⁵⁹⁾山崎・石渡⁶¹⁾の報告がある。前者は12月に水深50 cm以浅の潮間帯の有節石灰藻群落内において平均殻径0.74 mmの稚貝を

39~650 個/m²の密度で採集し、後者は11月に水深4 m以浅の潮下帯の有節石灰藻群落内において平均殻径1.7 mmの稚貝を22~177 個/m²の密度で採集している。本調査における10月のサザエの採集密度(平均殻径0.63 mm, 94~177 個/m²)と比較すると、その密度は内場らより低く、山崎・石渡とほぼ同様の値といえる。内場らの調査は1982年に実施されたものであり、この時は対馬暖流域でサザエの卓越年級群の発生が確認された時期とほぼ重なること⁵⁾から、この時の稚貝の加入量は高かったものと考えられる。

これらの調査と今回の調査結果に共通するのは、いずれも有節石灰藻群落においてサザエの0歳貝が高い密度で採集されている点である。有節石灰藻群落とサザエ稚仔の関係に関して内場ら⁵⁹⁾は、有節石灰藻群落ではその物理的な形状(乱流形成など)から幼生の着底を促し、有節石灰藻自体の餌料価値は低いものの、稚貝の有効な餌料である付着珪藻が発生し易い環境にあることが稚貝場形成の一因になっていると推察した。一方、新井⁶⁰⁾は、潮間帯下部から漸深帯上部におけるサザエ稚貝の観察例から、有節石灰藻の密生する群落は、群落内部への波浪の影響を軽減し、稚仔が体を固定するのに都合の良い空間であると考察した。さらに、同じサンゴモ科の無節石灰藻は、近縁種のアワビ類浮遊幼生の着底、変

態を高率に誘起すること^{67,68,69)}や無節石灰藻から分泌される揮発物質のジブプロメタンがウニ類の着底、変態を強く誘起する⁷⁰⁾ことが明らかとなっており、有節石灰藻にもサザエ浮遊幼生に対して何らかの誘引作用がある可能性は否定できない。以上のことを総合すると、岩礁域に広く一般的に分布する有節石灰藻群落は、本種の初期生活史の中で重要な役割を果たしている可能性があると考えられる。

8月24日の水深別の調査では、1~8 mの各水深帯で生貝が採集されたことから、サザエの稚貝は比較的広い水深帯で着底していると推定される。水深が浅いほど採集数が多かったのは、前節の調査においてサザエの浮遊幼生が岸近くでは表層に偏って分布する傾向があったことから、浅い水深帯ほど浮遊幼生の密度が高かったためであると考えられる。1月22日の同様の調査では生貝は浅い水深帯で少なく、逆に6 m, 8 mの深い水深帯で多くなったが、この原因としては冬季の波浪の影響による稚貝の減耗や移動が考えられるものの、調査回数が少ないため推測の域を出ない。今後、サザエ稚貝の加入過程を明らかにするためには、稚貝の減耗過程の追跡に併せて、住み場としての有節石灰藻の現存量および種組成の季節的変動や食害生物の動態などの調査を継続して行うことが重要であると考えられる。

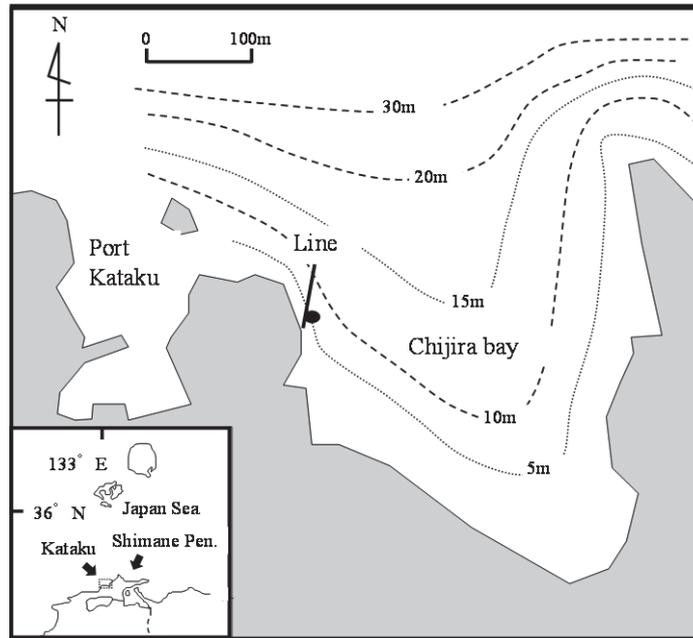


Fig. 24. Location of the sampling stations. The solid circle indicates the sampling station which used the artificial collector shown in Fig. 15.

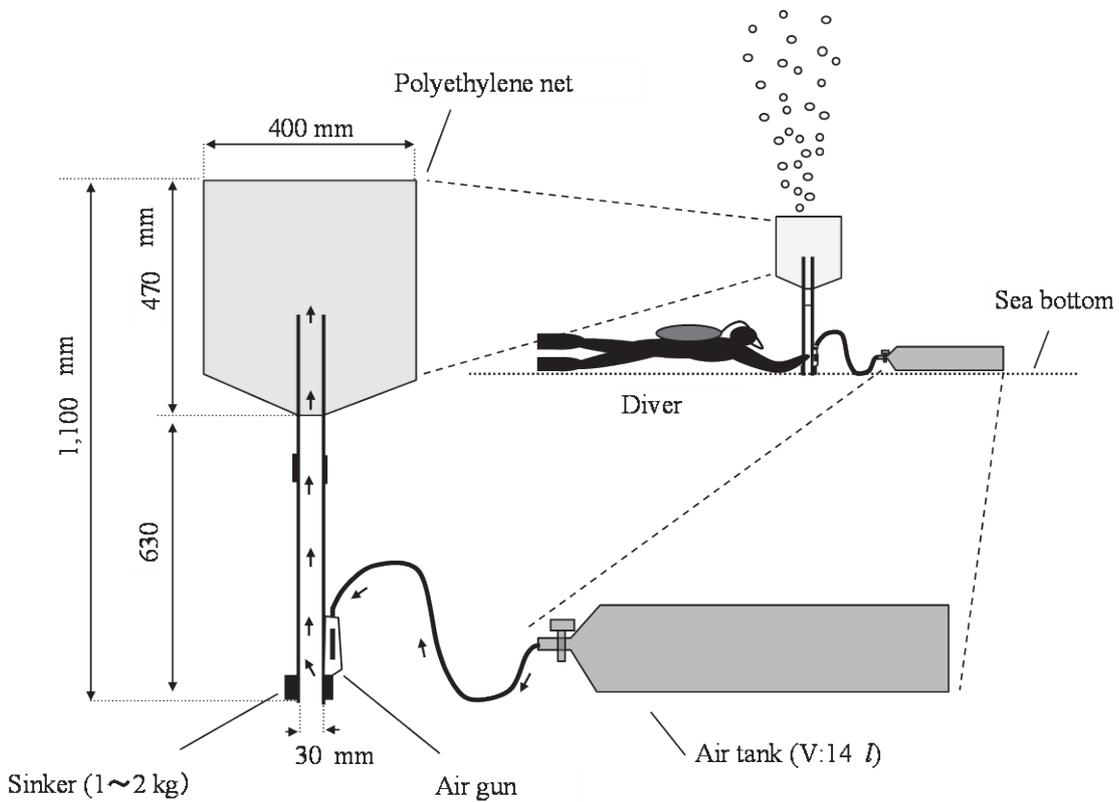


Fig. 25. A schematic diagram of the sampling method using a suction sampler.

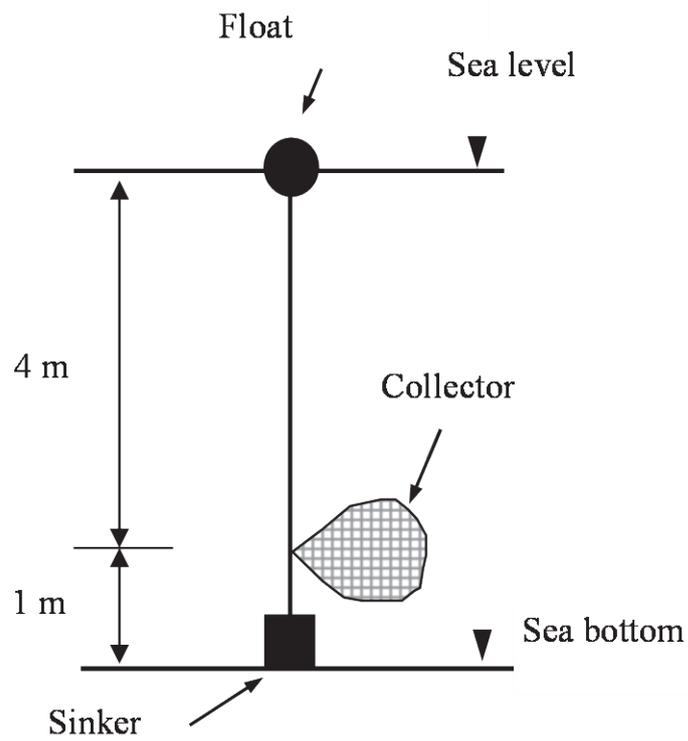


Fig. 26. A schematic diagram of the method for installing the collector shown in Fig. 15.

Table 4. Sampling information and total surface area covered by the suction sampler

Sampling depth (m)	Total sampling area (m ²)						
	1995			1996			
	28-Jun	19-Jul	4-Aug	24-Aug	14-Sep	11-Oct	22-Jan
< 1				0.25			0.25
1~2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.25
3~4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.25
6				0.25			0.25
8				0.25			0.25

Table 5. Density of age 0 Japanese top shells taken by the suction sampler

Sampling depth (m)	Density (ind. / m ²)						
	1995			1996			
	28-Jun	19-Jul	4-Aug	24-Aug	14-Sep	11-Oct	22-Jan
Live shell							
< 1				312			4
1~2	0	96	176	120	112	94	0
3~4	0	32	96	120	128	177	0
6				104			32
8				56			16
Dead shell							
< 1				88			0
1~2	0	32	96	88	16	14	0
3~4	0	16	88	72	32	152	0
6				136			16
8				88			16

Note: Data is available only for age 0 juveniles.

Table 6. Mean shell diameter of age 0 Japanese top shells taken by the suction sampler

Sampling depth (m)	Mean shell diameter \pm SD (μ m)						
	1995			1996			
	28-Jun	19-Jul	4-Aug	24-Aug	14-Sep	11-Oct	22-Jan
Live shell							
< 1				626 \pm 174			1,100
1~2	-	467 \pm 34	564 \pm 193	656 \pm 287	669 \pm 336	622 \pm 353	-
3~4	-	468 \pm 55	652 \pm 176	618 \pm 259	603 \pm 377	727 \pm 417	-
6				741 \pm 257			1,995 \pm 637
8				569 \pm 230			1,615 \pm 291
Dead shell							
< 1				423 \pm 180			-
1~2	-	390 \pm 102	559 \pm 125	495 \pm 151	610 \pm 330	618 \pm 196	-
3~4	-	392 \pm 75	421 \pm 180	536 \pm 187	460 \pm 140	453 \pm 138	-
6				556 \pm 202			1,433 \pm 513
8				538 \pm 191			1,850 \pm 624

Note: - = Not present.

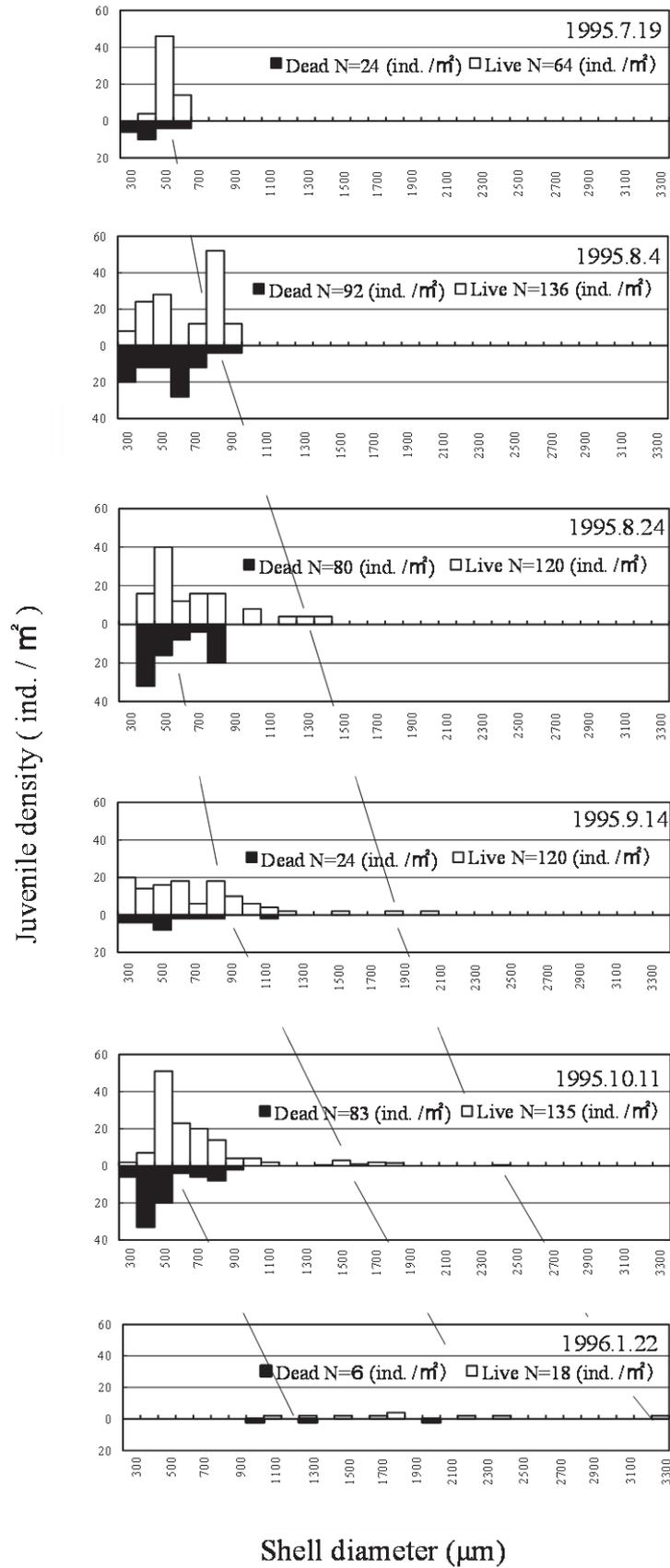


Fig. 27. Seasonal changes (1995 to 1996) in the size frequency distribution of live and dead juvenile Japanese top shells taken by the suction sampler at 2 m and 4 m depths.

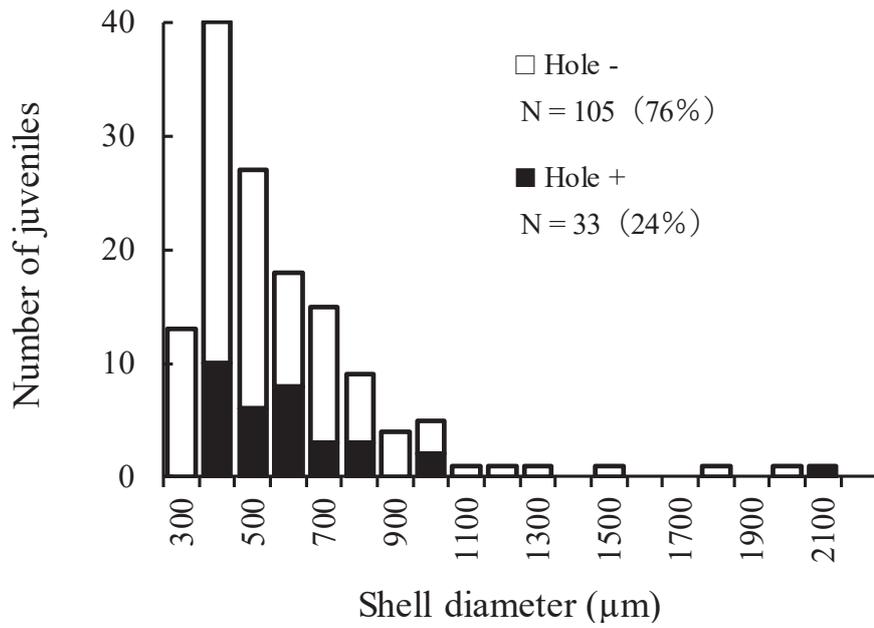


Fig. 28. Size frequency distribution of dead juvenile Japanese top shells showing the proportions of hole and no hole shells sampled from the study site from 1995 to 1996.

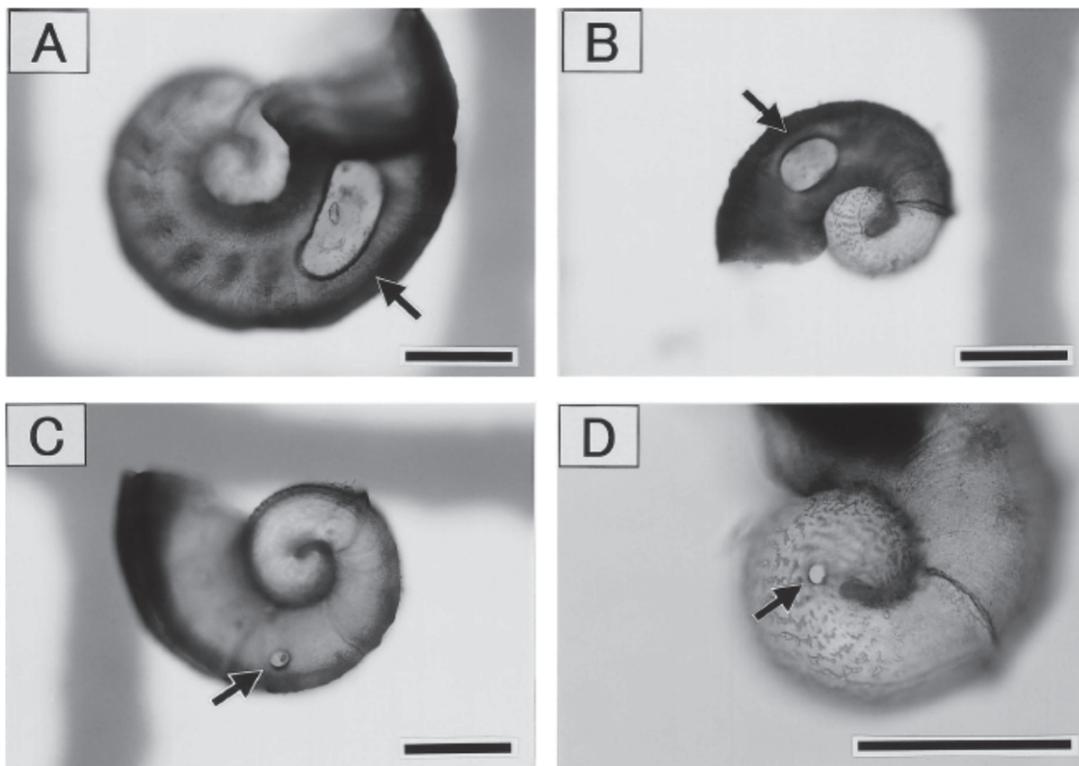


Fig. 29. Dead juvenile Japanese top shells with holes sampled at 2 m depth on August 8 (A, B, C) and at 4 m depth on September 14 (D). Scale bars = 200 μm. Arrows indicate the holes.

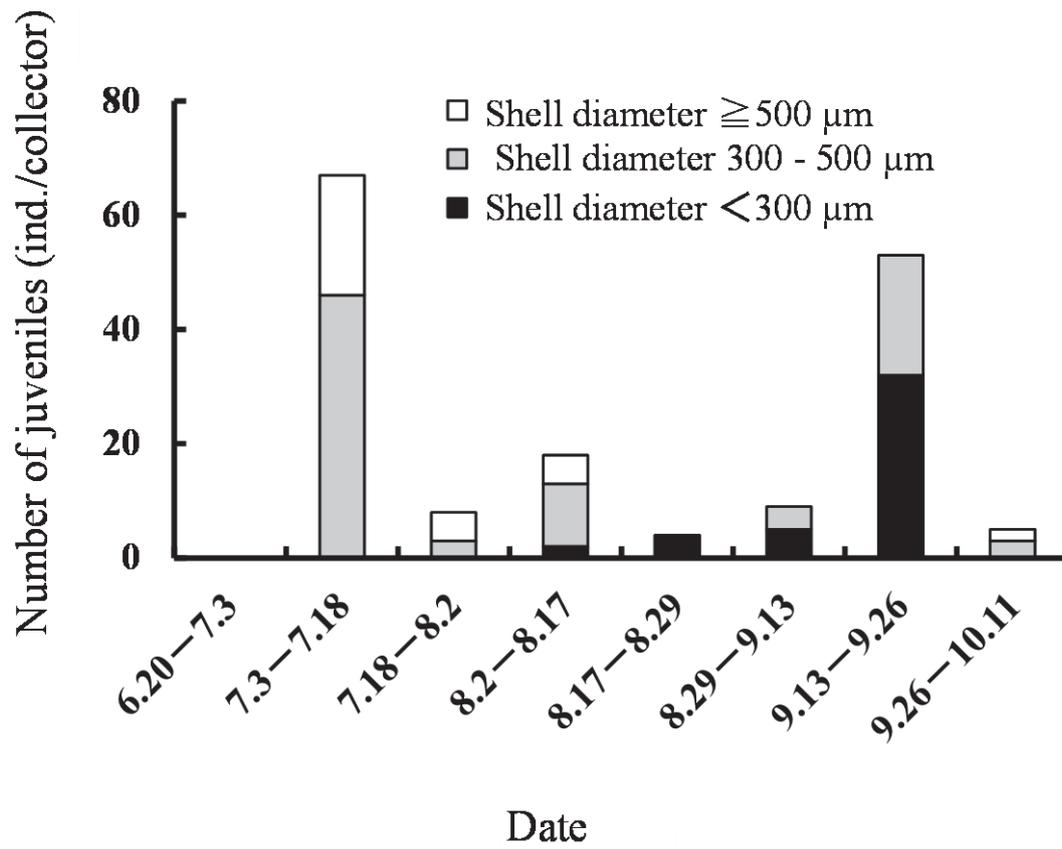


Fig. 30. Seasonal changes in the number of juvenile Japanese top shells collected by artificial collectors in 1995.

第5節 0~1歳貝の初期成長と密度変化

島根県沿岸におけるサザエの加入機構を解明するための調査の一環として、1991~1995年までの5年間に渡って0~1歳貝の定期的な採集を実施し、サザエの初期成長と密度変化を明らかにした。さらに、得られた調査結果をもとに加入量の簡便で有効な把握方法について検討を行った。

材料および方法

調査は前節と同様に島根半島中央部に位置する片句地区で実施し、片句漁港の東に位置するチジラ湾の西岸の海岸域の岸側から沖側に向けて一本の調査ラインを設けた (Fig. 24)。

サザエ稚貝の採集は、1991年5月から1995年10月までスキューバ潜水により実施した。調査頻度は波浪の影響を受ける冬季を除くと、1~2ヶ月に1回程度の割合であった。採集場所としてはライン付近の水深2~4mの有節石灰藻群落を選定した。有節石灰藻群落および調査水深の選定理由は前節と同様であった。

稚貝の採集方法は有節石灰藻群落ごと剥離する方法によった。石灰藻の剥離には1991年は金属ヘラを用い、剥離した有節石灰藻をそのまま静かにネット (目合180 μ m)に入れて採集した。しかし、この方法は波浪の影響を受けやすく非効率であったので、1992年の途中から前節と同様のエアリフトによる吸引 (吸い上げ法)に変更した。有節石灰藻群落における採集では、前節と同様に平坦な場所で実施し、数ヶ所に分けて採集したものを混合して1試料とした。そして、波浪などの採集条件の悪い場合以外は、方形枠 (32 \times 32 cm, 50 \times 50 cm)を用いてその剥離面積を記録した。

1990年発生群は発生翌年の5月から、1991年、1992年発生群は発生年の11月から、1993年、1994年発生群は発生年の7月から採集を開始した。1994年発生群は方形枠による調査頻度を増し、稚貝の着底期間についてより詳細に調査を行った。また、1991年と1992年については、サザエ稚貝の生息場所や発生年級群の区分についての基礎資料を得るために、有節石灰藻群落外に生息するサザエの採集を有節石灰藻群落内の採集と同時に実施した。発見したサザエは全て船上に持ち帰り、殻高を測定した後、再び発見した場所に戻した。

岩盤から剥離した採集物は袋ごと実験室に持ち帰り、淡水で数回洗浄、ふるいがけの後、10%の中性ホルマリンで固定し、70%のエタノール溶液中で保存した。サザエ稚貝の同定は殻径2 mm以上の個体は肉眼で、それ未満の個体は実体顕微鏡で検鏡して行った。着底直後のサザエの同定は前節と同様に、原殻の長径が260~290 μ mの範囲であること、原殻の周口部がラッパ状に開くこと、および原殻表面の種固有の模様があることなどで行った。軟体部の無い個体は死殻とみなし、生貝と同様に大きさを計測した他、貝殻の損傷の有無を観察した。

サザエ稚貝の貝殻は当初横 (殻径) 方向に伸張するが、成長とともに次第に横よりも縦 (殻高) 方向への伸張割合が増大することから、貝殻の計測部位は、殻径と殻高がほぼ同じ長さになる約3.5 mmを境にそれ以前は殻径をそれ以降は殻高とした。

結果

年級群の区分と生息場所

1992年に有節石灰藻群落内で採集されたサザエ稚貝および有節石灰藻群落外で目視により採集された殻高40 mm未満のサザエの殻高 (径) 頻度分布組成を Fig. 31 に示す。目視調査では、殻高15~35 mm程度の小型個体が有節石灰藻群落外の岩盤の溝、亀裂およびウニ穴などで多く発見された。4、7、9月の調査では、有節石灰藻群落内、外で出現した各群は単峰型であり、1991年発生貝 (0歳) と1990年発生貝 (1歳) の年級群は明確に区分された。しかし、11月の調査では、1991年発生貝 (1歳) と1990年発生貝 (2歳) の殻径範囲は連続したため年級群の区分は不明確であった。このことから、サザエ稚貝の0歳と1歳についてはその大きさの違いにより、年級群の分離が可能であることが示された。

0歳貝の成長

前述の結果を基に、採集したサザエ稚貝を、発生した翌年の11月までの期間についてその殻高 (径) 組成から各年級群に分離して整理した (Table 7-1~5)。

Table 7-1~5より各年級群を総合すると (Fig. 32)、調査日ごとの殻高 (径) の範囲は比較的広く、これを月ごとにみると、その殻高 (径) 範囲は11月0.4~2.7 mm, 12月1.1~3.8 mm, 翌3月1.3~4.4 mm, 4月1.7~8.6 mm, 5月2.3~5.2 mm, 6月2.6~10.4 mm, 7月3.5~9.9 mm, 8月4.0~13.3 mm, 9月4.7~15.5

mm, 10月 8.0~13.5 mm, 11月 8.2~16.3 mm となった。また、発生年 11月から翌年の春季までの稚貝の成長は緩やかであるが、夏季以降急激な成長を示した。サザエの産卵期は第 1, 3 節の調査から 6 月下旬~10 月下旬と推定され、仮にその産卵期の中間の 8 月下旬を基準とすると、有節石灰藻群落内のサザエの満 1 歳時における平均的な殻高は、概ね 4~14 mm の範囲にあり、その平均は 8~10 mm 程度であった。

0 歳貝の採集密度

発生~翌年の春季の採集密度について、採集記録のある 1994 年級群をみると (Fig. 33), 稚貝は 8 月から採集され、その密度は 17.3 個/m² と低かったが、9 月には急激に増加して 186.7 個/m² と最高値を示した。しかし、その後、採集密度は急激に減少し、11 月は 72.0 個/m², 翌 3 月は 12.7 個/m² となった。他の年級群についても、発生年の翌春~秋季までの採集密度は 1994 年級群とほぼ同様の減少傾向を示し、春季には 5~25 個/m² あったものが、秋季には 0~3.8 個/m² まで減少した (Table 7-1~4)。

死貝の殻高 (径) 組成

1994 年級群の死殻について、殻高 (径) 頻度分布組成を Fig. 34 に示す。採集された死殻の大部分は、殻径 1 mm 未満の個体であった。死殻には破壊などの大きな損傷はほとんど観察されなかったが、前節と同様に殻の一部に穿孔痕が認められ、その割合は死殻全体の 31% であった。有節石灰藻中の採集物からはサザエ稚貝とともにアクキガイ科の肉食性巻貝であるレイシガイとヒメヨウラクの稚貝が採集されていることから、サザエ稚貝がそれらから被害を受けた可能性が示唆された。

考察

着底期と殻高 (径) 組成範囲

葭矢・桑原⁷¹⁾はサザエの人工種苗生産において小型の稚貝が低水温期に減耗することから、9~10 月の秋季発生群は越冬期の生残が低く、夏期発生群が各年級群の主体になっていると推察している。しかし、前節における稚貝の着底とその後の生残過程の関係から、秋季発生群も夏季発生群と同様に生き残り、加入群として有効であると推察される。したがって、Fig. 32 においてサザエの殻高 (径) 範囲が広い理由としては、成長速度の個体差によるものもあ

るが、着底時期の差に起因するものが大きいと考えられる。

初期成長

サザエの初期成長に関し、天然個体の採集結果をもとに解析された例は少なく、京都府地先の報告⁷¹⁾と千葉県地先の報告⁶¹⁾があるだけである。この中で満 1 歳時の平均殻高を葭矢ら⁷¹⁾は 6 月基準で約 10 mm, 山崎・石渡⁶¹⁾は 8 月下旬基準で約 12 mm と推定している。8 月下旬で 8~10 mm となった本調査結果とこれらの値を比較すると、どちらも高い値といえる。しかし、京都の場合は目視採集した個体をもとに推定された値であり、有節石灰藻中に生息する小型個体の見落としにより平均値が高い方に偏った可能性が考えられる。これに対して千葉の値は、本調査と同様に有節石灰藻群落内の個体の測定結果をもとにしていることから本調査結果との比較は妥当である。千葉の成長が島根より速い理由としては、太平洋と日本海の水温条件の差が関係している可能性が考えられる。また、本調査において稚貝は、発生年の冬季から翌年の春季の低水温期の成長は著しく緩慢であったが、夏季以降の水温の上昇とともに急速に成長したことから、当海域のサザエの成長は、水温に強く影響を受ける日本海型サザエの特徴^{63,72)}を示しているといえる。

密度変化と生息場の関係

前節および本調査結果から、本種の産卵期間の 6 月下旬~10 月下旬には着底と減耗が同時進行するために稚貝の密度は比較的高い値で増減しながら推移するが、着底が終了して新たな稚貝の補給が無くなると、1994 年級群の 0 歳貝の採集密度変化にもみられるように、その生息密度は急激に減少していくものと考えられる。そして、1994 年級群の死貝の殻高 (径) 組成で示したとおり減耗の程度は殻径 1 mm 未満で特に大きく、減耗要因としては死殻の被害痕の状況から同じ有節石灰藻群落内に生息するアクキガイ科の肉食性巻貝による被害⁶²⁾が考えられる。

0 歳貝のサザエの生息密度の経時的な変化について、有節石灰藻群落の内外における稚貝の採集密度の比較から、群落内で生息していた 0 歳貝が、満 1 歳直前から 2 歳にかけて群落外へ生息場所を変えることが指摘されている。⁶¹⁾本調査においても 1992 年の目視調査で、10~30 mm の小型個体は有節石灰藻群落中よりも有節石灰藻群落外の岩盤上の亀裂や溝で多く採集されたことや、11 月における有節石灰藻

内外におけるサザエ稚貝の分布の比較から、有節石灰藻群落中の稚貝は、成長に伴って大型個体から徐々に有節石灰藻群落外へ生息域を拡大していくものと考えられる。

有節石灰藻群落外への移動要因としては、隠れ場としての物理的空間の不足や餌料条件によるものが考えられる。サザエ稚貝は成長と共に付着珪藻から小型海藻へ食性を転換し、殻高8~10 mmのサザエ人工種苗の放流後の追跡調査において放流後の稚貝の成長がテングサ類やアナアオサ *Ulva australis* の優占水域に放流したものより有節石灰藻優占水域で放流したものが劣ったこと⁷³⁾が示されている。このことから稚貝の有節石灰藻群落外への移動は、稚貝の成長に伴う摂餌量の増加や食性の転換が関係していると推察される。したがって、有節石灰藻群落中のサザエ稚貝の密度低下について、稚貝の多くが殻高10 mm以上に成長する夏季以降は、死亡による減耗の他に稚貝の有節石灰藻群落外への移動による密度低下が含まれているものと考えられる。このことは同時に夏季以降の有節石灰藻群落内のサザエは小型サイズに偏っている可能性があることを示唆するものである。このため、サザエの初期成長や年齢を明らかにしようとする場合、産卵期の長さに起因する年級内の殻高範囲の広さとともにその分布特性にも十分留意する必要があると考えられる。

0 歳貝発生量モニタリングの可能性

島根県におけるサザエの漁獲年齢は3~5歳が主体であり、⁷⁴⁾発生初期における加入量の定量化は数年後の資源水準を把握する上で意義あることと考えられる。第2, 3節においてサザエの浮遊幼生の定量化にコレクターが有効であることを示したが、着底直後から殻径1 mmまでに急激な稚貝の減耗がみられることから、浮遊幼生期や着底直後の稚貝の定量評価から加入量を予測することはやや困難であると

いえる。したがって、大きな減耗期を過ぎ、加入量がほぼ定まった稚貝期の段階で定量採集を行う方がより精度が高いと考えられる。これまでサザエの0歳貝の知見が少なかったのは、目視調査の限界である殻高10 mm未満の個体の効率的な採集方法が無かったことが一因にあると考えられるが、本調査から有節石灰藻群落においてエアリフトを用いた採集方法でサザエの0歳貝が安定的に採集されることが判明した。したがって、有節石灰藻群落内の稚貝の豊度からその後の加入量を予測することはある程度可能であると考えられる。

有節石灰藻群落においてサザエ0歳貝の発生量をモニタリングする時期としては、以下の理由から、発生翌年の春季に調査を実施するのが適当であると考えられる。

- ・発生翌年の春季には、産卵後期(秋季)に由来する小型個体が肉眼で判別可能な殻径2 mm以上に成長している
- ・発生翌年の春季には、産卵前期(夏季)に由来する大型個体が有節石灰藻群落内に留まっている
- ・春季は海況が比較的穏やかで計画的な採集が可能である

そしてその採集場所としては、本調査のように有節石灰藻群落が岩盤上の平滑面にベッド状に形成されている場所を選定することが、定量的な採集が容易であるという点で重要であると考えられる。また、第3節でサザエ浮遊幼生がコレクターで湾奥より湾口部で多く採集されたことから、サザエにも波浪の渦動域⁵⁰⁾や岬の先端域および外海性湾入域⁵⁸⁾で稚貝の採集数が多いアワビ類と同様に何らかの集積機構があると推察される。より効率的な調査を行うためには、稚貝が安定的に集積する水域(稚貝場)を選定することが大切であり、今後はその形成条件についても明らかにしていくべきであると考えられる。

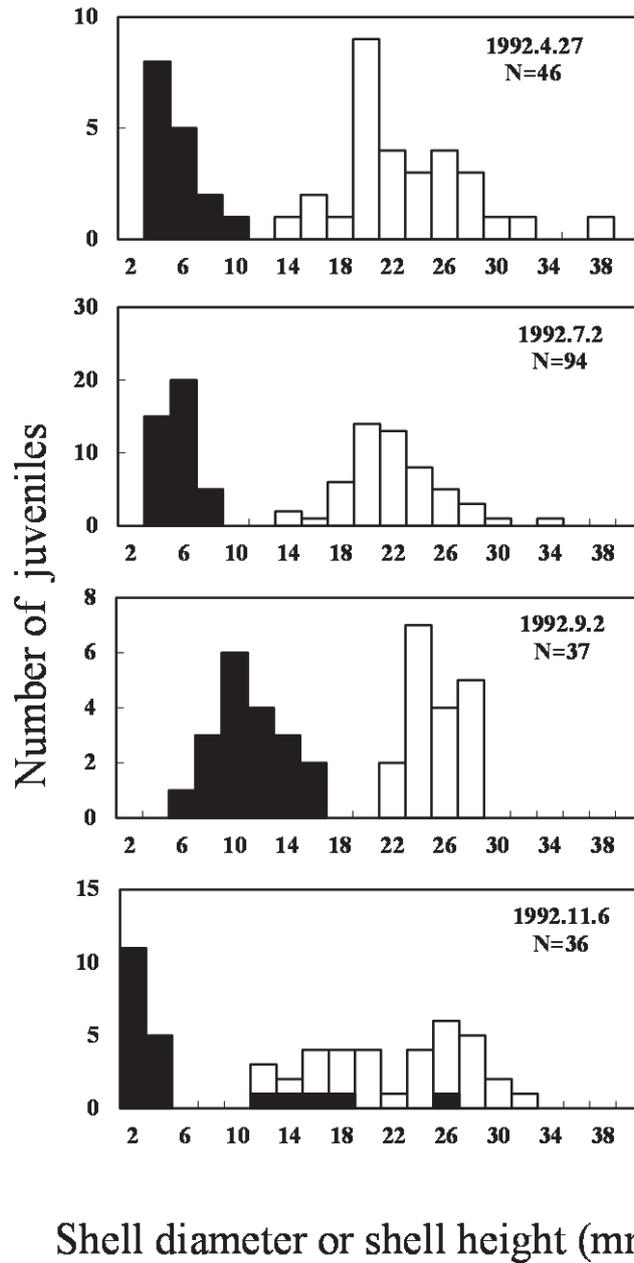


Fig. 31. Seasonal changes in the shell diameter (under 3.5 mm) or shell height (over 3.5 mm) frequency distribution of the juvenile Japanese top shell. The histograms show the observed frequency of populations within the articulated coralline algal beds (black parts) and those outside the algal beds (white parts).

Table 7-1. Sampling data of the 1990 juvenile Japanese top shell cohorts taken by the suction sampler

Year class 1990								
	TN (ind.)	NQ+ (ind.)	NQ- (ind.)	AQ (m ²)	Density (ind./m ²)	MDH (mm)	MaxDH (mm)	MinDH (mm)
1990								
Nov	-	-	-	-	-	-	-	-
Dec	-	-	-	-	-	-	-	-
1991								
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr	-	-	-	-	-	-	-	-
15-May	4	4	-	0.2	20.0	3.40	4.30	2.60
Jun	-	-	-	-	-	-	-	-
3-Jul	6	6	-	1.0	6.0	4.00	4.60	3.50
Aug	-	-	-	-	-	-	-	-
4-Sep	3	3	-	0.6	5.0	7.30	9.70	5.00
Oct	-	-	-	-	-	-	-	-
22-Nov	3	3	-	0.8	3.8	9.70	11.30	8.20

Notes: TN = Total number of juveniles; NQ+ = Total number of sampled juveniles using the quadrat method; NQ- = Total number of sampled juveniles without using the quadrat method; AQ = Total surface area of sampling using the quadrat method; Density = Mean density of sampled juveniles; MDH = Mean shell diameter or shell height of juveniles (mm); Max DH = Maximum shell diameter or shell height of juveniles (mm); Min DH = Minimum shell diameter or shell height of juveniles (mm); — = No investigation.

Table 7-2. Sampling data of the 1991 juvenile Japanese top shell cohorts taken by the suction sampler

Year class 1991								
	TN (ind.)	NQ+ (ind.)	NQ- (ind.)	AQ (m ²)	Density (ind./m ²)	MDH (mm)	MaxDH (mm)	MinDH (mm)
1991								
22-Nov	5	-	5	-	-	1.40	2.70	0.40
15-Dec	6	-	6	-	-	2.20	3.80	1.10
1992								
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar	-	-	-	-	-	-	-	-
27-Apr	15	3	12	0.3	10.0	4.30	8.60	2.20
May	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Jun	40	4	36	0.4	10.0	4.80	7.70	2.60
Jul	-	-	-	-	-	-	-	-
11-Aug	12	-	12	-	-	9.50	13.30	4.70
2-Sep	19	19	-	3.0	6.3	10.10	15.50	4.70
Oct	-	-	-	-	-	-	-	-
6-Nov	4	4	-	4.0	1.0	13.60	16.30	10.40

Notes: Abbreviations are the same as in Table 7-1. — = No investigation.

Table 7-3. Sampling data of the 1992 juvenile Japanese top shell cohorts taken by the suction sampler

Year class 1992								
	TN (ind.)	NQ+ (ind.)	NQ- (ind.)	AQ (m ²)	Density (ind./m ²)	MDH (mm)	MaxDH (mm)	MinDH (mm)
1992								
6-Nov	16	-	16	-	-	1.50	2.50	0.40
Dec	-	-	-	-	-	-	-	-
1993								
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr	-	-	-	-	-	-	-	-
7-May	11	11	-	0.5	22.0	3.70	5.20	2.30
17-Jun	26	26	-	1.2	21.7	4.90	10.40	2.70
Jul	-	-	-	-	-	-	-	-
5-Aug	9	9	-	1.0	9.0	7.20	9.40	5.90
26-Aug	4	4	-	1.0	4.0	6.20	9.60	4.20
20-Sep	2	2	-	2.0	1.0	10.80	12.30	9.20
5-Oct	2	-	2	-	-	9.70	11.40	8.00
16-Nov	2	-	2	-	-	10.90	11.40	10.40

Notes: Abbreviations are the same as in Table 7-1. — = No investigation.

Table 7-4. Sampling data of the 1993 juvenile Japanese top shell cohorts taken by the suction sampler

Year class 1993								
	TN (ind.)	NQ+ (ind.)	NQ- (ind.)	AQ (m ²)	Density (ind./m ²)	MDH (mm)	MaxDH (mm)	MinDH (mm)
1993								
17-Jun	0	-	0	-	-	-	-	-
5-Aug	0	-	0	-	-	-	-	-
26-Aug	3	-	3	-	-	0.38	0.40	0.36
20-Sep	19	-	19	-	-	0.63	1.30	0.40
9-Oct	9	-	9	-	-	0.65	1.10	0.43
16-Nov	2	-	2	-	-	0.87	0.97	0.76
8-Dec	6	-	6	-	-	1.51	2.63	1.13
1994								
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr	-	-	-	-	-	-	-	-
13-May	5	5	-	0.75	6.7	3.00	3.80	2.30
9-Jun	8	8	-	1.0	8.0	3.95	4.80	2.70
7-Jul	1	1	-	0.5	2.0	4.30	-	-
8-Aug	6	5	1	1.0	5.0	4.93	5.80	4.00
1-Sep	3	3	-	1.0	3.0	7.53	8.40	6.70
9-Nov	0	0	-	1.5	0.0	-	-	-

Notes: Abbreviations are the same as in Table 7-1. — = No investigation.

Table 7-5. Sampling data of the 1994 juvenile Japanese top shell cohorts taken by the suction sampler

Year class 1994								
	TN	NQ+	NQ-	AQ	Density	MDH	MaxDH	MinDH
	(ind.)	(ind.)	(ind.)	(m ²)	(ind./m ²)	(mm)	(mm)	(mm)
1994								
7-Jul-20	0	0	-	1.0	0.0			
8-Aug	13	13	-	0.75	17.3	0.58	1.00	0.28
1-Sep	140	140	-	0.75	186.7	0.46	1.00	0.27
9-Nov	108	108	-	1.5	72.0	1.30	2.50	0.56
Dec	-	-	-	-	-	-	-	-
1995								
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	-	-	-	-	-	-	-	-
7-Mar	19	19	-	1.5	12.7	2.37	4.40	1.30
18-Apr	26	7	19	1.5	4.7	2.83	3.90	1.70
May	-	-	-	-	-	-	-	-
28-Jun	6	3	3	0.5	6.0	4.10	5.50	3.00
19-Jul	6	6	-	1.0	6.0	7.89	9.90	5.50
4-Aug	1	1	-	0.5	2.0	5.70	-	-
24-Aug	5	4	1	1.0	4.0	7.10	9.40	4.70
14-Sep	0	0	-	0.5	0.0			
11-Oct	3	3	-	1.5	2.0	11.60	13.50	10.40
Nov	-	-	-	-	-	-	-	-

Notes: Abbreviations are the same as in Table 7-1. — = No investigation.

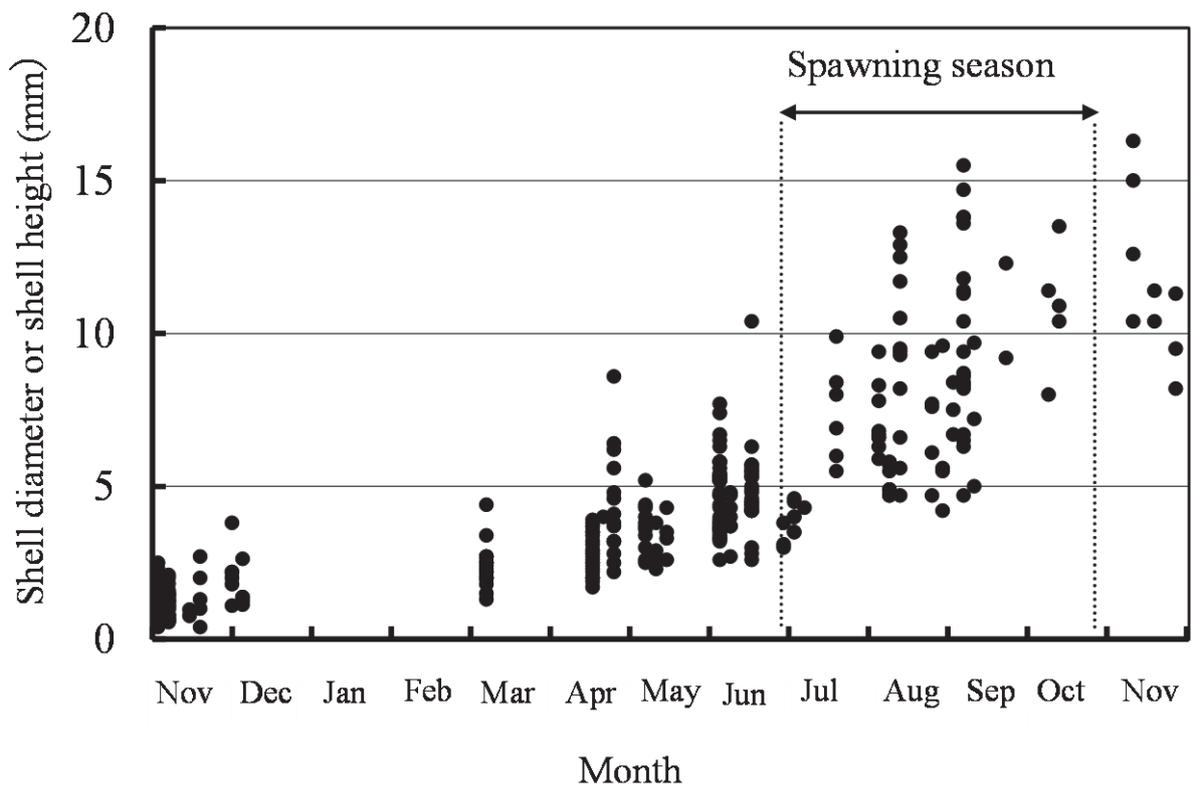


Fig. 32. Seasonal changes in the shell height (over 3.5 mm) or diameter (under 3.5 mm) frequency distribution of the 1991-1994 juvenile Japanese top shell cohorts.

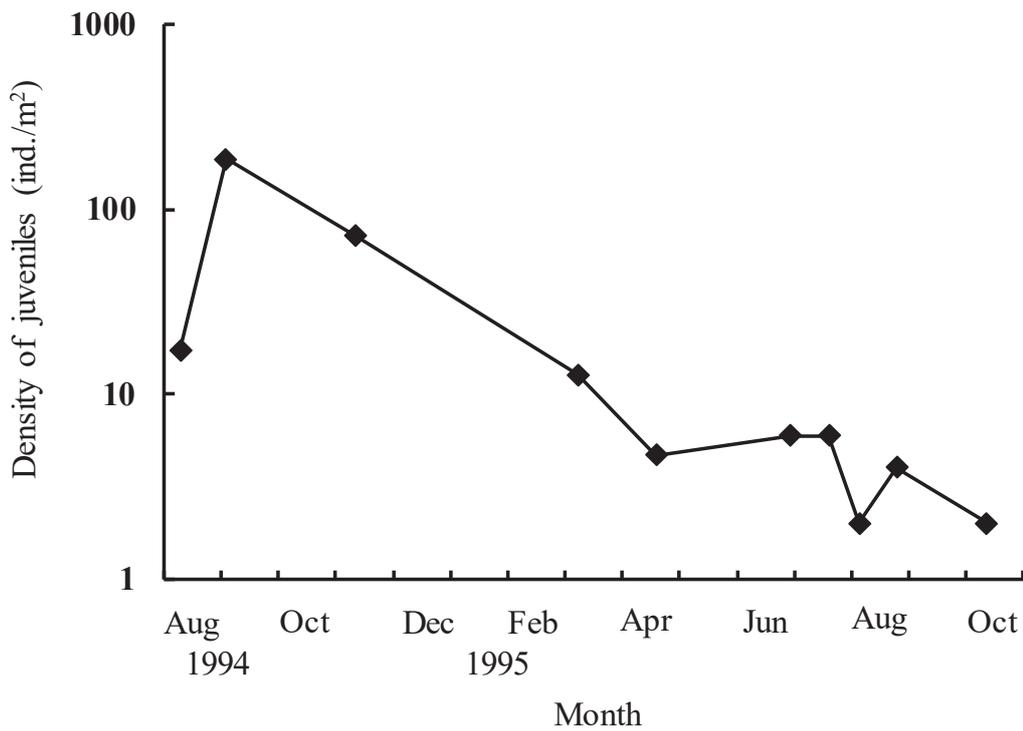


Fig. 33. Seasonal changes in the density of the 1994 juvenile Japanese top shell cohort.

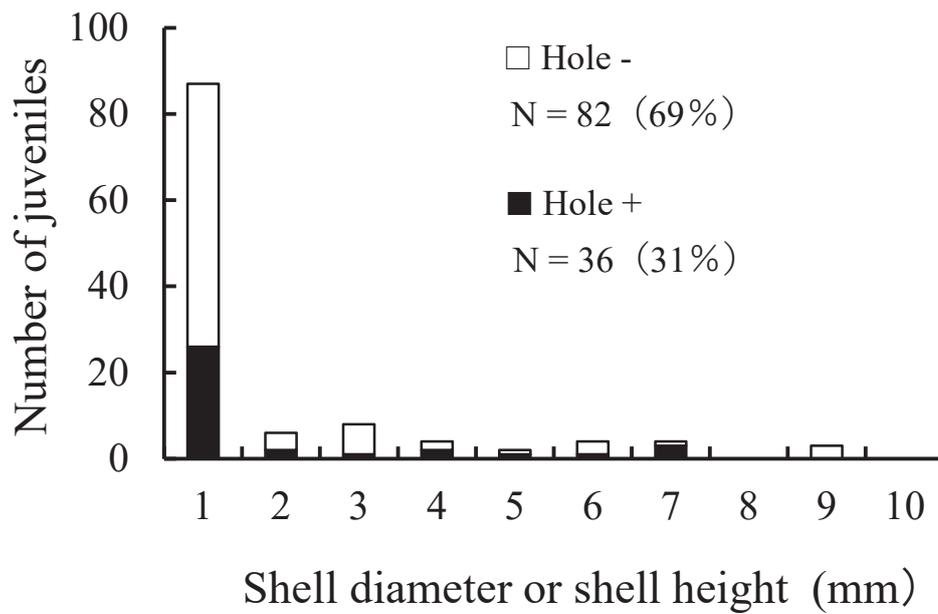


Fig. 34. Size frequency distribution of dead juvenile Japanese top shells of the 1994 cohort showing proportions of hole and no hole shells.

第三章 イワガキの人工種苗生産に関する研究

第1節 半屋外 100 kJ 大型水槽を用いた付着期幼生の大量生産

第1項 予備試験

近年のイワガキ養殖業者の増加に伴って養殖用種苗の需要が拡大しつつあることから、種苗生産の現場にはより安定的な種苗の供給が求められており、さらには出荷後の成長が良好な生産初期（6～7月採卵）の種苗が好まれる状況にある。当県の栽培センターにおけるイワガキ浮遊幼生の飼育は、従来から1 kJの小型水槽約50槽を使用して行っている（以下従来の方法と称す）。しかし、1回の幼生の収容量には限りがあることや幼生の生残が不安定であることなどから、採卵が可能な6～10月の比較的長期にわたり数回に分けて種苗生産を実施している状況にあり、種苗生産初期における大量安定生産が重要な課題となっている。

一方、過去に種苗の量産化を目的に50～100 kJ規模の大型水槽を使用して浮遊幼生を管理する方法が、バカガイ *Maetra chinensis*⁷⁵⁾ やアカガイ *Anadara broughtonii*⁷⁶⁾ で試験的に実施され、このうちアカガイでは、幼生の生残率、成長とも従来の小型水槽を使用した生産方法を上回る結果となったことが報告されている。

そこで、本項では生産初期における大量安定生産を目的に、栽培センターで遊休施設となっている半屋外の大型水槽（100 kJ）を使用してイワガキ付着期幼生の生産を試験的に試みた。さらに、用いる餌料は屋外培養により生産し、幼生飼育では日常的な底掃除・換水作業を行わない粗放的な管理方法を検討した。

材料および方法

浮遊幼生の飼育条件

幼生の飼育試験は受精翌日のD型幼生から付着期幼生までの期間とした。幼生の飼育水槽には屋外の屋根付きコンクリート製角形100 kJ水槽（10 m × 5 m × 深さ2 m、水量は餌料の添加状況により70～80 kJの範囲で変動）を使用した。飼育水には砂ろ過海水を1 μmのカートリッジ式フィルターでろ過したものを、止水管理とした。従来の

小型水槽を用いた生産と並行して行うことを想定し、作業の簡素化を図るため日常的な底掃除および換水は行わないこととした。飼育水の攪拌には4隅の底に固定したユニホースと中央に垂下したエアーストーンからの通気により行い、飼育水がゆっくり回転するように通気量を調整した。

飼育水の水質のモニタリングとして水槽中央部において水温、pHおよび原生動物の数を毎日測定した。原生動物の計数にはフックスローゼンタール血球計算盤を用い、サンプルを固定せずに個体数のみ記録した。

幼生の密度・成長のモニタリングは、水槽の4隅の4箇所、中央の2箇所の計6箇所のエア攪拌部付近から各点50 mlずつ計300 mlの飼育水を毎日採取して行った。幼生の摂餌状態を観察し、個体数を計数した後、殻長について30個体を測定した。また、日間成長率を以下の計算式により求めた。

$$\text{日間成長率 (\%)} = (L2 - L1) / L1 \cdot 100$$

L1 は前日の平均殻長、L2 は当日の平均殻長を示す。

餌料藻類の種類と培養

餌料藻類は屋外培養に適した種である珪藻類 *Chaetoceros neogracile*（以下ネオグラシーレと略す）とハプト藻類 *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate)（以下タヒチと略す）の2種の他、市販品（サンカルチャー、マリンテック社）の珪藻類 *Chaetoceros calcitrans*（以下カルシトランスと略す）の計3種を用い、給餌条件の異なる2つの試験区を設けた（Fig. 35）。タヒチの元株は国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所「水産生物遺伝資源保存事業」により入手したものを、ネオグラシーレの元株は栽培センター保有のものを用い、いずれも栽培センターで培養したものを使用した。

餌料藻類の大量培養は屋外に設置した水槽で行い、タヒチは0.5 kJ透明ポリカーボネイト水槽を、ネオグラシーレは15 kJ角形FRP水槽（3.9 m × 3.9 m × 深さ1 m）を使用した。タヒチは5日程度の培養で約 3×10^6 細胞/ml、ネオグラシーレは7日程度の培養で約 2×10^6 細胞/mlの細胞密度に増殖したものを給餌した。元種の接種方法は、タヒチでは室内の恒温室の5 lフラスコで培養したもの

を元種に使用したが、ネオグラシーレでは室内の恒温室の5 l フラスコで培養したものを一旦屋外の0.5 k l 水槽に植え継いで拡大したものを元種として使用する方法と屋外培養の15 k l 水槽(水量5~7 k l)の植え継ぎによる方法を併用した。

添加する栄養塩類には、タヒチは市販品の液体培養液(KW21, 第一製網)を、ネオグラシーレは前述の培養液の他にケイ酸栄養塩(ゲルカルチャー, 富士シリシア化学)を用い、添加量は培養水1 l 当たり液体培養液が0.3 ml, ケイ酸栄養塩が0.2 g とした。なお、0.5 k l 水槽については、培養開始から梅雨明け(7月8日)までの期間は降雨によるオーバーフローおよび塩分濃度急変の防止を目的に上面を開閉可能な塩ビ製の透明シートで覆い、天候によってシートの開閉を調整した。

1 回目試験

採卵には栽培センターの海面筏において垂下飼育している種苗生産用のイワガキ親貝を用いた。2013年6月25日に雄8個体・雌20個体から切開法で得た受精卵を0.5 k l 水槽に收容し、数時間後に浮上したトロコフォア幼生を回収して計数後、飼育水槽に收容した。

初期餌料にはカルシトランスを用い、平均殻長100 μm からタヒチを併用し、120 μm 以降にネオグラシーレに徐々に替えることとした(Fig. 35)。餌料系列は、珪藻類を単独給餌するとイワガキ幼生の大量斃死発生率が高くなること⁷⁷⁾から、ハプト藻であるタヒチと珪藻類の併用期間が長くなる設定とした。栽培センターで培養した2種については、栄養価を考慮し、⁷⁸⁾対数増殖期から定常初期までの状態のものを給餌した。

給餌量は毎朝測定した残餌量を基に、翌日に前日の餌がある程度残ることを目安として給餌量を決定した。給餌回数は給餌量に応じて調整し、1日に1~2回行った。残餌量の測定には原生動物の測定と同様にフックスローゼンタル血球計算盤を用いた。また、飼育海水中の細菌叢の安定⁷⁹⁾を目的に、飼育水に栽培センターの屋外水槽(0.5 k l)で培養した*Nannochloropsis oculata*(以下ナンノクロロプシスと略す)を $0.5\sim 1 \times 10^4$ 細胞/mlの濃度を維持するように1日1~2回飼育水に添加した。

飼育開始時の幼生の收容密度は、従来の方法(1.5~2.0個体/ml)の約半分~1/3となる0.7~0.8

個体/mlに設定し、トロコフォア幼生の飼育水槽への收容時に密度を調整した。

2 回目試験

1回目試験と同様に、2013年7月12日に雄6個体・雌10個体から切開法で得た受精卵を0.5 k l 水槽に收容し、数時間後に浮上したトロコフォア幼生を回収して計数後、飼育水槽に收容した。

初期餌料にはタヒチを用い、平均殻長120 μm 以降にネオグラシーレに徐々に替えることとした(Fig. 35)。餌料系列は、餌料コストの低減を図るために市販品であるカルシトランスを使用せず、自家培養の2種のみを使用することとし、さらに餌料培養作業の簡素化を図るために両種の併用期間を短くする設定とした。給餌量の決定、残餌量の測定方法およびナンノクロロプシスの添加量などの基本的な飼育条件は1回目試験と同様とした。

採苗試験

生産した幼生が実際に採苗できるかどうか確認することを目的に、1回目試験の付着期幼生の一部を用いて採苗試験を行った。7月16日(飼育開始16日目)に幼生約1,500万個体を0.5 k l 水槽24基に收容し、従来の方法と同様に、ホタテガイ原盤を用いた採苗器18,480枚に稚貝を付着させた。餌料は従来の方法と同様に、屋内で自家培養した*Pavlova lutheri*(以下パプロバと略す)、*Isochrysis galbana*(以下ガルバナと略す)および市販のカルシトランス(前述と同じ)を給餌した。水槽收容から10日後の7月26日に海面飼育に移行し、9月30日に採苗器における稚貝の付着数を測定した。

結果

1 回目試験

当初の計画では、試験期間中は無換水とする設定であったが、飼育水槽内で増えた原生動物の除去を目的に、飼育15日目にオープニング70 μm のネットを用いてサイフォンにより幼生を回収して水槽替え(全換水)を行った。

飼育期間中の水温および飼育15日目以降のpH(それ以前の測定値については測定機器の不具合により値が不正確であると判断された)の推移をFig.36に示す。飼育前半の飼育水温は22~23°C台で推移したが、梅雨明けとなった飼育13日目(7月8日)に1°C以上上昇し、その後は24~25°C

台で推移した。飼育水の pH は、水槽換えを行う直前の飼育 15 日目は 7.8 であったが、水槽換え後は 8.2 に上昇し、その後は再び低下した。

浮遊幼生の密度およびその密度から推定した生残率（3 日移動平均値）の推移を Fig. 37 に示す。飼育 1 日目の D 型幼生の密度は 0.81 個/ml であり、当初の設定密度の範囲内であった。その後、浮遊幼生の密度はほぼ安定して 0.7~0.8 個/ml 付近を推移したが、飼育 10 日目以降は緩やかに減少し、飼育後半には 0.5~0.6 個/ml 付近を推移した。幼生の生残率は飼育 9 日目までは 90% 以上の高い値を維持したが、飼育 10 日目以降は緩やかに減少傾向となり、飼育 14 日目には 80% 前後、試験終了直前には 70% 付近まで低下した。

浮遊幼生の平均殻長および日間成長率（3 日移動平均値）の推移を Fig. 38 に示す。飼育前半の幼生の成長は緩慢で、日間成長率は 3~4% 付近を推移したが、飼育 13 日目以降は成長が良好となり、日間成長率は 8~15% を推移した。

飼育水中を浮遊する原生動物の出現密度の推移を Fig. 39 に示す。飼育 2 日目までは飼育水中に原生動物が確認されなかったが、飼育 3 日目以降に急激にその密度が増加し、飼育 5 日目には約 1×10^4 個体/ml と最高値を示した。その後、密度は低下し、 $10^2 \sim 10^3$ 個体/ml のオーダーで推移した。水槽替え後の 2 日間は原生動物がほとんど出現しなかったものの、水槽替え後 3 日目（飼育 18 日目）以降に再びその密度が増加し、 $10^2 \sim 10^3$ 個体/ml のオーダーで推移した。

飼育水槽中の餌料藻類の密度（残餌、給餌およびその合計値）を Fig. 40 に示す。残餌密度は給餌前の実測値、給餌密度は給餌した餌料の総細胞数から計算された値である。飼育 1 日目からカルシトランスの給餌を開始したが、飼育 3 日目に残餌量が給餌量以上となったため、飼育 3, 4 日目の給餌を中止した。その後、飼育 5 日目以降は逆に残餌量が減少傾向となったため給餌を再開し、飼育 13 日目（平均殻長 136 μm ）まで継続した。飼育 6 日目（平均殻長 93 μm ）からはタヒチの給餌を開始し、飼育 18 日目（平均殻長 234 μm ）まで継続した。飼育 12 日目（平均殻長 118 μm ）からはネオグラシーレの給餌を開始し、試験終了まで継続した。なお、水槽替えに伴って残餌量が増加傾向となったため、飼育 17 日目は給餌を一時的に中止した。試験期間中の各餌料の総給餌量は、カルシトランス、タヒチ、ネオグラシーレが各々 65 l、

3.2 kl、7.4 kl で、総給餌細胞数は、カルシトランス、タヒチ、ネオグラシーレが各々 3×10^{12} 細胞、 8×10^{12} 細胞、 1.1×10^{13} 細胞だった。飼育 11 日目を以降の餌料の給餌密度は、従来の方法における給餌密度より高く、その値は水槽換え直後（飼育 15 日目）に最大 4.6×10^4 細胞/ml となり、従来の方法の同サイズにおける給餌密度の約 3 倍であった。なお、ナンノクロプシスの総添加量は 354 l であった。

飼育 19 日目から眼点を有する幼生が確認され、飼育 21 日目にその出現率が 34% となり採苗適期となったため飼育試験を終了した。飼育水の 50% をサイフォンで回収して幼生の計測・計数を行ったところ、試験最終日における殻長（平均 \pm 標準偏差）は $320 \pm 33 \mu\text{m}$ で、総個体数および D 型幼生から付着期幼生（採苗適期）までの生残率は、それぞれ約 3,500 万個、63.1% と推定された。

2 回目試験

試験開始時における D 型幼生の収容密度は、1 回目試験と同様の 0.7~0.8 個体/ml 程度に設定する予定であった。しかし、採卵に使用した雌貝の生殖巣の状態が悪かったことから、卵質に問題がある場合の幼生の初期減耗の可能性を懸念し、トロコフォア幼生を前述の設定密度より多く飼育水槽に収容し、D 型幼生の状態を確認後に飼育密度を調整することとした。また、1 回目試験と同様に飼育水槽内で増えた原生動物の除去を目的に飼育 7 日目に水槽替え（全換水）を行った。

飼育期間中の水温および pH の推移を Fig. 36 に示す。飼育水温は 24~26°C 台で推移した。pH は水槽替えを行った飼育 7 日目までは 8.3 から 7.8 付近まで緩やかに低下したが、水槽替え後は 8 前後の値を安定して推移した。

浮遊幼生の密度および密度から推定した生残率（3 日移動平均値）の推移を Fig. 37 に示す。飼育 1 日目の D 型幼生の密度は 2.2 個/ml であり、従来の方法における飼育密度（1.5~2.0 個/ml）よりやや高い値であった。試験開始時に懸念していた卵質不良による D 型幼生の減耗はみられず、その後の生残状況も良好に推移したことから、幼生密度の再調整は行わず、高い密度のまま飼育を行うこととした。その後、浮遊幼生の密度は飼育日数の経過とともに緩やかに減少し、飼育後半には 1.2~1.4 個/ml 付近を推移した。幼生の生残率は飼育 4 日目付近までは 95% 以上の高い値を推移したが、

その後は緩やかに減少傾向となり、飼育後半には70%前後となった。

浮遊幼生の平均殻長および日間成長率（3日移動平均値）の推移を Fig. 38 に示す。幼生の成長は1回目試験と異なり飼育開始直後から順調に推移し、飼育4日目までの日間成長率は、1回目試験の2~3倍となる9~10%付近を推移した。その後、飼育5日目以降は成長がさらに良好となり、日間成長率は11~14%を推移した。

飼育水中を浮遊する原生動物の出現密度の推移を Fig. 39 に示す。1回目試験と同様に飼育2日目までは飼育水中に原生動物が確認されなかったが、飼育3日目以降にその密度が増加し、水槽替えを行った飼育7日目まで $1.2\sim 1.6 \times 10^3$ 個体/ml の密度で推移した。その後、1回目試験と同様に水槽替え後の2日間は原生動物が出現しなかったが、水槽替えから4日目（飼育11日目）以降に再びその密度が増加して、 10^2 個体/ml のオーダーで推移した。1回目試験と比較すると、原生動物の出現密度は全体的に低い値で推移した。

飼育水槽中の餌料藻類の密度（残餌、給餌およびその合計値）を Fig. 40 に示す。飼育1日目からタヒチの給餌を開始し、飼育9日目（平均殻長 183 μm ）まで継続した。飼育2日目の残餌量は多かったが、飼育3日目以降は残餌量が減少した。飼育6日目（平均殻長 124 μm ）からはネオグラシーレの給餌を開始し、試験終了まで継続した。なお、1回目試験と同様に水槽替えに伴い残餌量が増加傾向となったため、飼育10日目は給餌を一時的に中止した。試験期間中の各餌料の総給餌量は、タヒチが 4.5 kl、ネオグラシーレが 7.4 kl で、総給餌細胞数は、タヒチが 1.0×10^{13} 細胞、ネオグラシーレが 1.1×10^{13} 細胞だった。餌料の給餌密度は全体的に従来の方法より高く推移し、その値は水槽換え前日（飼育6日目）に最大 4.4×10^4 細胞/ml となり、従来の方法の同サイズにおける給餌密度の約 5.5 倍であった。なお、ナンノクロロプシスの総添加量は 552 l であった。

飼育13日目から眼点を有する幼生が確認され、飼育14日目にその出現率が 55% となり採苗適期となったため飼育試験を終了した。飼育水の 25% をサイフォンで回収して幼生の計測・計数を行ったところ、試験最終日における殻長（平均 \pm 標準偏差）は $314 \pm 58 \mu\text{m}$ で、総個体数および D 型幼生から付着期幼生（採苗適期）までの生残率は、それぞれ約 1 億 2,200 万個、79.5% と推定された。

D 型幼生から付着期幼生（採苗適期）までの幼生の生残率は、1回目試験、2回目試験ともに従来の方法における値（36%：過去2年間の平均値）を上回る結果となった。

採苗試験

浮遊幼生の採苗器への付着は良好に推移した。9月30日の採苗器における稚貝の付着数を測定した結果、出荷の基準を満たしている採苗器（採苗器1枚当たり稚貝10個以上付着）の割合は 95% となり、従来の栽培センターの割合（66%：過去2年間の平均値）よりも高い値であった。

考察

二枚貝類の種苗生産における浮遊幼生の飼育において、今回の試験のような大型の水槽を使用する事例は少なく、全国的には純粋培養した餌料を用いて屋内で 0.5~1 kl の小型水槽を使用して集約的に管理する方法が一般的である。当県の栽培センターにおいても、純粋培養したパプロバ、ガルバナを主体とした餌料を用いて、屋内で 1 kl の透明ポリカーボネイト水槽を使用して幼生の飼育を行っている。小型水槽を使用するメリットとしては、換水や底掃除の日常の管理が容易であることその他、水槽内の幼生の状態が観察し易いことにある。イワガキの幼生の飼育では、しばしば活力の低下によるとみられる幼生の沈降現象が起きることから、幼生の生残状況の把握には幼生のサンプリングと合わせて水槽内の幼生の分布状態を観察することが重要となる。一方、大型水槽を使用する場合は、水槽内の幼生分布の観察ができないため、幼生の正確な生残状況の把握が困難となる事態が想定される。

しかし、本試験において幼生のサンプリングから推定した生残率は、試験期間中を通して大きく変動することが無く、試験終了日直近の生残率と試験終了日にサイフォンにより回収して推定した生残率の差は、2回の試験とも 1 割前後に留まった。したがって、本試験では水槽内における幼生の分布がほぼ均一に維持されたため、幼生のサンプリングから推定した生残率はほぼ実態を反映していたものと考えられ、幼生の状態が試験期間を通じて良好に保たれたことを示すものであるといえる。

従来の方法においてイワガキ幼生の適水温とされる 25~26°Cで飼育した場合、飼育 15~17 日目で眼点が出現するが、これと本試験における眼点の出現日を比較すると、1 回目試験 (19 日目) はやや遅く、2 回目試験 (13 日目) はやや早い結果となった。1 回目試験がやや遅れた理由としては、飼育前半において飼育水温が適水温より 2~3°C 低く推移し、成長率の低い状態が継続したことが影響したものと考えられる。

以上のことから、本試験における幼生の生残・成長は、試験期間を通じて良好に推移し、従来の方法と同等もしくはそれ以上の結果を示したものと考えられる。特に、日常的な底掃除や換水を行わない粗放的な管理方法で飼育し、さらに従来の方法よりもやや高い飼育密度で試験を行った 2 回目試験において、約 80% の高い生残率が得られたことは予想外であり、得られた付着期幼生数は、当栽培センターの生産の 1 シーズン分にも匹敵する数であった。これらの結果は、アカガイの飼育例⁷⁶⁾と同様に、イワガキにおいても大型水槽を用いた種苗生産が有効である可能性を示すものであり、餌料の大量培養が可能となる本種の生産期初期 (6~7 月) において適した生産方法である可能性が示唆された。

本試験で用いた自家培養 2 種 (タヒチ、ネオグラシーレ) は、屋外培養に適した種であり、6~7 月における屋外の大型水槽を用いた大量培養はほぼ順調に推移した。このうち飼育前半に用いたタヒチは、高温耐性に優れ、大量培養における好適な培養条件も明らかにされている。⁸⁰⁾このため夏季の屋外培養では非常に利用価値の高い種とされている⁸¹⁾が、一方で近種のガルバナと比較して EPA や DHA の含有量が少なく栄養価が劣ることや、細胞径がやや大きいことからふ化直後の二枚貝幼生の餌料としては不相当とされている。⁸²⁾また、イワガキと近種のマガキ *Crassostrea gigas* 幼生の飼育試験において、タヒチを給餌した幼生の成長が二枚貝の初期餌料として一般的に用いられているカルシトランスを給餌したものより劣ったとの報告もある。⁸³⁾このため、1 回目試験ではカルシトランスを初期餌料としたが、タヒチを初期餌料として単独で用いた 2 回目試験においても、幼生の生残・成長は 1 回目試験と同様で良好であった。イワガキ幼生の脂肪酸をはじめとする栄養要求が不明であり、イワガキの幼生にタヒチを初期餌料として用いた事例報告も無いことから、栄

養成分の面から検証することは困難であるが、タヒチがイワガキ幼生の初期餌料として十分に使用できる可能性があることが示唆された。また、飼育後半に用いたネオグラシーレは、広い範囲の温度条件で安定して培養できる種であり、⁸²⁾多くの二枚貝の餌料として使用され、高い餌料価値が認められている。^{78,81)}本試験においても給餌量の増加する飼育後半に安定的な培養が可能であり、単独給餌となった飼育終盤においても幼生の成長・生残は問題無く順調に推移した。したがって、イワガキ幼生の飼育後半の餌料としての本種の利用価値は非常に高いと考えられる。

一方、本試験において幼生の成長・生残に問題は無かった反面、飼育期間中の餌料の給餌量は従来の方法と比較してかなり多い結果となった。この原因は飼育水中の原生動物の影響によるものであり、1 回目試験、2 回目試験とも飼育 3 日目以降に原生動物が増加し、飼育開始時に添加したナンクロロプシスやタヒチに原生動物の混入を確認していることから、主に餌料由来の原生動物が飼育水槽内で急速に増殖したのと考えられる。原生動物の多くは幼生と餌料を競合することからその給餌ロスの影響は大きく、さらに、幼生の摂餌量を確保するために給餌密度を高くした場合、擬糞の排出量の増加⁸⁴⁾による問題も懸念される。水槽内で増殖した原生動物の除去には今回実施した水槽換えが最も効果的な方法であるが、水槽換え後 3~4 日で原生動物が再び増殖し、その効果は 3 日程度しか期待できないと考えられる。したがって、水槽換えを行う場合は、飼育水の水質や餌料の給餌効率などの各条件を総合的に判断し、最も効果的なタイミングで実施すべきであると考えられる。なお、本試験において水槽換えを行う直前の pH は、1 回目試験 (飼育 15 日目)、2 回目試験 (飼育 7 日目) とともに 7.8 付近であり、この値は魚類の稚仔魚の長期止水飼育いわゆる「ほっとけ飼育」⁸⁵⁻⁸⁷⁾における換水開始時の値 7.1~7.6 よりも高い値であった。魚類と二枚貝では求められる水質が異なると考えられるものの、水質悪化の簡易的な指標である pH の値に顕著な異常がみられず、幼生の状態も良好であったことから、水槽換え直前の飼育水の水質に問題は無かったものと推察される。従来の方法では予防的に毎日換水を行っているため pH の値が問題になることは無いが、長期間無換水で飼育する場合は、水質のモニタリングにおいて水質悪化の指標である pH やア

ンモニア態窒素の値になんらかの基準を設けておくことが必要となると考えられる。

事例数は限られるものの、大型水槽を使用して粗放的にイワガキ幼生を管理する方法は、6～7月の本種の種苗生産初期における付着期幼生の大量生産に適した方法であると考えられる。そして、本生産方法は日常の幼生管理に必要な時間は僅かであり、用いる餌料も屋外培養により比較的容易

に生産できることから、従来の小型水槽を使用した生産方法と並行して行うことが可能である。したがって、本生産方法は従来の方法の補完的な生産技術として有効であり、幼生のバックアップ体制の構築として本生産方法を導入することで、種苗生産期の初期における大量安定生産が期待できるものと推察される。

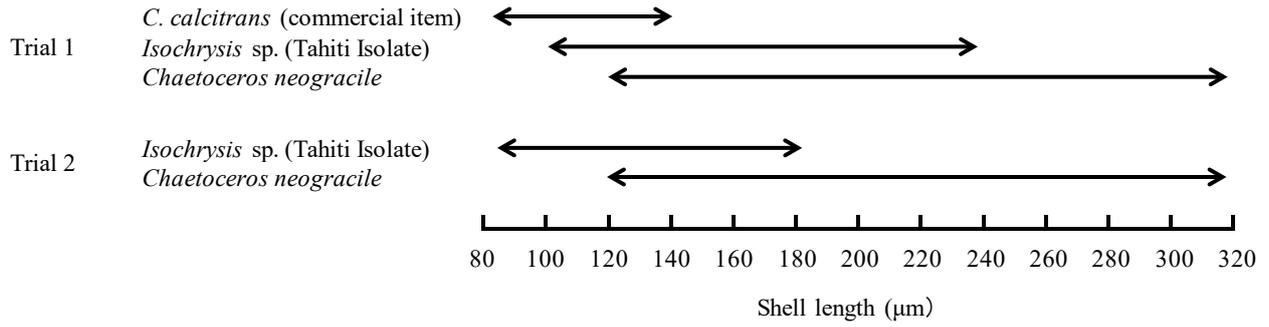


Fig. 35. Feeding regimen for Iwagaki oyster larva under two experimental trials.

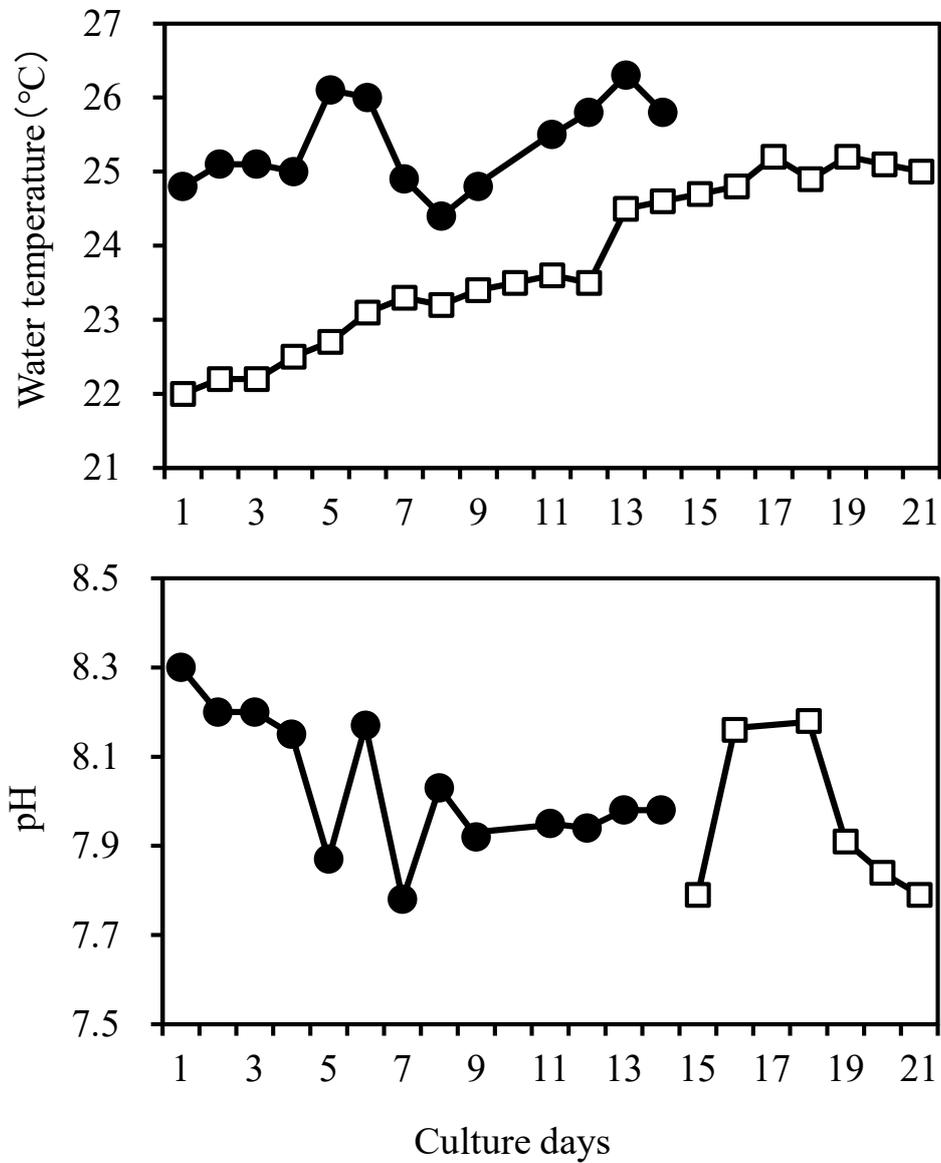


Fig. 36. Daily water temperature and pH of the rearing tanks (□ = Trial 1; ● = Trial 2) during seed production of Iwagaki oysters.

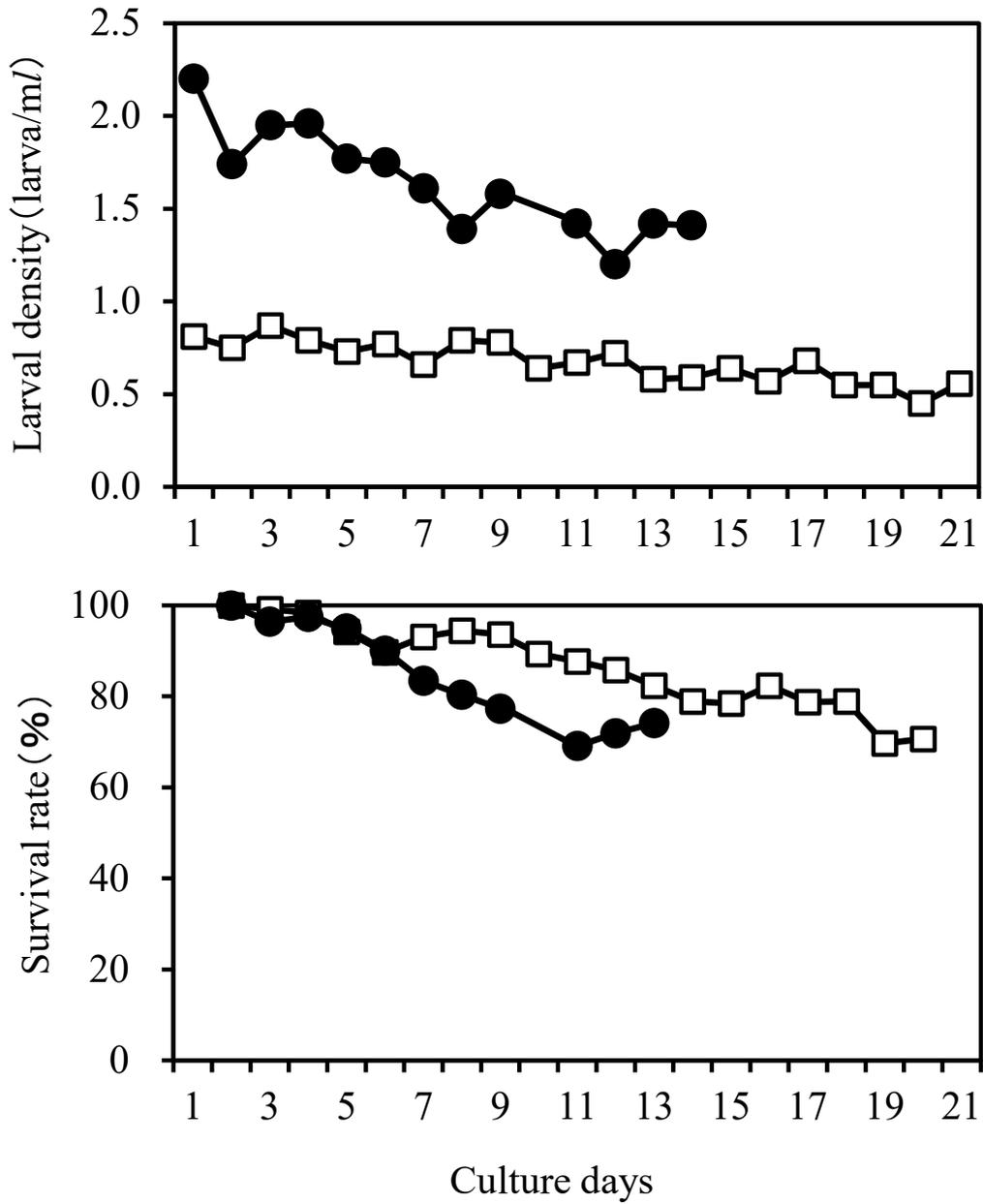


Fig. 37. Daily larval density and survival rate (3-day moving average) of the Iwagaki oyster larva reared in tanks (□ = Trial 1; ● = Trial 2).

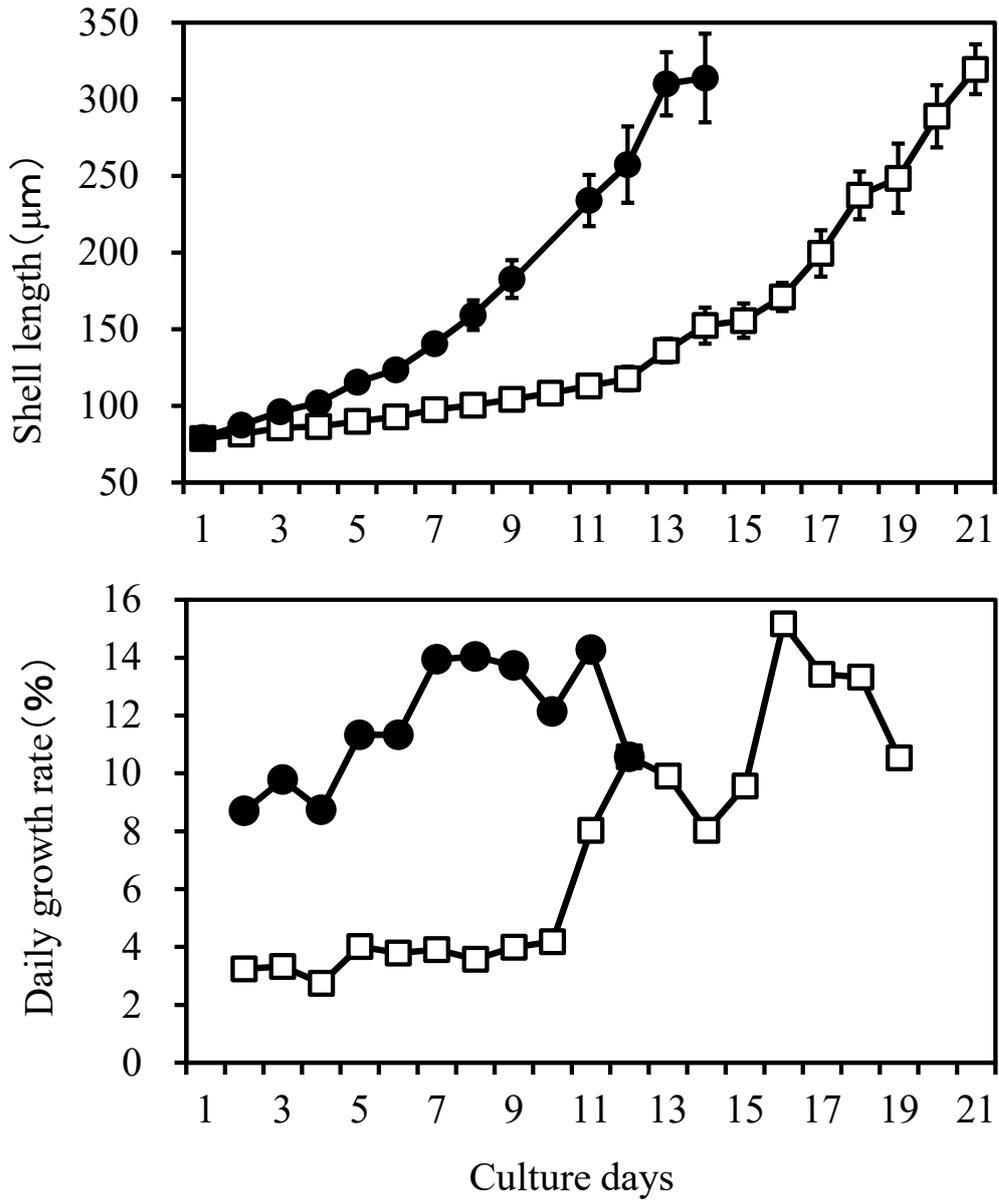


Fig. 38. Daily mean shell length and growth rate (3-day moving average) of the Iwagaki oyster larva reared in tanks (□ = Trial 1; ● = Trial 2). Vertical bars on shell length values indicate SD.

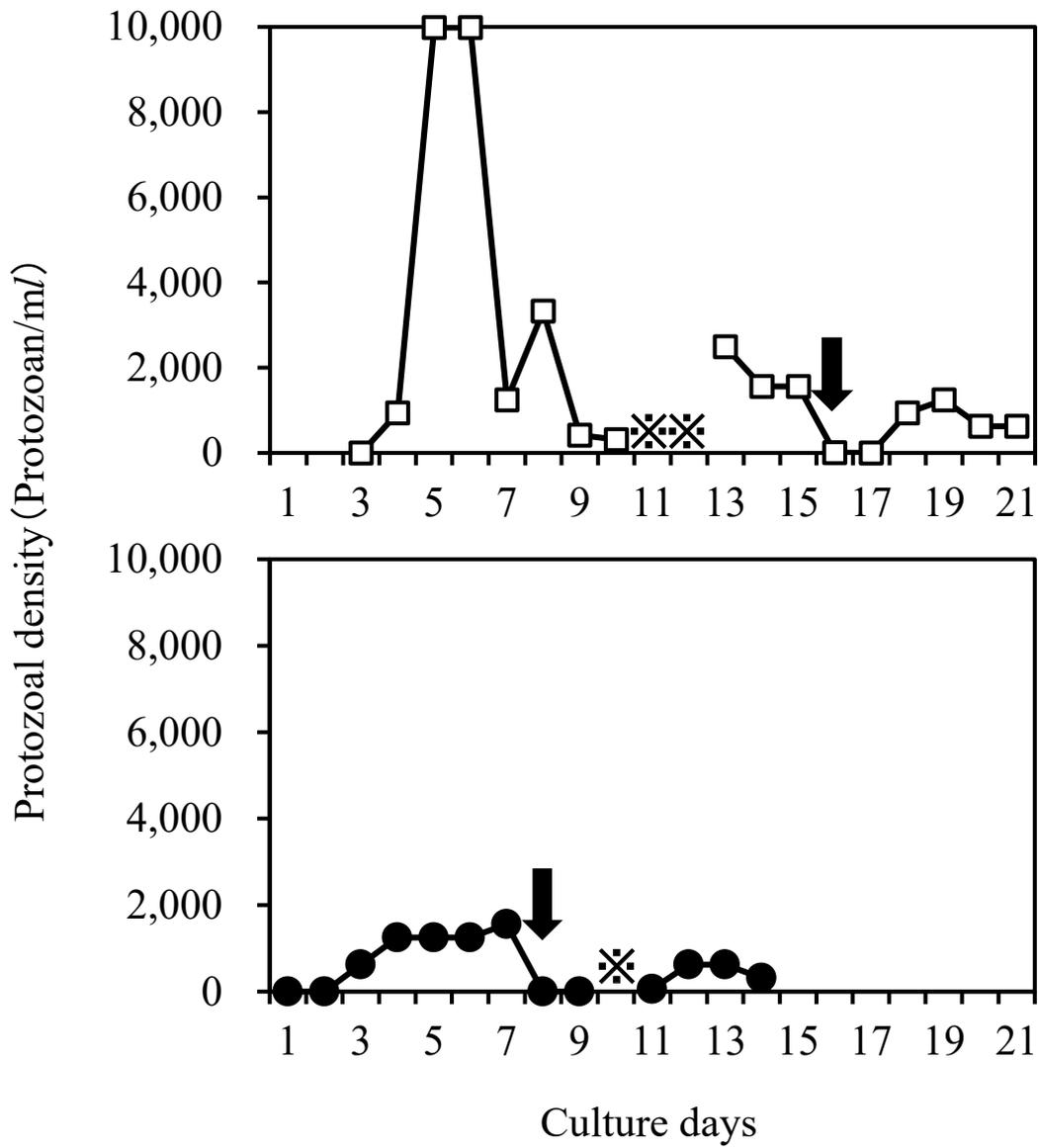


Fig. 39. Daily protozoan density in the tanks (□ = Trial 1; ● = Trial 2).

* = No data; ↓ = Replacement of water tank.

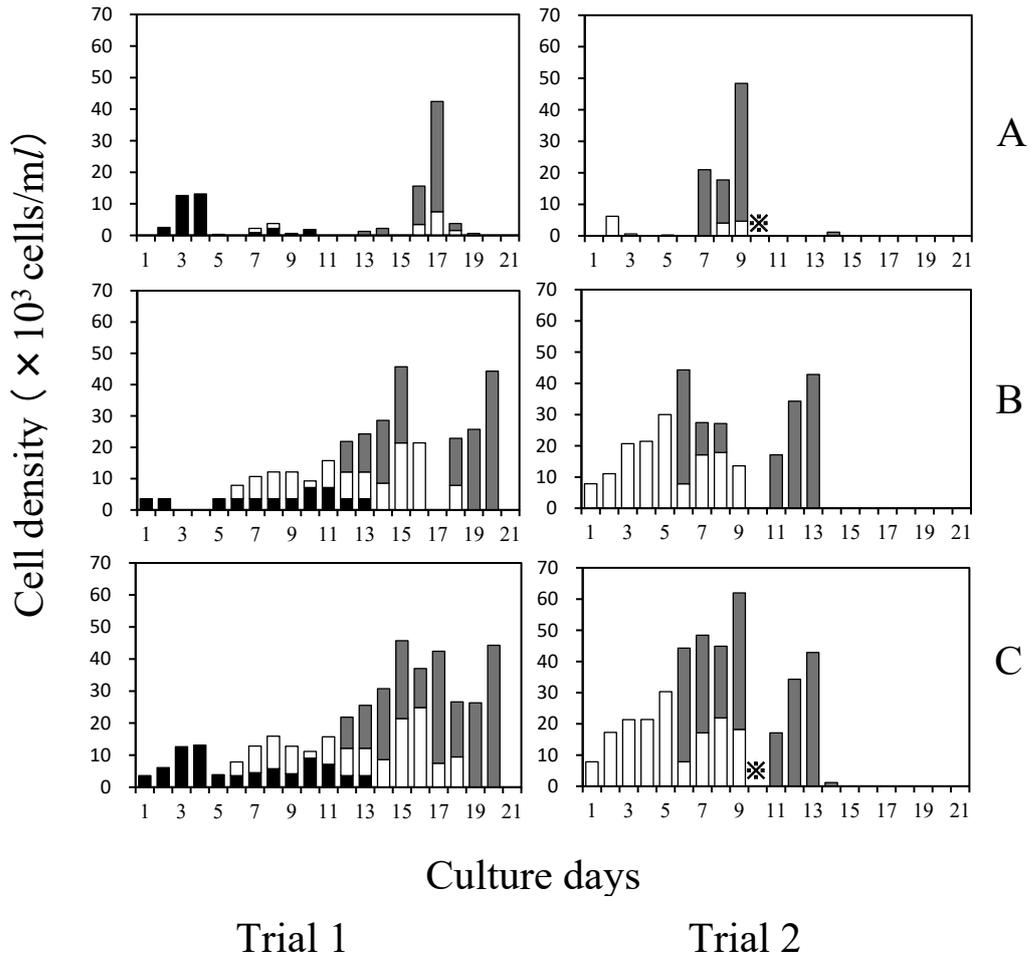


Fig. 40. Daily cell density of the microalgal diets [■ = *Chaetoceros calcitrans*; □ = *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate); ■ = *Chaetoceros neogracile*] in the rearing tanks.

A. Residual microalgal density before feeding; B. Supplemented microalgal density; C. Total microalgal density available (A+B); * = No data.

第2項 飼育条件の検討

前項の予備試験において大型水槽（100 k l ）を使用したイワガキ浮遊幼生の大量生産が可能であることが示され、幼生のバックアップ体制の構築による生産の安定化が期待できることが判明した。本項では大型水槽を使用した生産方法の有効性・再現性を確認するとともに、より安定的で効率的な手法とするために、初期餌料の種類や給餌期間および幼生の収容密度などの基本的な飼育条件を変えた試験区を設定し、それらの違いが幼生の成長や生残に与える影響について検討した。また近年、栽培センターに対して生産要望が高まりつつあるシングルシード種苗の生産を目的に、試験で生産した付着期幼生を用いて、同様の大型水槽を使用した粗放的な採苗試験を行い、その生産の可能性についても併せて検討した。

材料および方法

浮遊幼生の飼育条件

基本的な飼育条件は前項と同様に以下の条件とした。幼生の飼育試験は受精翌日のD型幼生から付着期幼生出現までの期間とした。幼生の飼育水槽には屋外の屋根付きコンクリート製角形100 k l 水槽（10 m \times 5 m \times 深さ2 m、水量は餌料の添加により70~80 k l の範囲で変動）を用い、水槽替え用の水槽も含め5水槽（4水槽は並列配置で同一棟に、1水槽は別棟に位置する）を使用した。飼育水には砂ろ過海水を1 μ mのカートリッジ式フィルターでろ過したものを用い、止水管理とした。従来の方法と並行して行うことを想定し、作業の簡素化を図るために日常的な底掃除および換水は行わないこととした。飼育水の攪拌には4隅の底に固定したユニホースと中央に垂下したエアーストーンからの通気により行い、4隅のユニホースのエアリフト効果により飼育水が水平方向にゆっくり回転するように通気量を調整した。

飼育水の水質のモニタリングおよび幼生の密度・成長のモニタリングについても前項と同様とし、水温、pH、原生動物の数および浮遊幼生の数と殻長を毎日測定した。この他、前項と同様に飼育水槽直上における日射量について適宜光量子束密度の測定を行った。

餌料藻類の種類と培養

基本的な餌料藻類の培養条件も前項と同様の条件としたが、屋外的大量培養では使用する培養水槽は異なった。タヒチでは、前項では0.5 k l 透明ポリカーボネイト水槽を用いたが、餌料の使用量に応じてより大型の1 k l の同水槽に変更した。ネオグラシーレでは、前項では15 k l 角形FRP水槽を用いたが、増殖効率の向上を目的に水深の浅い6 k l 角形FRP水槽（1 m \times 10 m \times 深さ0.6 m）に変更した。各水槽の培養開始時の水量は、降雨時の増水によるオーバーフローを防止するために、天候に応じて前者は800 l~1 k l 、後者は5~6 k l の範囲で調整した。

餌料藻類の元株は、タヒチ、ネオグラシーレ（高温耐性株）とも国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所「水産生物遺伝資源保存事業」により入手したものをを用いた。拡大培養における元種の接種方法は、タヒチでは、室内の恒温室の5 lフラスコで培養したものを使用方法と屋外培養の1 k l 水槽の植え継ぎによる方法を併用した。ネオグラシーレでは、室内の恒温室の5 lフラスコで培養したものを一旦屋外の0.5 k l 水槽に植え継いで拡大したものを元種として使用方法と屋外培養の6 k l 水槽の植え継ぎによる方法を併用して行った。培養開始時の元種の接種密度は、両種とも約 $2\sim 3 \times 10^5$ 細胞/mlの範囲を目安とし、タヒチは約5日の培養で約 3×10^6 細胞/ml、ネオグラシーレは約6日の培養で約 2×10^6 細胞/mlの細胞密度に増殖したものを給餌した。

また、前項のタヒチにおいて強光阻害と考えられる植え継ぎ時の培養不調がみられたことから、その防止対策⁸⁸⁾としてタヒチの培養では接種後約1日間は木製の板を用いて日射の状況に応じて水槽上面の約1/2~4/5を覆って遮光し、光量を調整した。さらにタヒチでは、大規模な降雨が予測される時には事前に農業用の安価な透明マルチビニールシートで水槽上面を覆い、オーバーフローを防止した。

餌料に関する試験区の設定

前項において屋外で大量培養が可能なタヒチが本種の初期餌料として使用できる可能性が示唆されたことから、その再現性を確認するために、前項で用いた餌料系列A（Fig.41）の評価を主体とする比較試験を行った。後期餌料であるネオグラシーレの給餌期間は、前項と同じ条件（平均殻長120 μ mで給餌開始）とし、初期餌料の種類・給餌

期間を変えた他の3つの餌料系列 (B, C, D) との比較を行った (Fig. 41)。

A は初期餌料にタヒチを用いる餌料系列であり、前項において良好な結果が得られた系列である。A では餌料培養作業の簡素化を図るためにタヒチとネオグラシーレとの併用期間を短く設定し、タヒチの給餌終了は、イワガキ幼生飼育におけるネオグラシーレの給餌開始サイズ $120 \mu\text{m}$ ⁸⁹⁾と幼生の殻長組成との関係から、全ての幼生が $120 \mu\text{m}$ 以上となり、ネオグラシーレの摂餌が可能となる平均殻長 $180 \mu\text{m}$ 前後とした。

B は二枚貝の種苗生産において初期餌料として一般的に用いられ、市販品として容易に入手が可能なカルシトランスを用いた餌料系列であり、A と同様の理由により、同餌料の給餌終了は平均殻長 $180 \mu\text{m}$ 付近とした。

C は餌料のサイズ^{78,82)}に留意し、細胞径が小さいとされるカルシトランスを初期餌料として用い、細胞径がやや大きいとされるタヒチを $100 \mu\text{m}$ 付近から給餌する餌料系列であり、A と同様に前項において良好な結果が得られた系列である。さらにC では、二枚貝の幼生の餌料系列において、幼生の成長や生残率の向上を目的に栄養価の異なる複数種の餌料藻類を混合して給餌することが推奨されていることから⁷⁸⁾、ハプト藻のタヒチと珪藻のネオグラシーレとの併用期間を餌料系列A より3日程度長く設定し、タヒチの給餌終了を平均殻長 $240 \mu\text{m}$ 付近とした。

D は初期餌料にタヒチを用い、平均殻長 $240 \mu\text{m}$ 付近まで給餌する餌料系列であり、ネオグラシーレとの併給期間をC と同様の理由で長めに設定したものである。

生産試験は、餌料系列A と他の餌料系列B~D の一つとを同時に比較する方法で計3回 (試験1~3) 実施した。

試験1

試験1では、餌料系列A, B (試験1-A, 試験1-B) を用いて、タヒチの初期餌料としての有効性についてカルシトランスとの比較を試みた。採卵には前項と同様に、栽培センターの海面筏において垂下飼育している種苗生産用の親貝を用いた。2014年6月25日に、雄10個体・雌19個体から切開法で得た精子と卵子を受精後、受精卵を各々0.5 k/l 水槽に収容した。数時間後に浮上したトロコフォア幼生をサイフォンにより別の0.5 k/l 水槽

に移送し、エアレーションで攪拌しながら各々50 ml 中の幼生数を計数後、各飼育水槽に収容した。

幼生の適切な収容密度を検討することを目的として、試験1-A, 1-B の飼育開始時のD型幼生の収容密度は、従来の方法 (約1.5 個体/ml) より低い1 個体/ml に設定し、従来の方法より高い2 個体/ml に設定した試験2 の同じ餌料系列A の生産結果と比較することとした。これらの幼生の密度の調整は、トロコフォア幼生の飼育水槽への収容時に行った。

飼育棟の内側に位置する水槽を使用した前項の1回目試験において、20°C 台前半の低い水温が継続したことにより幼生の成長が停滞して飼育期間が長くなったことから、飼育期間の短縮化を図るために、試験1-A, 1-B では日射量が多く飼育水温が高い (内側より1°C程度上昇) 飼育棟の外側に位置する水槽を選択した。しかし後に、高い光量が原因と考えられる浮遊幼生が飼育水槽の底面に大量に沈む現象 (大量沈下) が生じたことから、それ以降は外側に位置する水槽の側面に遮光幕を設置して日射量の軽減を図った。

栽培センターで培養した餌料2種については、栄養価を考慮し、⁷⁸⁾対数増殖期から定常初期までの状態のものを給餌した。給餌量の決定にあたっては、幼生および原生動物の摂餌量と光合成による水槽内での餌料の増加分とのバランスを総合的に判断し、幼生が飢餓状態とならないことや逆に給餌過多により水槽内で餌料が必要以上に増えすぎないことに留意した。給餌量は、前日の給餌量と当日の残餌量の関係を基に、原生動物の密度や水槽換えからの日数などを勘案し、翌日に餌料がある程度残ることを目安に決定した。残餌量の目安は、幼生の成長段階に応じて栽培センターの従来の方法の平均的な給餌密度 $0.5 \sim 2 \times 10^4$ 細胞/ml の範囲内とした。給餌回数は給餌量に応じて調整し、1日に1~2回行った。残餌量の測定には原生動物の測定と同様にフックスローゼンタール血球計算盤を用いた。飼育海水中の細菌叢の安定を目的に、⁷⁹⁾飼育水に栽培センターで培養したナンノクロロプシスを $0.5 \sim 1 \times 10^4$ 細胞/ml の濃度を維持するように1日1~2回添加した。

試験2

試験2では、予備試験において異なる飼育条件で使用した餌料系列A, C (試験2-A, 試験2-C) について、同時に同じ産卵群を用いてその再現性

と有効性について比較を行った。2014年7月3日に雄10個体・雌40個体から得た受精卵を使用し、給餌およびナンノクロロプシスの添加などの基本的な飼育条件は試験1と同様とした。前述の試験1との比較のために、飼育開始時のD型幼生の収容密度は、従来の方法より高い2個体/mlに設定し、試験1と同様にトロコフォア幼生の飼育水槽への収容時に密度を調整した。飼育水槽には試験2-A、2-Cともに飼育棟の内側に位置する水槽を選択した。

試験3

試験3では、餌料系列A、D（試験3-A、試験3-D）を用いてタヒチの適切な給餌期間について検討した。

2014年7月18日に雄10個体・雌22個体から得た受精卵を使用し、給餌およびナンノクロロプシスの添加などの基本的な飼育条件は試験1、2と同様とした。飼育開始時のD型幼生の収容密度は、試験2と同様に従来の方法（約1.5個体/ml）より高い2個体/mlに設定し、トロコフォア幼生の飼育水槽への収容時に密度を調整した。飼育水槽は飼育棟の内側に位置する1水槽を選択し、7日間飼育を行った後に2水槽に分槽して比較試験を開始した。

付着期幼生の生産目標および最終日における生残率の推定

各試験で生産目標とする付着期幼生数については、従来の生産方法のバックアップという観点から、栽培センターの従来の方法における採苗1回分に最低限必要な付着期幼生数、約3,000万個体（0.6個体/ml×1kl×50水槽）を目標値として設定した。試験2、3では、飼育最終日に飼育水槽内の6地点の上層、中層、下層の計18箇所において、各50mlずつ飼育水をサイフォンで採水し、得られた浮遊幼生の平均密度から飼育最終日における浮遊幼生の生残率を推定した。

シングルシード採苗試験

幼生の飼育試験で使用した100kl水槽において、シングルシードの生産が可能かどうか確認することを目的に、試験3で生産した付着期幼生の一部を用いて採苗試験を行った。試験3-Dで生産した付着期幼生のうち約5,000万個体を、8月3日（日齢16日）に100kl水槽1槽（採苗水槽、水量70kl）

に収容した。付着基材には園芸肥料用カキ殻粉末を用い、1mmメッシュのネットでふるいにかけた後、水洗して微塵を除去したもの（乾燥重量約25kg）を幼生の収容前日に採苗水槽底面に均一になるように散布した。8月7日までは止水管理とし、自家培養したネオグラシーレを 2×10^4 細胞/ml以上の濃度を維持するように、1日2~3回水中ポンプで直接給餌した。付着基材に十分な数の幼生の付着が確認された8月8日からは、採苗水槽の水位を下げ（水量30kl）、隣接する100kl水槽（水量70kl）を経由してサイフォンにより連続的に給水する流水管理に変更した。採苗水槽の換水率は1日1~2回転程度とし、ネオグラシーレの濃度が $2 \sim 5 \times 10^4$ 細胞/mlを維持するように、給水元の100kl水槽に添加するネオグラシーレの量を適宜調整した。採苗開始から18日後の8月20日に、採苗水槽の排水口に1.5mmメッシュのネットを設置して排水し、付着基材に付着した稚貝を全て回収した。回収した稚貝が均一になるように十分に攪拌した後に、5gをサンプルとして採取し、実体顕微鏡下で生きた稚貝を計数して重量法により総稚貝数を求めるとともに、100個体の稚貝の殻高を測定した。また、4隅のユニホースのエアリフト通気により、採苗水槽内で発生した水流により付着基材が移動したため、露出した水槽底面にも稚貝が付着した。これらの稚貝については、金属製のヘラを用いて全て剥離して前者と同様に計数し、殻の損傷の少ない個体の殻高を測定した。

結果

屋外における餌料培養

1kl水槽を用いたタヒチの培養（欠測のある6月26日開始のものを除く）における細胞密度（3日移動平均値）の推移を、培養時期別（6月中旬、6月下旬、7月上旬、7月中下旬）にFig.42に示す。試験期間中、タヒチはほぼ安定した培養を示し、全25回の培養のうち22回（88%）は目標とする細胞密度 3×10^6 細胞/mlに達した。 3×10^6 細胞/mlに到達しなかった3回（培養開始日：6月23、24日、7月11日）では、 $2.4 \sim 2.6 \times 10^6$ 細胞/mlまで増殖した後に枯死した。培養結果は培養時期でやや異なり、6月の培養では、培養開始5~6日目まで $5 \sim 6 \times 10^6$ 細胞/mlまで増殖する回次がみられたのに対して、7月の培養では、 3×10^6 細胞/mlを大きく超えて増殖する回次はみられなかった。

6 kL 水槽を用いたネオグラシーレの培養（欠測のある7月1, 12, 13, 18, 27日, 8月4日開始のものを除く）における細胞密度（3日移動平均値）の推移を, 培養時期別（6月下旬～7月上旬, 7月下旬～8月上旬）に Fig. 43 に示す. 試験期間中, ネオグラシーレは安定した培養を示し, 全16回の培養のうち15回（94%）は目標とする細胞密度 2×10^6 細胞/ml に達した. 2×10^6 細胞/ml に到達しなかった1回（培養開始日：7月12日）では, 1.4×10^6 細胞/ml まで増殖した後に枯死した.

試験 1

飼育期間中の飼育水温, 浮遊幼生の密度, その密度から推定した生残率（3日移動平均値）および浮遊幼生の平均殻長の推移を Fig. 44-a, b, c, d に示す.

飼育水温は, 試験 1-A は $22 \sim 23^\circ\text{C}$ 台, 試験 1-B は $21 \sim 23^\circ\text{C}$ 台で推移した.

飼育1日目の浮遊幼生の密度は, 試験 1-A は 1.0 個体/ml で, 計画した設定密度の範囲内であったが, 試験 1-B は 1.2 個体/ml と, 計画した設定密度よりやや高い値であった. その後, 試験 1-A については, 飼育3日目までは浮遊幼生の密度は安定して $0.9 \sim 1.0$ 個体/ml 付近を推移したが, 飼育4日目に 0.71 個体/ml まで減少し, 翌飼育5日目には幼生の大量沈下によりその密度は 0.02 個体/ml まで大きく減少した. その後, 幼生の浮上がみられず, 回復する見込みが無かったことから飼育7日目に試験を中止した. 飼育4日目（飼育5日目以降は浮遊幼生のサンプル数が少なかったため未計測）の浮遊幼生の平均殻長は, $90.8 \mu\text{m}$ であった. 試験 1-B については, 飼育4日目までは浮遊幼生の密度はほぼ安定して $1.1 \sim 1.2$ 個体/ml 付近を推移したが, 飼育5日目に 0.97 個体/ml と減少傾向となり, 試験 1-A と同様の幼生の大量沈下が予想されたため, 同日にオープニング $50 \mu\text{m}$ のネットを用いてサイフォンにより幼生を全て回収して水槽替えを行った. 水槽替え後は, 飼育6～10日目までは浮遊幼生の密度はほぼ安定して $0.7 \sim 0.8$ 個体/ml 付近を推移したが, 飼育11日目に幼生の大量沈下により 0.14 個体/ml まで急激に減少した. その後, 幼生の浮上がみられず, 回復する見込みが無かったことから, 飼育12日目に試験を中止した. 飼育11日目（飼育12日目は浮遊幼生のサンプル数が少なかったため未計測）の浮遊幼生の平均殻長は, $104.3 \mu\text{m}$ であった.

飼育開始から大量沈下があった日までの飼育水中を浮遊する原生動物の出現密度および幼生の日間成長率の推移を Fig. 44-e, f に示す. 試験 1-A では, 飼育2日目から原生動物が確認され, その密度は, 飼育3～4日目は $0.2 \sim 2.5 \times 10^3$ 個体/ml であったが, 浮遊幼生の大量沈下があった飼育5日目には急激に増加して 2.5×10^4 個体/ml となり, 全試験中最も高い値を示した. またこのとき, 飼育水には原生動物の他に大型の珪藻類が 6×10^2 細胞/ml の密度で観察された. 試験 1-A の飼育4日目までの日間成長率は, $5 \sim 9\%$ 付近を推移した. 試験 1-B では, 飼育3日目から原生動物が確認され, 水槽替えを行った5日目まで $1.6 \sim 9.4 \times 10^4$ 個体/ml の範囲で推移した. 水槽替え後3日目（飼育8日目）から再び原生動物の密度が増加し, 飼育10日目まで $3.1 \sim 5 \times 10^3$ 個体/ml の範囲で推移したが, 幼生の大量沈下があった飼育11日目に急激に増加して 1.1×10^5 個体/ml となった. 試験 1-B の幼生の成長は全体的に緩慢であり, 日間成長率は $1 \sim 6\%$ 付近を推移した.

飼育開始から大量沈下があった日までの飼育水槽中のナンノクロロプシスの密度の推移を Fig. 44-g に示す. 試験 1-A, 1-B ともに, 飼育開始から晴天続きであったことや幼生を収容した水槽がいずれも外側に位置していたことで当初の想定以上に日射量が多く, 飼育1日目に添加したナンノクロロプシスが飼育2日目以降に水槽内で急激に自然増殖し, 飼育水が緑色となった. 飼育5日目にはナンノクロロプシスの細胞密度は, 試験 1-A が 3.4×10^4 細胞/ml, 試験 1-B が 3.9×10^4 細胞/ml と高くなった. この期間の晴天時の飼育水槽直上付近における光量子束密度の平均値は, 試験 1-A が $468 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 試験 1-B が $442 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であり, これは内側に位置する水槽の約4倍の値であった.

飼育開始から大量沈下が起こった日までの飼育水槽中の餌料藻類の密度（残餌, 給餌およびその合計値）を Fig. 45 に示す. 残餌密度は給餌前の実測値, 給餌密度は給餌した餌料の総細胞数から計算された値である. 試験 1-A では飼育1日目からタヒチの給餌を開始し, 飼育3日目には水槽内でタヒチが増殖し, 残餌量が予定していた給餌量以上となったため給餌を中止した. 試験 1-B では, 飼育1日目からカルシトランスの給餌を開始し, 飼育2日目以降は水槽内でカルシトランスが大量に増殖し, 残餌量が予定していた給餌量以上とな

ったため飼育2~4日目の給餌を中止した。飼育7日目（水槽替え後2日目）も残餌量が増加したため給餌を中止した。

試験2

飼育期間中の飼育水温、浮遊幼生の密度、その密度から推定した生残率（3日移動平均値）および浮遊幼生の平均殻長の推移を Fig. 44-a, b, c, d に示す。

飼育水温は、試験期間を通じて試験2-A、試験2-Cともに22~24℃台であったが、飼育4~7日目については、試験2-Aが試験2-Cより0.3~0.7℃高く推移した。

飼育当初の浮遊幼生の密度は、試験2-A、試験2-Cともに2.4個体/ml（試験2-Cは1, 2日目の平均値）と、計画した設定密度よりやや高い値であった。その後、試験2-Aでは、浮遊幼生の密度が飼育日数の経過とともに減少し、飼育6日目には1.6個体/mlとなり、それ以降、飼育10日目まで1.5~1.6個体/ml付近を安定して推移した。飼育11日目には再び減少して1.1個体/mlとなり、それ以降、飼育後半にかけて0.9~1.1個体/ml付近を推移した。試験2-Cでは、飼育5日目に一時的に1.1個体/mlと低い値を示したものの、飼育10日目までの減少傾向は試験2-Aとほぼ同様であった。その後は、試験2-Aより高い1.2~1.7個体/ml付近を安定して推移した。

浮遊幼生の生残率は、飼育10日目までは試験2-A、試験2-Cともに100~60%の範囲でほぼ同様の傾向を示したが、飼育11日目以降は、試験2-Cが60%前半の高い値を維持したのに対し、試験2-Aは40%台と試験2-Cより低い値を推移した。

浮遊幼生の平均殻長は、飼育2日目までは試験2-A、試験2-Cともほぼ同様であったが、飼育3日目以降は、試験2-Aの方が試験2-Cよりやや高い値で推移し、飼育8日目に両者の差は約26μmと最大となった。その後は、両者の平均殻長の差は徐々に縮まり、飼育17日目にはほぼ同じ値となった。

飼育水中を浮遊する原生動物の出現密度および幼生の日間成長率の推移を Fig. 44-e, f に示す。試験2-Aでは、飼育4日目から原生動物が確認され、その出現密度は0.6~4.7×10³個体/mlの範囲で推移した。原生動物の除去を目的とする水槽替えを、飼育期間中に2回（飼育5, 11日目）実施した。試験2-Aの日間成長率は、原生動物が少ない水槽

替え直後は高く（11~12%）、原生動物が多い水槽替え直前は低い（1~5%）傾向があった。試験2-Bでも試験2-Aと同様に飼育4日目から原生動物が確認され、その出現密度は1.9~2.5×10³個体/mlの範囲で推移した。原生動物の除去を目的とする水槽替えを、試験2-Aと同様に2回実施したが、いずれも試験2-Aより1日遅れ（飼育6, 12日目）で行った。試験2-Cの日間成長率は、試験2-Aと同様に原生動物が少ない飼育開始時や水槽替え直後は高く（11~14%）、原生動物が多い水槽替え直前は低い（3~4%）傾向があった。

飼育水槽中のナンノクロロプシスの密度の推移を Fig. 44-g に示す。試験2-Aのナンノクロロプシスの細胞密度は、0.9~8.4×10³細胞/mlの範囲であった。試験2-Cのナンノクロロプシスの細胞密度は、飼育3日目に1.6×10⁴細胞/mlと高かった以外は1.6~7.2×10³細胞/mlの範囲であった。

飼育水槽中の餌料藻類の密度（残餌、給餌およびその合計値）を Fig. 46 に示す。試験2-Aでは、飼育1日目からタヒチの給餌を開始し、飼育11日目（平均殻長170μm）まで継続した。飼育7日目（平均殻長126μm）からはネオグラシーレの給餌を開始し、試験終了まで継続した。水槽替え後の飼育12~14日目は、飼育水槽内でネオグラシーレが大量に増殖し残餌量が増加したため、給餌を一時的に中止した。試験2-Aの試験期間中の各餌料の総給餌量は、タヒチが3.3kl、ネオグラシーレが3.4klで、総給餌細胞数は、タヒチが9.7×10¹²細胞、ネオグラシーレが9.4×10¹²細胞であった。餌料の給餌密度は全体的に従来の方法より高く推移し、その値は水槽換え前日（飼育10日目）に最大4.6×10⁴細胞/mlとなり、従来の方法の幼生の同サイズにおける給餌密度の約3.8倍であった。餌料生産に要した経費は、4,200円（培養液に用いる栄養塩・殺菌剤などの購入費が主体で実際の給餌量の1.5倍量で計算、飼育水槽のエアレーションおよび元種の生産・管理に係る電気代については従来の生産における余剰分の使用が可能であるため計算から除外、培養に用いた海水および洗浄用水道水については算出が困難なため計上せず）であった。

試験2-Cでは、飼育1日目からカルシトランスの給餌を開始したが、飼育2日目に残餌量が予定していた給餌量以上となったため、飼育2,3日目の給餌を中止した。カルシトランスの給餌は、飼育8日目（平均殻長117μm）まで継続した。飼育

4日目(平均殻長91 μm)からはタヒチの給餌を開始し、飼育15日目(平均殻長238 μm)まで継続した。飼育9日目(平均殻長132 μm)からはネオグラシーレの給餌を開始し、試験終了まで継続した。試験2-Cの試験期間中の各餌料の総給餌量は、カルシトランス、タヒチ、ネオグラシーレが各々50 l, 4.7 kl, 3.6 klで、総給餌細胞数は、カルシトランス、タヒチ、ネオグラシーレが各々 2.5×10^{12} 細胞、 1.3×10^{13} 細胞、 8.8×10^{12} 細胞であった。餌料の給餌密度は全体的に従来の方法より高く推移し、その値は飼育15日目に最大4.2万細胞/mlとなり、従来の方法の幼生の同サイズにおける給餌密度の約2.3倍であった。餌料生産に要した経費は、4,900円(計算方法は試験2-Aと同様)であり、カルシトランスの購入費用は108,000円であった。

試験2-Aでは、飼育16日目から眼点を有する付着直前の幼生が確認され、飼育17日目にその出現率が11%となり、採苗適期となったため飼育試験を終了した。最終日における殻長(平均 \pm 標準偏差)は、 $278 \pm 29 \mu\text{m}$ (Fig. 44-d)で、サイフォンを用いた層別の幼生の採集結果(Fig. 48)から推定した総個体数およびD型幼生からの生残率は、それぞれ約8,200万個体、47.5%と推定され、当初の目標を大きく上回る付着期幼生数が得られた。

試験2-Cでは、試験2-Aと同様に飼育16日目から眼点を有する付着直前の幼生が確認され、飼育17日目にその出現率が9%となり、採苗適期となったため飼育試験を終了した。試験最終日における殻長(平均 \pm 標準偏差)は、 $273 \pm 36 \mu\text{m}$ (Fig. 44-d)で、サイフォンを用いた層別の幼生の採集結果(Fig. 48)から推定した総個体数およびD型幼生からの生残率は、それぞれ約1億2,300万個体、73.1%と推定され、試験2-Aと同様に当初の目標を大きく上回る付着期幼生数が得られた。

飼育最終日に実施したサイフォンを用いた層別の幼生の採集では、両試験区ともに上層から下層に向けて多くなる傾向がみられた。その平均幼生密度は、試験2-Aは1.12個体/ml、試験2-Cは1.69個体/mlと推定され、いずれも同日にエアージャケット部表層付近で採集した幼生のモニタリングにおける推定値(試験2-Aは1.07個体/ml、試験2-Cは1.35個体/ml)より高い値であった(Fig. 48)。

試験3

飼育期間中の飼育水温、浮遊幼生の密度、その密度から推定した生残率(3日移動平均値)および浮遊幼生の平均殻長の推移をFig. 44-a, b, c, dに示す。

飼育水温は、試験3-Aが24~27°C台、試験3-Dが24~28°C台で推移した。

飼育1日目の浮遊幼生の密度は、2.2個体/mlで、計画した設定密度よりやや高い値であった。その後、浮遊幼生の密度は緩やかに低下し、分槽を行った飼育7日目には1.7個体/mlとなった。分槽後の飼育8日目の浮遊幼生の密度は、試験3-A、試験3-Dともに0.8個体/mlとなった。その後、試験3-Aの浮遊幼生の密度は減少傾向となり、0.5~0.6個体/ml付近を推移した。一方、試験3-Dの浮遊幼生の密度は試験3-Aと同様に減少したが、その程度はより緩やかであり、飼育後半にかけて0.7~0.8個体/ml付近を推移した。

浮遊幼生の生残率は、分槽を行った飼育7日目には86%となった。分槽後の飼育8日目以降は試験3-Aが飼育後半にかけて60%前後まで低下したのに対し、試験3-Dは飼育後半でも70%以上の高い値を維持した。

浮遊幼生の平均殻長は、分槽後5日目(飼育12日目)までは試験3-A、試験3-Dともほぼ同様であったが、分槽後6日目(飼育13日目)以降は試験3-Dの方が試験3-Aより高くなり、飼育15日目に両者の差は約55 μm と最大となった。

飼育水中を浮遊する原生動物の出現密度および幼生の日間成長率の推移をFig. 44-e, fに示す。分槽後は、試験3-Aでは分槽後3日目(飼育10日目)から、試験3-Dでは分槽後2日目(飼育9日目)から原生動物が確認され、その出現密度は両試験区とも、分槽後5日目(飼育12日目)まで約 1×10^4 個体/ml前後まで増加した後、減少傾向となった。日間成長率は、試験1, 2と同様に原生動物が少ない飼育開始直後は高く、原生動物の出現とともに低くなる傾向があった。分槽後の日間成長率は、試験3-A, 3-Dともに原生動物が少ない数日間は高い値(13~15%)を示したが、原生動物が増加傾向となった分槽後4日目(飼育11日目)以降は数%まで低下し、その後は値が日々大きく変動し、不安定となる傾向があった。

飼育水槽のナンノクロロプシスの密度の推移をFig. 44-gに示す。ナンノクロロプシスの細胞密度は、飼育3日目に 2.4×10^4 細胞/mlと一時的に高

かったが、分槽後は試験 3-A, 試験 3-D とともに $0.6 \sim 5.6 \times 10^3$ 細胞/ml の範囲であった。

飼育水槽中の餌料藻類の密度（残餌，給餌およびその合計値）を Fig. 47 に示す。飼育 1 日目からタヒチの給餌を，飼育 6 日目（平均殻長 $114 \mu\text{m}$ ）からネオグラシーレの給餌を開始した。分槽後，タヒチの給餌を試験 3-A では飼育 9 日目（平均殻長 $152 \mu\text{m}$ ）で終了したのに対し，試験 3-D では飼育 12 日目（平均殻長 $217 \mu\text{m}$ ）まで継続した。また，両試験区ともに試験開始直後の 4 日間（飼育 8～11 日目）はネオグラシーレの残餌量が増加傾向となったため，給餌を一時的に中止したが，続く 2 日間（飼育 12～13 日目）は逆に残餌量が大きく減少したため給餌量を大幅に増加し，その後は残餌量に応じて給餌量を調整した。

試験 3-A の試験期間中の各餌料の総給餌量は，タヒチが 1.1 kJ ，ネオグラシーレが 4.5 kJ で，総給餌細胞数は，タヒチが 3.3×10^{12} 細胞，ネオグラシーレが 1.2×10^{13} 細胞であった（分槽前の飼育 1～7 日目は実際の給餌量の $1/2$ として計算）。試験 3-D の試験期間中の各餌料の総給餌量は，タヒチが 1.7 kJ ，ネオグラシーレが 3.2 kJ で，総給餌細胞数は，タヒチが 5.1×10^{12} 細胞，ネオグラシーレが 8.2×10^{12} 細胞であった（試験 3-A と同様に分槽前の給餌量を補正）。餌料の給餌密度は，試験 3-A, 3-D とともに全体的に従来の方法より高く推移し，その値は飼育 13 日目に最大で約 7×10^4 細胞/ml となり，従来の方法の幼生の同サイズにおける給餌密度の約 4.7 倍であった。餌料の生産に要した経費は，試験 3-A が $4,700$ 円，試験 3-D が $3,600$ 円であった（計算方法は試験 2 と同様）。

試験 3-A では，飼育 15 日目から眼点を有する付着直前の幼生が確認され，飼育 17 日目にその出現率が 21% となり，採苗適期となったため飼育試験を終了した。試験最終日における殻長（平均 \pm 標準偏差）は， $268 \pm 49 \mu\text{m}$ (Fig. 44-d) で，サイフォンを用いた層別の幼生の採集結果 (Fig. 48) から推定した総個体数および D 型幼生からの生残率は，それぞれ約 $5,500$ 万個体，70.1% と推定され，当初の目標を上回る付着期幼生数が得られた。

試験 3-D では，試験 3-A より 1 日早い飼育 14 日目から眼点を有する付着直前の幼生が確認され，試験 3-A より 2 日早い飼育 15 日目にその出現率が 27% となり，採苗適期となったため飼育試験を終了した。試験最終日における殻長（平均 \pm 標準偏差）は， $292 \pm 40 \mu\text{m}$ (Fig. 44-d) で，サイフ

オンを用いた層別の幼生の採集結果 (Fig. 48) から推定した総個体数および D 型幼生からの生残率は，それぞれ約 $6,000$ 万個体，77.2% と推定され，試験 3-A と同様に当初の目標を大きく上回る付着期幼生数が得られた。

飼育最終日に実施したサイフォンを用いた層別の幼生の採集では，試験 2 と同様に両試験区ともに，上層から下層に向けて多くなる傾向がみられた。その平均幼生密度は，試験 3-A は 0.75 個体/ml，試験 2-D は 0.83 個体/ml と推定され，いずれも試験 2 と同様に，同日にエア搅拌部表層付近で採集した幼生のモニタリングにおける推定値（試験 2-A は 0.58 個体/ml，試験 2-C は 0.67 個体/ml）より高い値であった (Fig. 48)。

シングルシード採苗試験

試験最終日において，底面の付着基材に付着した稚貝は約 190 万個体と推定され，試験開始時に収容した幼生数に対する採苗率は 3.8%，殻高（平均 \pm 標準偏差）は $2.4 \pm 0.65 \text{ mm}$ であった。水槽底面に直接付着した稚貝は約 73 万個体と推定され，その殻高（平均 \pm 標準偏差）は $3.9 \pm 0.98 \text{ mm}$ と付着基材に付着した稚貝より大型であった。なお，水槽壁面への稚貝の付着はほとんどみられなかった。

考察

従来の生産方法のバックアップ体制の構築を目的に実施した本試験では，使用する水槽数や試験回数に制限があることから，幼生の成長・生残に大きな影響を与えると考えられる餌料条件に絞った試験区を設定して付着期幼生の大量生産を試みた。餌料には屋外培養により比較的容易に生産が可能であるタヒチとネオグラシーレを用い，初期餌料として用いたタヒチの評価を主体に検討を行った。

タヒチの初期餌料としての有効性について検討するために実施した試験 1 では，飼育初期に発生した幼生の大量沈下により結果は得られなかった。イワガキの幼生の成長・生残に良好な影響を与える細菌叢を人為的に構築する方法として，ナンノクロロプシスの培養上清を飼育水へ添加する方法が有効であるが，その一方で添加するナンノクロロプシスの濃度が 10^5 細胞/ml と高い場合は，幼生の摂餌が妨げられることにより幼生の密度が減少

することが報告されている。⁷⁹⁾そして、イタヤガイ *Pecten albicans* を用いた試験において、ナンノクロロプシスを飼育水に 10^4 細胞/ml 以上の濃度で添加すると幼生の浮遊密度が大きく減少することから、幼生の成長・生残に好影響を及ぼす添加濃度は、 $0.5 \sim 1 \times 10^4$ 細胞/ml が適当であるとされている。⁹⁰⁾このことから、試験 1-A における幼生の大量沈下は、飼育初期に継続した高い日射量により前述の適正密度をはるかに超える $3 \sim 4 \times 10^4$ 細胞/ml の密度まで著しく増殖したナンノクロロプシスの影響を受けた可能性があると考えられる。試験 1-B については、同様にナンノクロロプシスの密度が高くなったものの、飼育 5 日目に幼生の大量沈下が起きなかった。しかし、試験 1-B の幼生の日間成長率は飼育 3 日目以降に試験 1-A と同様に著しい低下がみられたことから、この時、ナンノクロロプシスの増殖による幼生の成長阻害が生じていたものと考えられ、仮に飼育 5 日目に水槽替えを行わなかった場合は、1-A と同様に幼生の大量沈下が発生した可能性が考えられた。試験 1-B は、水槽替えによりナンノクロロプシスによる成長阻害が解消されたことにより飼育 7, 8 日目にかけて日間成長率が一時的に回復したと考えられるが、その後は日間成長率が再び低下し、飼育 11 日目に幼生が大量に沈下した。この原因については不明であるが、ナンノクロロプシスによる成長阻害の影響が残っていたことや市販のカルシトランスの単独使用による大量斃死現象⁷⁷⁾などが考えられる。以上の結果から、今後は、飼育水中におけるナンノクロロプシスの大量増殖を防止するために、特に植物プランクトンの捕食者である原生動物が少ない飼育開始時や水槽替え直後においてはナンノクロロプシスの添加量に十分留意する必要がある。飼育水槽の光量については、飼育棟の外側に位置する水槽では遮光幕を張ることで内側の水槽と同様の条件とすることが可能であり、現行の状態において飼育水槽内で餌料藻類の自然増殖がみられ、給餌量の低減に有効に機能していることから大きく変更する必要は無いものの、今後は適切な光量について検討する必要がある。

試験 2 では、前項の予備試験において使用した餌料系列 A, C について、同じ採卵群を用いて比較を試みた。その結果、両試験区で飼育前半において飼育水温に差が生じたことや、水槽内における餌料の自然増加分や原生動物による捕食分の予測が困難であるために残餌量などの摂餌条件が試

験区間で大きく異なったことから、餌料系列の差が幼生の成長・生残過程に与える影響について把握することは困難であった。しかし、両試験区とも前項と同様に従来の方法における値 (40% : 過去 3 年の平均値) を上回る生残率が得られ、目標とした付着期幼生数 3,000 万個体の生産を行うことが可能であった。

試験 3 では、タヒチの適切な給餌終了時期について検討した。試験 3-A においてタヒチの給餌を終了した飼育 9 日目以降の成長について日間成長率の推移で比較すると、飼育 12 日目以降に試験 3-A が低くなる傾向がみられ、特に飼育 14 日目および 16 日目には見かけ上マイナスの成長率となるような顕著な成長停滞がみられた。この時の成長停滞が影響し、試験 3-D より付着期幼生の出現で 1 日、採苗適期で 2 日遅くなる結果となった。一方、生残率では、試験 3-A の飼育 11 日目に密度の減少がみられ、その差が両者の最終的な生残率の差として影響したのと考えられる。試験 3-A において急激な成長率の低下がみられた飼育 14, 16 日目や幼生の密度が低下した飼育 11 日目において残餌量は十分にあったことから、これらの事象に餌料不足が影響したとは考えにくく、タヒチの給餌を早期に終了した影響が可能性の一つとして考えられた。

ここで、餌料系列に関して前項の予備試験および本試験 2, 3 の結果を総括する。初期餌料としてのタヒチの評価については、試験実施前の時点では、化学成分から見た栄養価は低く、細胞の大きさもやや大型であるためふ化直後の二枚貝幼生には給餌されないこと⁸²⁾やタヒチを給餌したマガキ幼生の成長がカルシトランスを給餌したものより劣ったとの報告⁸³⁾などから、初期餌料として用いた場合の幼生の成長・生残の良否や安定性に与える影響が懸念された。しかし、初期餌料にタヒチを単独で用いた餌料系列 A, D の飼育結果や初期餌料にカルシトランスを用いた餌料系列 C との比較から、本生産方式においてタヒチを初期餌料に用いることは可能であり、タヒチとネオグラシーレを使用する餌料系列で付着期幼生の大量生産ができることが示された。なお、市販品のカルシトランスについては、省力化のメリットが期待できる反面、購入単価が高く、原生動物の影響により従来の生産方法より給餌量が多くなる傾向にある本生産方式において使用する場合は、餌料コストの上昇を招くデメリットが考えられる。したがって、

付着期幼生のバックアップ体制の構築においては、屋外の大量培養が可能で生産コストが低いタヒチの使用が適しており、市販品のカルシトランスについては補助的な使用に留めるのが妥当であろう。また、タヒチとネオグラシーレとの適切な併給期間については、試験3の結果から、タヒチとネオグラシーレとの併給期間の長短が、幼生の成長・生残に関係した可能性が示唆された。しかし、併給期間の短い前項の2回目試験や本項の試験2-Aおよび3-Aにおいて、従来の方法を上回る生残率や同等の成長が得られていることから、幼生のバックアップ体制の構築において大きな影響を与えるものでは無いと判断される。タヒチの適切な給餌期間および給餌量については、今後、試験回数を重ねてその成長や生残に及ぼす効果を確認した上で、併給期間の長期化によるデメリット（餌料の培養・給餌作業量の増加）との兼ね合いの中で決定すべきであろう。

次に餌料条件以外の飼育条件について検討する。水槽替えについては、前項で指摘したとおり飼育水中で増殖する原生動物の除去を目的とするものであり、各条件を総合的に判断した上で、最も効果的な方法（時期、回数）を選択すべきである。従来の生産方法のバックアップ、つまり同時並行的に生産を行うことを前提とする場合は、管理作業の省力化を考慮する必要がある、原生動物の摂餌により給餌量が増加するデメリットはあるものの、極力少ない水槽替えで生産を行うことが重要である。本試験における水槽替え作業に必要な時間は約3時間（幼生の移動2時間、準備・片づけ各30分）であり、慣れれば一人でも十分に対応可能であった。本試験で行った5~7日に1回の水槽替えの頻度（1生産期間中に1~2回）であれば作業量に問題は無く、バックアップに十分な数量の付着期幼生が得られていることから、現時点では妥当な回数であったと考えられる。一方、試験2、3において原生動物の出現と残餌量および幼生の日間成長率の関係をみると、飼育開始もしくは水槽替え後3~4日目から原生動物との餌の競合が原因とみられる幼生の成長率の低下が確認されている。幼生の成長・生残を優先する場合は、原生動物の影響を極力排除するために3~4日間隔で水槽替えを行うことが最も効果的であり、飼育水中における餌料の自然増殖により給餌量を軽減できる効果も期待される。今後は、必要な幼生数や

作業量などの各条件を整理した上で、最も効果的な方法について検討すべきであると考えられる。

浮遊幼生の適切な収容密度については、当初に計画した餌料系列Aの比較（試験1-Aと試験2-A）はできなかったものの、予備試験においてD型幼生の収容密度0.8個体/mlに対して付着期幼生3,500万個体を生産したことや、本試験3においてD型幼生2.2個体/mlの飼育密度で飼育を開始し、その後に2分割してそれぞれの水槽で付着期幼生を5,000~6,000万個体生産できたことから、D型幼生の収容密度は1個体/ml程度あれば栽培センターにおける1回の採苗に必要な付着期幼生を十分確保できるものと考えられる。ただし、2個体/ml程度の従来の生産より高い収容密度でも高い生残率が得られているので、卵質に問題があった場合やその他の不測の事態の発生に備えて、概ね1~2個体/mlの範囲で収容しておけば問題ないと考えられる。そして、幼生収容後の幼生数のモニタリングについては、最終日に行ったサイフォンを用いた層別採集により推定した幼生密度とエア一攪拌部表層付近のモニタリングで推定した幼生密度が4水槽のうち3水槽で2~3割程度異なったことから、その推定方法を再検討する必要があると考えられる。最終日の飼育水槽内で観察された幼生密度の鉛直方向の偏りについては、従来の小型水槽を用いた生産において幼生の状態が良好な水槽でも付着期になると幼生が水槽の底付近に集まる傾向が認められることから、今回も同様の現象が起きていたものと推察される。したがって、飼育後半に幼生が沈んだ場合には現行のモニタリング方法では上層付近の幼生密度しか把握できず、水槽全体の幼生数を過小評価する危険性が考えられる。ただし、現行の幼生のモニタリング方法は簡便であり付着期以前の幼生密度の把握には適していると判断されるので、今後は、今回行った層別採集や柱状採水⁸¹⁾の方法も取り入れながら、大型水槽における適切なモニタリングの方法について検討すべきであると考えられる。

カキ類のシングルシードの生産については、国内では屋内において純粋培養された餌料を用いて数百~数千l規模の小型水槽を使用して集約的に行う方法が一般的であるが、^{91,92)}今回、屋外で培養した餌料を用いて大型水槽を使用して粗放的に行う方法でも十分生産できることが確認された。近年、全国的にシングルシードを由来とする殻付きブランドカキの生産が拡大し、その需要が高ま

りつつあるが、^{93,94)}本県の栽培センターにおいても、シングルシード種苗に対する県内養殖業者の要望が年々高まる傾向にある。本技術で得られる付着期幼生数には、現状ではバックアップ分以外にも十分に余剰があることから、その有効利用法として大型水槽を用いたシングルシード生産の導入について検討する余地はあるといえる。本試験では、付着基材が移動して底面が部分的に露出したために採苗ロスがみられたが、今後は適切な採苗条件や給餌条件について把握する必要がある。

本試験結果から、大型水槽を使用して粗放的にイワガキ幼生を管理する方法における餌料・換水・飼育密度などの基本的な飼育条件が明らかとなり、本生産方法は従来の方法のバックアップとして導入することが十分可能であると考えられる。

そして、従来の方法は日常的に行う飼育水の換水や底掃除の作業が全体の作業量の約7割を占める⁹⁵⁾のに対し、本生産方法は日常的な換水や底掃除は不要で省力的であり、さらに、屋外培養による低コスト餌料の大量供給により生産コストの大幅な低減も期待できる優れた生産方法であるといえる。このため、栽培センターでは2016年以降の生産において、従来の方法のバックアップとして本生産方法が取り入れられ、さらに一部の生産回次では従来の方法に替えて本生産方法が単独的に実施されている。今後は、生産回数を重ねてその安定性を十分に確認し、最適な飼育条件を把握した上で、本生産方法を本格的に導入することによりイワガキ種苗の大量安定および低コスト生産体制の構築が期待できる。

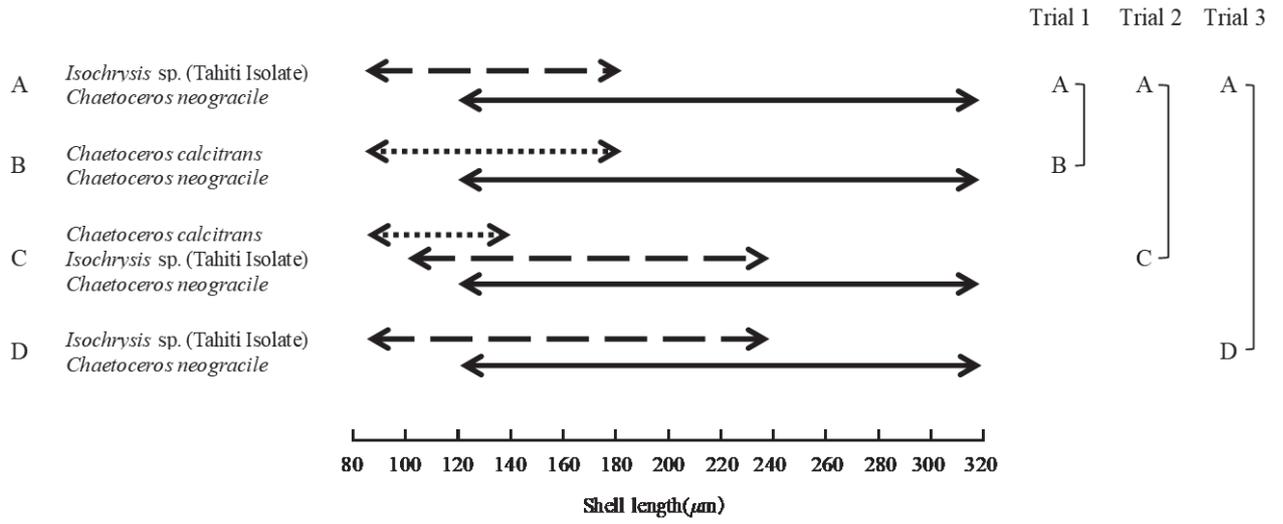


Fig. 41. Feeding regimen for the Iwagaki oyster larva in each experimental trial.

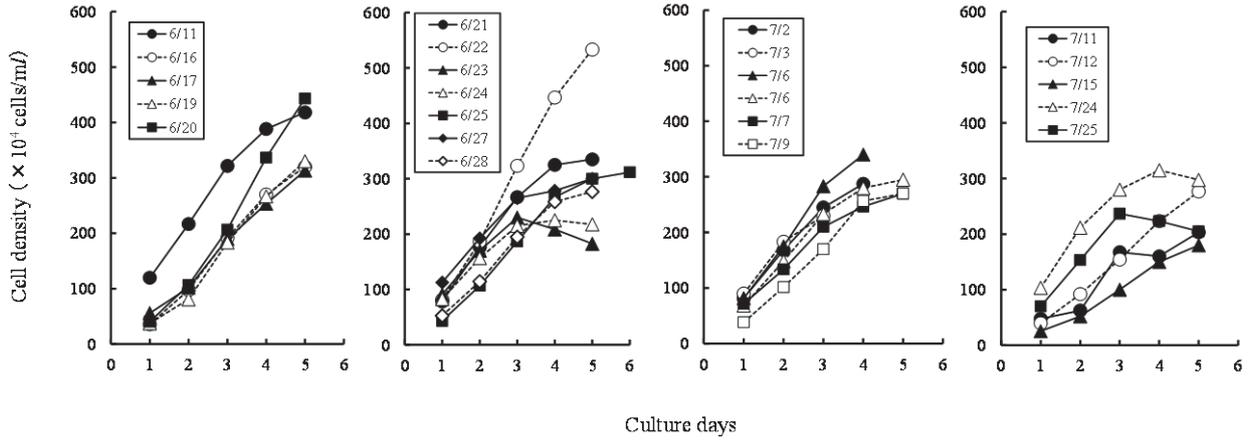


Fig. 42. Daily 3-day moving average cell density of *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate) in the 1-kl tank.

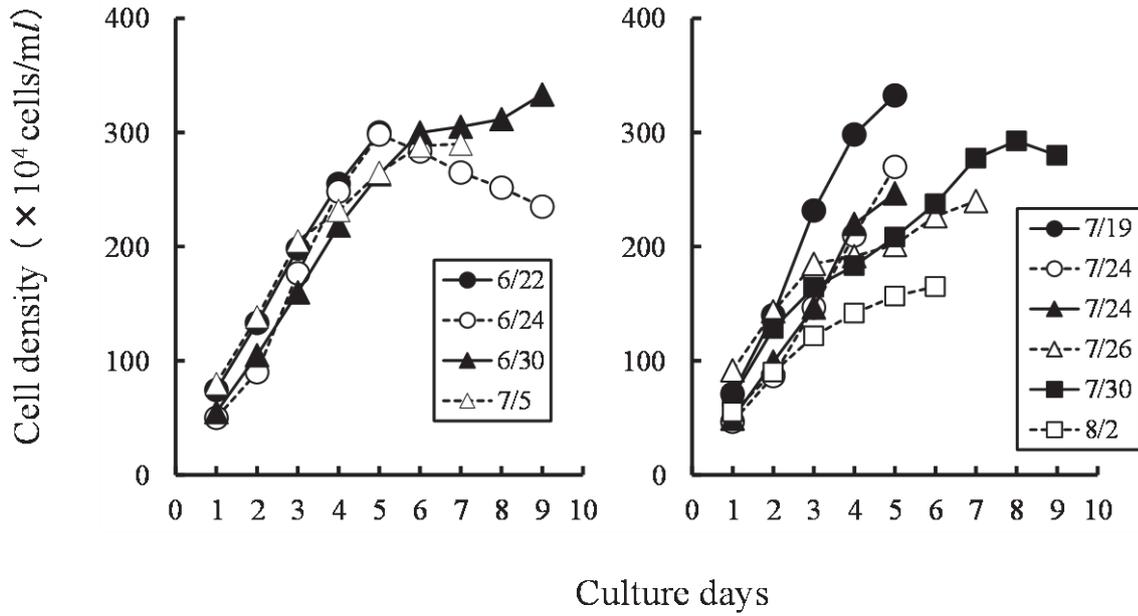


Fig. 43. Daily 3-day moving average cell density of *Chaetoceros neogracile* in the 6-kl tank.

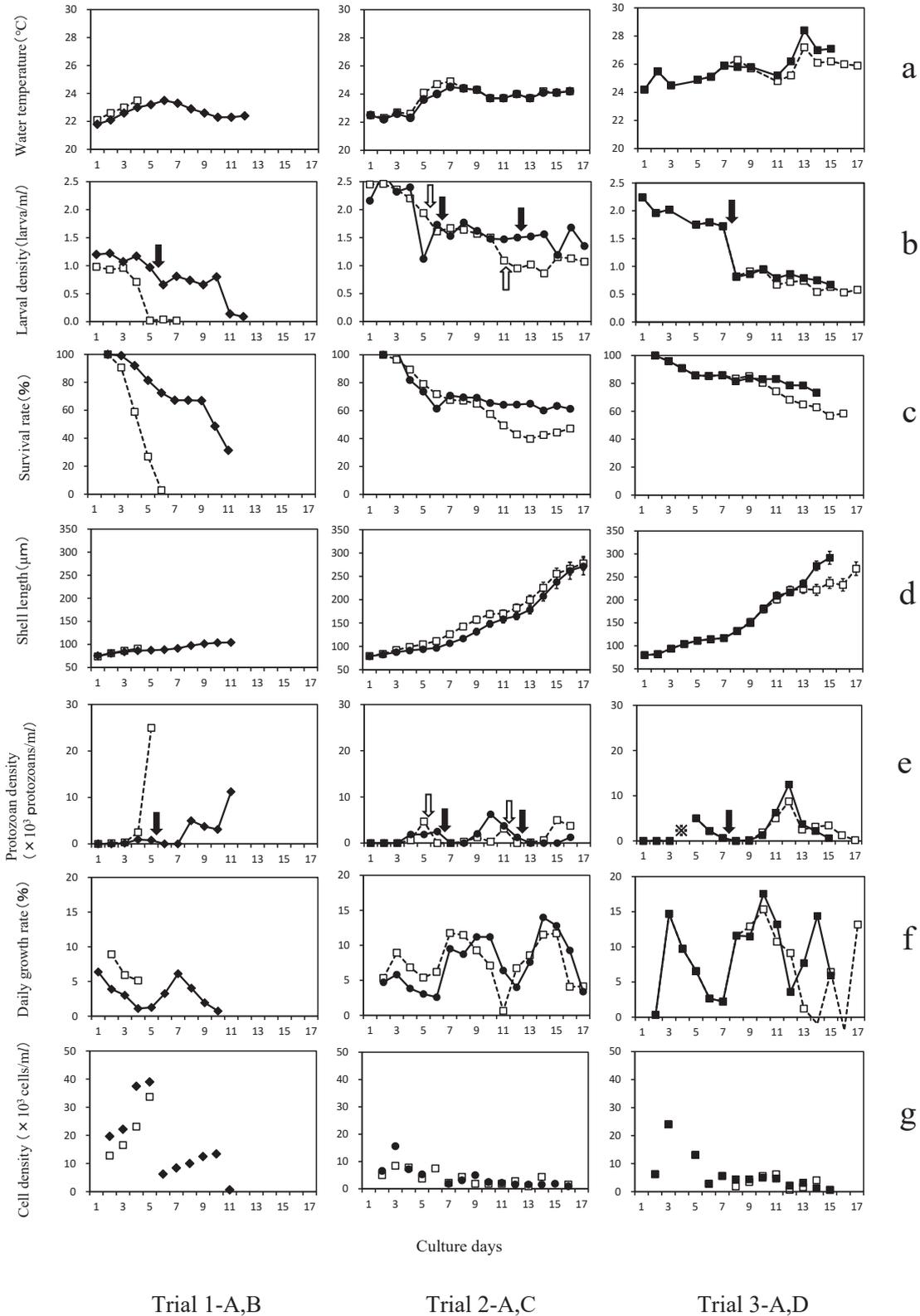


Fig. 44. Water temperature in the rearing tanks (a), larval density (b), 3-day moving average of the larval survival rate (c), mean shell length (d), protozoan density in the tanks (e), larval growth rate (f) and cell density of *Nannochloropsis oculata* in the tanks (g) during seed production of Iwagaki oyster. All parameters were measured daily.

□ = Feeding regimen A; ◆ = Feeding regimen B; ● = Feeding regimen C; ■ = Feeding regimen D. Arrows in (b) and (e) indicate replacement of water in the tanks. Vertical bars on shell length values indicate SD. * = No data.

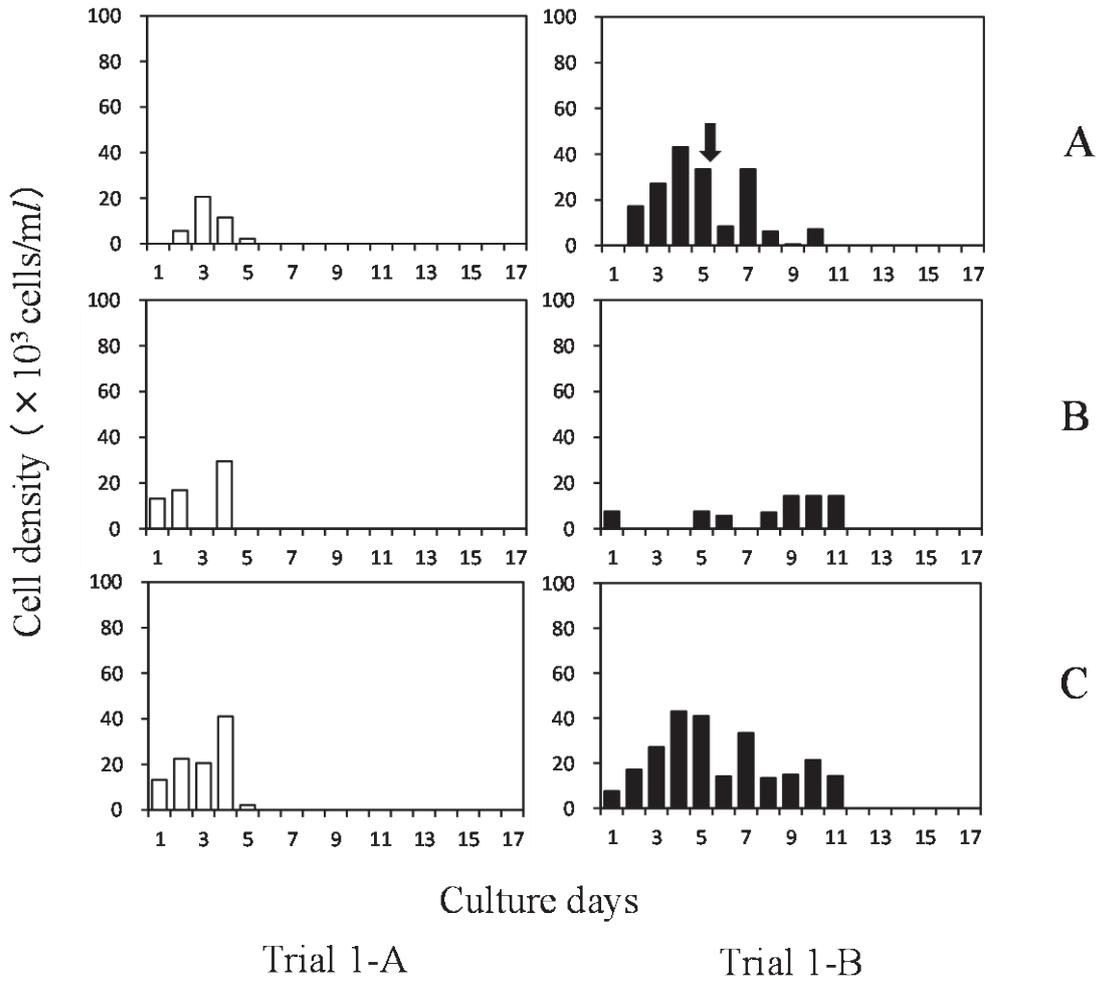


Fig. 45. Daily cell density of the microalgal diets (\square = *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate); \blacksquare = *Chaetoceros calcitrans*) in the rearing tanks of Trial 1.

A, Residual microalgal density before feeding; B, Supplemented microalgal density; C, Total microalgal density available (A+B); \downarrow = replacement of water in the tanks.

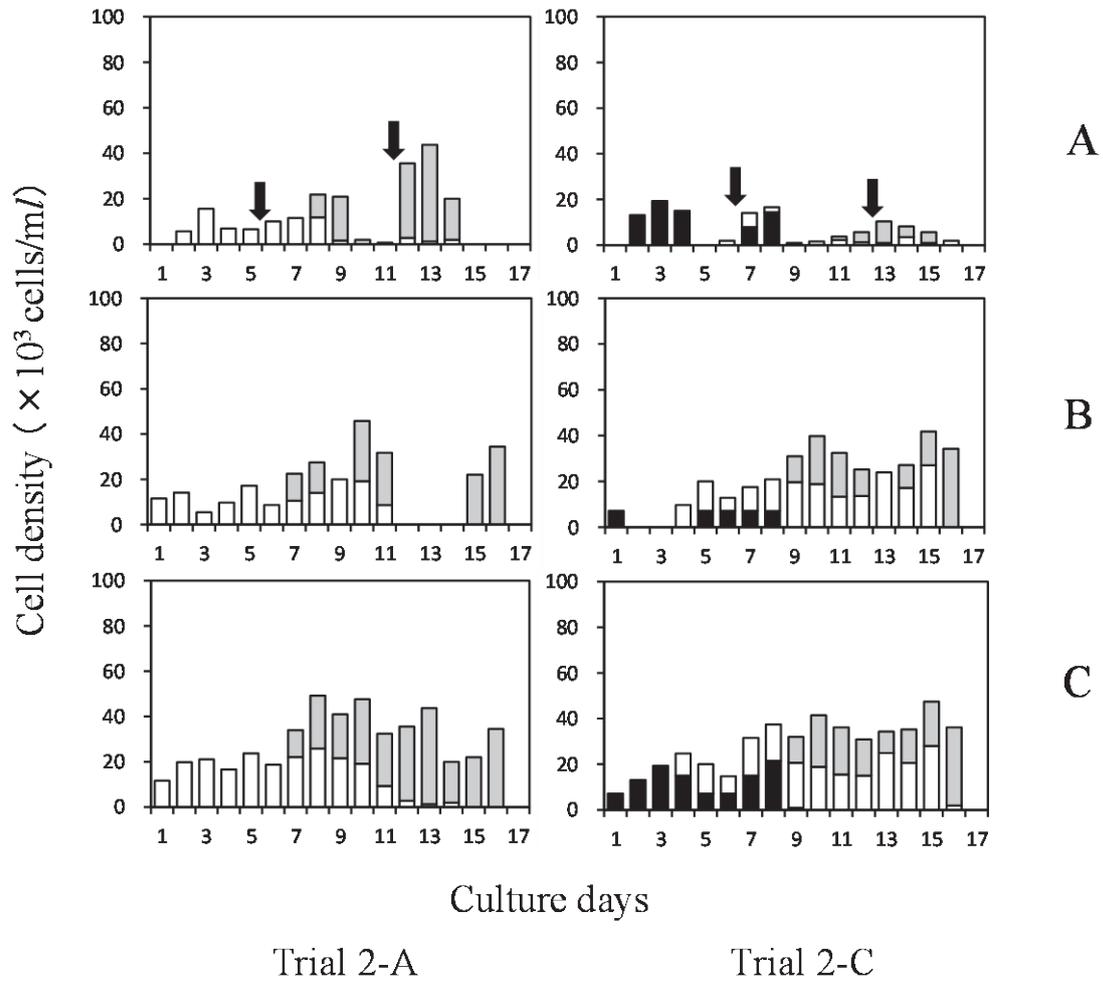


Fig. 46. Daily cell density of the microalgal diets (■ = *Chaetoceros calcitrans*; □ = *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate); ▒ = *Chaetoceros neogracile*) in the rearing tanks of Trial 2.

A, Residual microalgal density before feeding; B, Supplemented microalgal density; C, Total microalgal density available (A+B); ↓ = replacement of water tank.

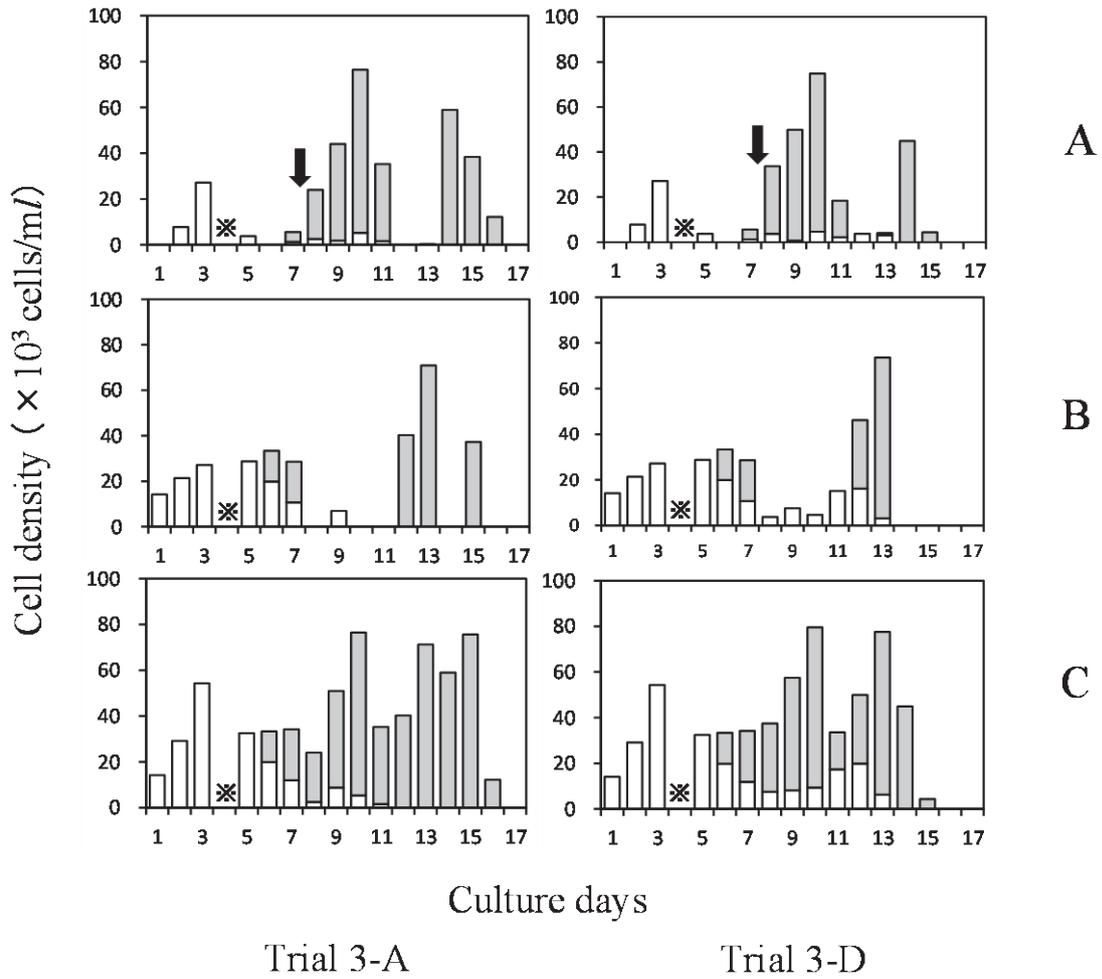


Fig. 47. Daily cell density of the microalgal diets (\square = *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate); \blacksquare = *Chaetoceros neogracile*) in the rearing tanks of Trial 3.

A, Residual microalgal density before feeding; B, Supplemented microalgal density; C, Total microalgal density available (A+B); \downarrow = Replacement of water in tank; * = No data.

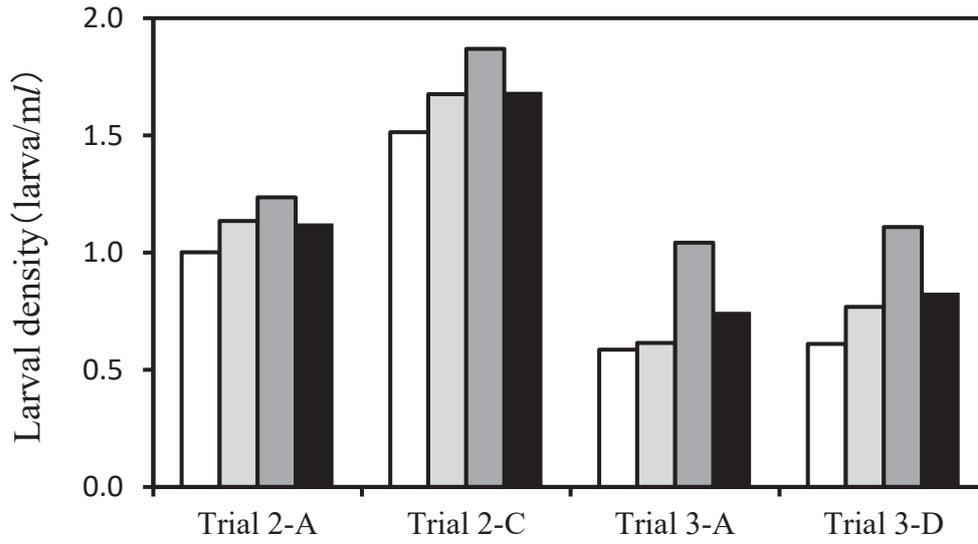


Fig. 48. Final density of the Iwagaki oyster larva reared in tanks (□ = Upper water layer; ■ = Middle water layer; ■ = Lower water layer; ■ = Mean).

第3項 キートセロス・カルシトランスの屋外における大量安定培養

前項において、屋外培養に適している珪藻類のネオグラシーレとハプト藻類のタヒチの2種を屋外において自然光を利用して粗放的に大量培養し、これを大型水槽を使用したイワガキの幼生飼育に供給することにより、付着期幼生を低コストで大量に生産できることを示した。さらにこの結果をもとに、中海産の汽水性二枚貝であるサルボウガイ *Anadara kagoshimensis* においても、これら2種の屋外培養餌料を用いた人工種苗生産試験において、低コストで安定した種苗生産ができることが確認されている。^{96,97)}

一方、ネオグラシーレと同属のカルシトランスは、ネオグラシーレよりも栄養価やサイズなどの面で餌料としての価値が高く評価されており、^{78,82,98)}高密度培養技術⁹⁸⁾や濃縮技術⁹⁹⁾を用いた製品が市販され、多くの種苗生産機関で使用されている。当県の栽培センターの屋内施設における1klの小型水槽を使用したイワガキの種苗生産でも、自家培養したハプト藻類と混合してカルシトランスの市販品が用いられている。^{77,100)}また、サルボウガイでは漁業者が行う種苗生産において、同市販品が幼生から稚貝まで単独的に使用されている。¹⁰¹⁾しかし、市販品は自家培養餌料の供給量が不足する種苗生産機関や餌料培養施設を持たない漁業者にとって利便性が高い反面、これを大量に用いる場合には生産コストが高くなることが欠点であった。

同様に前項の大型水槽を用いたイワガキ幼生の生産においても、生産コストを低く抑えるためには、屋外における餌料培養技術をより効率的で安定的なものとする必要がある。

そこで本項では、餌料価値の高いカルシトランスについて屋外培養を試み、その安定性や実用性について評価を行った。試験ではカルシトランスと屋外培養に適しているネオグラシーレの比較を行った他、培養の効率化を図るために、カルシトランスの市販品を元種に用いる方法や盛夏期の対策として遮光幕を用いて培養水温を低減する培養方法についても検討した。さらに、屋外で培養したカルシトランスを用いた二枚貝類（イワガキ、サルボウガイ）の付着期幼生の生産試験を行い、種苗生産におけるその実用性について確認した。

材料および方法

秋季、春季における屋外培養試験（試験1～3）

培養適期と考えられる秋季（2017年8月下旬～10月上旬）および春季（2018年5月中旬～6月下旬）において、カルシトランスとネオグラシーレの培養試験を繰り返し実施した。培養水槽は容量100l（直径60cm×深さ45cm）の透明円形ポリカーボネイト水槽（以下100l水槽と略す）を主体としたが（試験1-1～5）、さらに春季には、容量500l（直径105cm×深さ75cm）の透明円形ポリカーボネイト水槽（以下500l水槽と略す）および容量5kl（直径3,000cm×深さ80cm）のFRP製円形水槽（以下5kl水槽と略す）を併せて用いた（試験2-1～3、試験3）。試験開始時の水量は、降雨によるオーバーフロー防止のため100l水槽の1回目試験（水量90l）以外は、100l、500l、5kl水槽でそれぞれ80l、400l、4klに設定した。培養試験を実施した場所は、秋季は島根県水産技術センター浅海科庁舎（以下水産技術センターと略す）敷地内の飼育棟（高さ約7m）の西側で実施したが、春季以降は同東側に変更したため、秋季と春季以降では建物により日射が遮られる時間帯が異なった（西側は概ね10時まで、東側は概ね15時以降日射が遮られる）。

各試験ではカルシトランスとネオグラシーレの水槽を各1槽使用し、100lと500lの水槽には樹脂製のパレット（110cm×110cm×高さ15cm）を敷いた。水槽の配置では日照条件に差が生じないように並べ方に留意し、相互の種の混入を防止するために水槽の間隔を十分に空けた。培養水には水産技術センター地先海域から揚水して砂ろ過した海水を1μmのカートリッジ式フィルターでろ過を行い、10ppmの次亜塩素ナトリウムで16時間以上殺菌処理後にチオ硫酸ナトリウムで中和したものを使用した。通気はいずれの水槽も中央に配置したエアーストーンにより行い、水槽内で飼育水がゆっくり循環するように、通気量を100l、500l水槽ではそれぞれ約5l/分、約8l/分に調整した。培養試験に用いた元株は、ネオグラシーレは国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所「水産生物遺伝資源保存事業」から入手した高温耐性株を、カルシトランスは市販品（サンカルチャー、マリンテック（株））由来のものを用いた。いずれも室内の5lフラスコで明期12時間の周期で約 10^7 細胞/ml以上に増殖させた対数増殖期

から定常期の初期段階にあるものを元種として用いた。

屋外培養では $1\sim 3 \times 10^5$ 細胞/ml の密度で接種して培養試験を開始した。強光障害の防止対策⁸⁸⁾として、接種後約1日間は木製の板を用いて日射の状況に応じて水槽上面の約 $1/2\sim 4/5$ を覆って遮光し、光量を調整した。基本的にいずれか片方が定常期もしくは死滅期に達するまで培養を行った。培養水に添加する栄養塩類には、市販の液体培養液 (KW21, 第一製網) およびケイ酸栄養塩 (ゲルカルチャー, 富士シリシア化学) を用い、試験開始時の添加量は培養水 1 l 当たり前者が 0.3 ml, 後者が 0.2 g とし、その後培養密度の増加に応じて同量を 1~2 回追加で添加した。

餌料のモニタリングとして細胞密度と総細胞数を毎日記録した。細胞密度の計測にはトーマ式血球計算盤を用いて、計測を3回繰り返してその平均値から細胞密度を算出した。なお、細胞が2連結したものは2個体としてカウントした。一方、細胞が3連結以上のものや、複数の細胞が塊状に集合しているものおよび細胞質の大部分が委縮して死滅期とみなされる細胞については、二枚貝幼生が摂餌不能あるいは餌料価値が低いと判断し、計数対象から除外した。総細胞数は10時に計測した各水槽の水量に細胞密度を乗じて算出した。

培養水の水質モニタリングとして、10時および1日のうちで最も水温が高くなる傾向にある15時にハンディタイプの水温塩分計 (LF330, WTW) を用いて各水槽の水温・塩分 (psu) を測定した。また、培養を不安定にする要因の一つである培養水中の浮遊性の原生動物^{81,102)}について、1日1回以下の方法でモニタリングした。原生動物の計数には、出現密度に応じてフックスローゼンタール式およびトーマ式血球計算盤を用い、計測はサンプルを固定せずに目視で1~2回行い、細胞径約 $10\ \mu\text{m}$ 未満 (以下小型と略す) とそれ以上 (以下大型と略す) に分けて個体数を記録した。大型の原生動物については、餌料藻類の捕食の可能性を想定し、千原・村野¹⁰³⁾および末友¹⁰⁴⁾を参考に大まかに分類した。

日射量については、毎日10時にハンディタイプの照度計 (TM209M, TENMARS) および光量子計 (3415F, SPECTRUM TECHNOLOGIES) を用いて培養水槽の直上の照度と光量子束密度の測定を行った。なお、用いた光量子計の最大測定値が $2,000\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であり、晴天時にはこの値を超え

たため測定不能となったが記録上は $2,000\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ とした。

秋季に実施した100 l水槽の2回目の試験 (試験1-2) において、台風の通過による大雨が予測されたので、通過日 (9月17日) の前後1日は各水槽の上面を農業用の透明マルチビニールシートで個別に覆って培養水のオーバーフローを防止した。

試験期間中の降雨量については、各水槽の日々の水量の変動から推定した。欠測日は気象庁松江地方気象台の松江市の測定ポイント (AMeDAS) における値を用いた (以下の試験も同様)。

盛夏期における遮光幕を用いた屋外培養試験

予備試験 室内の5 lフラスコで培養したカルシトランス、ネオグラシーレおよびタヒチの3種を用いて、遮光幕の効果を把握するための予備的な培養試験を2017年7月31日から8月8日に水産技術センターにおいて実施した。

屋外における培養水槽には100 l水槽を用い、基本的な培養条件は前述と同様とした。遮光幕は農業用の遮光率50%のものを1枚用い、遮光幕の両端に沿って張った径1.5 mmの被覆ワイヤーと遮光幕の両端を結束バンドで連結し、高さ約2.5 mの位置で固定した。遮光幕の内側と外側に種ごとにそれぞれ1水槽を設けて培養を行った。餌料細胞密度の計測を毎日10時に実施した他、10時および15時に遮光幕の内外で各水槽の水温、照度および光量子束密度の測定を行った。測定方法は前述と同様とした。最高・最低気温については、気象庁松江地方気象台の松江市の測定ポイント

(AMeDAS) における値を用いた (以下同様)。8月7日以降は台風の接近に伴う強風が予想されたことから遮光幕を撤去した。

実証試験 (試験4, 5) 遮光幕による水温上昇抑制効果を実証するための培養試験を、盛夏期である2018年7月8日 (翌9日に梅雨明け) から8月14日までの期間に実施した。この間に、100 l水槽を用いた培養試験を5回 (試験4-1~5)、500 l水槽を用いた培養試験を3回 (試験5-1~3) 実施した。

元種には室内の5 lフラスコで培養したカルシトランス、ネオグラシーレの2種を用い、基本的な培養条件は前述と同様とし、両種もしくはいずれかの種が定常期もしくは死滅期に達するまで培養を行った。なお、100 l水槽の3回目 (試験4-3)

と 500 l 水槽の 2 回目 (試験 5-2) の試験では, 両種とも途中で二枚貝類の餌料に使用したため定常期前に試験を終了した.

遮光幕には遮光率 75% (遮光率 50% のものを 2 枚重ねて使用) のものを用いた. 遮光幕は前述と同様に両端を被覆ワイヤーに連結し, 開閉が容易にできる構造とした. 遮光幕は 1 回目の試験を開始した 2 日後の 7 月 10 日に設置し, 試験期間中は基本的に遮光幕を閉じた状態で培養を行ったが, 台風が通過した 7 月 29 日と被覆ワイヤーを結束した支柱が破損した 8 月 13 日には遮光幕を終日全開した.

市販品を用いたカルシトランスの屋外培養試験

培養水槽には 100 l 水槽を用い, 基本的な培養条件は前述と同様とした. 2018 年 5 月 14 日に製造・発送された市販品 (サンカルチャー, マリネットック (株)) を 4 °C で冷蔵保存したものを元種とし, メーカーによる推奨保存期間を参考に製造後 3 日目 (5 月 16 日) 以降 3~5 日間隔で 6 日目 (5 月 20 日), 10 日目 (5 月 24 日), 14 日目 (5 月 28 日), 19 日目 (6 月 2 日), 23 日目 (6 月 6 日) および 27 日目 (6 月 10 日) の計 7 回の屋外培養試験を行った. なお, 培養 1 回目と 7 回目は室内の 5 l フラスコで自家培養 (以下培養と略す) した元種も使用し, 市販品 (以下市販と略す) との比較を行った. 各試験とも $2\sim 3 \times 10^5$ 細胞/ml の密度で接種し, 基本的に定常期に達するまで培養を行った.

目標細胞密度を基準としたカルシトランスの屋外培養の評価

2017 年 9 月および 2018 年 5~8 月に, 水産技術センターにおいて実施した 100 l, 500 l 水槽を用いた全ての屋外培養を対象に, 目標細胞密度 (以下目標密度と略す) を基準としたカルシトランスの評価を行った. 目標密度は, 水産技術センターにおける二枚貝の種苗生産で屋外培養のネオグラシーレを餌料として給餌を開始する際の目安の細胞密度とし, 使用水槽の容量に応じて 100 l 水槽では 3×10^6 細胞/ml, 500 l 水槽では 2×10^6 細胞/ml と定めた.

集計には前述の各屋外培養試験の水槽の他, 二枚貝 (イワガキ, サルボウガイ) の飼育試験において給餌用に培養した水槽も加え, カルシトランスは 92 回 (100 l 水槽 64 回, 500 l 水槽 28 回),

ネオグラシーレは 109 回 (100 l 水槽 62 回, 500 l 水槽 47 回) の培養結果を用いた. そして, 次式により算出した達成率と目標密度に到達するまでに要した培養日数について, 盛夏期とそれ以外の時期に区分した期間ごと (100 l 水槽は 5~6 月, 7~8 月および 9 月の 3 期間, 500 l 水槽は 5~6 月, 7~8 月の 2 期間) に集計し, 両種の結果を比較した.

達成率 (%) = 目標密度に達した培養回数 / 全培養回数 $\times 100$

なお, 二枚貝類の給餌用水槽については, 元種の由来が異なるもの (屋内培養, 屋外培養および市販品) が混在したが, 目標密度までの培養結果には大きな差が無かったと判断されたことから同一の集計とした. 元種以外の基本的な培養条件は, 前述の各屋外培養試験とほぼ同様であった.

両種の有意差については, 達成率は Fisher の正確確率検定を行い, 目標密度に到達するまでに要した培養日数は t 検定を行った. 有意水準はいずれも 5% とした. なお, 解析には Fisher の正確確率検定では R (Version 3.6.3) を用い, t 検定では Microsoft 社製 Excel を用いた.

屋外培養カルシトランスを用いた二枚貝 (イワガキ, サルボウガイ) の付着期幼生の生産試験

屋外培養カルシトランスを用いた付着期幼生の生産試験を, イワガキは 2017 年 7 月 9~23 日に, サルボウガイは同年 6 月 17~30 日に水産技術センターにおいて実施した. 餌料は両種とも前項のタヒチを初期餌料とする系列 (Fig. 41-A) とし, 平均殻長 120 μm 以降にネオグラシーレの代わりにカルシトランスを給餌した (Fig. 49).

基本的な飼育条件は前項と同様としたが, 前項で飼育海水中の細菌叢の安定を目的に行った飼育水へのナンノクロロプシスの添加は, 餌料培養の省力化のために行わなかった.

その他の飼育条件は以下のとおりとした. 幼生の飼育は受精翌日の D 型幼生から付着期幼生の出現までの期間とし, 屋内施設において FRP 製円型水槽を用いて行った. 飼育水槽の容量は, イワガキは 3 kl のものを 1 水槽 (飼育試験 1), サルボウガイは 5 kl のものを 2 水槽 (飼育試験 2-1, 2-2) 用い, 採卵翌日に D 型幼生を収容した. 飼育水は砂ろ過海水を 1 μm のカートリッジ式フィルターでろ過し, イワガキは希釈せずにそのまま, サルボウガイは水道水で 2/3 海水まで希釈して使

用した。日常的な換水は行わず止水管理とし、両種とも飼育水内の原生動物が増殖する前に水槽換え（4～5日に1回の頻度、期間中合計2回）を行った。飼育水の攪拌には中央に垂下したエアーストーン1個からの通気により行った。

給餌量は、前日の給餌量と当日の残餌量の関係をもとに、原生動物の密度や水槽換えからの日数などを勘案し、翌日に餌料がある程度残ることを目安に決定した。給餌量の目安は幼生の成長段階に応じて、前項と同様に栽培センターの従来の方法の平均的な給餌密度 $0.5 \sim 2 \times 10^4$ 細胞/ml の範囲内とした。給餌回数は給餌量に応じて調整し、1日に1～2回行った。

幼生の密度・成長のモニタリングは、水槽の中央のエア―攪拌部表層付近から飼育水を各点50 ml ずつ3回（計150 ml）の毎日採取して個体数を計数した後、30個体の幼生の殻長を測定した。

結果

秋季、春季における屋外培養試験

100 l 水槽を用いた培養試験（試験1） 100 l 水槽で実施した5回の試験における培養結果の概要をTable 8-1に、水温（10時、15時）、塩分および降水量の日々の値をFig. 50 a, bに、カルシトランスとネオグラシーレの各水槽のサイズ別（小型、大型）の原生動物の出現密度の3日移動平均値をFig. 50 c, dに、餌料細胞密度と総餌料細胞数の各3日移動平均値の推移をFig. 50 e, fに示す。なお、水温と塩分については両種の水槽の値はほぼ同様であったのでカルシトランスの水槽の値のみ示した（以下同様）。

8月23日に開始した1回目の試験（試験1-1）では、両種ともに試験開始から順調に増殖した。カルシトランスの細胞密度と総細胞数の移動平均の最高値は、それぞれ 5.19×10^6 細胞/ml、 4.85×10^{11} 細胞で、ネオグラシーレより前者で12.2%、後者で13.6%低い値を示した。培養17日目にネオグラシーレの水槽で細胞径が10～15 μm の渦鞭毛藻類が出現し、18日目にかけて 5×10^4 個体/ml の密度まで増加したため試験を中止した。

9月10日に開始した2回目の試験（試験1-2）では、両種ともに試験開始から増殖したが、試験開始直後から試験1回目と同様の渦鞭毛藻類が出現し、培養9日目にはカルシトランスで 4×10^4 個体/ml、ネオグラシーレで 1×10^5 個体/ml の密度

まで増加したため試験を中止した。カルシトランスの細胞密度と総細胞数の移動平均の最高値は、それぞれ 3.66×10^6 細胞/ml、 3.37×10^{11} 細胞でネオグラシーレより前者、後者ともに13%程度低い値を示した。

9月20日に開始した3回目の試験（試験1-3）では、カルシトランスは培養開始直後に一時的な密度低下があったものの、その後はネオグラシーレと同様に培養6日目までは順調に増殖した。その後、両種ともに培養7～8日目の44 mm（7日目33 mm、8日目11 mm）の降雨の後に増殖がやや停滞した。培養11日目には59 mmの降雨により水量が115 lまで増加したことから、オーバーフローを防止するために各培養水から15 lずつ廃棄した（Fig. 50 fの10月3日以降の値は、廃棄した15 l分も加えて補正）。その後、培養16日目に再び30 mmを超える降雨があり、オーバーフローが予測されたため試験を中止した。カルシトランスの細胞密度と総細胞数の移動平均の最高値は、それぞれ 3.75×10^6 細胞/ml、 4.11×10^{11} 細胞で、ネオグラシーレより前者で28.4%、後者で30.1%低い値を示した。

なお、1, 2回目の試験で発生した大型の渦鞭毛藻類の発生源が近傍に放置してあった未洗浄の使用済み養殖資材であると考えられたため、試験を開始する前にこれを撤去したところ、3回目の試験では同藻類の発生はみられなかった。

5月11日に開始した4回目の試験（試験1-4）では、両種ともに試験開始から順調に増殖した。培養17日目にカルシトランスが定常状態に達したと判断したため試験を終了した。カルシトランスの細胞密度と総細胞数の移動平均の最高値は、それぞれ 6.23×10^6 細胞/ml、 5.67×10^{11} 細胞でネオグラシーレより前者で5.5%、後者で1.0%低い値を示した。この時、カルシトランスの細胞密度は100 l水槽で実施した試験における最高値（ 6.66×10^6 細胞/ml）を記録した。また、ネオグラシーレの水槽では培養6日目に小型の原生動物の密度が増加し、培養13日目まで高い値（最大値 6.60×10^5 個体/ml）が継続した後に減少する現象がみられたことが特異的であった。

6月13日に開始した5回目の試験（試験1-5）では、両種ともに試験開始から順調に増殖したが、培養8日目以降にネオグラシーレに比較してカルシトランスの増殖が大きく劣る傾向がみられた。培養15～16日目に99 mm（15日目47 mm、16日

目 52 mm)の降雨があり水量が 115 l まで増加し、翌日も降雨の予報でオーバーフローが予測されたため試験を中止した。カルシトランスの細胞密度と総細胞数の移動平均の最高値は、それぞれ 5.41×10^6 細胞/ml, 4.45×10^{11} 細胞でネオグラシーレより前者で 39.8%, 後者で 31.6%低い値を示した。この時、ネオグラシーレの細胞密度は 100 l 水槽で実施した試験における最高値 (9.60×10^6 細胞/ml) を記録した。また、カルシトランスの水槽では培養後期に長径が約 40 μm の大型の繊毛虫類が出現し、その密度は最大で 2.0×10^4 個体/ml であった。

500 l 水槽を用いた培養試験 (試験 2) 500 l 水槽で実施した 3 回の試験における培養結果の概要を Table 8-2 に、水温 (10 時, 15 時), 塩分および降水量の日々の値を Fig. 51-A(a, b)に、カルシトランスとネオグラシーレの各水槽のサイズ別 (小型, 大型) の原生動物の出現密度を Fig. 51-A(c, d)に、餌料細胞密度と総餌料細胞数の各 3 日移動平均値の推移を Fig. 51-A(e, f)に示す。

5 月 11 日に開始した 1 回目の試験 (試験 2-1) では、両種とも試験開始から順調に増殖したが、培養 7 日目の 40 mm の降雨以降はやや増殖が停滞し、培養 17 日目に定常状態に達したと判断して試験を終了した。カルシトランスの細胞密度と総細胞数の移動平均の最高値は、それぞれ 3.79×10^6 細胞/ml, 1.64×10^{12} 細胞でネオグラシーレより前者で 2.3%, 後者で 1.3%低い値を示した。

5 月 28 日に開始した 2 回目の試験 (試験 2-2) では、両種とも試験開始から順調に増殖し、培養 20 日目にカルシトランスが定常状態に達したと判断して試験を終了した。カルシトランスの細胞密度および総細胞数の移動平均の最高値は、それぞれ 5.61×10^6 細胞/ml, 2.37×10^{12} 細胞でネオグラシーレより前者で 20.3%, 後者で 18.3%低い値を示した。この時、両種の最高細胞密度はともに 500 l 水槽で実施した試験における最高値 (カルシトランス: 6.04×10^6 細胞/ml, ネオグラシーレ: 7.83×10^6 細胞/ml) を記録した。また、両水槽で培養後期に細胞径が約 15 μm の大型のプラシノ藻類が最大で 2.0×10^4 個体/ml 出現したが、試験終了時には確認されなかった。

6 月 12 日に開始した 3 回目の試験 (試験 2-3) では、両種ともに試験開始から順調に増殖したが、カルシトランスは培養 8 日目以降にネオグラシーレに比較して増殖が劣る傾向がみられた。培養 14

日目以降は曇天や雨天が継続したためか細胞密度の減少がみられ、両種とも死滅期に入ったと判断して培養 17 日目に試験を終了した。カルシトランスの細胞密度と総細胞数の移動平均の最高値は、それぞれ 3.51×10^6 細胞/ml, 1.34×10^{12} 細胞でネオグラシーレより前者、後者ともに 23%程度低い値を示した。また、カルシトランスの水槽で培養後期に細胞径が 15~20 μm の大型の放散虫類が最大で 2.0×10^4 個体/ml 出現したが、試験終了時には確認されなかった。

5 k l 水槽を用いた培養試験 (試験 3) 5 k l 水槽で実施した試験における培養結果の概要を Table 8-2 に、水温 (10 時, 15 時), 塩分および降水量の日々の値を Fig. 51-B(a, b)に、カルシトランスとネオグラシーレの各水槽のサイズ別 (小型, 大型) の原生動物の出現密度を Fig. 51-B(c, d)に、餌料細胞密度と総餌料細胞数の各 3 日移動平均値の推移を Fig. 51-B(e, f)に示す。

試験は 5 月 28 日に開始し、両種とも試験開始からほぼ順調に増殖し、培養 20 日目にカルシトランスが死滅期に入ったと判断して試験を終了した。カルシトランスの細胞密度と総細胞数の移動平均の最高値は、それぞれ 2.58×10^6 細胞/ml, 1.1×10^{13} 細胞でネオグラシーレより前者で 11.0%, 後者で 8.2%低い値を示した。また、両水槽で原生動物が出現したが、小型, 大型 (繊毛虫類) とともに出現密度は低い値であった。

100 l~5 k l 水槽を用いた各試験の結果を総括すると、カルシトランスの培養ではいずれの試験でもほぼ順調に推移し、15 日前後の培養で最高細胞密度 $2 \sim 6 \times 10^6$ 細胞/ml 程度の実用的な値までの増殖が得られたが、ネオグラシーレとの比較では、培養水温が低く推移した 5 月の試験以外は水温が高くなるほど細胞密度や総細胞数でネオグラシーレにやや劣る傾向が確認された。また、各試験の培養後期には、顕微鏡観察時においてカルシトランスがネオグラシーレより細胞サイズが大きく観察されることが多く、培養水槽の目視においても培養水の色がカルシトランスの方がより濃く見える現象が観察された。100 l 水槽の 1 回目の試験 (試験 1-1) の培養 11 日目に行った両種の 50 細胞の細胞径 (長径と短径) の測定では、カルシトランスの方が平均値で 1 割程度大きい (カルシトランス 6.7 μm , ネオグラシーレ 5.8 μm) ことを確認した。原生動物については、小型の原生動物は培養前半から出現したものの、日数の経過とともにそ

の密度は低下する傾向にあった。小型の原生動物は、各試験において出現する個体の外部形態が経過日数とともに異なる傾向がみられたことから、出現種が遷移している可能性が示された。大型の原生動物は、100 l水槽の1回目と2回目の試験(試験1-1, 2)で出現した渦鞭毛藻類を除くと、繊毛虫類をはじめとする数種類が培養後半に出現する傾向があった。ただし、その出現は一過性のもので密度も低く、いずれも増殖に大きな影響を及ぼすことは無かった。

盛夏期における遮光幕を用いた屋外培養試験

予備試験 試験期間中の最高・最低気温と降水量を Fig. 52(a)に、10時における遮光幕の内側と外側の水槽(ネオグラシーレの水槽で代表)の直上の照度と光量子束密度を Fig. 52(b)に、10時と15時における培養水温を Fig. 52(c)に示す。

最高・最低気温はそれぞれ30.7~37.7°C, 26.6~32.3°Cの範囲で推移した。培養7, 8日目にはまとまった降雨があったために気温が低下したが、それ以外の日は晴天が継続し、特に培養4~6日目の8月4~6日には最高気温で36~37°C台が連続し、5日には松江市における当時の観測史上2番目の最高気温37.7°Cを記録した。

試験期間中の照度と光量子束密度は、遮光幕無しではそれぞれ14,300~90,000 lx, 250~2,000 (上限値) $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 遮光幕ありではそれぞれ14,300~40,000 lx, 250~1,300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で推移した。照度と光量子束密度の測定値から計算された遮光率は45~53%の範囲であり、遮光幕の規格50%とほぼ同程度であった。

試験期間中の10時および15時の培養水温は、遮光幕無しではそれぞれ26.4~33.5°C, 31.8~40.7°C, 遮光幕ありではそれぞれ26.0~32.3°C, 30.2~35.8°Cの範囲で推移した。遮光の有無による培養水の水温差は、10時では平均0.9°C (0.1~1.8°C)と僅かであったが、15時では平均5.1°C (3.5~6.1°C)となり、遮光により水温上昇を大きく抑制できた。

Fig. 53に試験期間中のネオグラシーレ(a), カルシトランス(b), タヒチ(c)の餌料細胞密度(A)および総餌料細胞数(B)の3日移動平均値の推移を示す。試験期間中、ネオグラシーレは遮光幕無しの試験区でも増殖したが、遮光幕ありの試験区の方の増殖が良好に推移した。ネオグラシーレの試験最終日の細胞密度と総細胞数の移動

平均値は、遮光幕無しでそれぞれ 2.83×10^6 細胞/ml, 2.89×10^{11} 細胞, 遮光幕ありでそれぞれ 3.38×10^6 細胞/ml, 3.43×10^{11} 細胞であった。カルシトランスの遮光幕無しの試験区では培養2日目に細胞密度が低下して翌日に枯死したが、遮光幕ありの試験区では順調な増殖がみられた。カルシトランスの試験最終日の細胞密度および総細胞数の移動平均値は、それぞれ 2.83×10^6 細胞/ml, 2.86×10^{11} 細胞であった。タヒチの遮光幕無しの試験区では水温が40°C台と高水温となった8月4日以降に細胞密度が大きく低下したが、遮光幕ありの試験区では順調な増殖がみられた。タヒチの試験最終日の細胞密度および総細胞数の移動平均値は遮光幕無しでそれぞれ 1.26×10^6 細胞/ml, 1.10×10^{11} 細胞, 遮光幕ありでそれぞれ 5.23×10^6 細胞/ml, 5.26×10^{11} 細胞であった。

以上の結果から、盛夏期において遮光幕により水温上昇が大幅に抑制され、いずれの種も増殖効率が向上することを確認した。

実証試験(試験4, 5) カルシトランスとネオグラシーレの100 l水槽と500 l水槽の試験の概要をそれぞれTable 9-1, Table 9-2に示す。試験期間中の最高気温と100 l水槽と500 l水槽の水温(10時, 15時)を Fig. 54(a)に、カルシトランスとネオグラシーレの100 l水槽と500 l水槽の細胞密度の3日移動平均値をそれぞれ Fig. 54(b), Fig. 54(c)に示す。なお、培養水槽の水温については、両種の水槽の値はほぼ同様であったのでネオグラシーレの水槽の値のみ示し、試験期間以外は近傍に設置した他の培養水槽の値を示した。

7月9日の梅雨明け以降、降雨がほとんど無く晴天続きで、最高気温30°C以上の真夏日が36日、35°C以上の猛暑日が13日(8月1日は松江市の当時の観測史上2番目の37.8°Cを記録)と記録的な暑さが継続し、試験期間37日間の最高気温の平均値は33.9°Cであった。

7月10日以降の各培養水槽の水温は、100 l水槽は10時が26~32°C台(平均29.4°C), 15時が29~34°C台(平均32.1°C), 500 l水槽は10時が26~31°C台(平均28.6°C), 15時が25~34°C台(平均30.7°C)で推移した。

100 l水槽における試験(試験4-1~5)では、カルシトランスは全ての試験で増殖したが、その細胞密度は概ねネオグラシーレより低く推移した。カルシトランスとネオグラシーレの1~5回の試験の細胞密度の移動平均の最高値は、それぞれ培

養5~10日目で $2.22\sim 4.23 \times 10^6$ 細胞/ml(平均 3.58×10^6 細胞/ml), $2.96\sim 6.39 \times 10^6$ 細胞/ml(平均 5.17×10^6 細胞/ml)の範囲に達し, カルシトランスはネオグラシーレより18.1~34.9%(平均28.6%)低い値を示した(試験を中断した3回目の試験は8日目の値で両種を比較)。

500 l水槽における試験(試験5-1~3)では, カルシトランスは全ての試験で増殖したが, 100 l水槽と同様にその細胞密度はネオグラシーレより低く推移した。カルシトランスとネオグラシーレの1~3回の試験の細胞密度の移動平均の最高値は, それぞれ培養6~7日目で $1.61\sim 2.27 \times 10^6$ 細胞/ml(平均 1.84×10^6 細胞/ml), $1.90\sim 2.98 \times 10^6$ 細胞/ml(平均 2.51×10^6 細胞/ml)に達し, カルシトランスはネオグラシーレより14.3~45.0%(平均24.9%)低い値を示した。

なお, 同時期に実施した100 l水槽の5回目(試験4-5)と500 l水槽の3回目の試験(試験5-3)の8月13日には, 遮光幕を連結した支柱が破損したトラブルにより遮光幕の無い状態で培養を行ったが, 翌日にかけてカルシトランスの細胞密度の急激な減少が観察された。このとき最高・最低水温がともに 30°C 以上の高温に上昇したことから遮光幕撤去との関連性が疑われた。

市販品を用いたカルシトランスの屋外培養試験

試験期間中の日々の降水量およびカルシトランスの細胞密度の3日移動平均値の推移をFig. 55に示す。市販のカルシトランスを用いた試験では, 5月20日に開始した製造後6日目の試験において培養初期に一時的な培養不調があったが, 降雨による細胞密度の一時的な停滞を除くとほぼ全ての試験回次で安定した増殖を示し, 細胞密度の移動平均の最高値は $4.22\sim 8.95 \times 10^6$ 細胞/mlに達した。一方, 室内の5 lフラスコで培養した元種由来の培養と市販を比較した5月16日と6月10日開始の試験では, いずれも培養開始後5日目程度までは市販と培養はほぼ同様の増殖を示したが, 培養日数の経過とともに市販が培養に比べて増殖がやや劣る傾向を示した。試験後半における細胞密度の移動平均値は, 5月16日と6月10日開始の試験とも市販が培養に対して25%程度低い値を示した。

目標細胞密度を基準としたカルシトランスの屋外培養の評価

目標密度を基に集計したカルシトランスとネオグラシーレの100 l水槽と500 l水槽の培養結果をそれぞれTable 10-1, Table 10-2に示す。

100 l水槽では, 5~6月と9月は両種とも培養が安定し, 目標密度(3×10^6 細胞/ml)の達成率は90%以上の高い値を示した。盛夏期の7~8月はカルシトランスで目標密度に達しない培養水槽(3水槽)が増加し, 達成率は84.2%とネオグラシーレ(1水槽)の96.2%に対してやや低くなったが, 両者の間に有意差は無かった。カルシトランスで基準密度に達しなかった3水槽は, いずれも培養4~5日目で基準密度の6~9割にあたる $1.80\sim 2.71 \times 10^6$ 細胞/mlまで増殖した後に減少し, 数日で枯死した。一方, 基準密度に到達するまでに要した平均日数の比較では, 5~6月と9月はカルシトランスがそれぞれ5.6日, 5.8日と, ネオグラシーレのそれぞれ5.0日に対して多く日数を要した($P < 0.05$)。7~8月の同平均日数はカルシトランスが6.5日まで増加し, ネオグラシーレの5.4日に対して1.1日多く日数を要した($P < 0.05$)。

500 l水槽では, 5~6月はカルシトランス, ネオグラシーレともに目標密度(2.0×10^6 細胞/ml)に達しない水槽は1水槽ずつのみで, 達成率は90%を超える高い値を示した。盛夏期の7~8月は100 l水槽と同様にカルシトランスで目標密度に達しない培養水槽(4水槽)が増加し, 達成率は76.5%とネオグラシーレ(2水槽)の94.3%に対して低い値を示したが, 両者の間に有意差は無かった。カルシトランスで培養不調となった4水槽は, いずれも培養4~5日目で基準密度の8~9割にあたる $1.52\sim 1.90 \times 10^6$ 細胞/mlまで増殖した後に減少し, 数日で枯死した。一方, 目標密度に到達するまでに要した平均日数の比較では, 5~6月はカルシトランスが5.8日, ネオグラシーレが5.7日と両者の間に有意差は無かったが, 7~8月は100 l水槽と同様にカルシトランスが6.2日とネオグラシーレの5.1日に対して1.1日多く日数を要した($P < 0.05$)。

屋外培養カルシトランスを用いた二枚貝(イワガキ, サルボウガイ)の付着期幼生の生産試験

イワガキとサルボウガイの浮遊幼生の飼育結果をTable 11に示す。

イワガキの浮遊幼生の収容密度は, 水産技術センターにおける標準的な値(2.0 個/ml)より高い

値であったが、飼育期間中に幼生の大きな減耗も無くほぼ順調に推移した。

飼育 15 日目（日齢 15）に眼点を有する付着期幼生の出現率が 32.3% となり採苗適期となったため飼育試験を終了した。最終日における浮遊幼生数は約 390 万個体で、殻長（平均 ± 標準偏差）は $307 \pm 26 \mu\text{m}$ 、D 型幼生からの生残率は 48.6% と推定された。

サルボウガイの浮遊幼生の収容密度は、イワガキと同様に飼育試験 2-1、2-2 とも水産技術センターにおける標準的な収容密度（3.0 個/ml）より高い値であったが、飼育期間中に幼生の大きな減耗も無くほぼ順調に推移した。飼育 14 日目（日齢 14）に眼点を有する付着期幼生の出現率が試験 2-1 では 37.9%、試験 2-2 では 12.9% となり、採苗適期となったため飼育試験を終了した。試験 2-1、試験 2-2 の最終日における浮遊幼生数はそれぞれ約 700 万個体、1,050 万個体で、殻長（平均 ± 標準偏差）はそれぞれ $238 \pm 30 \mu\text{m}$ 、 $209 \pm 25 \mu\text{m}$ 、D 型幼生からの生残率はそれぞれ 38.9%、51.2% となった。

考察

同じキートセロス属でも、ネオグラシーレは屋外で安定培養が可能であるとされる一方で、カルシトランスでは屋外培養が困難で室内培養に限られるとされている。^{78,82,98}カルシトランスの屋外培養については、海外ではバイオリクターを利用した閉鎖的環境下で行われた培養の報告がいくつかみられる。^{105,106}一方、国内では有用な知見はほとんど無く、近年のアサリ *Ruditapes philippinarum*¹⁰⁷ やサルボウガイ¹⁰⁸ の種苗生産において市販品を使用した培養事例の断片的な情報があるのみである。

今回カルシトランスの屋外培養の可能性について、100 l から 5 kl までの小型～大型水槽を用いて培養時期や水槽の大きさなどの異なる条件の下でネオグラシーレとの培養を比較した。その結果、カルシトランスは、培養適期と考えられた秋季、春季にはネオグラシーレより細胞密度や総細胞数の最高値が低くなる傾向があったものの大きな培養不調も無く、ネオグラシーレとほぼ同等に安定的な培養ができることを確認した。また、培養条件の厳しい盛夏期でも、同様に細胞密度の最高値

がネオグラシーレより低くなるものの、カルシトランスの大量培養が可能であることを確認した。

試験期間におけるカルシトランスの増殖と高水温の関係については、培養水温の最高値とカルシトランスの水温耐性の対比から以下の通り説明することができる。すなわち、5 月実施の 100 l 水槽の 4 回目と 500 l 水槽の 1 回目の試験におけるカルシトランスは、ネオグラシーレとほぼ同様の増殖曲線で経過し、細胞密度の最高値もほぼ同程度となった。これは、最高水温の平均値がカルシトランスの増殖率の低下が始まる 25°C 付近⁸²に留まったため、その増殖が良好に推移したものと考えられる（Fig. 50 の試験 1-4 および Fig. 51 の試験 2-1 の各 a, e, f）。これに対し、8 月後半～9 月および 6 月の試験におけるカルシトランスは、ネオグラシーレより増殖が劣り、細胞密度の最高値はネオグラシーレより平均で 2 割程度低い値を示した。これは、最高水温の平均値が増殖率の低下が始まる 25°C を超えて増殖限界とされる 30°C 付近⁸²に達したことが影響したものと考えられる

（Fig. 50 の試験 1-1, 2, 3, 5 および Fig. 51 の試験 2-2, 3 の各 a, e, f）。そして、盛夏期におけるカルシトランスの細胞密度の最高値はさらに低下し、ネオグラシーレより平均で 3 割程度低い値を示した。これは、遮光幕により培養水温の上昇を大幅に抑制できたものの、最高水温の平均値はカルシトランスの増殖限界とされる 30°C を 1～2°C 上回ったことで増殖が抑制されたものと推察される（Fig. 54）。

盛夏期のカルシトランスの培養については、給餌に使用する際の細胞密度を基準とした評価

（Table 10-1,2）において、目標密度に到達するまでの培養日数がネオグラシーレより平均で約 1 日多く、目標密度に到達しない水槽が複数みられるなどの課題があった。しかし、目標密度に到達しない水槽でも 100 l 水槽、500 l 水槽ともに目標密度近くまでの培養は可能であったことから、盛夏期のカルシトランスの培養では、ネオグラシーレにやや劣るものの給餌を開始する細胞密度をネオグラシーレよりも低く設定することにより、概ね実用的な培養ができるものと考えられる。

カルシトランスの屋外培養が困難な理由として、高温耐性株が開発されているネオグラシーレと異なり高水温への耐性が劣ること、^{82,109,110}バクテリアによる影響を受けやすいこと^{78,88}などが指摘されてきた。盛夏期の高水温への対応については、

本試験において記録的な猛暑であったにもかかわらず、遮光幕を用いて培養水温の上昇を大幅に抑制できたことにより増殖が可能となった。盛夏期の高水温はカルシトランスに限らず、より高温耐性の高いネオグラシーレやタヒチでも安定培養の制限要因となっていたが、遮光幕の利用はこれらの餌料藻類の培養の安定化に応用できる可能性があると考えられる。

今回と同様に、盛夏期に500 lの透明水槽を用いてネオグラシーレの屋外培養を行った過去の培養事例¹¹¹⁾では、冷却器を用いて培養水温を30°C以下に調整することで $2.86\sim 3.67 \times 10^6$ 細胞/mlまでの増殖が得られている。一方、今回のネオグラシーレの培養では、培養水を冷却すること無く前述の報告とほぼ同様の細胞密度までの増殖が得られていることから、遮光幕の使用はより簡便かつコストの面でもメリットが大きいと考えられる。実証試験では、水温の上昇抑制効果を重視して遮光率の高い遮光幕を用いたが、結果的に遮光による水温低下のメリットと光量低下のデメリットのバランスが比較的良好に保たれたものと推察された。今後は事例を重ねた上で、気象条件に応じた適切な遮光条件を決定する必要がある。

なお、水温と同様に餌料藻類の屋外安定培養に影響する気象要因として降雨の問題がある。今回の試験では降雨後に増殖の停滞がみられた試験

(試験 1-3, 試験 2-1, 3)があり、その原因としては塩分の変動や日照量の低下の影響が想定されたが、いずれも培養不調に大きく影響した事例は確認されなかった。給餌に供する場合は基本的に増殖期から定常期初期に給餌することが推奨されており、実際の培養では当水産技術センターの二枚貝の事例(培養5~6日から給餌開始)のように、屋外における培養が長期間に及ぶことが無いと想定されることから、培養開始時の水位をある程度下げておくことで通常の降雨対策は可能であると考えられる。また、試験期間中には台風の通過により1日で約100 mmの大規模な降雨があったが(Fig. 50の試験 1-2のb)、その発生頻度は限られており、今回用いた安価な透明シートを用いる工夫により対応ができると考えられる。さらに盛夏期の実証試験では、遮光幕を容易に開閉可能な構造としたことにより、台風通過に伴う強風時においても遮光幕の破損の被害を未然に防止できた。

一方、今回の試験においてバクテリアと同様に培養に影響を及ぼす可能性のある原生動物につい

てモニタリングした結果、原生動物の増加による明らかな培養不調はカルシトランス、ネオグラシーレいずれでも観察されなかった。100 l水槽の4回目の試験において小型の原生動物の出現密度が大きく異なったこと(Fig. 50の試験 1-4のc)を除くと、両種で原生動物の発生状況に大きな差が無かったものと考えられる。

なお、両種ともに100 lの1, 2回目の試験では培養後期に渦鞭毛藻が増殖して試験を中断したが(Fig. 50の試験 1-1, 2のd)、この時は試験以外の餌料藻類の培養水槽でも同じ渦鞭毛藻がほぼ同時に発生し、水槽によっては約 10^6 個体/mlまでの増殖がみられた。この渦鞭毛藻による餌料藻類の摂食および培養密度の急激な減少は確認されなかったものの、餌料藻類の増殖に何らかの悪影響を及ぼす可能性が懸念された。その後、発生源の撤去と全ての培養水槽をリセットすることにより新たな発生・蔓延を防止できた。このことから、屋外培養を行う場合には、他の汚染生物の発生や侵入リスクの可能性が低い場所を選択することが重要であると考えられる。

本試験では、各餌料の細胞サイズのモニタリングを行わなかったことから詳細な実態は不明であるが、日々の目視観察では培養後期においてカルシトランスの細胞径がネオグラシーレより大きい傾向が観察され、単発的に実施した細胞径の測定でもその差が確認された。珪藻類は環境に応じて細胞の大きさを変化させること¹¹²⁻¹¹⁴⁾や微細藻類は培養ステージにより含有色素量が増加すること¹¹⁵⁾などが指摘されていることから、今後は細胞数だけでなく細胞のサイズや色素量¹¹⁶⁾などの総合的かつ連続的なモニタリングを行うことにより、屋外培養におけるカルシトランスの餌料価値についてよりの確に評価する必要があると考えられる。

市販のカルシトランスを元種とした屋外培養試験では、市販品と自家培養の増殖状況の比較や保存期間の長さが培養に与える影響について断続的に培養を実施して検討したところ、市販品は自家培養を元種としたものより培養後期において増殖がやや劣る傾向があった(Fig. 55)。しかし、元種として使用することは十分可能であり、製造から4週間を経過しても休眠細胞¹¹⁷⁾となることなく増殖できることが判明した。試験回数が少ないのでその安定性については今後さらに確認する必要があるが、培養に使用する元種を保存・培養するための室内培養工程が不要となるメリットは

大きく、市販の濃縮ネオグラシーレを元種に 500 l 水槽を用いて行われた培養事例^{118,119)}と同様に、カルシトランスにおいても市販品を元種として有効に利用することでより省力的に培養できることが示唆された。

なお、カルシトランスにおいて複数の市販品を比較したところ、増殖率や安定性が販売元により大きく異なったことから、市販品の選択においてはその性状について事前に十分確認することが重要であると考えられる。また、今回使用した市販品は給餌用として比較的low価格で供給されるメリットがある一方で、使い切りを前提としているため、常に元種として使用可能かどうか品質のチェックを行い、的確な判断をする必要がある。

屋外培養のカルシトランスを給餌したイワガキとサルボウガイの幼生の付着期幼生の生産試験では、幼生の収容密度が高めであったにもかかわらず両種とも飼育期間中に幼生の大きな減耗も無く順調に推移した。この結果と過去の生産結果を生残率で比較すると、本試験のイワガキの生残率 48.6%は、ほぼ同じ幼生密度で試験を開始した前項の大型水槽を用いたネオグラシーレを用いた試験 2-A の 47.5%とほぼ同等で、栽培センターの小型水槽を用いた従来の方法 (36% : 2012, 2013 の平均値) を上回ることからも、十分に実用的な値であると判断される。一方、サルボウガイの生残率 38.9%, 51.2%は、水産技術センターにおけるネオグラシーレを用いた過去 2 年の生残率 28~71%^{96,97)}の範囲にあり、イワガキと同様に実用的な値であると判断される。したがって、試行回数は少ないものの、イワガキやサルボウガイの付着期幼生の生産において、ネオグラシーレと同様に屋外培養のカルシトランスが使用できる可能性が高いと考えられる。

本研究において、カルシトランスの屋外培養では、ネオグラシーレとほぼ同様に安定した培養をすることができることが判明し、高水温への対策を行うことにより盛夏期の培養も可能であることを確認した。そして、100 l, 500 l の透明水槽を用いる場合、水温や日照条件が培養に適する 5~6 月には最高細胞密度で約 6×10^6 細胞/ml までの増殖が見込まれ、5~6 日間の培養で実用的な細胞密度まで安定して到達した。光量や外気温が高くなり水温条件が最も厳しい 7~8 月においても、ネオグラシーレよりも最高細胞密度がやや低くなるものの、6~7 日間の培養で実用的な細胞密度までの培養が期待できるといえる。また、1 回の試行であるが培養条件がより厳しくなる 5 kJ 規模の FRP 水槽でも 2×10^6 細胞/ml を上回る培養ができることを確認し、より大規模な培養の可能性があると示唆された。

以上から、屋外培養に適している珪藻類のネオグラシーレとハプト藻類のタヒチの 2 種に加えて、より餌料価値の高いとされるカルシトランスを屋外で粗放的に大量培養し、これを大型水槽におけるイワガキの浮遊幼生の生産に利用することにより、付着期幼生の効率的で安定的な生産に寄与することが期待できるといえる。また、当県の栽培センターにおける従来のイワガキの小型水槽を用いた種苗生産やサルボウガイの種苗生産においても、カルシトランスの屋外培養を導入することは可能であり、特に給餌量が増加する着底後の稚貝の飼育に、より利用価値の高い本種を低コストで大量に供給できるメリットは大きいと考えられる。

今後は、さらに屋外培養の事例を重ねてその安定性を十分に確認し、最適な培養条件を把握することによりカルシトランスの屋外培養技術をさらに確実なものとするのが望まれる。

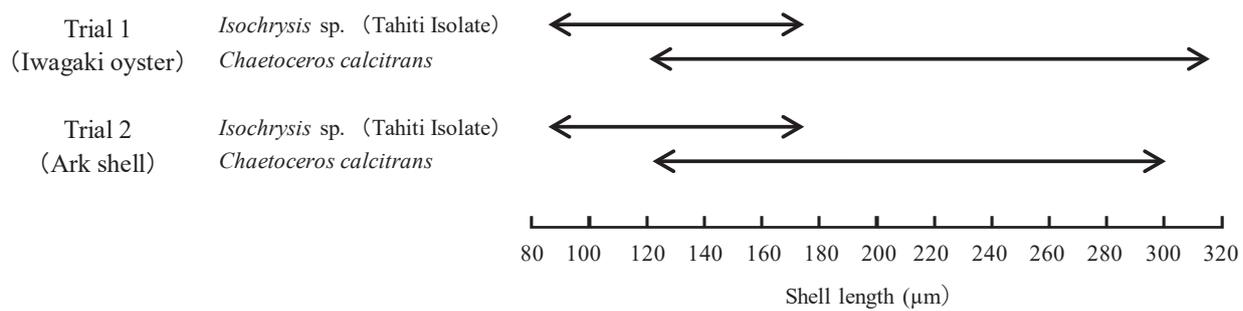


Fig. 49. Feeding regimen for Iwagaki oysters and ark shell larva under each experimental trial.

Table 8-1. Different parameters in the outdoor cultures of *Chaetoceros calcitrans* and *C. neogracile* in Trial 1 (100-l tank) conducted from 2017 to 2018

	Trial 1-1 (8/23~9/10, 2017)		Trial 1-2 (9/10~9/19, 2017)		Trial 1-3 (9/20~10/6, 2017)		Trial 1-4 (5/11~5/28, 2018)		Trial 1-5 (6/13~6/29, 2018)	
	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>
Mean water temperature at 10:00 (°C) (Range)	27.1 (24.2~30.9)		23.7 (20.9~26.0)		21.2 (17.8~23.6)		21.8 (17.1~28.5)		24.3 (19.0~28.4)	
Mean water temperature at 15:00 (°C) (Range)	31.5 (24.6~35.4)		28.3 (20.9~32.5)		26 (19.0~31.4)		25.4 (18.8~33.6)		28.9 (25.4~34.0)	
Mean daily salinity (psu) (Range)	33.5 (30.7~36.1)		32.4 (31.0~33.7)		31.1 (23.4~35.5)		31.1 (29.5~33.3)		35.8 (25.5~39.4)	
Initial cell density × 10 ⁴ cells/ml*	22.0		21.0		24.0		23.0		26.0	
Maximum of small protozoan density × 10 ⁴ cells/ml*	2.7	6.7	3.3	1.8	23.3	16.7	6.0	66.3	5.7	9.7
Maximum of large protozoan density × 10 ⁴ cells/ml* (Class)	0.6 (Dinoflagellate)	2.3 (Dinoflagellate)	1.6 (Dinoflagellate)	4.4 (Dinoflagellate)	0	0	0.2 (Polyhymenophora)	0	1.0 (Polyhymenophora)	0
Maximum cell density × 10 ⁴ cells/ml*	519	591	366	419	375	524	623	659	541	898
Culture days in the maximum cell density*	14	13	7	7	12	13	14	16	14	13
Maximum total cells number × 10 ⁸ *	4,849	5,614	3,369	3,892	4,106	5,878	5,670	5,729	4,450	6,510
Culture days in the maximum total cells number*	17	17	7	7	14	13	14	16	15	15

Note: * = 3-day moving average.

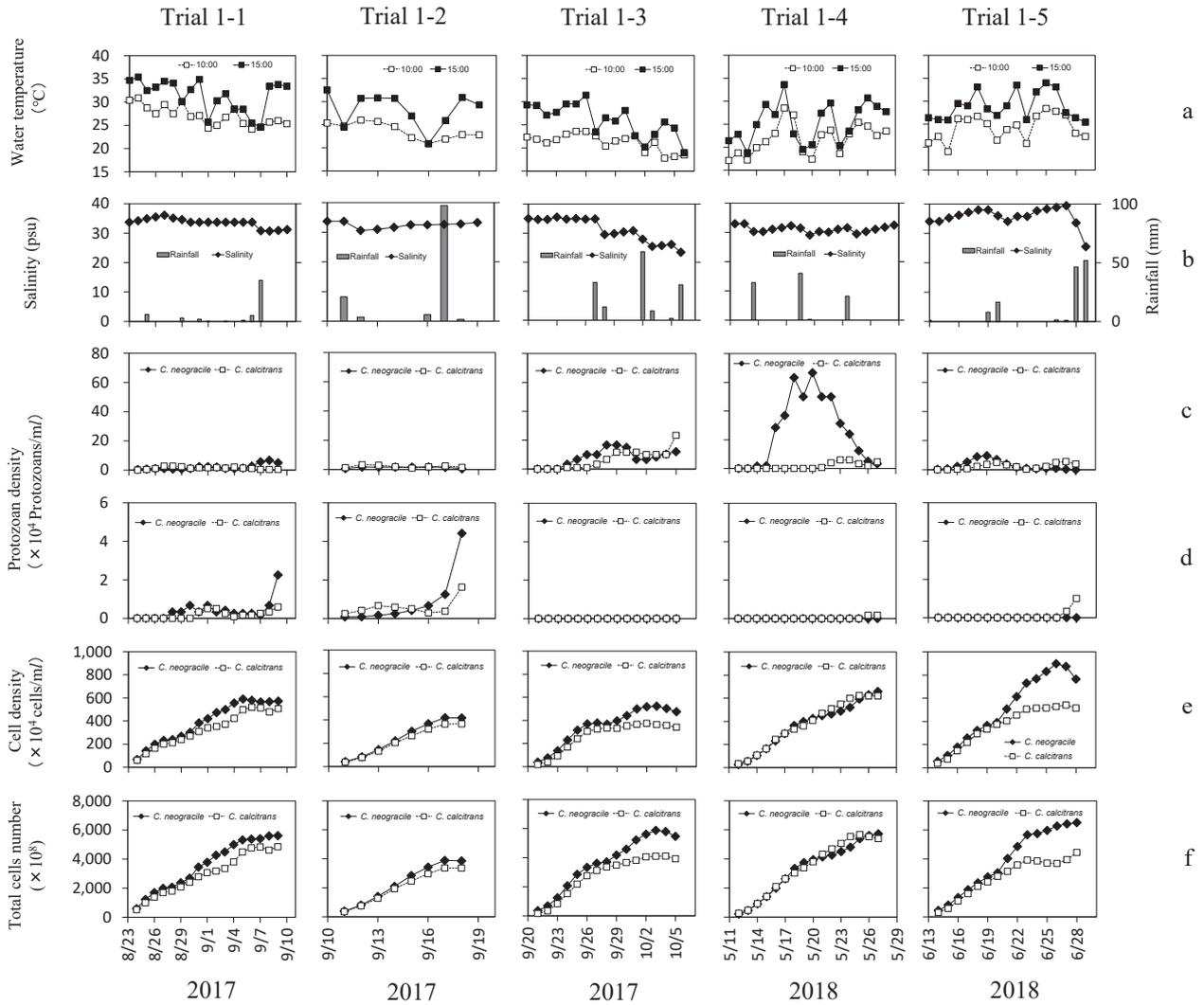


Fig. 50. Water temperature (\square = At 10:00; \blacksquare = At 15:00) (a), salinity (\blacklozenge) and rainfall (\blacksquare) (b), 3-day moving average of the small protozoan ($< 10 \mu\text{m}$) density (c), large protozoan ($\geq 10 \mu\text{m}$) density (d), 3-day moving average of the microalgal cell density (*Chaetoceros calcitrans* and *C. neogracile*) (e), and total microalgal cells (f) in the 100-l tank in each trial (1-1, 1-2, 1-3, 1-4, and 1-5). All parameters were measured daily from 2017 to 2018. Symbols in (c)–(f) indicate *C. calcitrans* (\square) and *C. neogracile* (\blacklozenge).

Table 8-2. Different parameters in the outdoor cultures of *Chaetoceros calcitrans* and *C. neogracile* in Trial 2 (500-l tank) and Trial 3 (5-k/ tank) conducted in 2018

	Trial 2-1 (5/11~5/28)		Trial 2-2 (5/28~6/17)		Trial 2-3 (6/12~6/29)		Trial 3 (5/28~6/17)	
	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>
Mean water temperature at 10:00 (°C) (Range)	21.9 (17.3~28.5)		22.8 (18.0~27.3)		24.3 (18.0~28.6)		22.0 (18.0~26.3)	
Mean water temperature at 15:00 (°C) (Range)	24.9 (18.3~32.5)		26.5 (20.8~32.4)		28.0 (21.7~33.4)		24.1 (20.6~28.4)	
Mean daily salinity (psu) (Range)	32.4 (31.4~33.3)		33.6 (31.3~36.2)		37.1 (29.8~39.0)		33.7 (31.3~36.2)	
Initial cell density × 10 ⁴ cells/ml *	12.0		19.0		20.0		30.0	
Maximum of small protozoan density × 10 ⁴ cells/ml *	15.0	11.3	8	6.7	7.5	5.7	1.0	3.0
Maximum of large protozoan density × 10 ⁴ cells/ml * (Class)	0	0	1.3 (Prasinophyceae)	1.3	1 (Radiolaria)	0	0.2 (Polythymenophora)	0.1
Maximum cell density × 10 ⁴ cells/ml *	379	388	561	704	351	458	258	290
Culture days in the maximum cell density*	15	16	17	19	13	14	16	19
Maximum total cells number × 10 ¹² *	1.64	1.66	2.37	2.9	1.34	1.75	11	11.9
Culture days in the maximum total cells number*	15	15	17	19	13	14	16	19

Note: * = 3-day moving average.

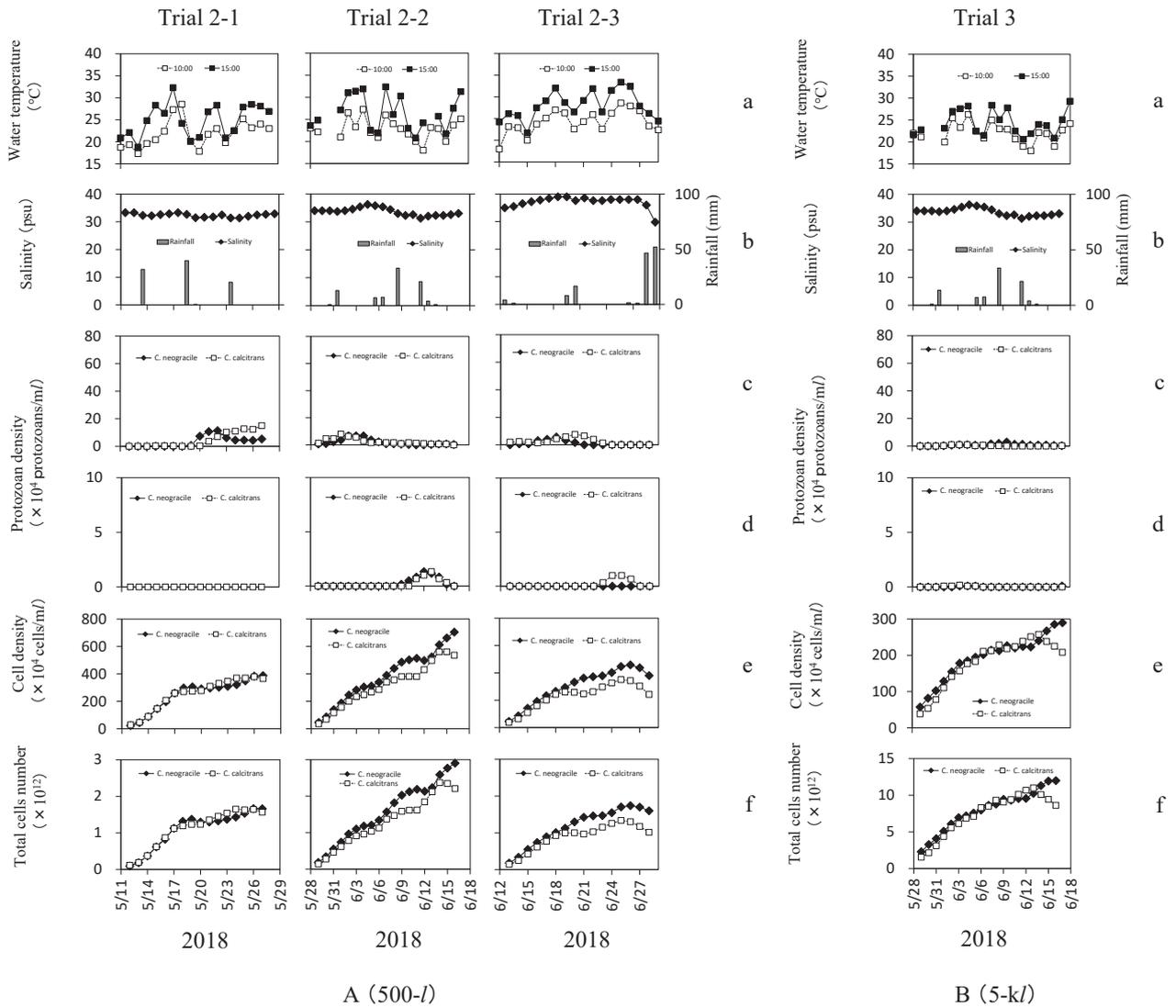


Fig. 51. Water temperature (\square = At 10:00; \blacksquare = At 15:00) (a), salinity (\blacklozenge) and rainfall (\blacksquare) (b), 3-day moving average of the small protozoan ($< 10 \mu\text{m}$) density (c), large protozoan ($\geq 10 \mu\text{m}$) density (d), 3-day moving average of the microalgal (*Chaetoceros calcitrans* and *C. neogracile*) cell density (e) and total microalgal cells (f) in the 500-l tank in each trial 2-1, 2-2, 2-3 (A) and in the 5-kl tank in trial 3 (B). All parameters were measured daily in 2018. Symbols in (c)–(f) indicate *C. calcitrans* (\square) and *C. neogracile* (\blacklozenge).

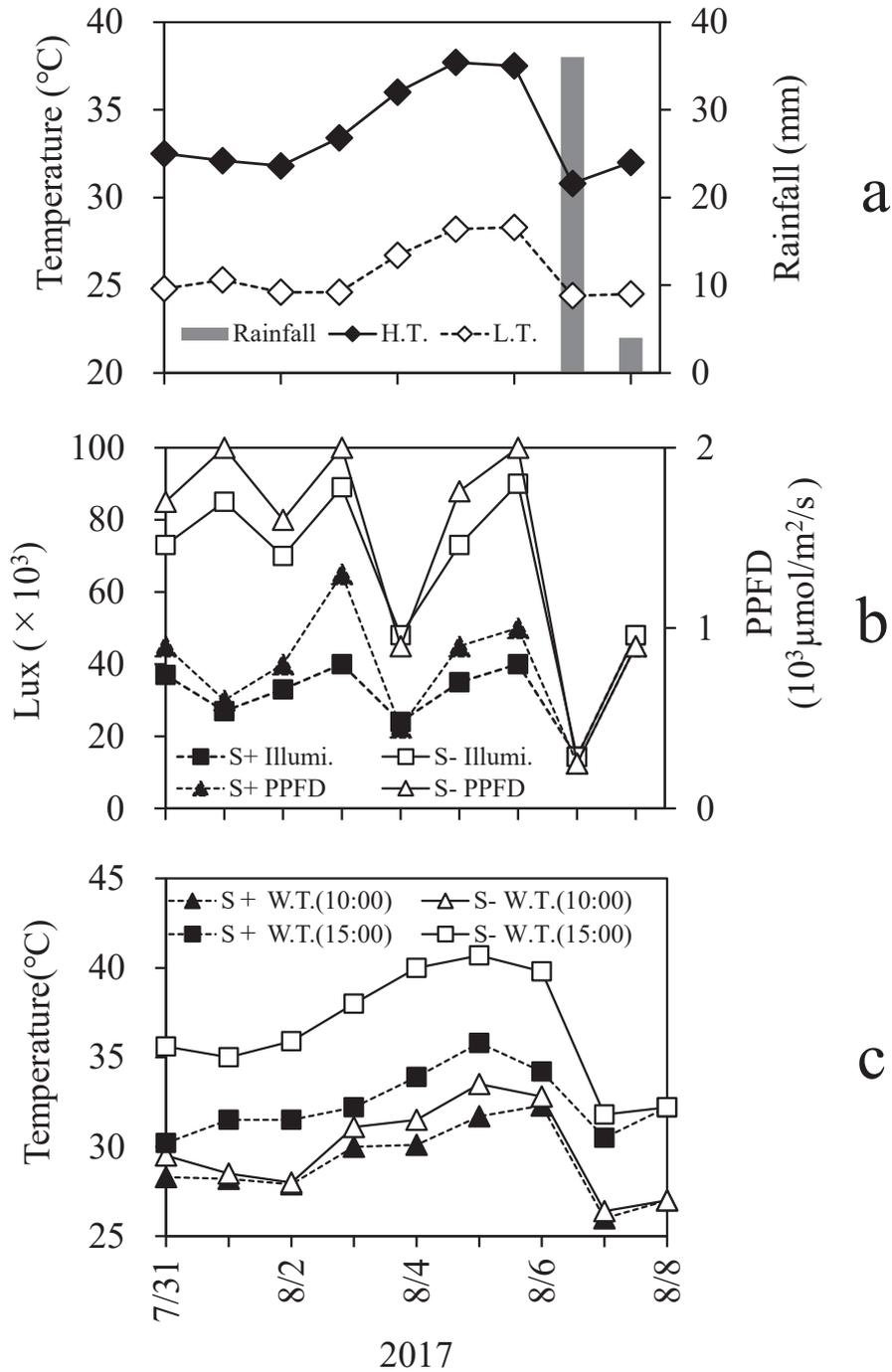


Fig. 52. Daily rainfall (■) and air temperature (◆ = Highest; ◇ = Lowest) (a), daily irradiance measured in lux (□ = Shielding-; ■ = Shielding+) and in photosynthetic photon flux density (PPFD) (△ = Shielding-; ▲ = Shielding+) at 10:00 (b) and daily water temperature at 10:00 (△ = Shielding-; ▲ = Shielding+) and 15:00 (□ = Shielding-; ■ = Shielding+) (c) in 2017.

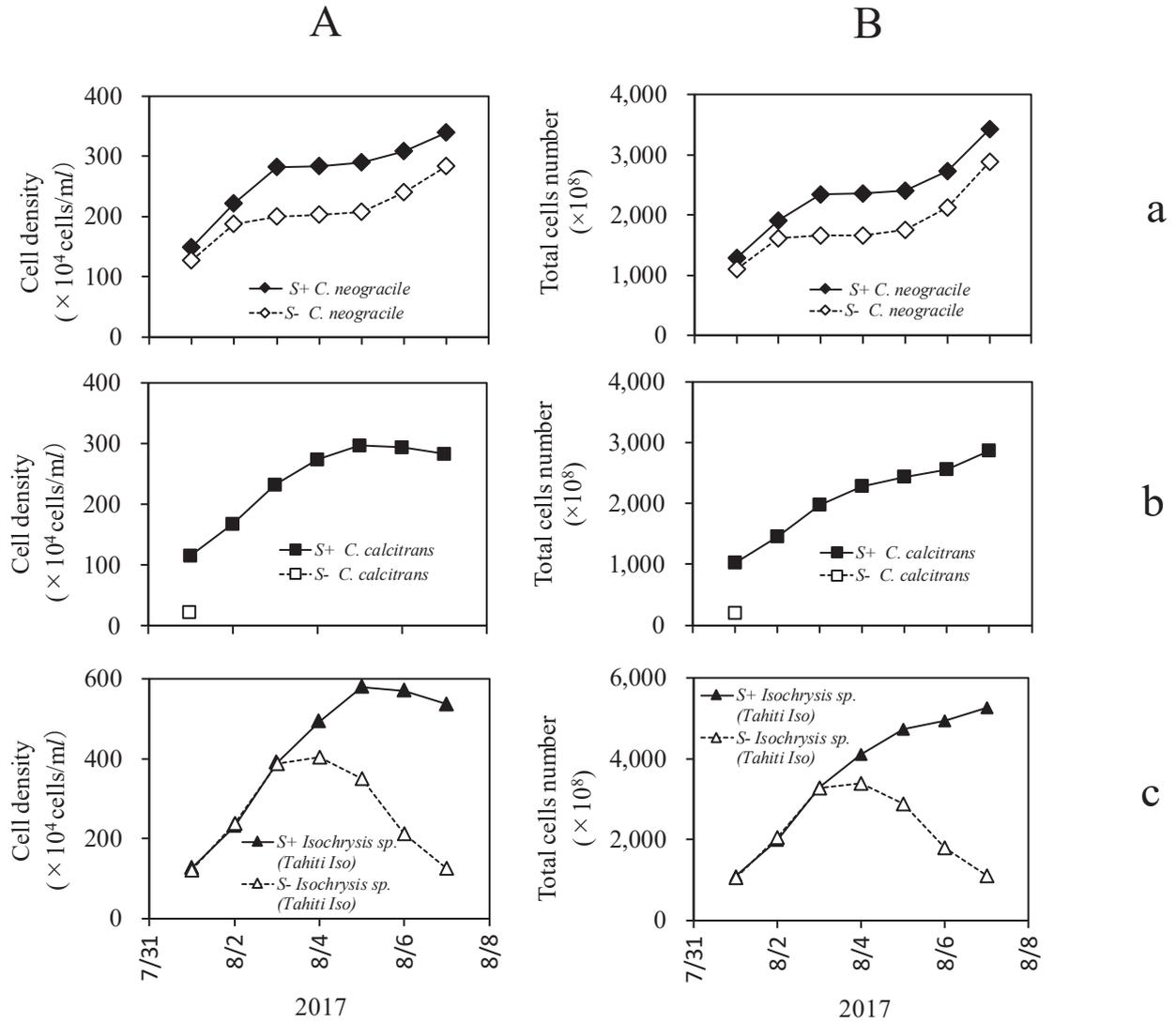


Fig. 53. 3-day moving average of the daily cell density (A) and total cells (B) of *Chaetoceros neogracile* (\diamond , Shielding -; \blacklozenge , Shielding +) (a), *C. calcitrans* (\square , Shielding -; \blacksquare , Shielding +) (b) and *Isochrysis sp.* (Tahiti Isolate) (\triangle , Shielding -; \blacktriangle , Shielding +) (c) in 2017.

Table 9-1. Different parameters in the outdoor cultures of *Chaetoceros calcitrans* and *C. neogracile* in Trial 4 (100-l tank) during which a shade curtain was used

	Trial 4-1 (7/8~7/19)		Trial 4-2 (7/14~7/25)		Trial 4-3 (7/20~7/30)		Trial 4-4 (7/24~8/6)		Trial 4-5 (8/7~8/15)	
	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>
Mean water temperature at 10:00 (°C) (Range)	29.6 (28.9~32.1)		29.8 (28.5~30.4)		29.6 (28.3~31.7)		29.6 (28.3~30.9)		28.4 (26.7~30.2)	
Mean water temperature at 15:00 (°C) (Range)	31.7 (30.6~33.4)		32.3 (30.6~34.1)		32.3 (29.0~34.1)		32.3 (29.0~33.6)		31.6 (29.2~34.0)	
Initial cell density × 10 ⁴ cells/ml *	15.0		15.0		15.0		15.0		15.0	
Maximum cell density × 10 ⁴ cells/ml *	413	602	393	480	337	569	423	639	222	296
Culture days in the maximum cell density*	9	9	7	10	8	10	10	9	5	5

Note: * = 3-day moving average.

Table 9-2. Different parameters in the outdoor cultures of *Chaetoceros calcitrans* and *C. neogracile* in Trial 5 (500-l tank) during which a shade curtain was used

	Trial 5-1 (7/8~7/16)		Trial 5-2 (7/20~7/27)		Trial 5-3 (8/7~8/15)	
	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>C. neogracile</i>
Mean water temperature at 10:00 (°C) (Range)	28.8 (28.1~31.1)	29.1 (28.5~30.0)	28.2 (26.0~31.0)			
Mean water temperature at 15:00 (°C) (Range)	30.2 (25.3~34.7)	31.0 (30.4~32.0)	30.4 (27.6~33.5)			
Initial cell density × 10 ⁴ cells/ml *	15.0	15.0	17.0			
Maximum cell density × 10 ⁴ cells/ml *	164	227	161	265	190	
Culture days in the maximum cell density*	7	6	6	6	6	6

Note: * = 3-day moving average.

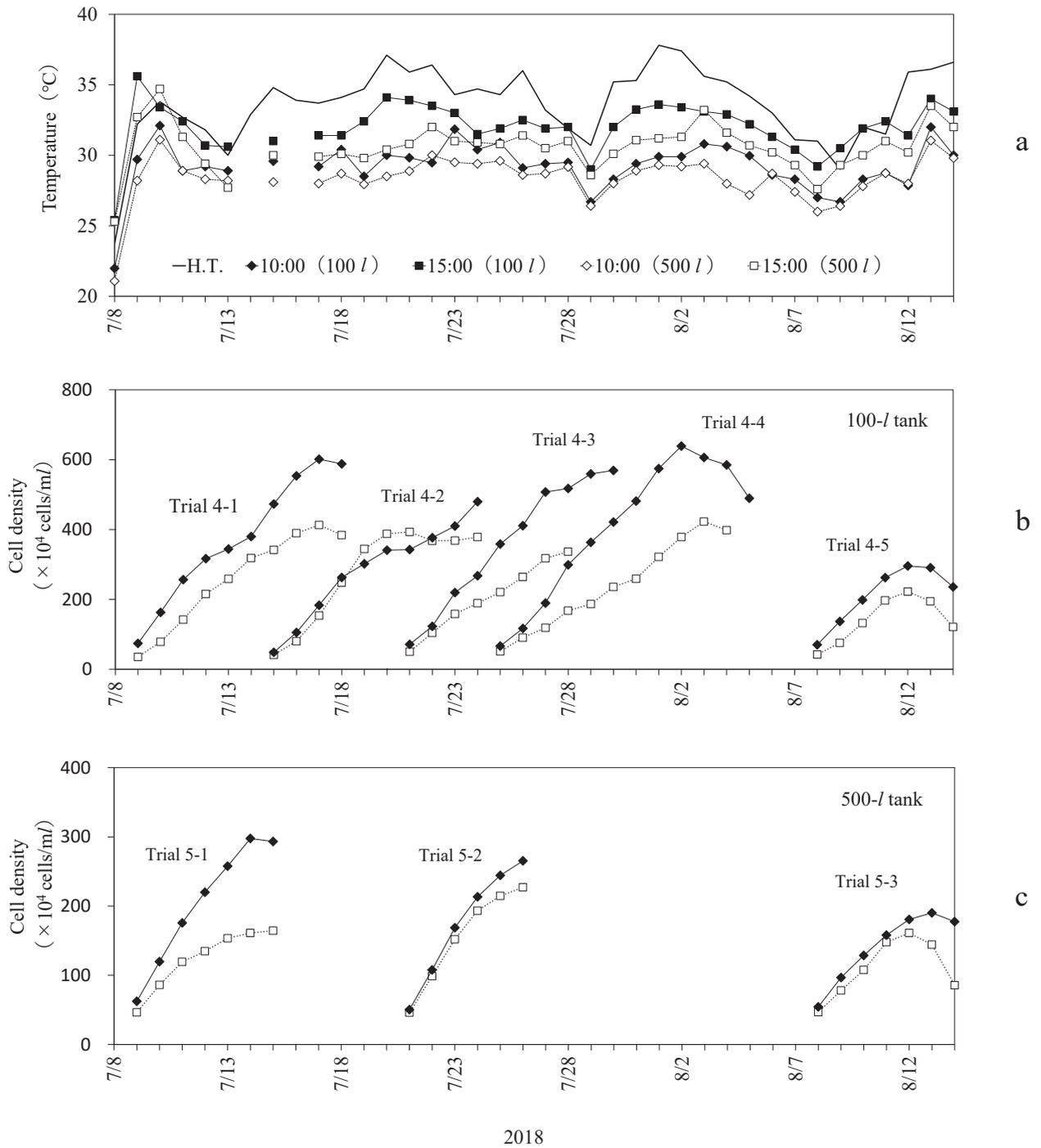


Fig. 54. Highest air temperature (solid line (H T)), water temperature at 10:00 (◆ = 100-l; ◇ = 500-l) and 15:00 (■ = 100-l; □ = 500-l) (a), 3-day moving average of the cell density in 100-l (b) and in 500-l (c) tanks of *Chaetoceros calcitrans* (□) and *C. neogracile* (◆). All measurements were done daily in 2018.

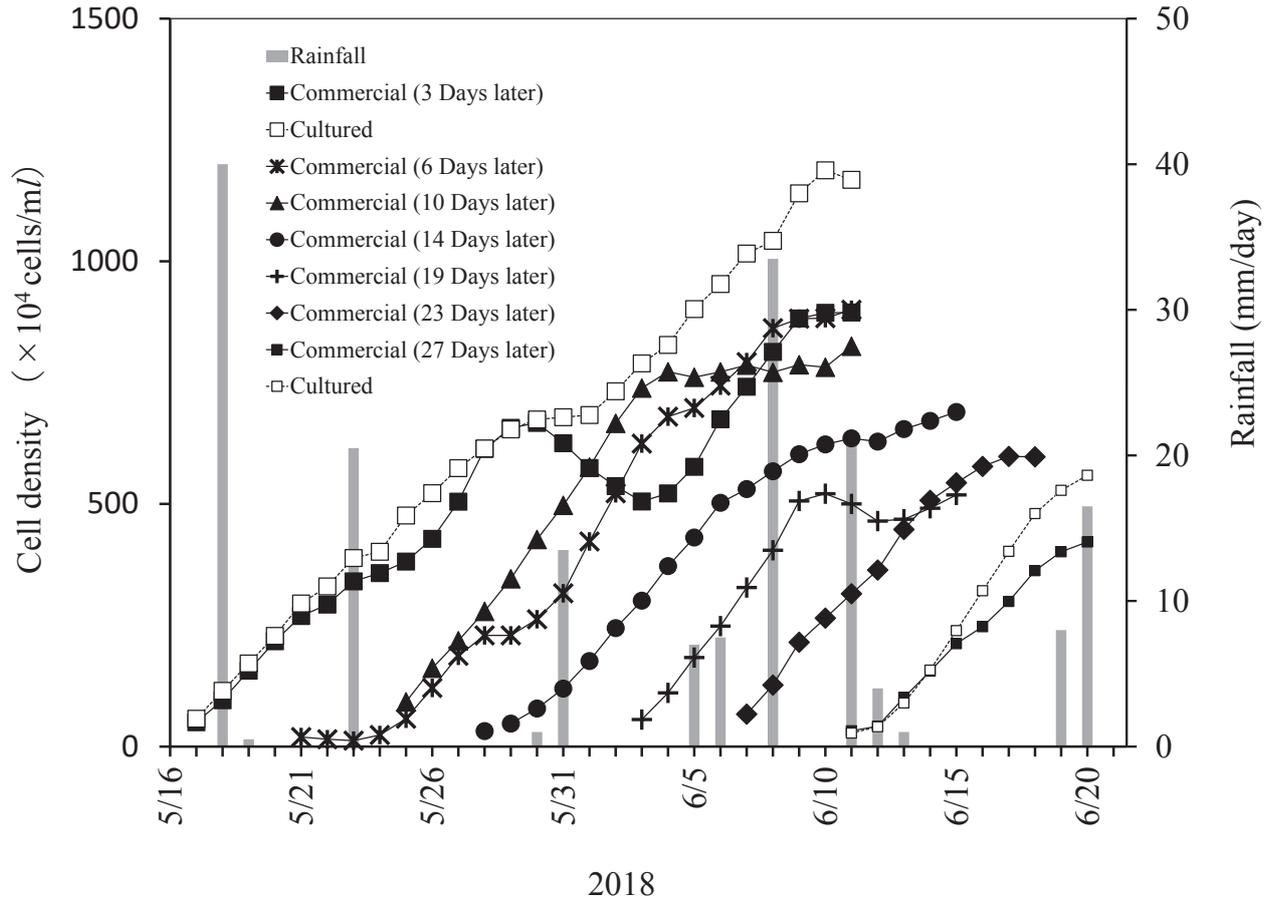


Fig. 55. Daily rainfall and 3-day moving average of the cell density of *Chaetoceros calcitrans* using cultured or commercial inoculum. The numbers in the brackets show the days of preservation by refrigeration after production in 2018.

Table 10-1. Different parameters in the 100-l outdoor tank cultures of *Chaetoceros calcitrans* and *C. neogracile*

	<i>C. calcitrans</i>				<i>C. neogracile</i>					
	W.T. (°C) at 10:00 ¹ (Range)	W.T. (°C) at 15:00 ¹ (Range)	Total no. of cultivations	Initial density ² (Range)	Target achievement rate (%) ³	Culture days ⁴ (Range)	Total no. of cultivations	Initial density ² (Range)	Target achievement rate (%) ³	Culture days ⁴ (Range)
May to June, 2018	23.3 (18.4~28.5)	27.1 (18.8~34.0)	33	22.1 (10~30)	100.0	5.6 ± 1.0* (4~8)	24	22.0 (11~30)	95.8	5.0 ± 1.1 (4~7)
July to August, 2018 ⁵	28.9 (23.4~30.9)	31.7 (22.4~34.1)	19	23.6 (15~30)	84.2	6.5 ± 1.4* (4~8)	26	25.4 (15~29)	96.2	5.4 ± 1.1 (4~8)
September, 2017	23.7 (20.4~28.5)	28.7 (20.9~33.8)	12	20.5 (19~22)	100.0	5.8 ± 0.8* (5~7)	12	23.7 (21~28)	100.0	5.0 ± 0.7 (4~6)

1, Mean water temperature of the tank.

2, Mean initial cell density ($\times 10^4$ cells/ml) of each culture.

3, Target achievement rate = the number of cultures that reached a density of 3 million cells per ml / total number of cultures.

4, Mean \pm SD number of days that cultures reached a density of 3 million cells per ml.

5, Culturing with a shade curtain.

*, Indicate significant differences between *C. calcitrans* and *C. neogracile* (*t*-test, $p < 0.05$).

Table 10-2. Different parameters in the 500-*l* outdoor tank cultures of *Chaetoceros calcitrans* and *C. neogracile*

	W.T. (°C)		<i>C. calcitrans</i>				<i>C. neogracile</i>			
	at 10:00 ¹ (Range)	at 15:00 ¹ (Range)	Total no. of cultivations	Initial density ² (Range)	Target achievement rate (%) ³	Culture days ⁴ (Range)	Total no. of cultivations	Initial density ² (Range)	Target achievement rate (%) ³	Culture days ⁴ (Range)
May to June, 2018	23.7 (19.6~28.6)	27.0 (18.9~33.4)	11	18.3 (10~28)	90.9	5.8 ± 1.0 (5~8)	12	17.8 (13~25)	91.7	5.7 ± 0.5 (5~6)
July to August, 2018 ⁵	28.3 (23.8~29.6)	30.1 (22.2~33.0)	17	22.8 (14~30)	76.5	6.2 ± 1.5* (5~9)	35	22.6 (11~27)	94.3	5.1 ± 1.2 (4~8)

1, Mean water temperature of the tank.

2, Mean initial cell density ($\times 10^4$ cells/ml) of each culture.

3, Target achievement rate = the number of cultures that reached a density of 2 million cells per ml / total number of cultures.

4, Mean \pm SD number of days that culture reached a density of 2 million cells per ml.

5, Culturing with a shade curtain.

*, Indicate significant differences between *C. calcitrans* and *C. neogracile* (*t*-test, $p < 0.05$).

Table 11. Different parameters in the the trials for the mass-production of settlement-stage larva of Iwagaki oyster and Ark shell using *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate) and *Chaetoceros calcitrans* in 2017

	Iwagaki oyster		Ark shell	
	Trial 1 (7/9~7/23)	Trial 2-1 (6/17~6/30)	Trial 2-2 (6/17~6/30)	
Tank volume (kl)	3.0	5.0	5.0	
Water temperature (°C)	26.2~29.0	22.1~25.0	22.1~25.0	
Salinity (psu)	33.7~34.1	22.7~23.5	22.7~23.5	
Start larval density (ind./ml)	2.6	3.6	4.1	
Final larval density (ind./ml)	1.3	1.4	2.1	
Mean shell length in the last day (µm)	307 ±26	238 ±30	209 ±25	
Final survival rate (%)	48.6	38.9	51.2	
Rearing days	15	14	14	

第2節 イワガキのシングルシード用の樹脂製軟質採苗器の開発

島根県では隠岐諸島を中心にイワガキの養殖が盛んであり、種苗の主な供給元である栽培センターにおいて、ホタテ殻原盤を用いた採苗器（出荷規格：採苗器1枚当たり殻高10mm以上の稚貝が10個体以上付着していること）が年間約10～20万枚生産され、県内の各養殖業者に配布されている。従来の養殖方法では、養殖業者の海面施設において数年間垂下養殖された後に、出荷直前に採苗器周囲に塊状に成長したイワガキを個別に剥がして出荷しているが、成長や殻の形状が不良な商品価値の低い個体の出現率が高くなる問題があった。そこで近年では、イワガキの成長や殻の形を良くすることを目的として貝が大きくなる前に採苗器から剥がし、個別にロープに固定して飼育する耳吊り法¹²⁰⁾や水中セメント法¹²¹⁾に移行しつつあるものの、この方法では採苗器から種苗を剥がす作業に大変手間がかかり、人件費の増加や殻の破損による種苗の損失などが課題であった。さらに、全国的にシングルシードを由来とする殻付きブランドカキの生産が拡大し、その需要が高まりつつあること^{122,123)}から、一部の県内養殖業者から栽培センターに対してシングルシード種苗の供給の強い要望があり、その対応が求められている状況にあった。その対応策として栽培センターでは、フランスの天然採苗において用いられているシングルシード用の樹脂製採苗器（COUPELLE, MULOT社）を使用した採苗試験¹⁷⁾を試みたものの、ホタテ殻に比べて扱いにくく、水槽当たりの採苗効率が低いことなどの問題があることが判明した。

そこで、採苗効率が低いシングルシード用の採苗器を新たに開発することを目的として、イワガキ養殖関係者らと共同で樹脂製軟質採苗器を試作し、その有効性や実用性について、採苗、海面飼育および剥離の工程ごとに従来のホタテ殻採苗器との比較を行った。採苗および剥離の工程では以下の一連の比較試験を実施し、試作した採苗器の検証をはじめ、採苗器の素材、形状、表面の構造および使用履歴の諸条件の差が採苗効率（稚貝の付着数、生残、成長および殻の破損など）に与える影響について検討した。

・試作した採苗器とホタテ殻採苗器との比較（試験1, 2）

- ・採苗器に貝殻粉を混合する効果の比較（試験1, 2および剥離試験）
- ・形状の異なる採苗器（平板と傘型）の比較（試験2）
- ・採苗器表面に突起構造をつける効果の比較（試験1, 2および剥離試験）
- ・履歴の異なる採苗器（使用前と使用后）の比較（試験1, 2, 3）

材料および方法

採苗器の設計

シングルシード用の新型採苗器（以下新型と略す）の設計では、栽培センターにおける採苗作業の効率性を考慮し、採苗において従来のホタテ殻と同様に扱えることを基本条件とした（Fig. 56-Aタイプ）。すなわち、新型はホタテ殻と同様に中央にロープを通す構造（穴の直径も同じ12mm）とし、1連当りの採苗器数も同じ35枚、1水槽当たりの収容連数もほぼ同様（500l水槽：約20連、1k/l水槽：約40連）とした。採苗器の上下の間隔も従来と同じ1.5cmとしたが、間隔を保持するためにロープに通して用いている円柱状の管（通称：スペーサー）については、採苗器連の作成の省力化を目的に採苗器と一体型の構造とした。

稚貝を採苗器から剥離する際に採苗器を折り曲げることから、新型の素材には繰り返しの折り曲げに強いポリプロピレン（以下PPと略す）を採用した。ただし、PPは比重が0.9であり、採苗時に浮いて扱いにくいことから、比重の重いマガキ殻粉末と炭酸カルシウム粉末との混合物（以下貝殻粉と略す）を混合することにより採苗器の比重を調整することとした。貝殻粉の混合率は、採苗時にエアレーションに由来する気泡が採苗器に付着して浮力がさらに増加することや、逆に採苗器の重量が重くなることによる作業性の低下などの諸条件を考慮して総重量の40%と50%の2種類を作製した。また、稚貝の付着状態の観察を容易にするために採苗器の色は白色とし、混合する顔料の成分を調整した。

PP素材の平板状の採苗器を用いて実施した予備試験（未発表）において、エアレーション由来の気泡が採苗器下面に滞留して空気溜りを形成することにより採苗器の浮力がさらに増加する現象が生じたことから、新型の形状は採苗器下面に滞留するエアが採苗器中央の穴から上方にスムー

ズに抜けることを期待して傘形状とし、採苗器の高さはホタテ殻の膨らみの強い方の殻（右殻）と同程度の2 cmとした。採苗器下端の直径は、水槽内における採苗器の水平方向の面積占有率が従来と同程度となるようにホタテ殻の最大径に合わせて12 cmとした。

新型の厚さは1 mm（突起部分を除く）とし、採苗器の表面の微細な構造が幼生の付着を促す効果を期待して採苗器の表面に網目状の突起構造を設けた。突起の配置パターンについては、株式会社中村化学工業（以下中村化学工業と略す）の既存のものを採用し、採苗器の中心から等間隔の同心円状に配置（12本）したものと採苗器の中心から放射状に配置（同心円の半分となる6番目より内側は放射角5°刻みで計72本、それより外側は放射角2.5°刻みで計144本）したもので格子状に構成され、各格子の大きさは概ね1~2×4 mm程度の範囲であった。突起の幅、高さはそれぞれ0.8 mm、0.6 mmとした。

新型の金型を含む製作は中村化学工業に発注し、貝殻粉の混合方法については同社の既存技術（実用新案登録第3182951号）を用いた。

試験区の設定（新型とホタテ殻の比較）

新型とホタテ殻を比較するための採苗試験を栽培漁業センターにおいて2回実施した。採苗水槽には、1回目の試験（試験1）、2回目の試験（試験2）とも従来の栽培センターにおける採苗と同じ円型透明ポリカーボネイト水槽を用いた。新型とホタテ殻の比較の他、採苗器の形状や表面の突起構造などの条件の違いが採苗結果に及ぼす影響を把握するために、各条件の異なる数種類の採苗器を用いた比較も同時に行った。各比較試験で用いた採苗器の概要をTable 12, 13に示す。採苗器の形状は、傘形状で表面に突起構造を有するスペーサー一体型のもの（Aタイプ）、平板状で表面に突起構造を有するスペーサー一体型のもの（Bタイプ）および平板状で表面に突起構造の無いスペーサー分離型のもの（Cタイプ）の3種類である（Fig. 56）。Bタイプの採苗器については、中村化学工業が商品サンプルとして素材にPPを用いて作成したものであり、平板状の形状（直径12 cm、厚さ1 mm）で表面に新型と同様の突起構造（突起の高さ0.5 mm）を設けたものである。Cタイプの採苗器については、市販の白色PP板（積水成

型工業株式会社）を円形に切って加工したもの（直径12 cm、厚さ1 mm）を使用した。

1回目の採苗試験（試験1） 500 lの水槽3基（水槽1~3）を用いて、1水槽に2種類の異なる種類の採苗器を収容して比較を行った（Table 12）。採苗は栽培センターの方法とほぼ同様の、1連当り35枚連結、1水槽当り20連収容とし、採苗器と採苗器の上下の間隔は1.5 cmで、採苗器の連結には直径6 mmのPP製ロープを用いた。

水槽1では、ホタテ殻16連と貝殻粉の混合率50%の新型（A・S+50%）4連の計20連を1水槽に収容して比較した。

水槽2では、Bタイプの採苗器を使用し、貝殻粉を混合する効果について検討した。貝殻粉を混入しない採苗器（B・S-）10連と貝殻粉を混合した採苗器（B・S+、貝殻粉の混合率は不明）10連の計20連を1水槽に収容して比較した。

水槽3では、素材にPPを使用したCタイプの採苗器を使用し、採苗器の生産コストの低減を意図して、一度採苗に使用した採苗器の再利用（使用後）について検討した。貝殻粉を混入しない採苗器（C・S-）10連と、同タイプの使用後の採苗器（C・S-・R）7連の計17連を1水槽に収容して比較した。なお、C・S-・Rについては、C・S-と同様の採苗器をイワガキの人工採苗に使用したものであり、コンクリートミキサーを用いて剥離剤（砂、砂利）とともに攪拌して表面に残る付着物を剥離後に試験に用いた。また、採苗条件を水槽1および2と同様とするため、不足する3連分は同じPPを素材としたCタイプと同型の採苗器（表面構造はやや異なる）を使用して20連に調整した。

2回目の採苗試験（試験2） 1 klの水槽1基（水槽4）を用い、試験1と同様に採苗器の種類ごとに分けて配置した連間で比較する方法（試験2-1）の他、2種類の採苗器を一つの連に1枚ずつ交互に配置して両者を比較する方法（試験2-2）も併せて実施した。新型は両試験ともに貝殻粉の混合率が試験1と異なる40%のものを用いた（Table 13）。

試験2-1では、新型（A・S+40%）、ホタテ殻、B・S+、B・S-、C・S-、C・S-・Rの採苗器各6連計36連を用い、試験1と同様にホタテ殻と新型の比較をはじめ採苗器に貝殻粉を混合する効果、使用後の採苗器の評価を把握するための試験区を設定した。また、採苗器の形状や表面の突起

構造の効果についても、その他の条件が同じ試験区間で比較することにより検討を行った。

試験 2-2 では、ホタテ殻と新型 (A・S+40%) との比較を行う試験区 3 連と、新型と同形の A タイプで貝殻粉を混合しない採苗器 (A・S-) と新型 (A・S+40%) との比較を行う試験区 1 連の計 4 連を用いた。なお、試験 2-2 において、前者の試験区では 1 連当たりの採苗器の数は試験 1 と同様に 35 枚としたが、後者の試験区では A・S- の採苗器枚数が不足したため、試験に用いる採苗器の数は A・S-、A・S+40% 各 14 枚の計 28 枚とし、不足する 7 枚 (上 4 枚, 下 3 枚) はホタテ殻を代用して 35 枚とした。試験 2-1 の 36 連と試験 2-2 の 4 連の合計 40 連を 1 水槽に収容して同時に採苗を行った。

採苗と海面飼育 採苗にあたり、試験 1, 2 における各採苗器連の配置については、採苗器の種類ごとに水槽内で偏りが生じないように分散して配置した。また、浮力を軽減するために、貝殻粉を含まない PP を素材とした採苗器各連の下部に陶器製の沈子を付けた他、PP を素材とした採苗器各連の最上位の採苗器の直上のロープに木製のストッパー (爪楊枝) を差し込んで採苗器を安定させた。

試験 1 の採苗では、2014 年 7 月 19 日に付着期幼生を従来の方法と同程度の密度 0.8 個体/ml に調整して、各採苗器を設置した各水槽に収容した。各採苗器は事前に栽培センターにおける方法と同様に次亜塩素酸ナトリウムによる殺菌を行った後、幼生の付着を促進するための前処理 (イワガキ親貝を約 8 kg 収容した 2 k/FRP 水槽内で約 1 週間ろ過海水のかけ流し) を行った。採苗期間中の基本的な飼育管理も栽培センターにおける方法に準じて行い、餌料は市販のカルシトランス (サンカルチャー, マリンテック) を給餌し、途中で採苗器の上下反転を 1 回行った。飼育水の攪拌は水槽の中央 1 ヶ所および外周付近 2 ヶ所に配置したエアストーン計 3 個から行った。

各採苗器に付着した稚貝の大部分が殻高 1~2 mm (ノギスによる簡易測定) の沖出し適サイズ¹²⁴⁾となった 8 月 6 日 (採苗器設置後 18 日目) に、栽培センターの海面施設へ沖出しして海面飼育に移行した。海面飼育は栽培センターにおける管理方法に準じて行い、各採苗器を 4×4 m の筏に設置したナイロン製のモジ網 (4×4×4 m, 約 6 mm メッシュ) 内に収容した。9 月 18 日 (沖出し後 43

日目) および 12 月 8 日 (沖出し後 95 日目, ホタテ殻と新型のみ実施) に各試験区から 5 連 (5 連未満のものは全て) を無作為に抽出し、各連の上から 5, 10, 15, 20, 25, 30 枚目の採苗器の上面および下面に付着した稚貝の個数を計数した。さらに、このうちの 3 連について上から 5, 10, 15, 20, 25, 30 枚目の採苗器に付着した稚貝の殻高をノギスで測定した。殻高は上, 下面から各 20 個を限度に無作為に抽出して測定した (以下無作為測定と略す)。また、栽培センターにおける出荷規格 (採苗器 1 枚当たり殻高 10 mm, 10 個体以上付着) を考慮し、各面の殻高の値の高い上位 5 個体 (5 個体未満の場合は全数) を測定する方法 (以下上位 10 個体と略す) も併せて行った。新型については、一部を 12 月 8 日の測定後も飼育を継続し、採苗器の上下の間隔をそれまでの 2 倍の 3 cm に広げて 1 連当たりの採苗器の枚数を採苗時の約半分 (17~18 枚) とした。翌 2 月 26 日 (沖出し後 204 日目) に新型の稚貝を徒手により剥離して計数し、無作為に抽出した 100 個体について殻高, 重量を測定した。

試験 2 の採苗では、同年 9 月 12 日に付着期幼生を密度 0.8 個体/ml に調整して、各採苗器を設置した水槽に収容した。採苗器の前処理および採苗期間中の基本的な飼育管理も試験 1 と同様とした。

試験 1 と同様に、各採苗器に付着した稚貝の大部分が沖出し適サイズ¹²⁴⁾となった 9 月 24 日 (採苗器設置後 12 日目) に、海面飼育に移行した。海面飼育の管理方法は試験 1 と同様に栽培センターにおける管理方法に準じて行った。11 月 7 日 (沖出し後 44 日目) および 12 月 12 日 (沖出し後 79 日目, ホタテ殻と新型のみ実施) に、試験 2-1 では各試験区から 3 連を無作為に抽出し、試験 1 と同様に各連の上から 5, 10, 15, 20, 25, 30 枚目の採苗器に付着した稚貝の個体数を計数し、試験 2-2 では各試験区の全ての採苗器に付着した稚貝の個体数を計数した。さらに、試験 2-1 については 11 月 7 日および 12 月 12 日 (ホタテ殻と新型のみ実施) に採苗器に付着した稚貝の殻高を測定した。測定数および測定方法は試験 1 と同様とした。試験 1 と同様に、新型の一部を 12 月 12 日の測定後も飼育を継続し、採苗器の上下の間隔を広げて 1 連当たりの採苗器の枚数を採苗時の約半分とした。翌 2 月 26 日 (沖出し後 155 日目) に、新型の稚貝を徒手により剥離して計数し、無作為に抽出した 100 個体について殻高, 重量を測定した。

各採苗器における稚貝の付着状況の評価については、各試験区の採苗器に付着した稚貝の殻高の無作為測定、もしくは上位10個体の平均値が、栽培センターにおける出荷基準サイズ殻高10mm以上に成長した段階(試験1は9月18日、試験2は11月7日)の値を用いて行った。

なお、同一採苗器における稚貝の付着状況の連続的な観察結果から、育成中における天然イワガキ個体の付着が確認されなかったことから、採苗器に付着した稚貝は全て人工種苗生産由来の個体であるとみなされた。また、試験1では9月18日に、試験2では11月7日に全ての採苗器について塩水浴により食害種であるヒラムシ類の駆除を行った。

単位面積当りの稚貝の付着数を推定するために、各採苗器の表面積を算出した。不定形であるホタテ殻については、採苗器として用いたものから右殻、左殻各10個体ずつ無作為に抽出し、各々の殻長と殻高の平均値を直径、殻の膨らみの平均値を高さとする円錐の面積として算出し、その平均値(右殻と左殻の割合は1:1と仮定)を面積として用いた。なお、各採苗器の突起などの表面の微細な構造は無視して計算した。

試験区の設定(新型における未使用と再利用の比較)

3回目の採苗試験(試験3) 新型を用いて、再利用(使用後)の採苗器の付着効率の評価を行うための採苗試験を水産技術センターにおいて行った。採苗試験では、未使用の採苗器とイワガキの人工種苗生産で使用したものを比較する試験区(試験3-1)および未使用の採苗器と天然海域に一定期間垂下して付着生物を人為的に付着させたものとを比較する試験区(試験3-2)を設定した(Table 14)。

試験3-1では、試験1と同様に500lの円型透明ポリカーボネイト水槽を用い、採苗器を1連当たり40枚連結し、1水槽当たり20連収容とした。未使用の新型(A・S+40%・R-)10連と同タイプの使用後(A・S+40%・R+)10連の計20連を1水槽(水槽5)に収容した。使用後のものは、過去2年連続して水産技術センターにおいてイワガキの人工採苗に使用したものであり、コンクリートミキサーを用いて剥離剤(砂、砂利)とともに約2分間攪拌して表面に残る付着物を剥離後に試験に用いた。

試験3-2では同様に500lの円型透明ポリカーボネイト水槽を用い、未使用の新型(A・S+40%・R-)10連と同タイプの使用後(A・S+40%・R+)10連の計20連を1水槽(水槽6)に収容した。使用後のものは、採苗試験の直前に汽水湖である中海の水産技術センターの海面養殖施設(水深約5m)の深度2.5mの層に、約1ヶ月間垂下して採苗器にフジツボなどの生物を人為的に付着させたものであり、試験3-1と同様に表面の付着物を剥離後に試験に用いた。

なお、水槽内における採苗器の配置については、試験3-1、試験3-2ともに未使用と使用後の各採苗器に偏りが生じないように均等に配置した。また、コンクリートミキサーによる採苗器表面の剥離の影響を考慮し、未使用の採苗器についてもコンクリートミキサーによる同様の剥離処理を行った。

採苗と飼育 採苗は2016年8月19日に行った。イワガキ付着期幼生を密度1.4個体/mlに調整して各採苗器を設置した各水槽に収容した。採苗期間中の基本的な飼育管理は、採苗器の上下反転は行わなかったこと以外は試験1、2と同様とした。

各採苗器への稚貝の十分な付着を確認した8月23日(採苗4日目)に採苗を終了し、同水槽に採苗器を収容した状態で飼育を継続した。飼育期間中の餌料は屋外で培養したネオグラシーレを給餌した。試験3-1は10月7日(採苗後45日目)に、試験3-2は9月30日(採苗後38日目)に、水槽の中心(エアーストーンの位置)から等距離に位置する採苗器を各試験区2連ずつ(各試験区採苗器80枚)を抽出し、全ての採苗器に付着した殻高約1mm以上の稚貝の個数を計数した。さらに、無作為に抽出した稚貝50個体の殻高をノギスで測定した。

剥離試験

試験1の各試験区の採苗器について、2014年12月9日(沖出し後96日目)に採苗器に付着した稚貝を徒手により剥離した。採苗器の種類ごとに剥離した稚貝から無作為に抽出した各50個体の殻高を測定するとともに、殻の破損の有無を観察した。殻に破損が認められた個体について、破損の程度が大きいもの(殻の破損が全体に及ぶもの)と破損の程度が小さいもの(殻の破損がヒビや穴などの部分的であるもの)に分けてその個体数を記録した。さらに、採苗器から剥離後の稚貝の生残率を推定することを目的に、剥離した稚貝を採

苗器の種類ごとに200個体ずつパールネット(1.5分目合)に収容して垂下飼育を継続し、約2ヶ月後の2015年2月12日に取り上げて生貝と死貝を計数し、この間の生残率を推定した。

この他、試験1, 2で生産した貝殻粉の混合率が異なる(採苗器の弾力性が異なる)新型各1連を用いて、イワガキ生産者が補助事業で導入した電動剥離機(フランスMULOT社製DETROC COUPELLES SIMPLE)による剥離が可能かどうかを確認するための試験を実施した。試験に用いた採苗器1連当たりの採苗器の枚数(貝殻粉の混合率)は、試験1由来のものが18枚(50%)、試験2由来のものが17枚(40%)であった。電動剥離機による剥離は2月26日(前者は沖出し後204日目、後者は沖出し後155日目)に採苗器にロープを通した状態で行った。剥離した稚貝は、観察・計数の後、無作為に抽出した100個体について殻高と重量を測定した。また、剥離できずに採苗器に残存した稚貝も同様に計数の後、剥離して殻高と重量を計測した。

データ解析

試験1~3における各採苗器に付着した稚貝の平均個数、単位面積当たり平均個数および無作為測定個体の平均殻高の有意差の解析では、Microsoft社製Excelを用いて*t*検定を行った。有意水準はいずれも5%とした。

結果

採苗試験(試験1)

9月18日の測定時における各採苗器の稚貝の付着状況(ホタテ殻、C・S-・Rを除く)をFig. 57に、各採苗器に付着した稚貝の平均個数、単位面積当たり平均個数および無作為測定個体の平均殻高をFig. 58に示す。

ホタテ殻と新型(A・S+50%)を比較した水槽1由来の採苗器では、稚貝の平均個数は、新型(47.1個)がホタテ殻(28.1個)に対して約1.7倍高い値を示した($P < 0.05$)。単位面積当たり平均個数では、新型(0.20個/cm²)とホタテ殻(0.16個/cm²)の間に差は無かった。一方、無作為測定個体の平均殻高は、ホタテ殻(9.5 mm)が新型(7.7 mm)に対して高い値を示した($P < 0.05$)。

貝殻粉を混合する効果について比較した水槽2由来の採苗器では、稚貝の平均個数(採苗器の表

面積が同じであるため単位面積当たり平均個数の比較は略す、以下同様)は、貝殻粉を混合したもの(B・S+ : 9.8個)が貝殻粉を混合しないもの(B・S- : 6.3個)に対して約1.6倍高い値を示した($P < 0.05$)。一方、無作為測定個体の平均殻高では、貝殻粉を混合したもの(B・S+ : 10.8 mm)と貝殻粉を混合しないもの(B・S- : 11.7 mm)の間に差は無かった。

使用後の採苗器の評価について検討した水槽3由来の採苗器では、稚貝の平均個数は、使用後のもの(C・S-・R : 32.3個)が未使用のもの(C・S- : 10.5個)に対して約3.1倍高い値を示した($P < 0.05$)。一方、無作為測定個体の平均殻高は、未使用のもの(C・S- : 14.4 mm)が使用後のもの(C・S-・R : 11.0 mm)に対して高い値を示した($P < 0.05$)。

採苗試験(試験2-1)

11月7日の測定時における水槽4由来の各試験区の採苗器に付着した稚貝の平均個数、単位面積当たり平均個数および無作為測定個体の平均殻高をそれぞれFig. 59に示す。

ホタテ殻と新型(A・S+40%)を比較した採苗器では、稚貝の平均個数は、新型(73.0個)がホタテ殻(48.7個)に対して約1.5倍高い値を示した($P < 0.05$)。単位面積当たり平均個数では、新型(0.31個/cm²)とホタテ殻(0.28個/cm²)の間に差は無かった。一方、無作為測定個体の平均殻高は、ホタテ殻(9.3 mm)が新型(7.5 mm)に対して高い値を示した($P < 0.05$)。

貝殻粉を混合する効果について検討した採苗器では、稚貝の平均個数は、貝殻粉を混合したものが(B・S+ : 23.3個)貝殻粉を混合しないもの(B・S- : 15.5個)に対して約1.4倍高い値を示した($P < 0.05$)。一方、無作為測定個体の平均殻高は、貝殻粉を混合したもの(B・S+ : 9.7 mm)と貝殻粉を混合しないもの(B・S- : 9.6 mm)は同程度の値であった。

使用後の再利用について検討した採苗器では、稚貝の平均個数は、使用後のもの(C・S-・R : 9.8個)が未使用のもの(C・S- : 3.7個)に対して約2.6倍高い値を示した($P < 0.05$)。一方、無作為測定個体の平均殻高は、使用後のもの(C・S-・R : 11.6 mm)と未使用のもの(C・S- : 12.5 mm)の間に差は無かった。

この他、採苗器の形状の効果については、傘形状の新型 (A・S+40%) と平板状 (B・S+) との間で稚貝の平均個数 (両者の採苗器の表面積はほぼ同じ) の比較を行い、傘形状 (73.0 個) が平板状 (23.3 個) に対して約 3.1 倍高い値を示した ($P < 0.05$)。また、表面の突起構造の効果については、同じ平板状の突起構造を有するものと突起構造の無いものとの間で稚貝の平均個数の比較を行い、突起構造を有するもの (B・S- : 15.5 個) が無いもの (C・S- : 3.7 個) に対して約 4.2 倍高い値を示した ($P < 0.05$)。

採苗試験 (試験 2-2)

11月7日の測定時における水槽4由来の各試験区の採苗器に付着した稚貝の平均個数、単位面積当り平均個数をそれぞれ Fig. 60 に示す。ホタテ殻と新型 (A・S+40%) を比較した3連の採苗器では、稚貝の平均個数は、新型が各々77.9 個, 79.6 個, 76.2 個, ホタテ殻が各々48.0 個, 55.3 個, 41.1 個で、新型がホタテ殻に対して1.4~1.8倍高い値を示した ($P < 0.05$)。単位面積当り平均個数では、新型が各々0.33 個/cm², 0.34 個/cm², 0.32 個/cm², ホタテ殻が各々0.28 個/cm², 0.32 個/cm², 0.24 個/cm² で両者の間に差は無かった。一方、新型と同形のものをを用いて貝殻粉を混合する効果について比較した採苗器では、稚貝の平均個数は、貝殻粉を混合したもの (新型: 55.1 個) が混合しないもの (A・S- : 36.6 個) に対して約1.5倍高い値を示した ($P < 0.05$)。

出荷基準サイズ以降のホタテ殻と新型採苗器の比較 (試験 1, 2-1)

試験1 (水槽1由来), 試験2-1 (水槽4由来) のホタテ殻と新型の海面飼育期における稚貝の平均個数、単位面積当り平均個数および平均殻高の推移を Fig. 61 に示す。なお、試験1の8月 (沖出し時) と試験2-1の9月 (沖出し時) の平均殻高は簡易測定値を、試験1の9月, 12月と試験2-1の11月, 12月の平均殻高は無作為測定値を、試験1, 試験2-1の2月の平均殻高は採苗器から剥離後の稚貝100個体の値を用いた。

試験1では、栽培センターの出荷基準に達した9月18日から51日後の12月8日には、稚貝の平均個数、単位面積当り平均個数はホタテ殻、新型とも減少し、新型が各々38.1 個, 0.16 個/cm², ホタテ殻が各々18.1 個, 0.1 個/cm² となり、新型がホ

タテ殻に対して平均個数で約2.1倍、単位面積当り平均個数で約1.5倍高い値を示した (いずれも $P < 0.05$)。一方、稚貝の平均殻高は、ホタテ殻 (19.6 mm) が新型 (14.3 mm) に対して約1.4倍高い値を示した ($P < 0.05$)。

試験2-1では、栽培センターの出荷基準に達した11月7日から35日後の12月12日には、稚貝の平均個数、単位面積当り平均個数はホタテ殻、新型とも大きく減少し、新型が各々40.3 個, 0.17 個/cm², ホタテ殻が各々30.2 個, 0.18 個/cm² となり、新型がホタテ殻に対して平均個数で約1.3倍高い値を示したが ($P < 0.05$)、単位面積当り平均個数は両者とも同程度の値であった。一方、稚貝の平均殻高は、ホタテ殻 (16.0 mm) が新型 (12.3 mm) に対して約1.3倍高い値を示した ($P < 0.05$)。

3回目の採苗試験 (試験 3)

10月7日の測定時における各試験区の採苗器に付着した稚貝の平均個数をそれぞれ Fig. 62 に示す。

未使用と使用後 (イワガキの種苗生産に使用) を比較した試験3-1の採苗器では、稚貝の平均個数は、使用後 (187.7 個) が未使用 (52.9 個) に対して約3.6倍高い値を示した ($P < 0.05$)。なお、稚貝の平均殻高では、使用後 (7.8 mm) と未使用 (8.4 mm) の間に差は無かった。

未使用と使用後 (天然海域に垂下) を比較した試験3-2の採苗器では、稚貝の平均個数は、使用後 (123.3 個) が未使用 (21.5 個) に対して約5.7倍高い値を示した ($P < 0.05$)。なお、稚貝の平均殻高では、未使用 (8.4 mm) が使用後 (6.7 mm) に対して約1.3倍高い値を示した ($P < 0.05$)。

剥離試験

徒手による剥離試験 試験1の採苗器から剥離した稚貝の平均殻高の範囲は、19.6~26.7 mm であった。採苗器の種類別の剥離時における稚貝の殻の破損状況および剥離稚貝の飼育後の生残率を Fig. 63 に示す。採苗器の種類により殻の破損状況は異なり、破損の程度が大きいものと小さいものを合計した殻の破損個体の割合で比較すると、新型、B・S- が各々14, 10%と低い値を示したのに対し、B・S+, C・S-, C・S--R は各々34, 52, 54%と高い値を示した。これを破損の程度が大きいものの割合で比較すると、新型、B・S- が各々4, 6%と低い値を示したのに対し、B・S+,

C・S-、C・S-・Rが各々28, 18, 18%と高い値を示した。稚貝の殻の破損の大部分は、採苗器側の付着面（左殻）の破損であり、採苗器の表面に突起構造の無いCタイプの採苗器由来の稚貝の左殻の表面は平滑で、剥離時の衝撃に弱く割れやすい特徴が観察された。一方、採苗器の表面に突起構造を有するA, Bタイプの採苗器由来の稚貝の左殻の表面は凹凸があり、剥離時の衝撃に強く割れにくい特徴が観察された。

剥離した稚貝の飼育後の生残率は、新型, B・S-がいずれも96%と高い値を示したのに対し、B・S+, C・S-, C・S-・Rが各々78, 75, 70%と低い値を示した。なお、剥離を行った12月9日における新型の1枚当りの有効個体数は、その後の稚貝の生残率から逆算すると36.4個体と推定された。

電動剥離機による剥離試験 電動剥離機による新型の稚貝の剥離結果をTable 15に示す。稚貝の剥離率（剥離個体数 ÷ 付着数）および剥離した稚貝における殻の破損の無い個体の割合は、貝殻粉の混合率に関係なくいずれも90%後半と高い値を示し、電動剥離機を用いた剥離が可能であると判断された。一方、剥離作業後の採苗器において、貝殻粉の混合率が40%の採苗器では17枚全て無傷であったが、貝殻粉の混合率が50%の採苗器では用いた18枚のうち4枚(22.2%)に亀裂や欠損などの破損が生じた。このことから、貝殻粉の混合率が50%の採苗器は40%のものに比べて弾力性が劣り、採苗器の耐久性が低いことが判明した。

考察

採苗効率が高いシングルシード用の採苗器を開発することを目的として実施した本試験では、試験に用いる採苗器の製作・入手が遅れたため、試験回数や採苗器の使用枚数に制限があった。このため、試験区の設定においては、全ての試験を栽培センターにおける採苗と同じ条件の下で、複数種の採苗器を同一水槽内に設置する方法により各採苗器の評価を試みた。

以下、試作した新型について従来用いているホタテ殻との比較によりその有効性、実用性を検証する。さらに、採苗器の素材、形状、表面の構造および使用履歴の諸条件の差が採苗効率に与える

影響についても異なる複数の種類の採苗器間で比較することにより検討する。

新型の評価

試験1(9月18日)と試験2-1(11月7日)では、新型に付着した稚貝の平均個数は、ホタテ殻より1.5~1.7倍高い値を示した。これは新型がホタテ殻より採苗器の表面積が約1.4倍大きいことや、単位面積当りの付着個数が1.1~1.2倍高い傾向を示したことに起因する。ホタテ殻は左殻と右殻が混在し、様々な大きさの殻を含んでいる。一方、新型では各採苗器の大きさを規格化でき、その形状を立体的にしたことで採苗器の表面積を増加することが可能であった。さらに、新型では採苗器に幼生の付着を促す諸条件を付加した。これらのことから、採苗器全体に付着した稚貝の個体数は、従来のホタテ殻よりも新型の方が多くなったと考えられる。そして、新型では稚貝が出荷基準サイズとなった後もホタテ殻に劣ることなく生残したことから、栽培センターから出荷後も、剥離までの期間においてホタテ殻と同程度に付着状態を維持するものと判断される。なお、稚貝の平均個数および単位当たり平均個数の減少率は、試験1と試験2-1で大きく異なったが、稚貝の密度が高かった試験2-1では、密度効果により稚貝の成長に伴って付着スペースや餌料条件が悪化したため稚貝の減耗率がより高くなったものと考えられる。一方、稚貝の成長についてみると、評価を行った9月18日(試験1)、11月7日(試験2-1)時点における無作為測定で稚貝の平均殻高は、試験1、試験2-1とも付着数とは逆に新型がホタテ殻より低い値を示した。試験1については、稚貝の単位面積当たり平均個数が高かった新型の方が前述と同様に密度効果により稚貝の成長において少なからず不利であったと考えられる。

試験2では、両者を連間で比較する方法(試験2-1)に加えて、一つの連に交互に異なる採苗器を配置して両者を比較する方法(試験2-2)も用いたが、稚貝の平均個数、単位面積当たり個数は、試験2-1と同様に新型がホタテ殻より高い値を示し、その値も試験2-1と大きな差は無かった。連間で比較する方法は、水槽内における連の位置の違いが幼生の付着数に少なからず影響することから複数連を用いて平均化する必要があるが、一つの連で比較する方法は、水槽内における位置を考慮する必要が無く前者より簡便である。しかし、この

方法は上下の隣接する採苗器間の距離が近いことから、各採苗器の幼生の誘因効果を比較する場合は正確な比較が出来ない可能性が懸念される。今回の場合は、結果的に一つの連に交互に異なる採苗器を配置する方法でも連間での比較と同様な結果が得られたことから問題は無かったと考えられる。

貝殻粉を混合する効果

採苗器の形状が B タイプを用いた試験 1、試験 2-1 の採苗器では、いずれも貝殻粉を混合したものが無処理のものに対して、稚貝の平均個数で前者が 1.6 倍、後者が 1.4 倍高い値を示し、さらに、採苗器の形状が A タイプを用いた試験 2-2 の採苗器でも同様に、貝殻粉を混合したものが無処理のものに対して 1.5 倍高い値を示した。このことから、採苗器に貝殻粉を混合することは、設計時に意図した浮力の調整機能だけに留まらず、稚貝の付着数を増加させる効果があると判断される。このことは、貝殻粉に含まれる成分に幼生の付着を誘因する作用がある可能性を示唆するものである。マガキでは、幼生の付着が同種のマガキおよび近縁のイワガキの貝殻に含まれる付着誘起物質により促進されることが確認されている¹²⁵⁾が、同様に採苗器に混合した貝殻粉に含まれるマガキ殻の付着誘起物質によって近縁のイワガキ幼生の付着が誘起された可能性が考えられる。

採苗器の形状

同一水槽内の採苗条件としては、試験 2-1 における傘型の新型と平板の B・S+ との 1 回の比較しかできなかったものの、稚貝の単位面積当り個数で傘型が平板に対して 3 倍以上高かったことから、幼生の付着効率は傘型が平板より高いと判断できる。この要因としては、採苗器の設計時に意図したとおり、傘型の採苗器は平板のものよりも採苗器下面に滞留するエアが上方に抜けやすい構造となっており、このことが採苗器の浮力を抑える効果とともに幼生の付着を阻害すると考えられる空気溜りが減少したことで採苗器下面における幼生の付着をより促進した可能性が考えられる。また、採苗器の形状が立体的な構造となったことで採苗器の周囲の水流が変化し、このことが幼生の付着効率に好影響を及ぼした可能性もある。

採苗器の表面に突起構造を有する効果

前者と同様に、同一水槽内の採苗条件としては、試験 2-1 における突起構造を有する B・S- と突起構造の無い C・S- との 1 回の比較しかできなかったものの、採苗器の形状の比較と同様に稚貝の単位面積当り個数の差が突起構造のあるものがないものに対して 4 倍以上高かったことから、採苗器表面の突起構造は幼生の付着効率の向上に有効であると考えられる。アコヤガイ *Pinctada fucata* 幼生では、付着基質の表面がザラザラした方に多く付着し、¹²⁶⁾マガキでは、プラスチック板の表面に砕いたマガキの殻を貼り付けることにより稚貝の付着数が増加すること¹²⁷⁾が報告されており、イワガキにおいても採苗器の表面の突起構造には幼生の付着効率を増加させる要因があると推察できる。採苗器表面の微細な構造と幼生の付着基質の選択性との関係は不明であるが、飼育水槽内における幼生の付着直後の観察において、大部分の稚貝が突起間に形成された溝に付着していたことから、この溝が物理的に幼生をトラップしやすい構造として有効に機能した可能性も考えられる。

ところで、今回の試験では、稚貝の単位面積当り平均個数が多い試験区では稚貝の平均殻高が小さくなる傾向が認められたが、この要因の大部分は稚貝の成長がその密度に影響を受ける密度効果によるものであると考えられる。このため、比較を行った採苗器間で稚貝の密度が異なることから、各採苗器の構造と稚貝の成長を関連付けて評価することが困難であった。しかし、試験 1 の評価を行った 9 月 18 日において、水槽は異なるものの同じ平板状の採苗器である表面に突起構造を有する採苗器 B・S+ (水槽 2) と表面に突起構造の無い採苗器 C・S- (水槽 3) を比較すると、両者の稚貝の単位面積当り平均密度はほぼ同程度であったにもかかわらず、その無作為測定で稚貝の平均殻高は後者が 1.3 倍高い値を示した。両者の採苗器は貝殻成分の混合の有無でも条件が異なるが、この違いが採苗器の表面の物理的な構造に与える影響はほとんど無いことから、両者の成長差は採苗器の表面の突起構造の違いに起因する可能性が高いと判断される。剥離した稚貝を観察すると、突起構造の無い採苗器の稚貝の左殻(付着面)は平滑な形状であるのに対し、突起構造を有する採苗器の稚貝の左殻は採苗器の突起構造と同じ格子状の起伏の激しい形状となっていることから、表面の突起構造は稚貝の殻の成長の阻害要因となる

ことが示唆される。このことは、同時に表面に突起構造を有する新型は少なくとも稚貝の殻の伸長において不利である可能性を示唆するものである。現に、試験 2-1 の 11 月 7 日～12 月 12 日の新型とホタテ殻の平均殻高の推移 (Fig. 59) において、稚貝の付着密度が両者で大きな差が無かったにもかかわらず、平均殻高はホタテ殻が新型に対して有意に高い値を示したが、これは新型の稚貝の殻高の成長率がホタテ殻より劣ることを示すものであり、その要因として新型の突起構造が影響した可能性が大きいと考えられる。

採苗器の再利用

採苗器の形状が平板状の C タイプを用いた試験 1、試験 2-1 では、使用後の採苗器が未使用の採苗器に対して、稚貝の平均個数で前者が 3.1 倍、後者が 2.6 倍高い値を示した。さらに、新型を用いた試験 3-1、3-2 でも、使用後の採苗器が未使用の採苗器に対して、稚貝の平均個数で前者が 3.6 倍、後者が 5.7 倍と高い値を示した。このことから、PP 素材の採苗器の再利用が可能であるだけでなく、使用後の採苗器では幼生の付着効率が増加するメリットがあることが判明した。付着効率が増加した要因としては、使用後の採苗器の表面に残るイワガキやその他の生物の付着痕が幼生の付着に影響した可能性が考えられるが、それが物理的なものなのか化学的なものなのかは不明である。なお、試験 3-2 の結果から、採苗器を一定期間天然海域に垂下してフジツボなどの生物を人為的に付着させる方法は、未使用の新型の採苗効率を向上させる有効な手段として応用できるものと考えられる。

剥離後の稚貝の生残率

次に採苗器から稚貝を剥離する際にみられた貝殻の破損と稚貝の生残率との関係について考察する。試験 1 における採苗器から稚貝を徒手剥離する際の貝殻の破損の程度や破損個体の出現率は、採苗器の種類によって異なったが、剥離後の稚貝の生残率は、全ての種類の採苗器で殻の破損が無い個体の割合より高い値を示した。予備試験において、貝殻の破損が殻全体に及び、軟体部の損傷もしくは軟体部の大部分の露出を伴う場合には稚貝は殻を修復できずに死に至るが、その破損がヒビや穴などの小規模で軟体部に損傷が無い場合には稚貝は殻を修復することが可能であることを確

認している。したがって、各採苗器における稚貝の生残率の差は、主に殻の破損の程度の差を反映したものであると推察される。そこで、殻の破損の程度が大きい個体の出現割合と採苗器の種類との関係について検討した。殻の破損の程度が大きい個体の出現割合が約 20% と高かった C・S-、C・S-・R の採苗器の表面は平滑であることから、稚貝の付着面である左殻も平滑であるため、剥離時に殻が破損する個体の割合が高かったものと考えられる。そして、殻の破損の程度が大きい個体の出現割合が数% と低かった新型、B・S- の採苗器の表面は、突起構造を有することから、その左殻は凹凸状で殻の強度が高まる構造となったことにより、剥離時に破損する個体の割合が低かったものと考えられる。一方、同じ突起構造を有する B・S+ の採苗器は、前者とは逆に殻の破損の程度が大きい個体の出現割合が約 28% と最も高かったが、この原因としては採苗器の硬さが影響したことが指摘できる。採苗器から稚貝を徒手で剥離する作業では、採苗器を軽く折り曲げることで稚貝を剥離することができるが、曲げすぎると殻の破損率が増加するのでその力を微調整する必要がある。しかし、本採苗器は硬く、弾力性が低いことから、採苗器を折り曲げる際の力の微調節が困難であった。このため、必要以上に採苗器を曲げ過ぎたことにより貝殻の破損率が高くなったと考えられる。本採苗器は既存のサンプル品であり貝殻粉の混合率は不明であるが、PP 素材本来の弾力が大きく低下していることからその混合率は比較的高いと判断できる。

今後の課題

今回の試験では採苗器から稚貝を剥離するという前提条件のもとで、採苗器の素材には、繰り返し折り曲げに強く耐久性の高い PP を選択してその実用性を検討した。その結果、市販の PP 板を加工しただけの平板状の採苗器は、ホタテ殻より付着効率が劣り実用的でないが、貝殻粉の混合、傘型の立体的な形状、表面の突起構造などの幼生の付着を促す諸条件を付加した新型は、幼生の付着効率がホタテ殻と同程度まで向上した。さらに、採苗器の規格化により表面積を増加することで、ホタテ殻より効率的な採苗が可能であることを確認した。そして、表面の突起構造により、採苗器から剥離後の稚貝の生残率も高いことから、今回製作した新型はイワガキの人工種苗生産において

有効性が高く、十分に実用的であると考えられる。しかし、一方で稚貝の殻の成長は従来のホタテ殻と比較してやや劣ることも判明し、今後さらに、効率的で実用的なものとするためには以下の検討すべき課題が残されている。

新型の主な素材である PP は合成樹脂の中では比較的単価ではあるが、試験で使用したホタテ殻 1 枚当りの単価約 4.7 円（送料込）と比較すると、PP 平板 1 枚当りの単価は約 15.6 円（送料込、加工費は含まない）と高単価である。しかし、試験 3 の結果から、新型は製造から少なくとも 3 年が経過しても繰り返し使用でき、さらに幼生の付着効率が增加することが判明し、再利用によるコストの低減化が十分可能であると見込まれる。したがって、今後はさらに新型の耐久性を確認するとともに、使用後の採苗器の洗浄作業の発生などのデメリットを勘案した上で、採苗器の再利用体制の構築について検討すべきであると考えられる。

貝殻粉の混合率については、その割合が高い場合には、本来 PP 素材の特徴である弾力性が低下し、稚貝の徒手剥離の際に稚貝の殻の破損率が増加することや採苗器の耐久性が低下することが判明した。新型の貝殻粉の混合率は、採苗器の浮力

調整、作業性および耐久性を総合的に判断すると概ね 40%程度が妥当であると考えられるが、将来的には再利用の回数と耐久性との兼ね合いの中で最適な混合率を決定すべきであろう。

採苗器の形状については、現行の傘型で概ね問題無いと考えられるが、円錐の高さについては若干の検討の余地がある。高くすることで採苗器の付着面積を物理的に増加することができる一方で、採苗器内部の換水率の低下が懸念されることから最適な高さについて検討する必要がある。

表面の突起構造については、幼生の付着効率の増加のメリットと稚貝の殻の成長率の低下のデメリットの両面から最適な条件を検討すべきである。特に、突起の高さは、採苗器の厚さとともに採苗器の耐久性や剥離作業の効率性にも影響する重要な要素であると考えられる。稚貝の剥離作業において、現行の貝殻粉の混合率 40%の新型は、機械剥離では問題無いものの徒手剥離では折り曲げる際にやや硬くて作業性に問題があると判断されたことから、今後は、出荷先の養殖業者の状況に応じてこれらの条件を総合的に判断した上で、最適な採苗器の厚さと突起の高さを決定する必要がある。

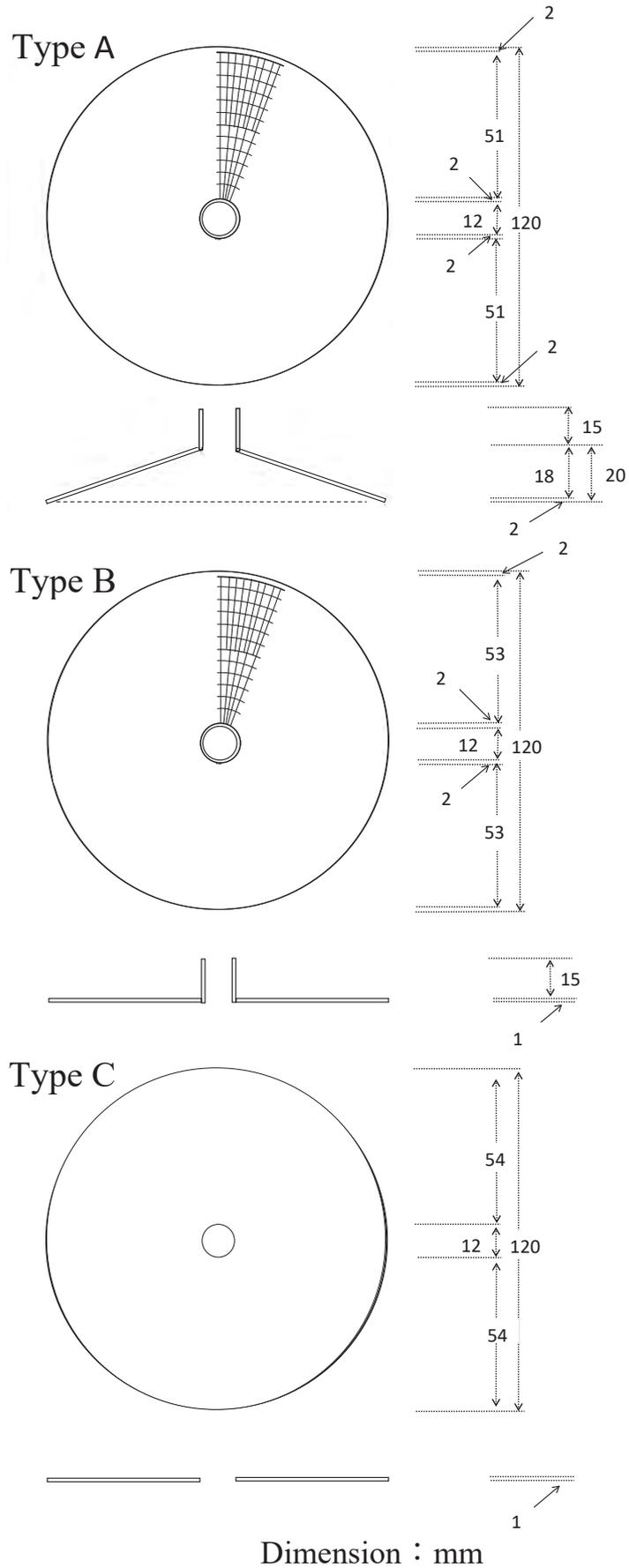


Fig. 56. Plane view (Upper) and cross-sectional view (Lower) of the collector used in each experiment.

Table 12. Types of spat collector used in Experiment 1

Collector type	Experiment	Tank No	Shape of collector	MRSP (%)	SPS	Reuse
Scallop shell (Conventional collector)	1	1				
A · S + 50% (New type collector)	1	1	A	50	+	-
B · S -	1	2	B	-	+	-
B · S +	1	2	B	Unknown	+	-
C · S -	1	3	C	-	-	-
C · S - · R	1	3	C	-	-	+

Notes: MRSP = Mixing rate of shell powder into a collector; SPS = Surface projection structure. A = Type A (umbrella-shaped collector) shown in Fig. 56; B and C = Type B, C (flat collector) shown in Fig. 56; S+ = Mixing shell powder into a collector; S- = Not mixing shell powder into a collector; R = Reusing.

Table 13. Types of spat collector used in Experiment 2

Collector type	Experiment	Tank No	Shape of collector	MRSP (%)	SPS	Reuse
Scallop shell (Conventional collector)	2-1, 2-2	4				
A · S + 40% (New type collector)	2-1, 2-2	4	A	40	+	-
A · S -	2-2	4	A	-	+	-
B · S -	2-1	4	B	-	+	-
B · S +	2-1	4	B	Unknown	+	-
C · S -	2-1	4	C	-	-	-
C · S - · R	2-1	4	C	-	-	+

Notes: Abbreviations are the same as in Table 12.

Table 14. Types of spat collector used in Experiment 3

Collector type	Experiment	Tank No	Shape of collector	MRSP (%)	SPS	Reuse
A · S + 40% (New type collector)	3-1	5	A	40	+	-
A · S + 40% (New type collector) · R	3-1	5	A	40	+	+ a
A · S + 40% (New type collector)	3-2	6	A	40	+	-
A · S + 40% (New type collector) · R	3-2	6	A	40	+	+ b

Notes: + a = used in the Iwagaki oyster seed production; + b = suspended into the brackish water area of Lake Nakaumi for about one month. Other abbreviations are the same as in Table 12.

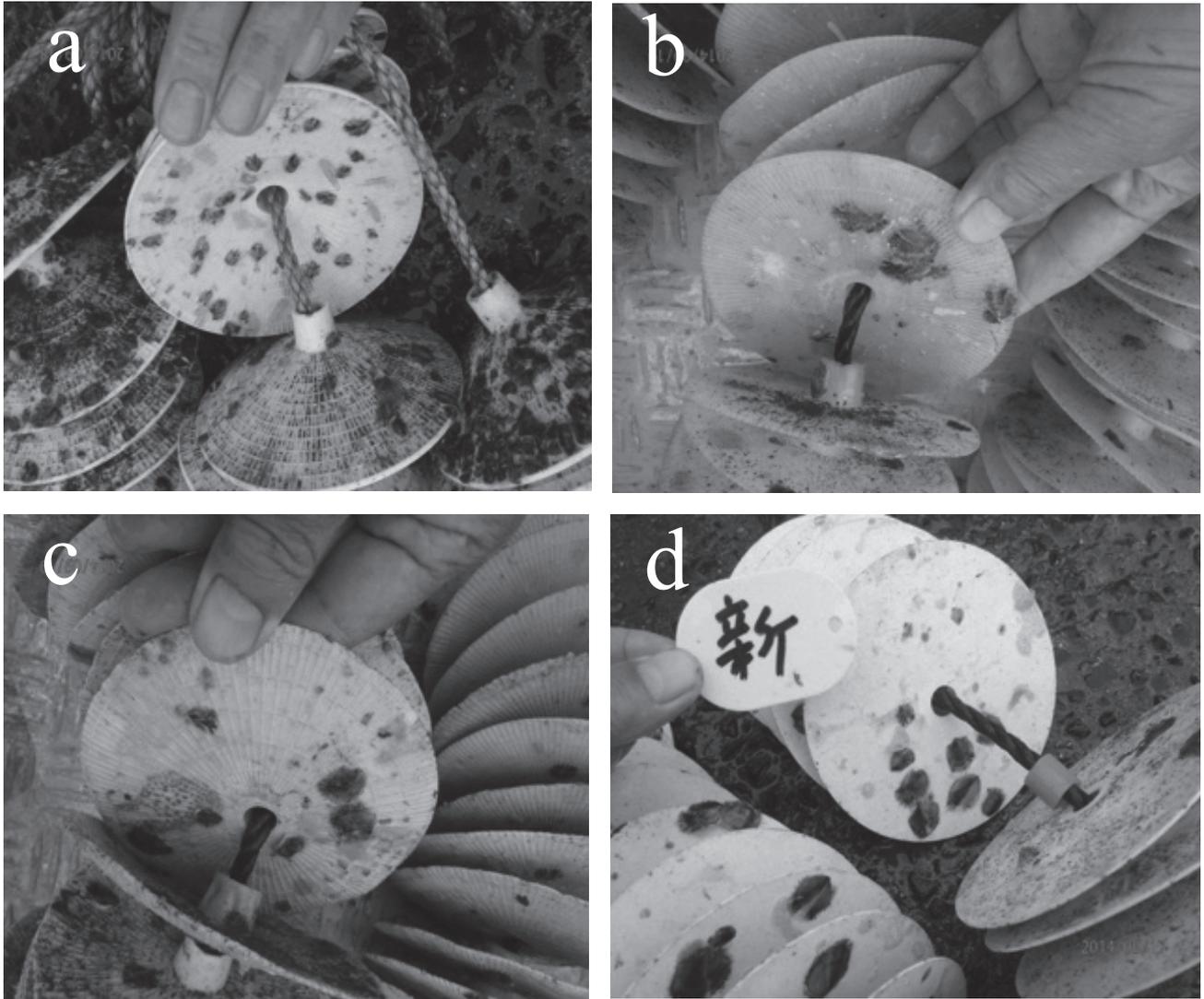


Fig. 57. Collectors [a, A·S + 50% (New type collector); b, B·S -; c, B·S +; d, C·S -] in Experiment 1 on September 18, 2014.

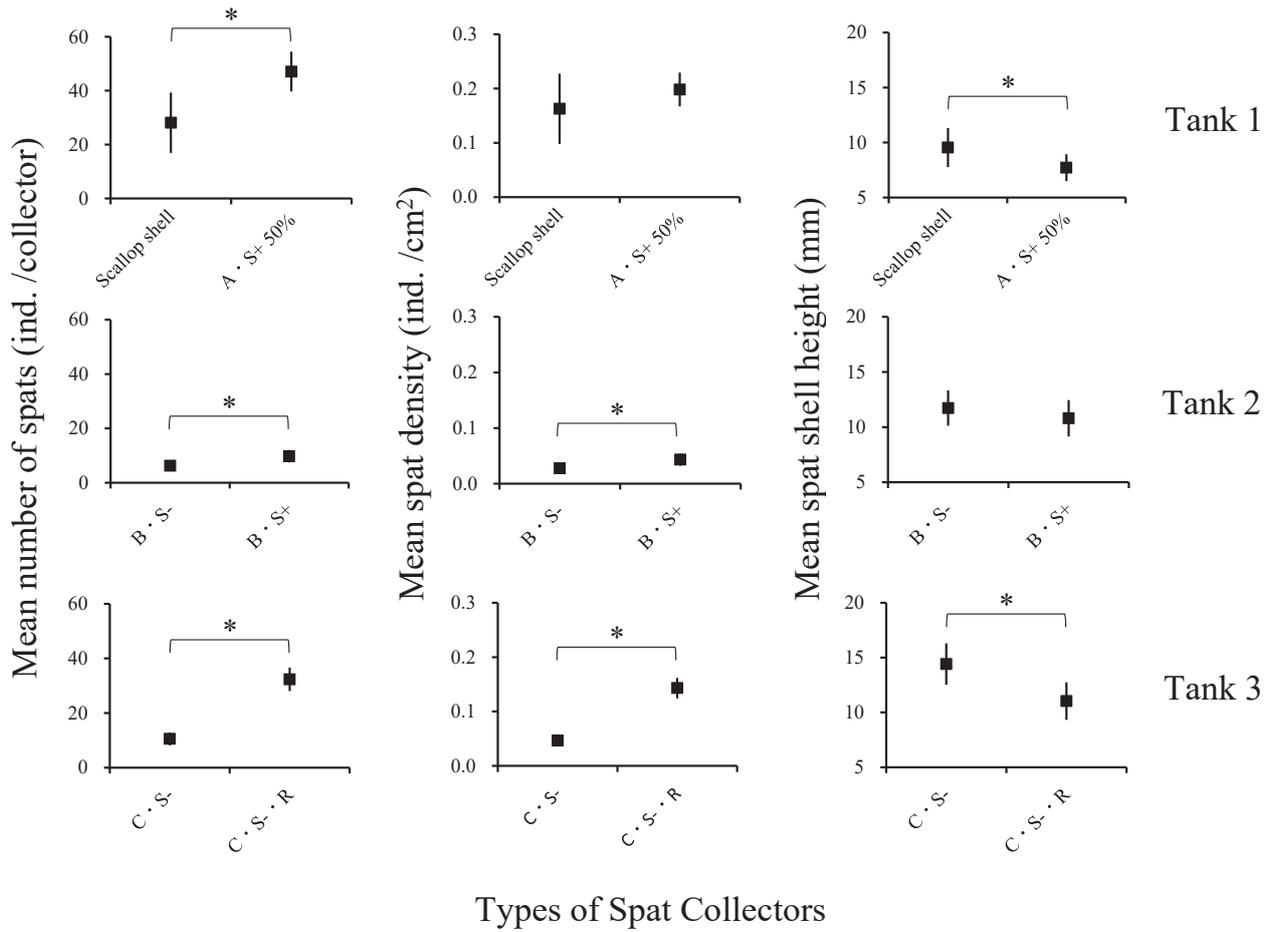


Fig. 58. Mean number of spats, mean spat density, and mean spat shell height in Tanks 1-3 of Experiment 1 on September 18, 2014. Vertical bars indicate SD. Asterisks indicate significant differences (*t*-test, $p < 0.05$).

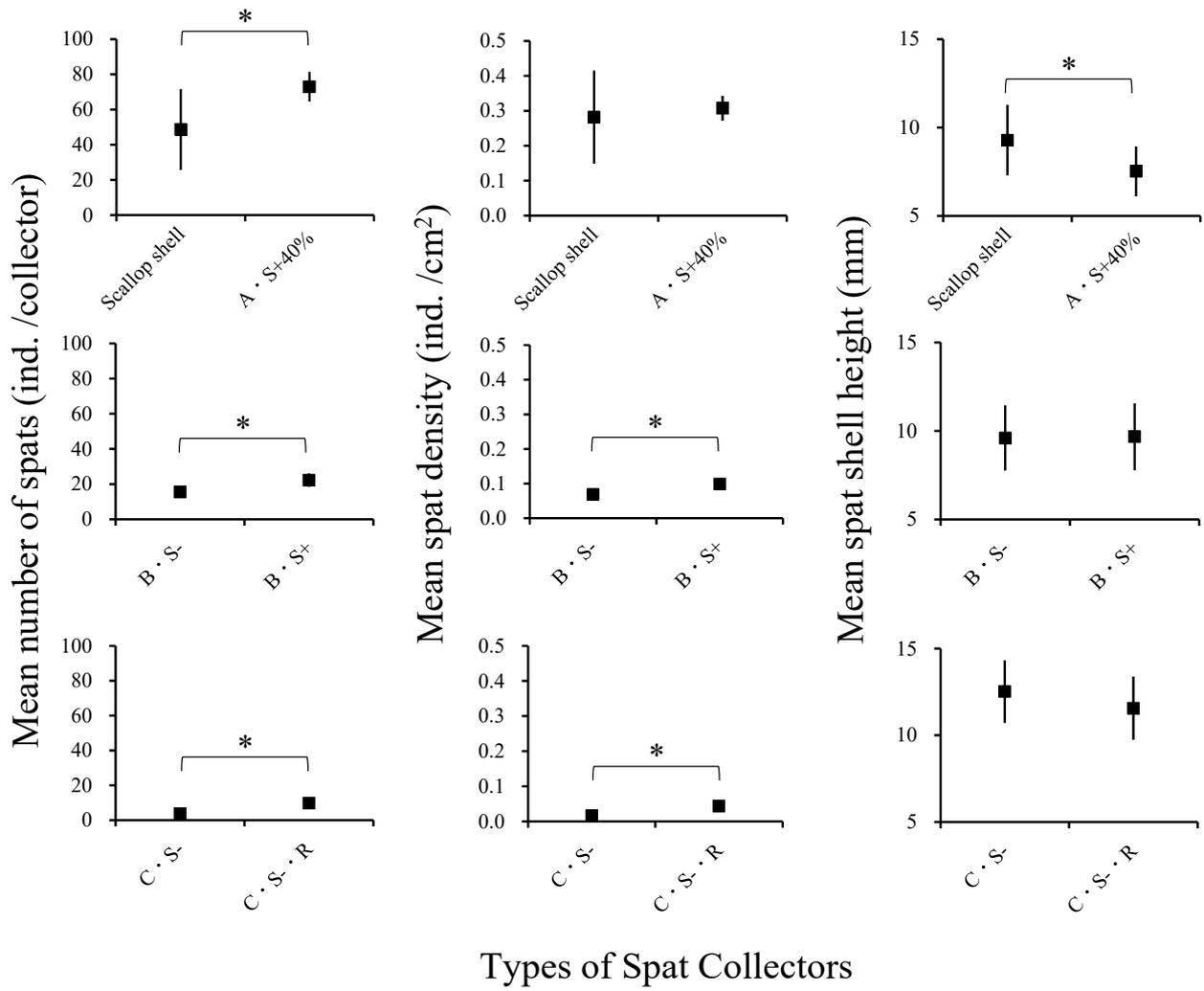


Fig. 59. Mean number of spats, mean spat density, and mean spat shell height in Tank 4 of Experiment 2-1 on November 7, 2014. Vertical bars indicate SD. Asterisks indicate significant differences (*t*-test, *p* < 0.05).

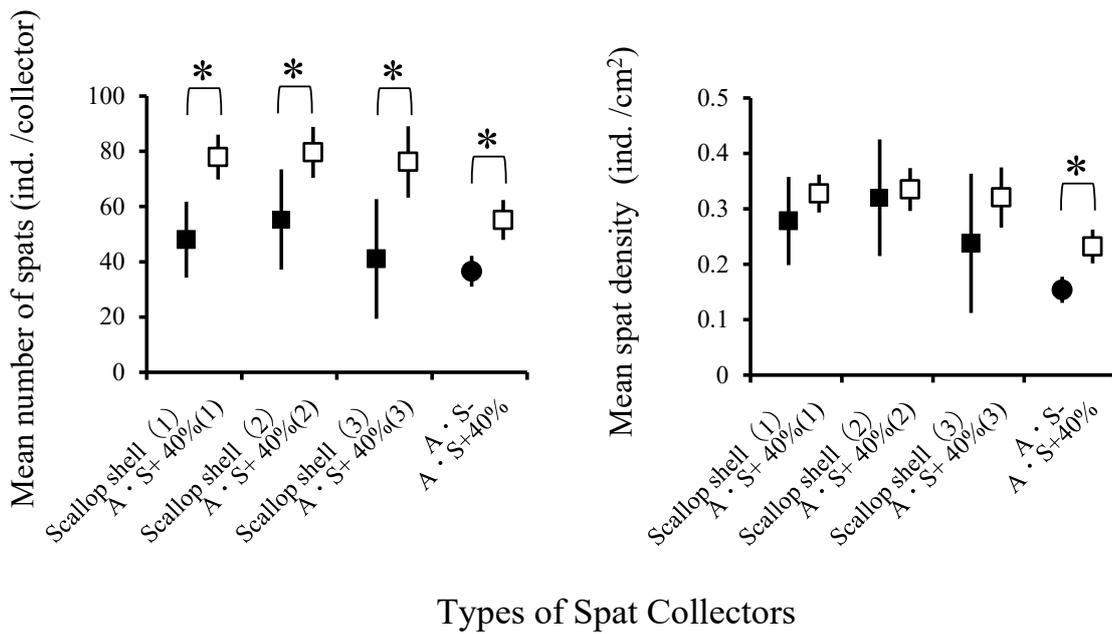


Fig. 60. Mean number of spats and mean spat density [\square = A·S + 40% (New type collector); \blacksquare = Scallop shell collector (conventional type); \bullet = A·S -] in Tank 4 of Experiment 2-2 on November 7, 2014. Vertical bars indicate SD. Asterisks indicate significant differences (t -test, $p < 0.05$).

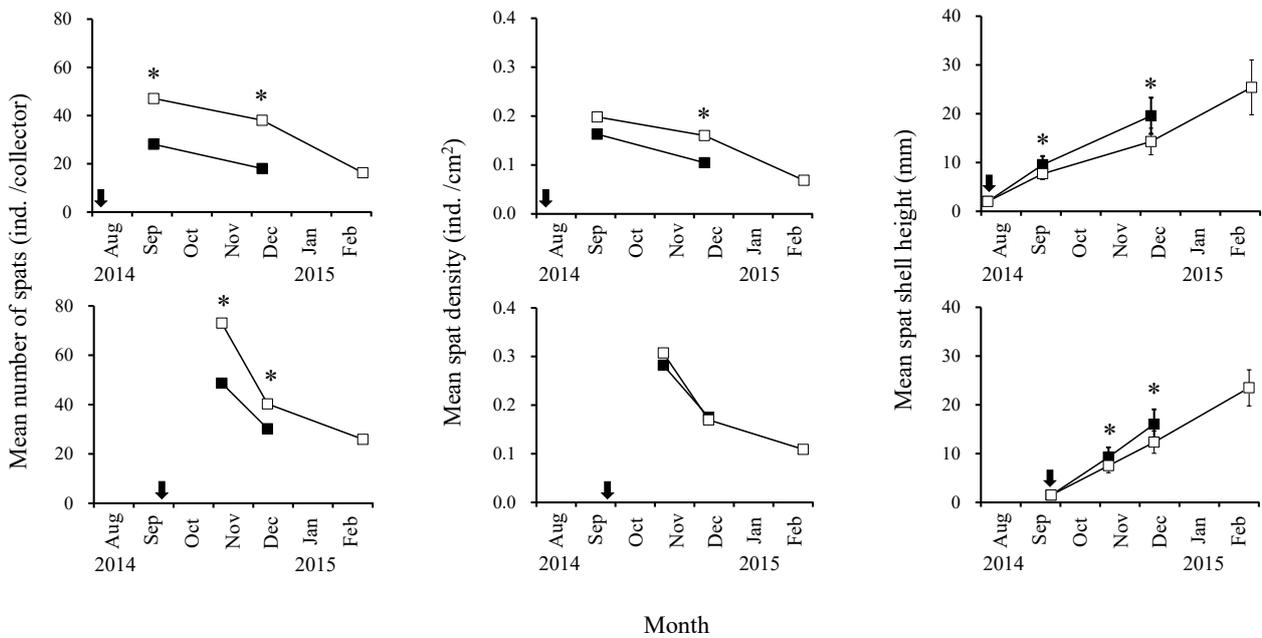


Fig. 61. Seasonal changes in the mean number of spats, mean spat density, and mean spat shell height (\square = New type collector; \blacksquare = Scallop shell collector) in each experiment. Upper = Experiment 1; Lower = Experiment 2-1; \downarrow = start of offshore breeding. Vertical bars indicate SD. Asterisks indicate significant differences (t -test, $p < 0.05$).

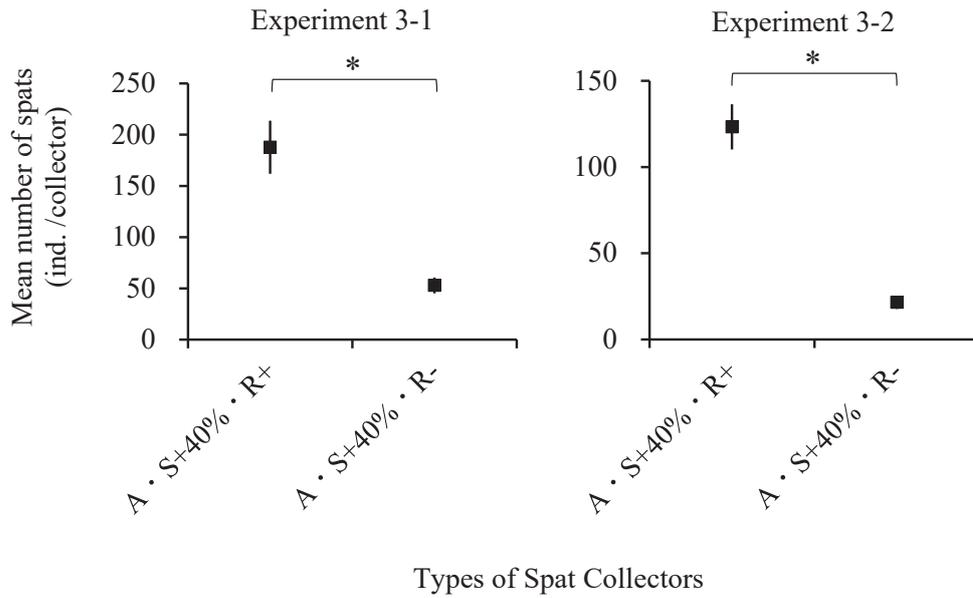


Fig. 62. Mean number of spats in Tank 5 of Experiment 3-1 and Tank 6 of Experiment 3-2 on October 7, 2016. Vertical bars indicate SD. Asterisks indicate significant differences (*t*-test, $p < 0.05$).

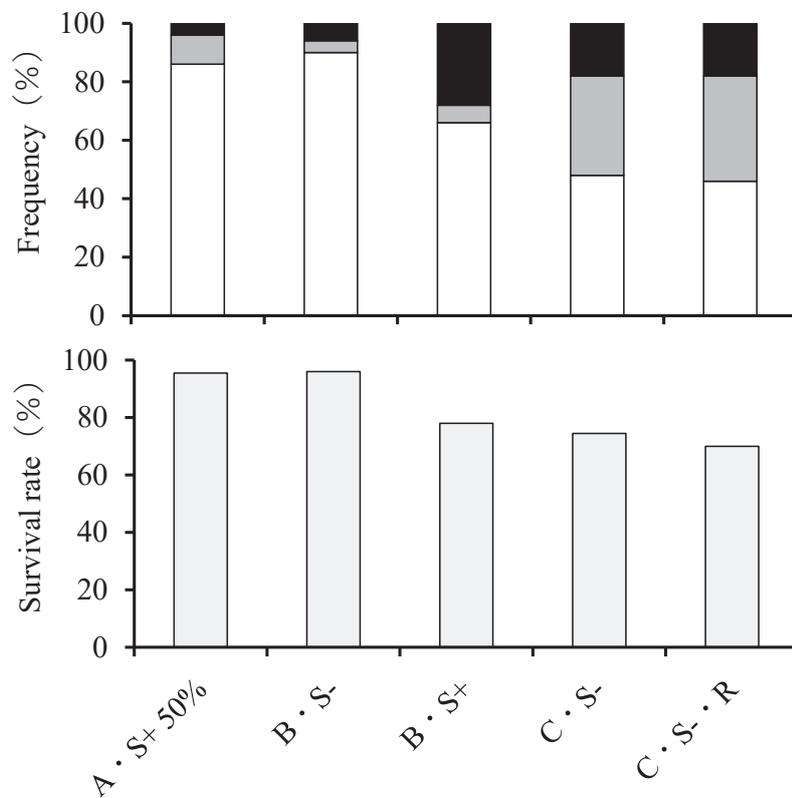


Fig. 63. Appearance frequency of broken shells (□ = Unbroken; ■ = Moderately broken; ■ = Severely broken) in the spat removal work in Experiment 1 on December 9, 2014 and survival rate (■) of the removed spats from each collector during the offshore breeding experiment from December 2014 to February 2015.

Table 15. Results of the experiments on the removal of spats in the new type collectors using an oyster spat trashing machine in February 2015

	A · S + 50% (Expt. 1)	A · S + 40% (Expt. 2-1)
Mean number of spats (ind. /collector)	21.2	22.6
Mean spat shell height (mm)	25.0	21.9
Rate of removed spats (%) ¹	96.3	99.0
Rate of unbroken spat (%) ²	97.6	96.1
Rate of broken collector (%) ³	22.2	0

Notes: Rate of removed spats ¹ = Number of removed spats from collectors/number of total spats at collectors; Rate of unbroken spat ² = Number of unbroken spats/number of removed spats from collectors; Rate of broken collector ³ = Number of broken collectors/number of total collectors.

第IV章 総合考察（総括）

本研究では、島根県の沿岸漁業における最も重要な岩礁性貝類2種を対象に一連の調査・研究を行った。その結果、サザエではこれまで知見が不足していた島根県における産卵、浮遊幼生および稚貝の発生量の加入量変動にかかわる初期生態について新たな知見を明らかにし、イワガキでは種苗生産における大量安定生産およびシングルシード生産のための実用的な技術を開発した。以下、対象種および課題ごとに整理した上で、これら重要貝類の増養殖に関して有効な資源管理手法や種苗生産技術についての提言を行う。

サザエ資源の有効な管理手法

産卵期と禁漁期間の設定 成熟と産卵に関する一連の調査において、島根県沿岸のサザエの産卵期は、概ね表層水温が21°C以上となる6月後半～10月の間で、その盛期は7～9月であると推定され、現行の島根県の漁業調整規則で定められている禁漁期間（5、6月）は、実際の産卵盛期と一致しないことを示した。また、産卵期が比較的長期に及ぶのは、同一個体において成熟と産卵が繰り返されることによるものであることや、サザエの配偶子放出を誘起する環境要因には数日間の急激な水温変化が関係していること、さらにはサザエの雄は殻高45 mm以上で放精が、雌は殻高50 mm以上で産卵が可能であることなども明らかとなった。

サザエの産卵を観察したことのある漁業者への聞き取りでは、サザエの産卵は数個から数十個体が岩盤や転石のより高い位置（瀬の上）に蟠集して行われるとされ、著者も潜水調査時において、サザエの産卵期には数個体が蟠集して分布する傾向にあることを確認している。この産卵に伴う蟠集行動により、産卵期には産卵期以外の時期よりもサザエが漁獲され易い状況にあると推察されることから、産卵期に産卵母貝を保護し、再生産を有効に機能させることは重要であると考えられる。また、漁業者への聞き取りでは、現行の禁漁期である5、6月は大型海藻であるホンダワラ類が繁茂する時期であり、元々サザエを漁獲しにくい時期であるとされている。したがって、現行の禁漁期をより適切で効果的な時期へ変更する必要があると考えられる。本研究を行った1990年代は、サザエの生産量が1,000トン付近の高い値を維持して

いたこともあり、県の漁業調整規則の改正の議論には至らなかった。しかし、近年県に対して、漁獲量の低迷を危惧する漁業者から規則改正の要望があったことを契機に、県の水産行政担当課において規則の改正について検討することが決定した。これを受けて現在、県の水産技術センターにおいてサザエの産卵期の再調査を実施しているところである。

新たな禁漁期の設定にあたっては、少なくとも産卵盛期に設定するのが望ましいと考えられるが、特に7、8月はお盆や観光シーズンでサザエの需要が増加する時期でもあり、その変更は容易ではないと推察される。したがって、産卵期の保護は重要な資源管理の手段であることを県内の漁業者をはじめ関係する系統団体、行政機関内で十分に周知・認識した上で、今後の資源動向を注視しながら、関係者の合意のもとでより適切な時期に決定されるべきであると考えられる。

有節石灰藻群落における加入量の把握の可能性

島根県東部における一連の調査の結果、サザエの稚貝は浅場の有節石灰藻群落において連続的に採集できることが判明した。そして、サザエの着底は7月から10月上旬まで断続的に行われるが、殻径1 mmまでの初期減耗が大きく、その減耗要因としてはアクキガイ科の肉食性の巻貝による食害が大きいことが明らかとなった。その後、本研究の後に行われた太平洋側の研究において、有節石灰藻群落にサザエ稚貝が選択的に着底すること、有節石灰藻上の付着珪藻や微小な海藻の幼芽がサザエ稚貝の重要な餌料源になっていること、サザエの初期生活史において有節石灰藻群落の方がテングサ群落より重要度が高いことなどの多くの知見が明らかとなり、有節石灰藻群落がサザエ稚貝の好適な生息場として機能していることが示された。¹²⁸⁾さらに、アクキガイ科の肉食性の巻貝であるヒメヨウラクによる捕食は、サザエの初期生残に強く影響すること、¹²⁹⁾有節石灰藻群落の存在が食害種からの捕食を低減させること¹³⁰⁾なども判明し、サザエの加入量変動は、初期生息場である有節サンゴモ群落の生物的環境の変動による生残率の高低によって引き起こされる可能性が指摘されている。

島根県のサザエ漁場周辺においても有節石灰藻群落は広く分布し、稚貝の生息場として重要な役割を果たしていると考えられる。そして、発生翌年の夏季から秋季にかけて稚貝が成長と共に有節石灰藻群落外へ移動し、徐々に生息域を拡大することも判明した。有節石灰藻群落外へ移動後の稚貝は、転石の隙間や岩盤の穴や溝などの複雑な地形に棲場を変えて漁場内に広く分散することから、これを定量的に採集することは労力的に困難であると予想される。

したがって、稚貝の発生量をモニタリングする方法としては、稚貝が着底直後の大量減耗期を経過し、有節石灰藻群落外へ分布を広げる直前である発生翌年の春季において、浅場の有節石灰藻群落内で稚貝の採集を行う方法が最も効率的であると考えられる。この時の稚貝は肉眼で観察可能なサイズまで成長していることから、試料の分析や定量化も比較的容易であり、前述のモニタリング方法は、稚貝の発生量の多寡を最も早期に簡便に把握することができるという意味で、本研究の主な目的である加入量把握の有効な手段の一つになり得ると考えられる。今後は本手法をより確実なものとするために、サザエの稚仔が安定的に集積する水域（稚貝場）の形成条件について明らかにする必要がある。また同時に、稚貝の初期生活場として重要な有節石灰藻群落を維持・保全していく視点も必要であると考えられる。

一方、近年の西日本沿岸域では、海水温の上昇傾向により、夏季における藻類の生育限界を超える水温の発生や冬季における植食性生物の活動の活発化などによる藻場の変遷や衰退が懸念され、¹³¹⁻¹³⁴九州西岸域では藻場の衰退とアワビ資源の急激との関連が指摘されている。¹³⁵⁻¹³⁷島根県においても近年、海水温の上昇による藻場の衰退が進行していると考えられ、¹³⁸水温上昇の主な原因とされる地球温暖化が今後も進行する場合は、それを餌料として利用しているサザエ、アワビをはじめとする磯根資源類への影響が危惧されるところである。

こうした背景のもと、現在、島根県ではサザエの資源管理の方策として禁漁期間や漁獲サイズ（蓋径 2.5 cm 以下の採捕禁止）による規制を主体に行っているが、今後サザエ資源がさらに減少し、漁獲圧が高くなる場合には、前述の禁漁期間の見直しは無論、乱獲防止のための漁具・漁法の制限や漁獲量の規制などのより厳しい資源管理体制も

視野に入れて検討すべきであると考えられる。そのためにはサザエの資源構造を常に把握しておく必要があり、加入量から予測されるその後の資源量に応じた管理手法を選択することで、より有効で適切な資源管理が可能となると考えられる。今後は資源のさらなる減少に備えて、加入量把握のための稚貝のモニタリング体制の確立について、さらに議論する必要があると考えられる。

イワガキ人工種苗の大量安定生産とシングルシード法

大型水槽を用いた浮遊幼生の大量生産技術 栽培センターで遊休施設となっている半屋外の大型水槽（100 k l ）を使用して、日常的な底掃除、換水作業を行わない粗放的な生産方法によりイワガキの付着期幼生の生産を試みた結果、従来の室内における小型水槽を使用する生産方法よりも高い生残率が得られ、付着期幼生を数千万～1億のオーダーで生産することが可能であった。そして、基本的な飼育条件について検討した結果、D型幼生を1～2個体/mlの範囲で収容し、水槽換えを5～7日間隔で行うことにより、大量の付着期幼生を低コストで省力的に生産できることが判明し、付着期幼生の大量生産方法として適していることを明らかにした。

数十トン規模の大型水槽を使用して浮遊幼生を管理する生産方法は、本県の栽培センターのイワガキ種苗生産の他に、長崎県佐世保市水産センターのマガキ、イワガキの生産でも採用され、¹³⁹浮遊幼生の大量安定生産に有効に機能している。また、大分県農林水産研究センターでは、本研究の飼育方法に準じて、30 k l 規模の水槽を使用したアサリの浮遊幼生の生産試験が行われ、¹⁰⁷カキ類以外の二枚貝の浮遊幼生の大量生産技術として応用できる可能性が示されている。

二枚貝類の種苗生産における浮遊幼生の飼育において、全国的には純粋培養した餌料を用いて屋内で0.5～1 k l の小型水槽を使用して集約的に管理する方法が一般的であるが、本研究において、屋外培養餌料を用いた100 k l 規模の大型水槽による日常的な底掃除、換水作業を行わない粗放的な生産方法でも、十分に付着期幼生を安定的に大量に生産できる方法を開発した。今後は、この生産方法がイワガキをはじめとするその他の二枚貝の大量生産において導入され、低コスト大量種苗生産体制の確立に寄与することが期待される。

屋外培養餌料の利用による低コスト化 半屋外の大型水槽においてイワガキ浮遊幼生の生産を行う場合、原生動物の発生による餌料ロスが課題であったことから、餌料には屋外で粗放的に大量培養な種を用いて低コスト化を図った。その結果、屋外培養が可能なタヒチを初期餌料、ネオグラシーレを後期餌料とする餌料系列により、低コストで餌料を安定して供給できることが判明した。また、ネオグラシーレよりも栄養価やサイズなどの面で餌料としての価値が高く評価されているカルシトランスについて、従来から困難とされていた屋外培養について検討した結果、高水温期には増殖率や最高細胞密度でネオグラシーレにやや劣るものの、ネオグラシーレと同様に屋外でも安定的な培養が可能であることを明らかにした。そして、市販品を元種に用いることにより効率的な培養ができることを確認した。さらに、夏季の高温期の対策として、遮光幕を用いて培養水温を低下させる培養方法が有効であり、カルシトランスをはじめとする各餌料の安定培養に効果的であることを示した。

これらの餌料の屋外培養では、低塩分の培養条件でも問題なく増殖し、¹⁴⁰⁾春季～秋季の長期間に渡ってほぼ安定した培養が可能であることから、他の二枚貝類の種苗生産においても浮遊幼生や稚貝の飼育に十分に利用できる可能性があると考えられる。二枚貝の種苗を大量生産する場合はいかに生産コストを抑えるかが重要であり、これらの屋外培養餌料を有効に用いることで大幅な生産コストの低減が期待できると考えられる。

シングルシードを用いた養殖方法の普及促進

島根県のイワガキ養殖は、これまで順調にその生産量を伸ばしてきたが、近年では生産の伸びがやや頭打ちで、海域によっては密植による成長の遅れなどの問題が出てきている状況にある。さらに、近年、他府県の公的な研究機関や民間業者においてイワガキの種苗生産技術¹⁴¹⁻¹⁴⁵⁾や養殖技術^{146,147)}の研究開発が進展し、イワガキ養殖が全国的に拡大傾向にあると考えられる。

今後他府県との競争の中で生き残っていくためには、限られた海域においていかに養殖コストを下げるかが重要で、効率的で付加価値の高い養殖方法への転換が課題であり、シングルシードを用いた新たな養殖方式はその有効な対策の一つになり得ると考えられる。

国内のカキ類のシングルシードの人工種苗生産では、採苗器を用いないカルチレスにより行う方法が一般的であるが、^{91,148)}本研究においてイワガキの人工種苗生産でPP素材の採苗器を用いた方法でも問題無くシングルシードの生産ができることを確認した。特にこの方法は、当県の栽培センターにおいては従来のホタテ殻と同じ工程で採苗作業ができることから導入が容易で実用的な生産方法であるといえる。そして、従来の採苗方法と比較すると、ホタテ殻を用いた場合は採苗器1枚から得られる生産品は最大で20個程度¹⁴⁶⁾であるのに対し、PP素材の採苗器を用いた場合は稚貝を早期に採苗器から剥離することで付着した稚貝を有効に利用することが可能となるため、効率的に多くの生産品が得られるメリットがあると考えられる。剥離試験における新型の採苗器1枚当たりの有効稚貝数は約36個とみなされたが、さらに早期に剥離を実施すればより多くの稚貝数を得ることも可能である。養殖生産の現場においては、稚貝の最適な剥離サイズ・時期について検討し、より多くの種苗を効率的に生産できる最適な方法を把握することが課題である。

本研究で開発した採苗器を用いて生産したシングルシードは、パールネットを用いた方法により中間育成が可能であることを確認済みであり、¹⁴⁹⁾各養殖場においてシングルシードを用いた養殖体系を積極的に導入することができれば、効率的で付加価値の高いイワガキの生産体制の構築が十分に期待できるものと考えられる。

最後に

本研究では、本県の沿岸漁業の新規就業者を確保する上で重要な鍵となっている磯根漁業や二枚貝養殖業において、それぞれ重要な位置づけにある岩礁性貝類のサザエとイワガキを対象に検討を行った。その結果、サザエでは資源管理に必要な産卵から稚貝の発生までの加入量変動に関わる初期生態の一端が明らかとなり、イワガキでは養殖の安定化に欠くことのできない人工種苗生産技術における諸課題の解決に一定の成果を得ることができた。そして、サザエでは適正な禁漁期間の設定や加入量のモニタリング体制の確立などの資源管理の推進の必要性について提言を行った。さらに、イワガキでは本研究で取組んだ大型水槽を用いた浮遊幼生の大量生産技術や屋外の餌料培養技術の導入が、二枚貝類の種苗の低コスト大量生産

体制の確立に繋がることを指摘するとともに、島根県のイワガキ養殖においてシングルシードを用いた養殖方法の普及促進が重要であることを提言した。

今後もそれぞれの漁業において、サザエやイワガキをはじめとする資源管理の積極的な推進、種

苗の安定供給体制の確立および効率的で付加価値の高い養殖方法への転換などの取組みを継続し、持続的で安定的な生産体制を構築していく必要があると考えられる。本研究の成果が、今後の島根県の沿岸漁業の発展に少しでも寄与することを願い、稿を終える。

謝 辞

本研究を行うにあたり、終始懇切なるご指導とご鞭撻をいただき、ご校閲の労をとっていただいた島根大学生物資源科学部教授、山口啓子博士に心から感謝致します。国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所、浜口昌巳博士には、国際的な貝類研究者として専門的な見地からご校閲の労をとっていただくとともに本論文の取りまとめにあたって所属の垣根を超えて精力的にご支援をいただいた。衷心よりお礼申し上げます。海士町役場地産地産種苗センター、勢村 均博士(元島根県水産技術センター)には、職場の上司としてだけでなく、貝類研究者の先輩として終始多大なご支援と有益なご助言を賜り、この研究を推進する大きな力となった。また、同種苗センターの川越レアジョイ博士には英文の校閲をしていただいた。この場を借りて深謝の意を表します。

サザエの研究では、著者の大学時代の恩師という立場を越えて生態学的視点から終始貴重なご助言およびご指導を賜りました山川 紘博士(東京海洋大学)に衷心よりお礼申し上げます。研究の遂行にあたり、サザエ供試貝の採取や調査にご協力いただいた漁業協同組合 JF しまねの恵曇支所、島根支所、浦郷支所および益田支所の漁業関係者の皆様、特に浮遊幼生の採集にご尽力を賜った同島根支所多古地区漁業者の矢田昌男氏に謝意を表します。また、島根県漁業調査船「やそしま」の海事職員の方々、特に江川賢一氏(元島根県水産試験場)、木村三好氏(同左)、青山喜久雄氏(元島根県水産技術センター)および坂根孝幸氏(島根県水産技術センター)には、調査の安全な遂行や潜水作業のパートナーとしてご協力いただいた。同じく加藤栄子氏(島根県水産技術センター)、谷掛さつ子氏(元島根県水産試験場)には、標本の処理や測定などの作業を確実に実行していただき、大変お世話になった。皆様に謝意を表します。

イワガキの大型水槽を用いた大量生産の研究は、平成 26 年度独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター(攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業)の「セミス마트な二枚貝養殖技術

の開発と応用」の一環として実施した。共同実施機関の関係者の方々に謝意を表します。岡内正典博士(元独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所)には、微細藻類の培養に関するご助言をいただいた。さらに、元島根県水産技術センター栽培漁業科の常盤 茂氏、近藤徹郎氏の両氏には、イワガキの飼育作業に大変ご助力いただいた。ここに記してお礼申し上げます。

カルシトランスの屋外における大量安定培養の研究では、マリンテック株式会社の五十島 昇氏には、市販品を用いた試験結果の公表についてご理解とご配慮をいただいた。島根県水産技術センター内水面浅海部浅海科の職員の方々には、餌料培養や測定業務などに終始ご協力とご支援をいただいた。特に、餌料の培養作業においてご助力いただいた形岡靖子氏、原生動物の分類に関して有益なご助言を賜った松本洋典氏には大変お世話になった。ここに記してお礼申し上げます。

イワガキのシングルシード用の採苗器の開発の研究では、研究を実施するにあたり、海士いわがき生産株式会社の鈴木和弘氏、大脇安則氏および中村化学工業の中村省三氏には、試験に供した採苗器をご提供いただくとともに試験全般にわたってご協力いただいた。また、幼生の飼育においてご助力いただいた公益社団法人島根県水産振興協会の職員の方々、特にイワガキ担当の小中大輔氏には、多大なご支援をいただいた。ここに記してお礼申し上げます。

論文作成に関して絶えざるご指導と暖かい励ましをいただいた安達二郎博士(元島根県水産試験場長)をはじめ、歴代の島根県水産試験場長および島根県水産技術センター所長の方々には、本研究の遂行にご配慮とご支援をいただいた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

本論文は以上の方々をはじめとする関係者の皆様のご指導・ご協力がなければ完成することはできなかった。全ての方々のご氏名を挙げられなかったことをお許し願うとともに皆様に改めて心からお礼申し上げます。

最後に、研究の継続に理解を示し、側面から支えてくれた家族に心から感謝します。

引用文献

- 1) 島根県農林水産部：島根県農林水産基本計画. 135 (2020) .
- 2) 農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課：海面漁業生産統計調査，長期累年（1970～2017） .
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500216&tstat=000001015174&cycle=0&tclass1=000001034726>
- 3) 野中 忠・伏見 浩・中川征章・佐々木 正：静岡県沿岸の磯根資源に関する研究－VIII. 静岡水試研報, **4**, 25－29 (1971) .
- 4) 伏見 浩：サザエの卓越年級群の生態と漁業. 日本ベントス研究会誌, **19/20**, 59－70 (1980) .
- 5) 石田健次：浅海増殖試験（クロメ，サザエ） . 島根水試事報昭和 62 年度, 146－160 (1989) .
- 6) 早川 淳・山川 卓・青木一郎：アワビ類およびサザエ資源の長期変動とその要因. 水産海洋研究, **71**, 96－105 (2007) .
- 7) 葭矢 護：サザエ増殖のための資源・漁場管理方法の開発. 京都海セ研報, **43** (1990) .
- 8) 岡部 久：市場調査による放流サザエの検出と回収率の推定. 水産増殖, **43**, 283－288 (1995) .
- 9) 堀井豊充・藤井明彦・前迫信彦：放流漁場内におけるサザエ種苗の移動および放流個体数と可能漁獲量との関係について. 水産増殖, **45**, 187－193 (1997) .
- 10) 国立研究開発法人水産研究・教育機構：平成 28 年度栽培漁業. 海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績(全国)～資料編～. 90－91 (2018) .
- 11) 藤井昭彦：対馬沿岸におけるサザエの資源生物学的研究. 長崎水試研報, **24**, 72－115 (1998) .
- 12) 堀井豊充：アワビ・サザエ素潜り漁業における資源管理に関する研究. 長崎水試研報, **24**, 117－156 (1998) .
- 13) 吉田太輔・常盤 茂：隠岐諸島・島前海域のイワガキ種苗生産における付着稚貝の沖出しサイズの検証. 島根水技セ研報, **3**, 29－32 (2011) .
- 14) 石原成嗣・常盤 茂：イワガキ種苗生産における餌料藻類の検討. 島根水技セ研報, **5**, 7－11 (2013) .
- 15) 森脇和也・常盤 茂：イワガキ種苗生産における換水及び底掃除作業軽減の検討. 島根水技セ研報, **5**, 25－29 (2013) .
- 16) 勢村 均：島根県沿岸における二枚貝の増養殖に関する研究. 島根水技セ研報, **7**, 88 (2015) .
- 17) 島根県水産技術センター：軟質素材を用いたイワガキの採苗試験. トビウオ通信号外とびつくす, **66**, 1－3 (2013) .
https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/suisan/shinkou/umi_sakana/tobics/tobics51-70.html
- 18) 山田 正・勢村 均：島根県沿岸のサザエの成熟と産卵期. 栽培技研, **22**, 5－12 (1993) .
- 19) 山田 正：サザエ浮遊幼生採集用人工コレクター. 水産増殖, **44**, 255－259 (1996) .
- 20) 山田 正：島根県東部沿岸のサザエ浮遊幼生の出現期と分布特性. 水産増殖, **46**, 1－6 (1998) .
- 21) 佐々木 正：島根県東部沿岸サザエの着底過程と初期減耗. 島根水試研報, **11**, 15－22 (2003) .
- 22) 佐々木 正：島根県東部沿岸サザエ 0～1 歳貝の初期成長と密度変化. 島根水試研報, **11**, 23－29 (2003) .
- 23) 佐々木 正・常盤 茂：半屋外 100 kl 水槽を用いたイワガキ *Crassostrea nippona* 付着期幼生の生産の試み. 水産増殖, **62**, 433－44 (2014) .
- 24) 佐々木 正・近藤徹郎・常盤 茂：半屋外 100 kl 水槽を用いたイワガキ *Crassostrea nippona* 付着期幼生の大量生産における飼育条件の検討. 水産増殖, **64**, 295－307 (2016) .
- 25) 佐々木 正： *Chaetoceros calcitrans* の屋外における大量安定培養の試み. 水産増殖, **69**, 55－69 (2021) .
- 26) 佐々木 正・近藤徹郎・常盤 茂・小中大輔・鈴木和弘・大脇安則・木村 克：樹脂製軟質採苗器を用いたイワガキ *Crassostrea nippona* シングルシードの人工種苗生産試験. 水産増殖, **66**, 71－84 (2018) .
- 27) 角田信孝・渡辺 直・由良野範義・陣之内征龍：サザエの成熟，産卵期に関する研究. 山口外水試研報, **21**, 1－8 (1986) .
- 28) 葭矢 護・桑原昭彦：サザエの生態研究とその応用⑤－成熟と産卵. 海洋と生物, **56**, 214－217 (1988) .
- 29) 山本哲生・山川 紘：サザエの生殖巣成熟に関する研究. 日水誌, **51**, 357－364 (1985) .

- 30) 富田恭司: 礼文島エゾワビの精果の成熟. 北海道水試事報, **9**, 56-59 (1968).
- 31) 松岡祐輔: サザエの種苗生産研究 (I), 産卵誘発と産卵期について. 京都水試事報, 132-139 (1975).
- 32) 山田 正・勢村 均: サザエの産卵期, 漁獲物組成調査. 島根水試事報平成2年度, 123-128 (1992).
- 33) 阿井敏夫: サザエの産卵と発生-II. 日水誌, **31**, 105-110 (1965).
- 34) 佐々木 良: 宮城県におけるエゾアワビ浮遊幼生, 着底稚仔の出現態様とその漁獲量変動要因. 宮城気仙沼水試研報, **8**, 1-13 (1989).
- 35) 水産庁東北区水産研究所: 特定研究開発促進事業アワビの再生産機構の解明に関する研究中間報告書, 49-61 (1994).
- 36) 堀井豊充・黒木洋明・梶ヶ谷義一・滝口直之・浜口昌巳: 相模湾沿岸でみられたアワビ類浮遊幼生と付着初期稚貝の種組成の相違. 水産総合研究セ研報, 別冊 **5**, 85-89 (2006).
- 37) 大貝政治・若野 真・長井 敏: エゾアワビ幼生の着底と稚貝の成長におよぼす付着性微細藻類の影響. 水産増殖, **39**, 263-266 (1991).
- 38) 河村知彦・菊池省吾: エゾアワビ幼生の着底と変態に及ぼす付着珪藻の影響. 水産増殖, **40**, 403-409 (1992).
- 39) 岡部三雄・桑原昭彦・西村元延・葭矢 護: サザエの増殖. 日本水産資源保護協会, 東京, 47 (1991).
- 40) 山田 正・勢村 均: サザエの産卵期, 稚貝の出現, 標識放流. 島根水試事報平成5年度, 120-123 (1995).
- 41) 丸山克彦: 新潟県出雲崎海域におけるサザエの成長と再生産. 日本海ブロック試験研究集録, **30**, 17-23 (1994).
- 42) 山田 正: サザエの成熟, 産卵と稚貝の発生. 日本海ブロック試験研究集録, **33**, 83-89 (1996).
- 43) 林 育夫: サザエ *Turbo (Batillus) cornutus* の稚貝の貝殻形態. VENUS, **42**, 212-216 (1983).
- 44) 佐々木 良: 宮城県北部海域におけるエゾアワビ浮遊幼生の加入初期過程. 宮城県気仙沼水試研報, **9**, 1-17 (1994).
- 45) 佐々木 良: アワビの再生産過程における諸問題. 日水誌, **66**, 315 (2000).
- 46) 佐々木 良: エゾアワビの加入機構に関する生態学的研究. 宮城水研報, **1**, 1-86 (2001).
- 47) 水産庁東北区水研: 特定研究開発促進事業アワビの再生産機構の解明に関する研究総括報告書, pp. 91-96 (1996).
- 48) Miyake, Y., S. Kimura, T. Kawamura and H. Takami: Population connectivity of Ezo abalone on the north Pacific coast of Japan in relation to the establishment of harvest refugia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **440**, 137-150 (2011).
- 49) 中家 浩・高見秀輝: エゾアワビの異なる繁殖形態による加入機構の比較. 日水誌, **78**, 1217-1220 (2012).
- 50) 田中邦三・田中種雄・石田 修・大場俊雄: 千葉県南部沿岸のアワビ浮遊幼生並びに着底稚貝の分布. 日水誌, **52**, 1525-1532 (1986).
- 51) 小宮朋之・橋本加奈子・柴 輝和・田中種雄: 千葉県外房海域におけるアワビ類の浮遊幼生, 着底稚貝の出現状況と成長過程. 千葉総水研報, **4**, 21-34 (2009).
- 52) 旭 隆・黒木洋明・照井方舟・鬼塚年弘・三宅陽一・早川 淳・河村知彦・滝口直之・浜口昌巳・堀井豊充: 相模湾東岸における大型アワビ類浮遊幼生の出現動態に影響する環境要因. 水産海洋研究, **77**, 10-20 (2013).
- 53) Onitsuka T., T. Kawamura, S. Ohashi, T. Horii and Y. Watanabe: Synchronized spawning of abalone *Haliotis diversicolor* triggered by typhoon events in Sagami Bay, Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **351**, 129-138 (2007).
- 54) Onitsuka T., T. Kawamura, T. Horii, N. Takiguchi and Y. Watanabe: Survival growth and recruitment of abalone *Haliotis diversicolor* in Sagami Bay, Japan. *J. Shellfish Res.*, **27**, 843-855 (2008).
- 55) Onitsuka T., Kawamura and T. Horii: Reproduction and early life ecology of abalone *Haliotis diversicolor* in Sagami Bay, Japan. *Jpn. Agric. Res. Q.*, **44**, 375-382 (2010).
- 56) 阿井敏夫・野中 忠・佐々木 正: サザエの産卵と発生-I. 日水誌, **30**, 828-830 (1964).
- 57) 富田恭司・磯貝辰彦: エゾアワビの浮遊幼生の垂直分布とその日周変動. 北水試月報, **36**, pp. 1-6 (1979).
- 58) Sasaki, R. and Shepherd, S. A.: Larval dispersal and recruitment processes of *Haliotis discus*

- hannai* in Kesenuma Bay, Japan. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, **46**, 519–29 (1995).
- 59) 内場澄夫・二島賢二・山本千裕・岸本源次：サザエの生息生態に関する研究I. 福岡水試事報, 157–165 (1982).
- 60) 山崎明人・石渡直典：サザエの生態学的研究 II. 稚貝の生息場所. うみ, **25**, 184–189 (1987).
- 61) 山崎明人・石渡直典：サザエの生態学的研究 III. 初期成長と密度変化. うみ, **26**, 12–18 (1988).
- 62) 小澤智生：貝類食者の捕食活動と貝類の適応・進化. 海洋と生物, **30**, 2–8 (1984).
- 63) 葭矢 護・和田洋蔵・桑原昭彦・浜中雄一：放流サザエの成長と生残. 日水誌, **52**, 14–47 (1986).
- 64) 翠川忠康：サザエの放流初期減耗原因の研究. 和歌山増水試事報, **20**, 29–37 (1989).
- 65) 藤井昭彦：各種海産動物によるサザエ稚貝の捕食. 水産増殖, **39**, 123–128 (1991).
- 66) 新井省吾：磯根生物と住み場環境の安定性. 海洋科学, **20**, 355–362 (1988).
- 67) Morse, A. N. C. and Morse, D. E. : Recruitment and metamorphosis of *Haliotis larva* induced by molecules uniquely available at the surface of crustose red algae. *J. Exp. Mar. Biol.*, **75**, 191–215 (1984).
- 68) Shepherd, S. A. and Turner, J. A. : Studies on southern Australian abalone of juveniles. *J. Exp. Mar. Biol.*, **93**, 285–298 (1985).
- 69) McShane, P. E. and Smith, M. G. : Measuring abundance of juvenile abalone *Haliotis rubra* leach (Gastropoda Haliotidae); comparison of a novel method with two other methods. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, **39**, 331–336 (1988).
- 70) Taniguchi, K., K. Kurata, T. Maruzoi and M. Suzuki : Dibromomethane, a chemical inducer on settlement and metamorphosis of the sea urchin larvae. *Fisheries Sci.*, **60**, 795–796 (1994).
- 71) 葭矢 護・桑原昭彦：サザエの生態研究とその応用③—成長. 海洋と生物, **54**, 52–56 (1988).
- 72) 宇野 寛：サザエの増殖に関する基礎研究. 東水大特別研報, **6**, 1–76 (1962).
- 73) 葭矢 護・桑原昭彦・浜中雄一：サザエ稚貝の成長と生残に及ぼす生息環境条件の影響. 日水誌, **53**, 239–247 (1987).
- 74) 山田 正・曾田一志：資源管理型漁業（地域重要資源調査）. 島根水試事報平成7年度, 98–104 (1997).
- 75) 藤本敏昭・小林 信・鶴島治市：バカガイ *Macra chinensis philippi* の種苗生産企業化試験—I. 福岡豊前水試研報, 95–111 (1988).
- 76) 岸岡正伸・寺尾百合正：屋外 100 m³ 水槽を用いたアカガイ *Scapharca broughtonii* 種苗の大量生産. 水産増殖, **42**, 529–533 (1994).
- 77) 石原成嗣・常盤 茂：イワガキ種苗生産における餌料藻類の検討. 島根水技セ研報, **5**, 7–11 (2013).
- 78) 押尾明夫・關 哲夫・谷口和也：二枚貝の餌料となる微小藻類の培養ハンドブック. 水産庁東北水研藻類増殖研資料, 3–6 (1995).
- 79) 佐藤利夫・山本倫久・勢村 均：イワガキ浮遊幼生飼育水の細菌叢に及ぼす *Nannochloropsis* sp. 培養液の影響. 海水誌, **54**, 102–110 (2000).
- 80) 鳥羽光晴・深山義文：イソクリシス・タヒチ株の大量培養—I. 好適培養条件. 栽培技研, **21**, 45–53 (1993).
- 81) 千葉県水産研究センター：アサリ種苗生産の現場基礎技術—富津研究所の経験—. 千葉県水産研究センター業績IV, 15–17 (2004).
- 82) 岡内正典：水産餌料生物用. 藻類ハンドブック（渡邊 信編），エヌ・ティー・エス，東京，679–680 (2012).
- 83) Helm, M. M. and I. Laing : Preliminary observations on the nutritional values of ‘*Tahiti Isochrysis*’, to bivalve larvae. *Aquaculture*, **62**, 281–288 (1987).
- 84) 千葉健治・大島泰雄：アサリを主とする海産二枚貝類の濾水・摂餌に及ぼす濁りの影響. 日水誌, **23**, 348–353 (1957).
- 85) 高橋庸一：ヒラメの種苗生産マニュアル—「ほっとけ飼育」による飼育方法. 栽培漁業技術シリーズ **4**, pp. 1–57 (1998).
- 86) 島 康洋：マダイ・トラフグの「ほっとけ飼育」—手間をかけずに仔稚魚を飼おう—. 平成18年度栽培漁業技術中央研修会テキスト集, pp. 1–11 (2006).

- 87) 栗田守人・近藤徹郎：マダイ種苗生産におけるほっとけ飼育技術の有効性の検討. 島根水技セ研報, **3**, 33-40 (2011) .
- 88) 根本昌弘・磯上孝太郎： *Chaetoceros calcityans* および *Pavlova lutheri* の安定・大量培養 (福島県) . 平成3年度～7年度特定研究開発促進事業総括報告書 (微小藻類の大量培養技術開発研究) 福島県・茨城県・千葉県・熊本県・沖縄県, 福島1-福島72 (1996) .
- 89) 松浦裕幸・森 勝義：水産増殖システム **3**. 貝類・甲殻類・ウニ類・藻類 (森 勝義編), 恒星社厚生閣, 東京, 269-278 (2005) .
- 90) 勢村 均・常盤 茂・道根 淳：イタヤガイ各県報告 (島根県) . 平成5年度～9年度地域特産種量産放流技術開発事業報告書 (二枚貝グループ), 島1-島35 (1998) .
- 91) 加藤元一：厚岸カキの人工種苗生産技術とシステム. 養殖, **39**, 86-88 (2002) .
- 92) 鬼木 浩：養殖技術講座-二枚貝-第2回マガキシングルシードの養殖と経営. 月刊養殖ビジネス, **50**, 21-23 (2013) .
- 93) 鬼木 浩：ブランドカキの売り方戦略. 月刊養殖ビジネス, **52**, 3-18 (2015) .
- 94) 宮田 勉：クローズアップシングルシードマガキ養殖の実力, 日本におけるシングルシードマガキ養殖の発展. 月刊養殖ビジネス, **56**, 18-21 (2019) .
- 95) 森脇和也・常盤 茂：イワガキ種苗生産における換水及び底掃除作業軽減の検討. 島根水技セ研報, **5**, 25-29 (2013) .
- 96) 開内 洋・佐々木 正：中海におけるサルボウガイの増養殖技術の開発. 島根水技セ年報平成27年度, 75-76 (2017) .
<https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/suisan/shinkou/suigi/publish/jigyohou/2015/>.
- 97) 開内 洋・佐々木 正：中海におけるサルボウガイの増養殖技術の開発. 島根水技セ年報平成28年度, 74-75 (2018) .
<https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/suisan/shinkou/suigi/publish/jigyohou/2016/>.
- 98) 日清マリンテック (株)・日清オイリオ (株)・ヤマハ発動機 (株)：珪藻類の高密度・大量培養技術と種苗生産への可能性. 養殖, **2**, 82-85 (2003) .
- 99) 加藤元一・岡内正典・中神秀一：珪藻類キートセロス属2種の濃縮技術の開発と濃縮細胞の再生. 水産増殖, **52**, 231-237 (2004) .
- 100) 石原成嗣・常盤 茂・土川陽子・柳谷浩一・富室孝仁・小中大輔：イワガキの種苗生産 (栽培漁業種苗生産事業) . 島根水技セ年報平成22年度, 100 (2012) .
- 101) 開内 洋：中海におけるサルボウガイの増養殖技術の開発. 島根水技セ年報平成26年度, 88 (2016) .
<https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/suisan/shinkou/suigi/publish/jigyohou/2014/>.
- 102) 兼松正衛・前田昌調・与世田兼三・米田博貴： *Nannochloropsis* を摂食する鞭毛虫の駆除法について. 日水誌, **55**, 1349-1352 (1989) .
- 103) 千原光雄・村野正昭編：日本産海洋プランクトン検索図説. 東海大学出版会, 東京, 1574 (1997) .
- 104) 末友靖隆編：日本の海産プランクトン図解 (第2版) . 共立出版, 東京, 268 (2013) .
- 105) Banerjee S. , W. E. Hew, H. Khaton, M. Shariff and F. M. Yusoff : Growth and proximate composition of tropical marine *Chaetoceros calcitrans* and *Nannochloropsis oculata* cultured outdoors and under laboratory conditions. *African J. Biotechnol.* , **10**, 1375-1383 (2011) .
- 106) Lai J. , F. M. Yusoff and M. Shariff : Large-scale culture of a tropical marine microalga *Chaetoceros calcitrans* Paulsen Takano 1968 at different temperatures using annular photobioreactors. *Pakistan J. Biolo. Sci.* , **15**, 635-640 (2012) .
- 107) 山田英俊：養殖・種苗生産に関する技術指導-1 アサリ増養殖推進事業②. 大分農水研指セ水研事報, 248-249 (2016) .
<https://www.pref.oita.jp/soshiki/15090/jigyohoukoku.html>.
- 108) 石原成嗣・佐々木 正：中海におけるサルボウガイの増養殖技術の開発. 島根水技セ年報平成29年度, 72-73 (2019) .
<https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/suisan/shinkou/suigi/publish/jigyohou/2017/>.
- 109) 岡内正典：海産魚介類の初期餌料用微細藻類の大量培養技術の開発. 日水誌, **68**, 625-628 (2002) .

- 110) 岡内正典：餌料用微細藻類の高増殖株作出とその培養法および利用. 日水誌, **80**, 323–326 (2014) .
- 111) 綿貫 啓・廣瀬紀一・門谷 茂：藻類増殖用水溶性ガラスを用いた珪藻 *Chaetoceros gracilis* の簡易な半連続培養システムの開発. 水産増殖, **52**, 11–16 (2004) .
- 112) 千原光雄・原 慶明：餌料藻類の分類と培養. さいばい, **46**, 35–51 (1988) .
- 113) 高野秀昭：種苗生産用餌料としての珪藻の分類と培養. 昭和 63 年度栽培漁業技術研修事業基礎理論コース餌料生物シリーズ, **5**, 1–12 (1988) .
- 114) 鈴木秀和：水産餌料生物用藻類ハンドブック (渡邊 信編), エス・ティー・エス, 東京, pp. 59–60 (2012) .
- 115) 岡内正典・周 文堅・郁 婉虹・福所邦彦・金沢昭夫：異なる増殖相におけるナンノクロロプシス *Nannochloropsis oculata* の栄養価の相違. 日水誌, **56**, 1293–1298 (1990) .
- 116) 山本慧史・岡内正典・吉松隆夫：クロロフィル a 量を用いた吸光度法による 微細藻類 *Rhodomonas* sp. 細胞密度の推定. 水産増殖, **63**, 353–355 (2015) .
- 117) 板倉 茂：沿岸性浮遊珪藻類の休眠期細胞に関する生理生態学的研究. 瀬戸内水研報, **2**, 67–130 (2000) .
- 118) 兼松正衛・高橋 誠・山崎哲男・桑田 博：市販の珪藻 *Chaetoceros gracilis* を元株としたバッチ式培養における増殖率の季節変化. 栽培漁業センター技報, **7**, 33–36 (2008) .
- 119) 山田徹生・兼松正衛：冬季における浮遊珪藻 *Chaetoceros neogracile* 市販濃縮製品を元株とした低コスト大量培養法. 水産技術, **9**, 1–8 (2017) .
- 120) 田中雅幸・藤原正夢：耳吊り方式によるイワガキの養殖手法. 京都海セ研報, **27**, 31–34 (2005) .
- 121) 市村高央・金谷宗輝・高野博幸・墨谷裕司・畠山重篤：貝類養殖用資材「カイデライト」の開発. 太平洋セメント研報, **154**, 49–55 (2008) .
- 122) 鬼木 浩：ブランドカキの売り方戦略. 月刊養殖ビジネス, **52**, 3–18 (2015) .
- 123) 宮田 勉：クローズアップシングルシードマガキ養殖の実力, 日本におけるシングルシードマガキ養殖の発展. 月刊養殖ビジネス, **56**, 18–21 (2019) .
- 124) 吉田太輔・常盤 茂：隠岐諸島・島前海域のイワガキ種苗生産における付着稚貝の沖出しサイズの検証. 島根水技セ研報, **3**, 29–32 (2011) .
- 125) Vasquez, H. E. , K. Hashimoto, A. Yoshida, K. Hara, C. Imai, H. Kitamura and C. G. Satuito : A glycoprotein in shells of conspecifics induces larval settlement of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Plos One* **8**, 1–12 (2013) .
- 126) 中本 崇・松井繁明・秋本恒基・濱田弘之：アコヤガイ幼生の付着基質に関する基礎研究. 福岡水技セ研報, **20**, 73–76 (2010) .
- 127) 大橋智志：マガキシングルシードの改良について. 長崎県漁連だより, 199 (2011).
- 128) 早川 淳：相模湾長井におけるサザエの初期生態に関する研究. 東京大学博士論文, 238 (2010) .
- 129) Hayakawa, J. , T. Kawamura, S. Ohashi, N. Ohtsuchi, H. Kurogi and Y. Watanabe : Predation by neogastropods on *Turbo cornutus* juveniles and other small gastropods inhabiting coralline algal turfs. *Fisheries Sci.* , **78**, 309–325 (2012) .
- 130) Hayakawa, J. , T. Kawamura, H. Kurogi and Y. Watanabe : Shelter effects of coralline algal turfs: protection for *Turbo cornutus* juveniles from predation by a predatory gastropod and wrasse. *Fisheries Sci.* **79**, 15–20 (2013) .
- 131) 原口展子・村瀬 昇・水上 譲・野田幹雄・吉田吾郎・寺脇利信：山口県沿岸のホンダワラ類の生育適温と上限温度. 藻類, **53**, 7–13 (2005) .
- 132) 大塚耕司 (2006) 室戸沿岸の磯焼け海域を対象とした海洋深層水放流影響の予測. 水産工学, **43**, 21–33.
- 133) Yamaguchi, A. , K. Furumitsu, N. Yagishita and G. Kume : Biology of herbivorous fish in the coastal areas of western Japan. In Coastal Environmental and Ecosystem Issues of the East China Sea (Eds. , A. Ishimatsu and H. J. Lie) Terrapub and Nagasaki university 181–190 (2010) .

- 134) 村瀬 昇・野田幹雄：水温の変動が藻場構成種および植食性魚類に与える影響. 海洋と生物, **236**, 226–232 (2018) .
- 135) Kiyomoto, S. , M. Tagawa, Y. Nakamura, T. Horii, S. Watanabe, T. Tozawa, K. Yatsuya, T. Yoshimura and A. Tamaki : Decrease of abalone resources with disappearance of macroalgal beds around the Ojika Islands, Nagasaki, Southwestern Japan, *J. Shellfish Research*, **32**, 51–58 (2010) .
- 136) 清本節夫：高水温条件下の藻場と暖流系アワビ類の変遷. 豊かな海, **38**, 53–56.
- 137) 清本節夫・門田 立・種子田 雄・吉村 拓 (2018) 九州西岸域における藻場の変遷. 海洋と生物, **236**, 210–219 (2016) .
- 138) 吉田太輔：島根県沿岸における藻場の状況と磯焼けに関する聞き取り調査. 島根水技セ研報, **9**, 37–42 (2016) .
- 139) 佐々木 正：大型水槽を活用したイワガキ付着期幼生の低コスト・大量生産の試み. 豊かな海, **53**, 32–37 (2021) .
- 140) 佐々木 正：餌料用微細藻類 3 種 (*Chaetoceros calcitrans*, *Chaetoceros neogracile*, *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate)) の屋外培養における低塩分濃度の影響. 島根水技セ研報, **13**, 9–23 (2021) .
- 141) 大橋智志：有用二枚貝 4 種の浮遊幼生における消化器官の形成に関する組織学的検討および種苗生産への知見の応用. 長崎水試研報別刷, **37**, 16–20 (2011) .
- 142) 新山 洋：魚介類の飼育排水を利用したイワガキの種苗生産について. 豊かな海, **38**, 47–48 (2016) .
- 143) 小菌勇貴・松元則男・今吉雄二・小湊幸彦：有用介類種苗生産試験 (イワガキ種苗生産技術開発). 平成 29 年度鹿児島水技セ事報, 271–282 (2017) .
http://kagoshima.suigi.jp/jigyohoukoku/jigyo_h29.html.
- 144) 森 拓也・西山雄峰・村上 淳・林 省吾：愛媛農水研水研セ平成 29 年度事報, 185 (2019) .
<https://www.pref.ehime.jp/h35115/report2017/report2017.html#zouyousyoku>.
- 145) 上野淳一：クローズアップシングルシードマガキ養殖の実力. うみの (株) におけるカキ類の人工種苗生産. 月刊養殖ビジネス, **56**, 22–24 (2019) .
- 146) 藤原正夢：イワガキ養殖における開始時最適付着数と最適養殖水深について. 京都海セ研報, **20**, 13–19 (1998) .
- 147) 吉本剛宏：クローズアップシングルシードマガキ養殖の実力, シングルシードによる日本式バスケット養殖の普及. 月刊養殖ビジネス, **56**, 9–13 (2019) .
- 148) 鬼木 浩：養殖技術講座—二枚貝—第 2 回マガキシングルシードの養殖と経営. 月刊養殖ビジネス, **50**, 21–23 (2013) .
- 149) 佐々木 正・佐藤勇介・近藤徹郎・常盤茂：隠岐諸島におけるイワガキシングルシードの海面中間育成試験. 島根水技セ研報, **11**, 21–29 (2018) .

Study on resource regeneration and aquaculture of the commercially valuable shellfish species in rocky shore of Shimane Prefecture

Summary

Chapter 1: *Turbo (Batillus) sazae* H. Fukuda, 2017 (Japanese top shell) is an important fisheries species found on the rocky shores of Shimane Prefecture, but in recent years its fisheries production has decreased to about 30 to 40% of the peak production. To sustainably use and maintain Japanese top shell resources, resource management is the most suitable approach and it is desirable that adaptive management according to the state of the resource generation is performed. However, information on the early life ecology of the Japanese top shell is lacking at present while mechanisms in the variation in recruitment quantity, which is the basis for resource analysis, also remains unclear. To promote adaptive management of Japanese top shell resources, it is therefore necessary to clarify the early life ecology of Japanese top shells in the coastal areas of Shimane Prefecture.

Crassostrea nippona (Iwagaki oyster) is one of important aquaculture species of Shimane Prefecture, much like the top shell, and the demand for Iwagaki oyster seeds has increased with the expansion in aquaculture farms. Initiation of new efforts to improve the value of the Iwagaki oyster has created the need for the Shimane Prefectural Sea-farming Center, which supplies cultivated seeds, to develop new seed production technologies in both single-seed and mass-seed production for culture.

This study was carried out to elucidate the early life ecology associated with variations in the recruitment quantity between spawning and development into juvenile Japanese top shell, and to solve issues in the seed production technology for Iwagaki oyster.

Chapter 2: Seasonal changes in the maturity of Japanese top shells were investigated based on the gonad index (GI), gonadal histology, and egg-size distribution using specimens collected during from April to October, 1990. Spawning in top shells was considered to occur from late June to October, with a peak in July and August when a marked increase in GI was observed. Based on the analysis of the relationship between gonad maturation

and changes in water temperature, spawning in 1990 was considered to have occurred twice: once in summer (July and August) when water temperature is increasing, and again in autumn (September and October) when the water temperature is decreasing. The second spawning event in autumn was likely triggered by the subsequent maturation of immature oocytes after the summer spawning event. The results also showed that males and females reach sexual maturity at shell heights of 45 mm and 50 mm, respectively.

Juveniles of Japanese top shells were sampled with artificial collectors in sufficient quantities to elucidate seasonal variations in the recruitment of juveniles. The collectors were composed of 20 vinyl chloride egg containers (box size of 24 × 21 × 2.5 cm, film thickness 180 μm) wrapped in a polyethylene net (46 × 80 cm, 4.5 mm mesh). The collectors were more effective when the egg containers were immersed for over 2 weeks in running seawater prior to use, which allowed the development of a film of micro-organisms and diatoms. The collector developed in this study seemed to be a simple and useful tool to collect the veliger larva of Japanese top shells.

The occurrence and distribution of planktonic larva of the Japanese top shell were studied by plankton net sampling (100 μm mesh, opening 46 cm) and the artificial collector sampling in the coastal waters of east Shimane Prefecture during the period from June to November, 1995. The results showed that planktonic larva were commonly distributed in the middle and upper layers of coastal waters. A study on the presence of larva in relation to water temperature and mean height of the waves showed that spawning of the Japanese top shell is stimulated by changes in water temperature rather than the action of waves.

The process of settlement and mortality in the early stage of Japanese top shells were investigated by means of continuous collection of juveniles at a coralline algal bed in 1995. Continuous settlements of top shells in Katakuri in 1995 were observed from July to October; a particularly large amount of settlement was observed at the beginning of July and at the end of September, with reference to the progress of shell-diameter composition

and the amount of collectible planktonic larva. After settlement, the juvenile population density of the top shells decreased rapidly. This seems to have been caused by predatory carnivorous snails from the Family Muricidae. Results from the depth-specific sampling of Japanese top shells showed that juveniles were spread over a relatively wide depth while population density after settlement was found to be greater at shallower depths.

The growth and population density of juvenile Japanese top shells were observed in coralline algal beds from 1990 to 1995. The average shell height was 8-10 mm at the age of 1 and the growth of juveniles was slow from winter to spring at low temperature conditions; however, growth increased rapidly as the temperature increased after summer. The population density then decreased remarkably just after the settlement stage. From these results, an effective method to estimate the recruitment of juvenile top shells in the coralline algal beds is to make the assessment in the next spring after hatching.

Chapter 3: Production of settlement-stage larva of Iwagaki oyster was performed using a large tank (100-kl) in a semi-outdoor environment. To simplify the rearing procedures, routine bottom cleaning and replacement of sea water were not undertaken throughout the duration of the larval production.

Four experimental treatments using different initial feeding and larval density conditions were established and the effects of these differences on the growth and survival of planktonic larva were investigated. The present study showed that initial feeding with *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate) which was mass-produced at a low cost outdoors, followed by *C. neogracile*, were optimal for the mass-production of settlement-stage larva. Based on this cost and labor-saving procedures, D-shaped larval density in 100-kl tanks at 1-2/ml and water replacement in 5 to 7-day intervals were suitable for the mass-production of settlement-stage larva.

Since the time allocated for daily larval management procedures (e. g. cleaning and so on) was markedly reduced and the diet used was produced outdoors in a comparatively easy manner, the rearing methods employed in this study are considered to be well-suited

for the large-scale production of Iwagaki oyster seeds in the early part of the larval seed production season.

In addition, approximately 1.9 million spats with a mean shell size of 2.4 mm were produced by the single-seed method in the 100-kl tank using the settlement-stage larva produced in this trial.

The stability of *C. calcitrans* in outdoor mass cultivation for large-scale seed production of Iwagaki oyster was investigated in culture trials using 100-l, 500-l, and 5-kl outdoor tanks from spring to fall, with *C. neogracile* as the control group for comparison. In addition, the use of commercially available *C. calcitrans* products as a starter culture was studied. In spring, which is an optimal season for cultivation, the maximum density of *C. calcitrans* cells reached approximately 6 million cells/ml in the 100-l and 500-l tanks. Furthermore, the results demonstrated that *C. calcitrans* can be stably cultured like *C. neogracile*, although growth rates and maximum cell densities were slightly inferior to that of *C. neogracile*. The results also confirmed that *C. calcitrans* can be efficiently cultured as a starter culture using commercially available products. The feasibility of culturing *C. calcitrans* with a light-shade curtain in summer was also studied. The use of a light-shade curtain to reduce the water temperature in summer was found effective for the stable culture of feed algae, suggesting that even heat-sensitive strains such as *C. calcitrans* can be cultured during summer.

Iwagaki oyster spats were experimentally collected using soft resin spat collectors with different shapes and surface characteristics, and the efficiencies of different collectors for the artificial cultivation of single-seed Iwagaki oysters were compared. This was done by comparing the number and growth of settled spat between different collectors and after removing the seeds from the collector. The survival rates of seeds produced on different separators were then compared after rearing them for several months. The results showed that polypropylene, which is highly durable and can be used repeatedly, is well suited for constructing the collectors. Umbrella-shaped collectors with rough surfaces (arranged in a lattice-pattern projection) promoted settling of spats; however, the growth rates of spats on such collectors were slightly inferior compared to that obtained using smooth, flat collectors under the same conditions. The rough surfaces were highly effective for

promoting both spat settling and for preventing damage to the shells when the spats were removed from the collectors, increasing the spat survival. Thus, the use of rough-surfaced umbrella-shaped spat collectors with collection efficiencies comparable to the collectors that are currently used for cultivating scallops will likely increase the efficiency of single-seed oyster production. Furthermore, the merits of using polypropylene spat collectors are that these can be used repeatedly and reuse greatly increased the settling of spats.

Chapter 4: For the Japanese top shell, new ecological findings were obtained while for Iwagaki oysters, practical technologies for stable mass-seed production and single-seed production were developed. We made the following proposals for the aquaculture of these two species.

As the close season stipulated for fishing in Shimane Prefecture's current fishery regulations (May to June) differ from the actual spawning season, it is thereby necessary to change the timing of the close season. However, as the demand for top shell increases in July and August during the spawning season, a decision on a new close season should be taken very carefully, with the agreement of fishermen and with close attention to the stock trends in the future.

Juveniles of Japanese top shell can be continuously collected from coralline algal beds, thereby suggesting that coralline algal beds may function as the optimum habitat for the juvenile Japanese top shell. The most effective way to monitor the quantity of juveniles of top shell is to collect them in coralline algal beds during the spring in the year following their production, after a period of mass depletion and immediately before they spread out beyond the coralline algal beds. This approach is thought to be an effective way to estimate the recruitment quantity. If the resources decrease even

further in the future, it will be important to select management approaches that suit the future resource quantity predicted by the recruitment level. It is necessary to consider establishing a monitoring system for the juvenile Japanese top shell to achieve this as well.

A technique for producing mass settlement-stage larvae using a large-scale tank with a capacity of several tens of tons was developed. Furthermore, low-cost production of larva can be achieved by supplying food that has been extensively cultivated outdoors. Thus, it was found that *C. calcitrans*, which was previously considered difficult to culture outdoors, can be cultivated stably in the same way as *C. neogracile*. Furthermore, it was judged that using a light-shade curtain to effectively reduce high water temperatures during summer will allow an almost stable feed culture. As it was suggested that production technology using these large tank and outdoor feed cultures can be applicable to oysters other than Iwagaki oysters and other bivalvia, it is thought that this technology can contribute to the stabilization and cost reduction in the mass production of bivalvia seedlings in the future.

We have developed a single seedling device made of resin, has high larval attachment efficiency, and has an effective structure for improving the survival rate of larva after removal. In recent years, Iwagaki oyster aquaculture has been expanding nationwide. To survive in the competition with other prefectures in the future, it is important to reduce the aquaculture costs in such a limited offshore area, and the challenge will be to shift to a more efficient culture method that will produce a greater value-added product. An aquaculture system using a single-seed is one of the effective ways around this, and in the future, aquaculture businesses will need to actively introduce this aquaculture system to try and establish a labor-saving and efficient production system for high-quality Iwagaki oysters.

要 約

島根県の沿岸漁業において、岩礁性貝類であるサザエとイワガキは、それぞれの漁業（磯根漁業、養殖業）を代表する最も重要な種として位置づけられている。

しかし、近年の島根県のサザエの生産量は、ピーク時の3~4割（4~5百トン）に低下し、本県の沿岸漁業の経営に大きな影響を及ぼす可能性が懸念されていることから、より有効な資源管理体制を確立することが急務となっている。一方、イワガキでは、養殖業者の増加に伴って養殖用種苗の需要が拡大しつつあることや付加価値向上を目的としたシングルシード養殖法の新たな取り組みが開始されたことから、種苗のより効率的な大量安定生産方法やシングルシード用種苗の新たな生産方法などの技術開発の必要性が生じている状況にある。

そこで、本研究では島根県の沿岸漁業における最も重要なこれらの岩礁性貝類2種を対象に、サザエでは資源管理に必要な産卵から稚貝の発生までの加入量変動に関わる初期生態の解明を、イワガキでは養殖の安定化に欠くことのできない人工種苗生産技術における諸課題を解決することを目的として研究を行った。その結果、サザエでは島根県における産卵、浮遊幼生および稚貝の発生などの初期生態について新たな知見を明らかにした。イワガキでは養殖種苗の供給元である栽培漁業センターの種苗生産における大量安定生産およびシングルシード種苗生産のための実用的な採苗技術を開発した。以下に研究の内容を要約する。

第I章では、サザエとイワガキについて生産量動向をはじめとする現状分析により、問題点と課題を整理した。サザエでは有効な資源管理体制を確立するために、資源解析の基礎となる産卵や稚貝の加入量の変動機構の解明が重要であることを指摘した。イワガキでは養殖用種苗の供給元である島根県栽培センターにおける効率的な人工種苗の大量安定生産方法やシングルシード用種苗の新たな生産方法などの技術開発の必要性について分析した。

第II章ではサザエについて、成熟と産卵期（第1節）、浮遊幼生採集用コレクターの開発（第2節）、浮遊幼生の出現期と分布特性（第3節）、着底過程と初期減耗（第4節）、0~1歳貝の初期成長と密度変化（第5節）の各項目について検討した。

第1節では島根県沿岸のサザエの成熟、産卵について、生殖巣のGI、組織学的成熟度および卵径分布の調査を実施した。その結果、産卵期は6月後半~10月の間で、その盛期はGIの急減する7~8月であると推定され、同一個体において成熟と産卵が繰り返されることにより産卵期が比較的長期に及ぶものと考えられた。組織学的成熟度と水温の変動状況との比較から、1990年の産卵は7~8月の水温上昇期と9~10月の水温下降期に行われたものと推察された。さらに、GI、組織学的成熟度の観察結果から、少なくとも雄は殻高45mm以上で放精が、雌は殻高50mm以上で産卵が可能であると推定された。

第2節では浮遊幼生のモニタリングを目的に市販の塩化ビニール製鶏卵パックを材料としたコレクターを開発し、天然海域において検証を行った。鶏卵パックは透光性が高く、立体的で軽量であることからサザエのコレクターの材質として優れており、使用前に表面に微細藻類を付着させることで幼生の採集量が増加することが判明した。コレクターを用いた方法は、サザエの加入機構を解明する上で簡便で実用的な調査手段であると考えられた。

第3節ではプランクトンネットおよびコレクターによる浮遊幼生の採集を行った。その結果、島根県東部の1995年のサザエの産卵期は、表層水温21°C以上の6月下旬から10月下旬の間であり、その盛期は8月前半と9月後半の2回あったと考えられた。さらに、水温および波浪の変化とサザエの浮遊幼生の出現との関係を検討したところ、数日間の急激な水温変化がサザエの配偶子放出を誘起する一つの環境要因であると考えられた。また、コレクターによる浮遊幼生の分布域の調査から、サザエのベリジャー期の浮遊幼生は底層よりも中層から表層付近に偏って分布する傾向が認められた。

第4節では島根県東部の有節石灰藻群落において、サザエ稚貝の着底過程および着底直後の減耗過程について検討した。サザエ着底稚貝の殻径組成の推移とコレクターによる浮遊幼生の採集状況との比較から、1995年のサザエの着底は7月から10月上旬まで断続的にあり、7月上旬と9月下旬には規模の大きな着底があったと考えられた。また、着底後の稚貝は、殻径1mmまでの減耗が大きく、アキガイ科の肉食性の巻貝による食害により減耗することを確認した。水深別に実施した採集結果から、サザエ稚貝は比較的広い水深帯で着底するが、水深が浅いほどその量が多い傾向が認められた。

第5節では島根県東部の有節石灰藻群落においてサザエの稚貝を採集し、1990～1995年の年級群ごとの成長や密度について調査した。サザエの稚貝の着底から1歳までの殻高（径）組成分布の推移から、殻高（径）組成が広い範囲にあるのは成長速度の個体差によるものではなく、着底期の違いによるものであると考えられた。稚貝の成長は冬季から春季は低水温のために緩慢であったが、夏季以降水温の上昇と共に急速に成長した。稚貝の採集密度は着底直後から殻径1mmまでの間に大きく低下した後、夏季から秋季にかけて緩やかに低下した。この原因としては、死亡減耗の他に稚貝が成長と共に徐々に生息域を拡大し、有節石灰藻群落外へ移動することによる見かけ上の密度低下が含まれていると考えられた。これらの結果から、春季における有節石灰藻群落内の稚貝の定量的な調査により、加入量を予測することが可能であると考えられた。

第III章ではイワガキについて、半屋外の大型水槽（100kl）を使用した付着期幼生の大量生産（第1節）、シングルシード用の樹脂製軟質採苗器の開発（第2節）について検討した。

第1節では半屋外の大型水槽（100kl）を使用したイワガキ付着期幼生の大量生産方法における初期餌料や幼生の収容密度などの基本的な飼育条件を明らかにするための比較試験を行った。屋外で大量培養したタヒチとネオグラシーレを使用する餌料系列を用いて、D型幼生を1～2個体/mlの範囲で収容し、水槽換えを5～7日間隔で行うことにより、大量の付着期幼生を低コストで省力的に生産できることが判明した。本生産方法は日常の幼生管理に必要な時間は僅かであり、用いる餌料も屋外培養により比較的容易に生産できることから、6～7月のイワガキ種苗生産初期における付着期幼生の大量生産方法として適していると考えられた。さらに、栄養価やサイズなどの面で餌料としての価値が高く評価されているカルシトランスの屋外における大量培養の安定性を明らかにするため、春～秋季に100l、500lおよび5kl水槽を用いて、同じ珪藻類のネオグラシーレと比較する試験区を設定して屋外培養試験を実施した。カルシトランスは、従来の知見では屋外培養が困難とされていたが、培養適期の春季には最高細胞密度で100l、500l水槽とも 6×10^6 細胞/ml以上に達し、ネオグラシーレと比較して最高細胞密度がやや劣る傾向があるものの、ネオグラシーレと同様に安定的で実用的な培養が可能であることが判明した。さらに、カルシトランスの市販品を元種に用いることに

より効率的な培養ができることや、夏季の高温期に遮光幕を用いて培養水温を低下させることにより高温期における培養が可能であることが明らかとなった。

第2節ではシングルシード種苗の生産を目的に、稚貝の剥離が容易な樹脂製の新型採苗器を試作してその有効性や実用性について検討した。また、採苗器の形状や表面構造など条件の異なる数種類の採苗器を用いた採苗試験を行い、各採苗器における稚貝の付着数、成長および採苗器から剥離後の稚貝の生残率などを比較した。その結果、耐久性が高く、繰り返し利用が可能なPP樹脂を用いた採苗器がシングルシードの生産に適しており、稚貝の成長はやや劣るものの、採苗器の表面に凹凸状の微細な構造があること、採苗器の形状は立体的（傘型）であることなどが幼生の付着効率を高め、さらに前者は、剥離時の稚貝の殻の破損を防ぐ効果により剥離後の稚貝の生残率の向上に有効であることが判明した。新型採苗器では、これらの有効な条件を組み合わせることにより従来のホタテ殻採苗器と同等の付着効率があることを示した。そして、使用後の採苗器は稚貝の付着効率が高くなることも判明し、繰り返しの使用によりシングルシード種苗の効率的な生産が期待できると考えられた。

第IV章では研究結果を総括した上で、これら重要貝類の増養殖に関して有効な資源管理手法や種苗生産技術についての提言を行った。

サザエでは現行の島根県漁業調整規則で定める禁漁期と実際の産卵期が異なることから、禁漁期をより適切で効果的な時期へ変更する必要性を指摘した。また、資源管理をより適切に行うための方策として、有節石灰藻群落における稚貝のモニタリング体制の確立が重要であることを示した。

イワガキでは大型水槽を使用した幼生の生産方法および屋外餌料培養技術の導入が、イワガキをはじめとするその他の二枚貝の低コスト大量種苗生産体制の確立に寄与することを提言した。さらに、開発した樹脂製採苗器を用いてシングルシード養殖体系を積極的に導入することにより、効率的で付加価値の高いイワガキの生産体制の構築が期待できることを提唱した。

本研究で対象とした岩礁性貝類のサザエとイワガキは、本県の沿岸漁業の磯根漁業や二枚貝養殖業においてそれぞれ重要な位置づけにあることから、今後も資源管理の積極的な推進、種苗の安定供給体制の確立および効率的で付加価値の高い養殖方法への

転換などの取組みを継続し、持続的で安定的な生産体制を構築していく必要があると考えられた。

学位論文の基礎となる学術論文

1. 山田 正・勢村 均：島根県沿岸のサザエの成熟と産卵期. 栽培技研, **22**, 5-12 (1993) 【第II章第1節】
2. 山田 正：サザエ浮遊幼生採集用人工コレクター. 水産増殖, **44**, 255-259 (1996) 【第II章第2節】
3. 山田 正：島根県東部沿岸のサザエ浮遊幼生の出現期と分布特性. 水産増殖, **46**, 1-6 (1998) 【第II章第3節】
4. 佐々木 正・常盤 茂：半屋外 100 k l 水槽を用いたイワガキ *Crassostrea nippona* 付着期幼生の生産の試み. 水産増殖, **62**, 433-440 (2014) 【第III章第1節第1項】
5. 佐々木 正・近藤徹郎・常盤 茂：半屋外 100 k l 水槽を用いたイワガキ *Crassostrea nippona* 付着期幼生の大量生産における飼育条件の検討. 水産増殖, **64**, 295-307 (2016) 【第III章第1節第2項】
6. 佐々木 正・近藤徹郎・常盤 茂・小中大輔・鈴木和弘・大脇安則・木村克彦：樹脂製軟質採苗器を用いたイワガキ *Crassostrea nippona* シングルシードの人工種苗生産試験. 水産増殖, **66**, 71-84 (2018) 【第III章第2節】
7. 佐々木 正：*Chaetoceros calcitrans* の屋外における大量安定培養の試み. 水産増殖, **69**, 55-69 (2021) 【第III章第1節第3項】

宍道湖のヤマトシジミ資源量が 2018~2019 年に急変した際の各種条件の比較

清川智之¹・谷 幸則²・原口展子^{1a}・岡本 満^{1b}・平松大介^{1c}・福井克也¹

Comparison of various conditions during the rapid fluctuation for stock of *Corbicula japonica* in Lake Shinji from 2018 to 2019.

Tomoyuki KIYOKAWA, Yukinori TANI, Hiroko HARAGUCHI, Mitsuru OKAMOTO, Daisuke HIRAMATSU and Katsuya FUKUI

キーワード: ヤマトシジミ, 宍道湖, 資源変動, 塩分, 肥満度, 植物プランクトン相

はじめに

ヤマトシジミ *Corbicula japonica* は日本のほか樺太や朝鮮半島の、塩分の比較的低い汽水湖や河口域に多く生息する二枚貝で、島根県では宍道湖や神西湖などの汽水域における重要な水産資源のひとつとなっている。¹⁾

宍道湖では、1997 年から毎年 6 月および 10 月に本種の資源量を調査している。^{2), 3)} また 2010 年からは現在と同様の方法で毎月 1 回、本種のモニタリングとして、生息密度、水温や塩分等の生息環境のほか、肥満度等を詳細に調査している。

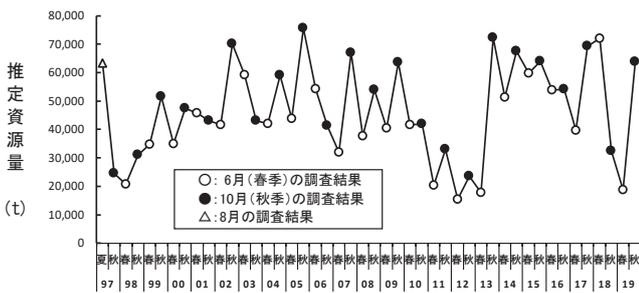


図 1. 宍道湖におけるヤマトシジミ資源量 (1997~2020 年)

これまでの研究から、毎年の資源量の一般的傾向

として夏季から秋季にかけて増加し、秋季から春季にかけて減少している (図 1)。夏季から秋季にかけての増加はシジミの成長と新規加入であり、秋季から春季の減少は低水温期の成長鈍化のため漁獲や自然死亡が成長量を上回ること、⁴⁾ この他、宍道湖で越冬する潜水カモ類による捕食の影響も報告されている。⁵⁾ この一般的な傾向から外れて、夏季にほとんど増加しない場合や大きく減少する場合も認められる。この原因には餌となる植物プランクトン種の変化 (餌として不適な特定の藍藻類が優占)⁴⁾、浮泥による鰓の目詰まり、²⁾ 近年ではシオグサ類の繁茂による溶存酸素の低下と底質の還元等による斃死⁶⁾ 等が報告されている。

このような状況の中、宍道湖におけるヤマトシジミ資源量は、2018 年夏季に急減し、そのわずか 1 年後の 2019 年夏季に回復した。そこで本研究では、この期間モニタリングしていた水温、塩分、餌となる植物プランクトン相等の生息環境のほか、本種の殻長組成や斃死貝の分布状況、肥満度の変化についての調査結果を詳細に整理した。

これら得られた結果から、資源が減少した 2018 年と増加した 2019 年において、各種環境条件を整理する中で、ヤマトシジミの資源変動要因と考えられる知見を得たので、それらについて報告する。

1 内水面浅海部: Inland Water Fisheries and Coastal Fisheries Division

2 静岡県立大学食品栄養科学部環境生命科学科: Department of Environmental and Life Sciences, School of Food and Nutritional Sciences, University of Shizuoka

a 現所属: 西部農林水産振興センター Western Agriculture, Forestry and Fisheries Promotion Center, Shimane 697-0041, Japan

b 現所属: 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

c 現所属: 島根県農林水産部水産課 Shimane Prefectural Government Fisheries Division, Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Shimane 690-8501, Japan

材料と方法

ヤマトシジミ資源量調査 資源量調査は試験船「ごず」(8.5トン)を使用し、2018年は6月の調査として6月20日と22日に、10月の調査として10月15～16日に、2019年は6月調査として6月4～6日に、10月調査として10月16日と21日に実施した。調査定点は図2に示す通り、宍道湖沿岸のヤマトシジミ生息域を8地区に区分し、それぞれの面積に応じて3～5本のラインを設定、水深0.0～2.0m, 2.1～3.0m, 3.1～3.5m, 3.6～4.0mの4層の水深帯ごとに各1点ずつ計126点設定した。なお、対応する水深帯が存在しない地点は調査しなかった。



図2. 宍道湖におけるヤマトシジミ資源量調査定点概略図
(調査は各ライン(●印)の所定的水深で実施)

採泥はスミス・マッキンタイヤ採泥器(採泥面積 0.05 m^2)で各地点2回行った。各地点で得られた堆積物は、目合 2.0 mm と 8.0 mm の篩でふるい、篩上に残った堆積物の中からヤマトシジミ検体を得た。

得られたヤマトシジミは、調査定点ごとに個体数および湿重量の測定を行い、 1 m^2 あたりの個体数と湿重量を算出した。さらにヤマトシジミの殻長も測定し、殻長組成を算出した。用いたスミス・マッキンタイヤ採泥器の鉛直方向の採集効率が約 $0.7^7)$ であることから、実測値に 1.4 を乗じた値をその調査定点の現存量とした。用いた篩の最小目合が 2.0 mm のため、本調査の計測対象となったヤマトシジミは概ね殻長 3 mm 以上である。

各調査定点の個体数(個/ m^2)および重量(kg/m^2)を水深帯ごとに平均し、各水深帯の面積(m^2)^{2), 7)}を乗じて、その合計値を宍道湖全体の資源個体数、資源重量とした。

各月のモニタリング調査 本調査は、2018年4月から2020年3月の間、図3に示す4定点(東岸、南

岸、西岸、北岸)の水深 2 m 地点(南岸のみ水深 2.5 m 地点)で行った。採泥はスミス・マッキンタイヤ採泥器(採泥面積 0.05 m^2)により、目視できる個体数が最低でも500個程度確保できるよう、5回から最大10回の採取を行った。堆積物を目合 8.0 mm 、 4.0 mm および 0.5 mm の篩でふるい、篩上に残ったヤマトシジミ検体を得た。資源量調査と同様に、篩上に残ったヤマトシジミの個体数と湿重量を計測するとともに、殻長をデジタルノギスもしくは実体顕微鏡下で測定した。得られた殻長別個体数を合算し、各調査定点の 1 m^2 あたりの個体数と重量を算出した。本調査で使用した篩の最小目合が 0.5 mm のため、調査対象となるヤマトシジミは概ね殻長 0.7 mm 以上である。

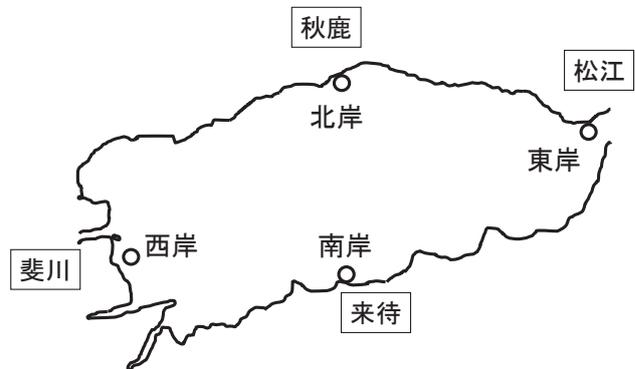


図3. 宍道湖におけるヤマトシジミモニタリング調査定点

目合 8.0 mm と 4.0 mm の篩上に残った貝殻のうち、蝶番で繋がっている状態の貝殻(以下「二枚殻」)、貝殻を閉じた状態の斃死個体(以下「ガボ」)、および貝内部に軟体部が残っているものの、貝が半開きのままで口を閉じない、瀕死あるいは斃死していると思われる個体(以下「口開け」)を分別した。これらは過去の大量斃死時に多く確認され、⁸⁾斃死後の経過時間が比較的短いと考え、斃死直後の個体として、生貝と同様に 1 m^2 あたりの個体数と殻長組成を算出した。目合 8 mm の篩上に残ったものを成貝由来(殻長:およそ 12 mm 以上)、目合 4 mm の篩上に残ったものを稚貝由来とした。

水質については、多項目水質計(ハイドロラボ社製MS-5)により湖底直上の塩分と水温を測定した。また、ヤマトシジミが摂餌している植物プランクトン種を調べるため、湖底直上の湖水(以下、底層水)を各10採水し、GF/Fガラス繊維フィルターで規定量を吸引ろ過したものから、植物プランクトンを含む懸濁物を捕集した。得られた懸濁物からアセトン中で超音波抽出を行った後、クロロフィル色素およ

びカロテノイド類を抽出し、フォトダイオードアレイ検出器付きの高速液体クロマトグラフィーで分析、植物プランクトンに由来する各種色素量を求めた。また、クロロフィルaおよびそれらの誘導体であるフェオフィチンa、ピロフェオフィチンaの合計濃度を総クロロフィルa濃度、検出されたカロテノイドの合計濃度を総カロテノイド濃度とした。

肥満度については、漁獲対象サイズ（概ね殻長17mm以上）の成貝20個体の軟体部を取り出して、60℃で48時間乾燥させた後に重量を測定した。この軟体部乾燥重量を殻長、殻高、殻幅を乗じた値で除した数値を肥満度とした（肥満度＝軟体部乾燥重量(g) / (殻長(mm) × 殻高(mm) × 殻幅(mm)) × 1000）。

結果

資源量調査結果 2018年6月および10月、2019年6月および10月に実施したヤマトシジミ資源量調査結果を表1に示した。宍道湖では2018年6月に、6月としては過去最高の7.2万トン（個体数：1,285億個）となったが、同年10月には3.2万トン（個体数：537億個）と急減した。2019年6月にはさらに1.9万トン（個体数：965億個）まで減少したが、そのわずか4ヵ月後には6.4万トン（個体数：1,440億個）と急激に増加した。

表1. 2018年6月および10月、2019年6月および10月に実施した、宍道湖におけるヤマトシジミ資源量調査結果

深度 (m)	面積 (km ²)	2018年6月		2018年10月		2019年6月		2019年10月	
		個体数 (億個)	重量 (トン)	個体数 (億個)	重量 (トン)	個体数 (億個)	重量 (トン)	個体数 (億個)	重量 (トン)
0～2.0	7.69	369.6	23,370	216.7	13,654	399.2	7,710	437.0	21,779
2.1～3.0	6.18	386.4	24,676	132.4	7,872	274.7	6,305	458.9	19,486
3.1～3.5	4.76	259.4	13,224	122.0	7,234	178.3	3,414	304.4	13,839
3.6～4.0	5.33	269.8	10,782	65.4	3,598	112.8	1,435	239.6	8,652
合計	23.96	1,285.2	72,052	536.5	32,358	965.0	18,864	1,439.9	63,756

表1の調査時における、全調査定点を平均した1m²あたりのヤマトシジミ個体数と殻長組成を図4に示した。2018年の個体数は、6月の3,859個から10月の1,407個に大きく減少した。殻長組成をみると、6月の調査では殻長4mmと10mmにモードが認められ、漁獲対象となる殻長17mm以上の成貝の個体数も307個と高かった。一方、10月の調査では、すべての階級で個体数が減少しており、6月調査時に認められた明確なモードは観測されなかった。また漁獲対象となる殻長17mm以上の成貝の個体数も116個と大きく低下した。

2019年の個体数は、6月の2,708個から10月の4,313個に増加した。6月の殻長組成は、殻長5mm未満のモードは2018年と同様に認められるものの、殻長10mmのモードははっきりとは認められず、殻長17mm以上の漁獲対象の個体数も56個と低かった。10月の殻長組成においては、漁獲対象の個体数が198個と急増した。また殻長10mm前後に大きなモードが認められ、これは殻長組成の変化から、6月に殻長5mm未満であった群が成長したと考えられる。さらに殻長4mm前後に新たなモードが認められ、これは2019年6月の時点ではまだ殻長が小さいために測定対象になっていない群が、加入、成長したためであった。

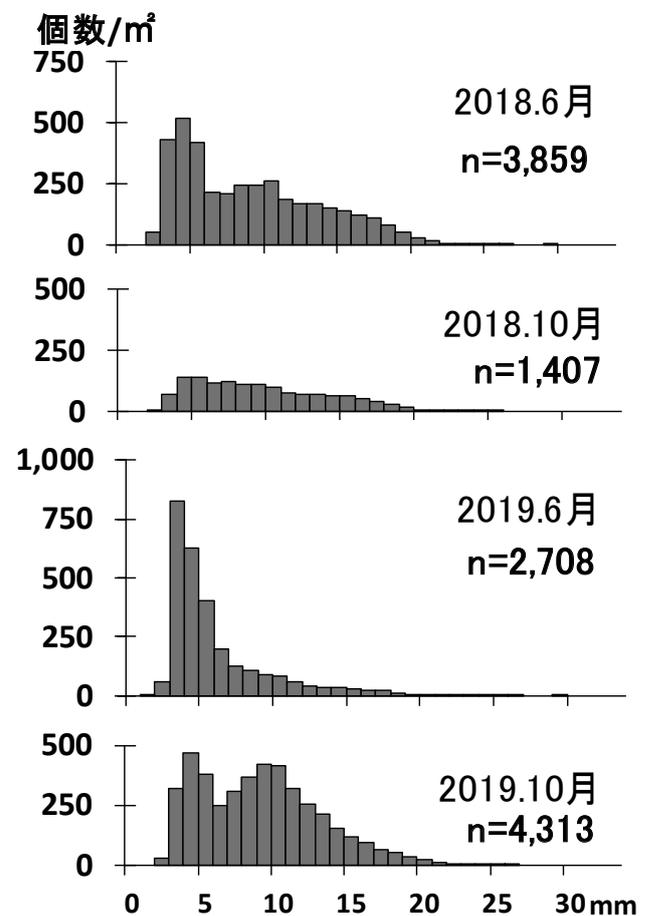


図4. 全調査定点のヤマトシジミ平均殻長組成 (2018年6・10月、2019年6・10月)

以上の結果を整理すると、2018年6月から10月における資源量の減少は、すべての階級で個体数が減少したため、2019年同期間の資源量の増加は、6月に殻長5mm未満であった群が、10月に殻長10mm前後に成長したことが最大の理由であった。

各月のモニタリング調査結果

(1) ヤマトシジミの生息密度と殻長組成

2018年4月から2020年3月のモニタリング調査において採集されたヤマトシジミを、調査定点ごとに1㎡あたりの重量を図5に示した。

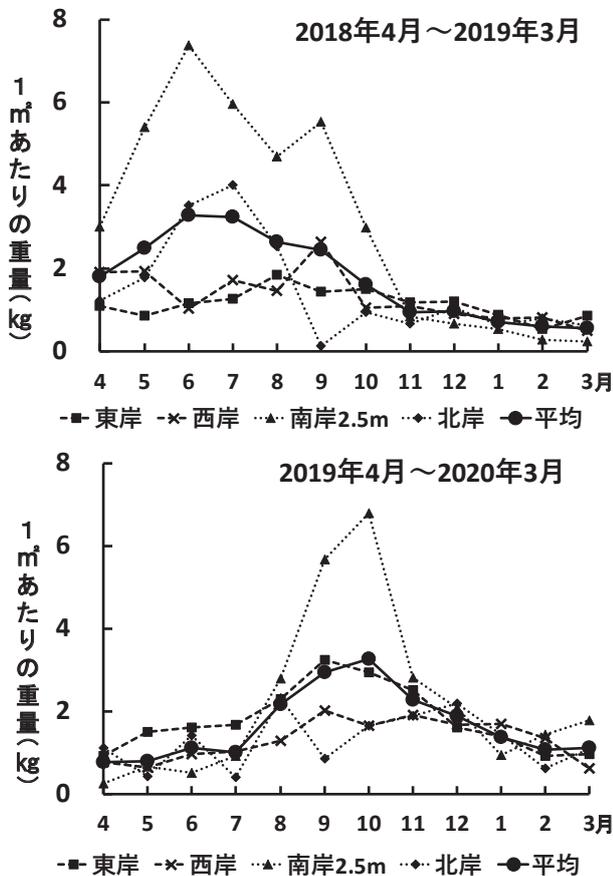


図5. モニタリング調査によるヤマトシジミ重量の経月変化
(2018年4月から2020年3月まで)

2018年は、6月の南岸が7kgと突出して多く、7月の北岸でも4kgに達した。しかし両地点ともそれ以後は急減し、11月には約1kgとなった。東、西岸は、7月の時点で1.5kg程度と少なかったが、急激な増減はなく、7月以降の減少速度も南、北岸と比較すると比較的ゆるやかで、11月に南、北岸と同等の1kgとなった。4地点の平均値は2018年6月および7月の3kgをピークに減少し11月には1kg以下となり、翌年3月には0.55kgとなった。

2019年は、7月までは全ての調査定点で0.5～1.5kgと少なかったが、7月以降は、2018年とは異なって増加がみられ、特に南岸では10月に6kgを超え、前年6月とほぼ同じ水準に達した。一方、東、西岸については2018年と同様に急激な増減はなく、7月以降に緩やかな増加傾向が認められた。4地点の

平均値は、4月から7月にかけて1kg前後で推移した後、8月には2kgまで急激に増加した。さらにそれ以降も増加し続け、10月には3kg以上となった。11月以降は、前年と同様に全ての調査定点で減少し、2020年2月から3月には1kg程度となった。

これらの結果を整理すると、夏季から秋季(7月から10月)にかけての1㎡あたりの重量の変化が両年で大きく異なること(2018年減少、2019年増加)が特筆される一方、4月から7月にかけて増加する点と、10月から3月にかけて減少する点は両年で共通して観察された。この結果から2018年と2019年の違いは、1㎡あたりの重量が夏季から秋季にかけて増加するか減少するかであった。

続いて、2018年4月から2020年3月の殻長組成を図6に示した。2018年、2019年ともに、6月に殻長5～6mmサイズの小型稚貝の成長していく様子が、殻長組成の変化から確認できる。2018年については、夏季から秋季にかけて、これらが成長しつつも個体数は減少していった(特に南、北岸)。一方2019年は、個体数は減少することなく成長し続け、9月から11月にも大きなモードを形成した。このことから、2018年は、夏季から秋季にかけてのこれら小型稚貝群の減少と、資源量調査結果とが合致していた。

ただし、興味深い点として、南、北岸と比較して、東、西岸では、資源量が大きく減少した2018年7月から10月においても、殻長組成に大きな変化は認められなかった。このことは、必ずしも全てのヤマトシジミ生息地点で一様に減少しているわけではなく、調査定点により、様々な条件の違いで減少率が異なることを意味している。

両年とも11月以降は、殻長10～15mmの個体を中心に減少していた。これまでの研究から、冬季のヤマトシジミの減少は、潜砂する底泥の深さが深まり、鋤簾で漁獲できる本種の数が増加することによる見かけの密度の低下⁹⁾や低水温期の成長鈍化¹⁰⁾のほか、キンクロハジロやスズガモ等の潜水カモ類の捕食による減耗^{5), 11)}も要因とされている。このうち潜水カモ類による捕食は、平均殻長10mm程度の小型稚貝を捕食対象の中心としており、⁵⁾今回の調査でも、主としてこれに相当するサイズが減少していたことから、潜水カモ類による捕食の影響が示された。

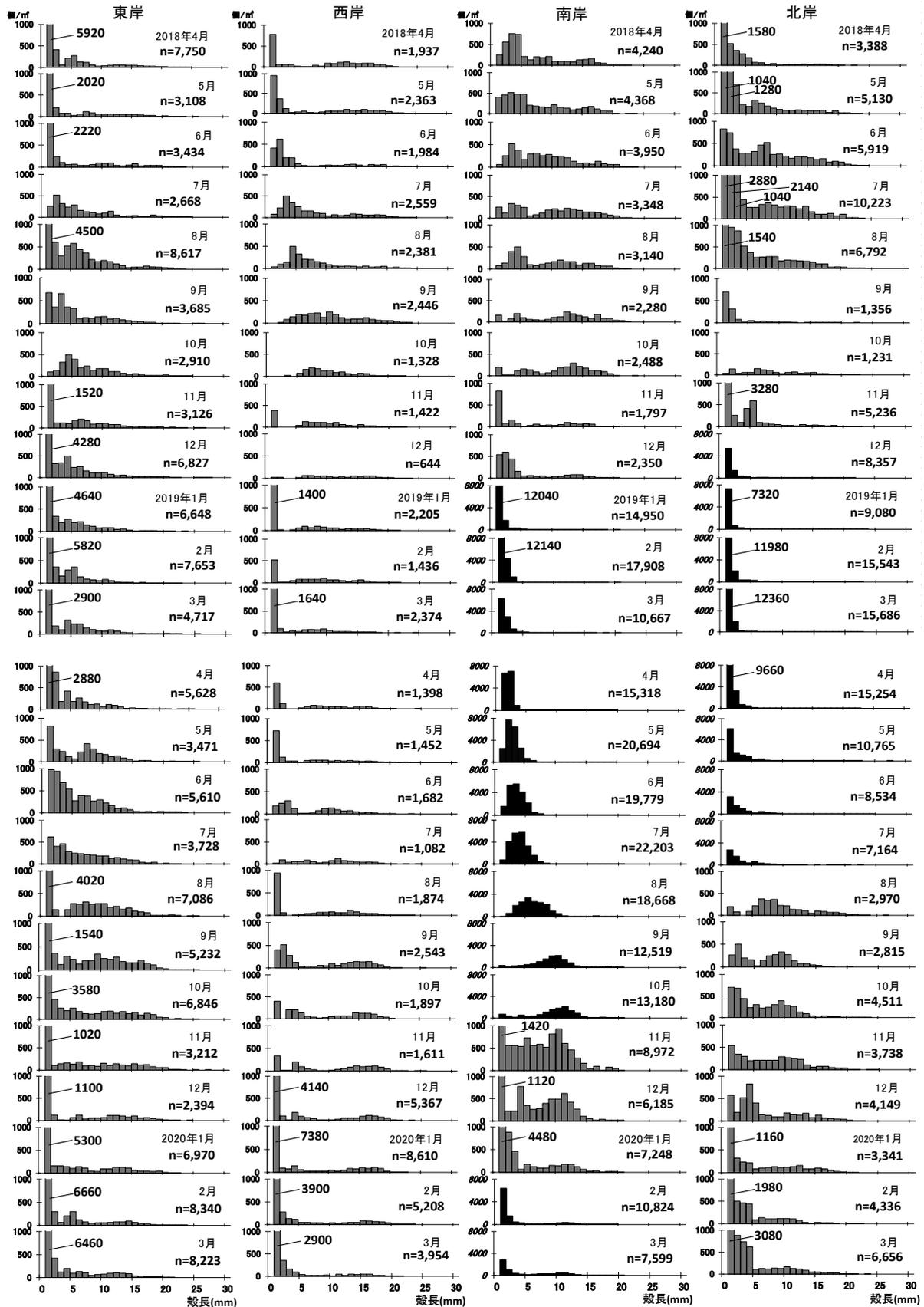


図6. モニタリング調査による1 m²あたりのヤマトシジミ重量と殻長組成 (2018年4月から2020年3月)
 黒塗りの図は、縦軸の最大値を1,000個/m²から8,000個/m²に変更したもの)

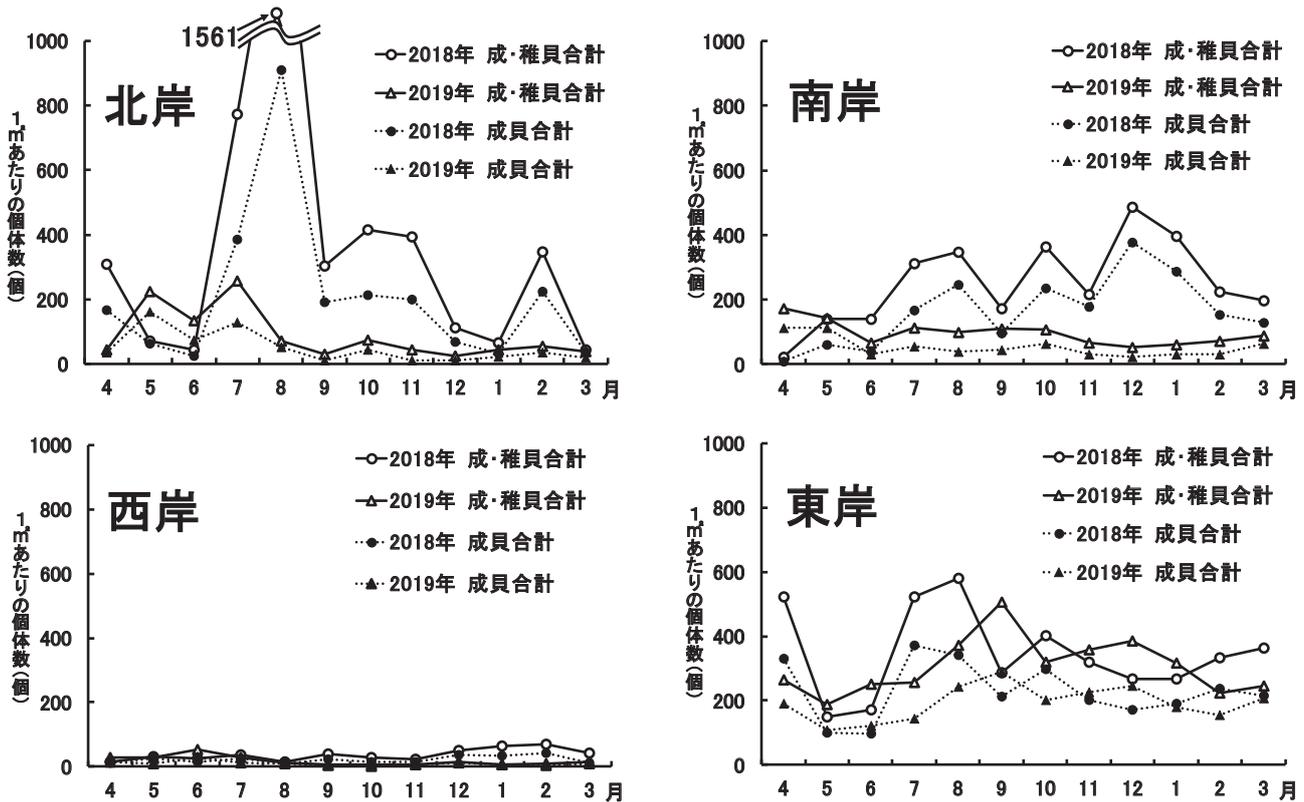


図7. モニタリング調査で採集された斃死後の時間経過が比較的短いと考えられるヤマトシジミ個体数（二枚殻・ガボ・口開けの合計，2018年4月～2019年3月，2019年4月～2020年3月）

（2）斃死直後個体数調査結果 図7に2018年4月から2020年3月の期間における二枚殻，ガボ，口開けの計数結果の合計を1㎡当たりの個体数で示した。

北岸において，2018年の7月に斃死直後個体数の大幅な増加がみられ，8月には1,561個と極めて高密度に観測された。南岸では，2018年の7月以降，斃死直後個体数が200個を超え，その状態が2019年3月まで継続し，2019年4月以降に減少した。東岸でも，2019年に比較して2018年の方が7～8月の斃死直後個体数が多かったが，その差は北，南岸より小さかった。西岸では，斃死直後個体数は，他の調査定点と比較して少なく，8月までの斃死直後個体数はほぼ一定に推移し，9月以降にわずかに増加したが，その値は最大でも100個程度であった。

このように，2018年の斃死直後個体数が，7月から増加し始めたことから，ヤマトシジミの斃死現象は夏季に進行し，また斃死直後個体数の増加は，調査定点の1㎡あたりの重量の低下（北岸，南岸で高い傾向）に対応していることから，2018年夏季から秋季にかけての資源量が減少した要因が，漁獲や捕食などではなく，斃死による個体数の減少である可

能性が示された。

（3）塩分および植物プランクトン調査結果

2018年および2019年の4～9月における調査定点（底層）の塩分を図8に，底層水10あたりの植物プランクトン由来のカロテノイド組成と色素量を図9に示した。

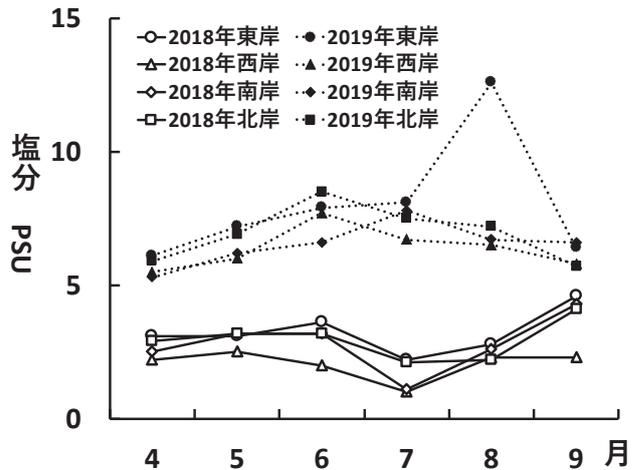


図8. 植物プランクトン調査時における調査定点の底層の塩分（2018年4～9月，2019年4～9月）

塩分については、2018年4～9月は1～4PSU、2019年4～9月は5～12PSUと、2019年の方が全ての調査定点で高く推移していた。特に高水温期である7月から8月にかけては、2018年が2～3 PSU、2019年が6～12PSUと大きな差がみられた。なお図示していないが、調査した4地点の底層水温は、2018年の7月が25.3℃、8月が29.4℃、2019年の7月が26.2℃、8月が30.6℃で、2019年がやや高かったものの、大きな差は認められなかった。

宍道湖から検出された植物プランクトン由来のカロテノイドには、渦鞭毛藻由来のperidinin、渦鞭毛藻と珪藻由来のdiadinoxanthin、珪藻由来の19'-hexanoyloxyfucoxanthin、fucoxanthin、緑藻由来のviolaxanthin、lutein、藍藻由来のzeaxanthin、β-caroteneがあり、多様な植物プランクトンによる一次生産が示された。10あたりのカロテノイド量については、最大は2018年4月の西岸で180.0 μg/l (peridinin, diadinoxanthinが主体)、最少は2018年6月の東岸で0.5 μg/l、全データの平均は15.5 μg/lであった。全ての調査月および調査定点においても、2010年から2012年にみられたような12) 藍藻類由来のカロテノイド色素の単独的な優占ではなく、渦鞭毛藻、珪藻、緑藻および藍藻のカロテノイドの中から常に複数種のカロテノイドが検出されていた。なお色素を量的にみた場合、変動幅が大きいが、調査は湖水が日射によって成層化している日中に実施しているため、ヤマトシジミによって湖底付近の植物プランクトンがろ過摂食されていることが考えられる。¹³⁾

ヤマトシジミの餌として有効とされる珪藻^{14, 15)}由来の色素である、19'-hexanoyloxyfucoxanthin、fucoxanthinや、渦鞭毛藻と珪藻の、両者の由来であるdiadinoxanthinについては、2018年と2019年の間で出現状況に明確な違いは確認できず(図9)、両年間でヤマトシジミの餌料環境に明確な違いは観察されなかった。

なお2012年は、特に夏季において、餌として有効な植物プランクトンである珪藻類がほとんど存在しなかった。その際は藍藻類の*Microcystis*属を中心としたいわゆるアオコが優占し、湖内の植物プランクトンの大半を占めていた。¹²⁾山室らの研究によれば、ヤマトシジミ資源の増減は、本種の餌となる植物プランクトンのうち珪藻か藍藻のどちらが優占するかで決まり、どちらが優占するかは塩分の多寡により決まるとしている。⁴⁾2010～2012年と2018年

を比較した場合、塩分が低かった点と、ヤマトシジミの資源量が減少した点は共通するものの、2018年は、藍藻類の*Microcystis*属が優占的に確認されなかった¹⁶⁾点が異なった。

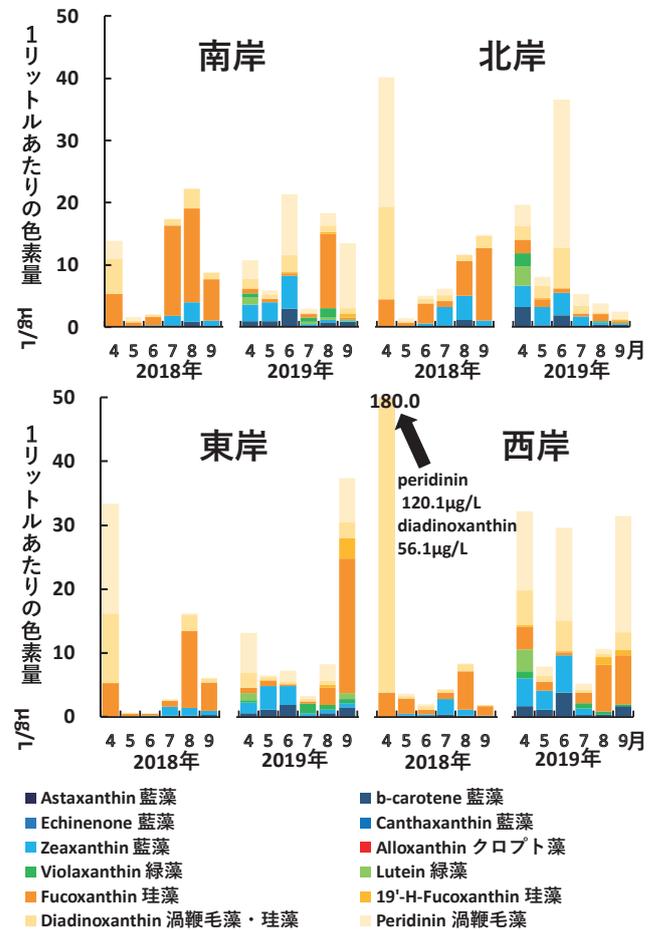


図9. 底層水10あたりの植物プランクトン由来のカロテノイド組成と色素量の経月変化(2018年4月～9月、2019年4月～9月)

(4)肥満度調査結果 2018年4月から2020年3月の東岸、西岸、南岸、北岸の4地点におけるヤマトシジミ肥満度の平均値を図10に示した。調査定点によって多少の違いはあるものの、5月をピークとして、それ以後10～11月にかけて低下し続け、11～12月にやや高くなった後、冬季は横ばいとなっていた。両年の肥満度を比較すると、2019年は7月から8月にかけて緩やかに低下していたのに対し、2018年は同じ期間に急速に低下していた。特に2018年夏～秋季にかけて高い斃死直後個体数密度が観測された南岸および北岸において肥満度の低下割合が大きかった。さらに各調査定点とも2018年の方が2019年よりも、8月から10月にかけての肥満度が低

く（北岸の9月を除く），特に2018年の南岸は，8月から10月の長期にわたって0.01を下回っていた。

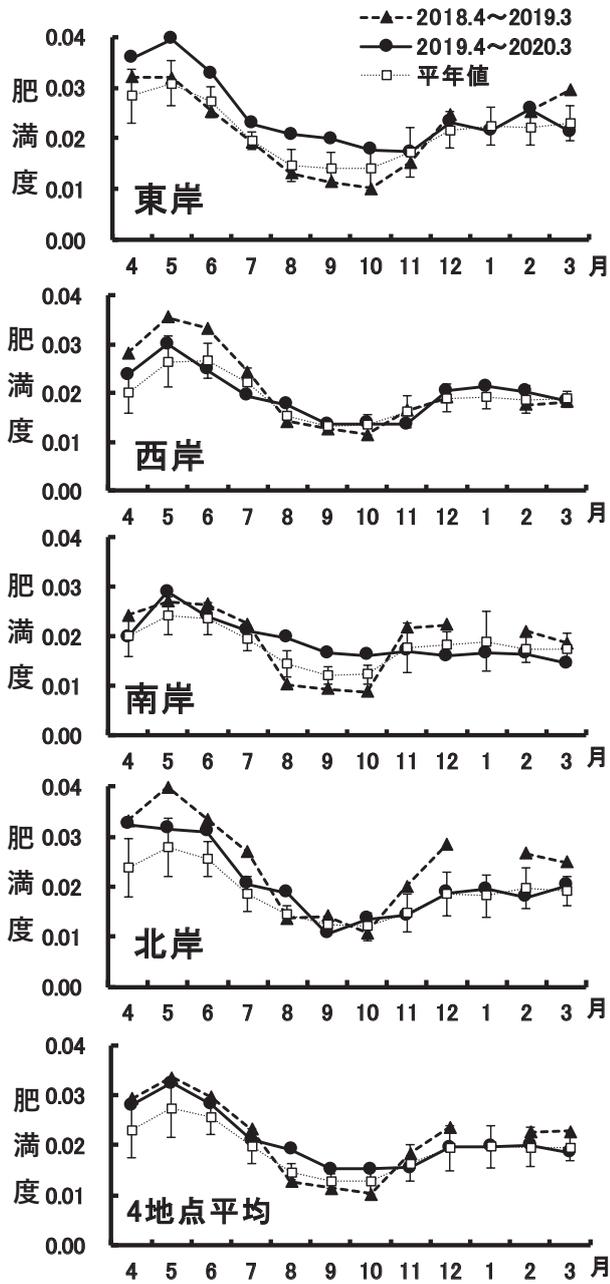


図 10. ヤマトシジミの肥満度の推移
(2018年4月～2020年3月)
(2020年1月は欠測)

考察

2018年および2019年のヤマトシジミ資源量および生息密度の違いは，7月から9月に起こっていたことが明らかとなった。

そこで7月から9月の間で両年が異なる点について，

モニタリング調査結果を整理したところ，斃死貝の数，塩分，および肥満度の低下割合に相違が確認された。

2018年の調査結果では，斃死直後個体数の増加は，調査定点の生息密度の低下に対応していた（北岸，南岸で高い傾向）。また両年間で塩分が大きく異なるものの，植物プランクトン調査では種組成に大きな違いは確認されなかった。さらに両年の殻長組成をみると，斃死発生直前にも同様に成長が認められていた。これらのことから，少なくとも両年については，餌料環境の違いにより，資源量に多寡が生じたとは考えにくく，したがって，2018年は成長量が小さく資源が増加しなかったと考えるよりも，斃死によって本種の資源が減少したと考える方が妥当であると思われる。

斃死要因について，相崎ら¹⁷⁾は，ヤマトシジミの斃死現象には事前の健康状態の悪化が深く関わっているとしている。この健康状態の悪化は高水温における異常代謝や貧酸素化による嫌気代謝が原因であり，これによって無酸素耐性やろ過活性の低下が斃死を引き起こす可能性を論じている。健康状態の指標として軟体部乾燥重量（本報告における肥満度の変化と同意）を測定し，軟体部重量の急激な減少の後に，無酸素耐性の低下や多数の死亡個体がみられたことを報告している。

この調査では，夏～秋季にかけての肥満度の低下，すなわち6,7月から8,9月にかけての急激な低下，および0.01に達するほどの低下が，2018年にはみられた。しかし2019年にはみられなかったことから，肥満度の低下と斃死現象が強く対応していることが明らかとなった。

この健康状態が悪化した理由の一つとして，2018年6月時点での生息密度の高さがあげられる。相崎ら¹⁷⁾は，生息密度が高いと，斃死個体数が相対的に多くなることによって生息環境が悪化し，その結果，肥満度の低下が引き起こされ，健康状態が悪化し，さらに斃死個体が増加する可能性を示している。

また菅原ら¹⁸⁾はヤマトシジミが斃死すると高濃度の硫化水素やアンモニア態窒素が生産され，これらのヤマトシジミに対する毒性は，貧酸素下において高まると説明している。夏季は貧酸素が発生しやすい上にヤマトシジミの産卵期でもあり，¹⁹⁾低塩分や資源が高レベルであることと合わせると複合的に斃死がおりやすい^{2,8)}ことも2018年夏季の高い斃死の一因であるかもしれない。さらにヤマトシジミは漁獲時に鋤簾による衝撃等の影響を受けて斃死す

る個体が一定割合で発生するとされるが、²⁰⁾漁獲時に鋤簾による衝撃等の影響を受け斃死する個体数は、低密度よりも高密度の方が多いと考えられる。その結果、ヤマトシジミの斃死要因となる硫化水素やアンモニア態窒素の生成量が多くなることによって斃死が増えることも予想される。

ただし、図1に示すとおり、6月の資源量が相対的に多い年でも、10月の資源量が減少しない年もある。逆に6月の資源量が少ない年でも、増加しない年もある。そのため今後は、今回の研究で得られた結果を基に、過去のモニタリング調査の結果等から、その要因についてさらに検討していく必要がある。

今回の調査では、2018年と2019年の夏季において、塩分、斃死貝の数、肥満度の低下割合が大きく異なっていたことが確認された。これらの要素の変動とヤマトシジミ資源量の増減との関連性を比較、検討し、環境条件と資源変動との関連性を明らかにすることができれば、ヤマトシジミの夏季の斃死現象を予測することが可能になるかもしれない。そうすると、生息密度の調整（間引きや、高密度水域から低密度水域へ移動）や、現在宍道湖漁協において取り組みが始まっているシジミに優しい漁法（手搔き²¹⁾や水流式等）への転換等、斃死防止への環境条件を整えることのほか、斃死開始までの漁獲量を増やし、密度を低下させるなど、ヤマトシジミ資源を有効に活用する手法の開発に繋がられる可能性もある。

今後は、本種資源の有効活用を目的に、過去に実施した資源量調査やモニタリング調査等の結果をさらに解析していくことにより、本種の資源量の推移を正確に予測し、宍道湖における持続可能なヤマトシジミ漁業の発展に貢献したい。

謝辞

本研究を行うにあたり、サンプルの採集、処理、測定にあたって水産技術センター内水面科の臨時職員・日々雇用職員の方々から多大な労力の提供を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

また静岡県立大学において、植物プランクトンの色素分析の補助をしていただいた静岡県立大学大学院 薬食生命科学総合学府 環境科学専攻 博士前期課程の李 蘇捷氏に感謝いたします。

最後に、宍道湖漁業協同組合の門脇幹男組合長、高橋正治指導役、桑原正樹参事をはじめ、宍道湖漁協の組合員の方々から、斃死時の状況の聞き取りの

ほか、ヤマトシジミサンプルの提供および有益な助言を賜りました。心からお礼申し上げます。

なお本報告を取りまとめるに当たり、丁寧に査読していただいた審査員、および内容についてご確認いただいた編集委員、常にご支援とご鞭撻を賜った元内水面浅海部長の石田健次氏と、投稿の機会を与えていただいた内水面浅海部の若林英人部長に、感謝の意を表します。

文献

- 1) 中村幹雄編著 (2000) 「日本のシジミ漁業」. たたら書房, 米子市, pp. 187-212.
- 2) 中村幹雄・山根恭道・清川智之・内田 浩・福井克也・重本欣史・高橋孝史 (1999) 宍道湖におけるシジミ大量へい死対策緊急調査. 平成9年度 島根県水産試験場事業報告, 281-292.
- 3) 清川智之・平松大介・岡本 満・福井克也・石田健次・林 凌矢 (2019) 宍道湖ヤマトシジミ資源調査 (宍道湖有用水産動物モニタリング調査). 平成30年度島根県水産技術センター年報, 52-57.
- 4) 山室真澄 (2020) まとめと残された課題. 豊かな内水面水産資源の復活のために-宍道湖からの提言 (山室真澄編著). 生物研究社, 東京, pp. 129-135.
- 5) 岡 奈理子・関谷義男 (1997) ハジロ属 (キンクロハジロ, ホシハジロ, スズガモ) の採食行動と食性を中心とする生態. ホシザキグリーン財団研究報告 (1) 85-97, 1997.
- 6) 早坂裕也・原口展子・國井秀伸 (2019) 宍道湖汀線域における大型糸状緑藻シオグサ類の繁茂状況と周辺環境およびヤマトシジミに及ぼす影響. 水産増殖 67 (1), 57-64.
- 7) 安木 茂・三浦常廣・江角陽司・大北晋也 (2005) ヤマトシジミ資源量調査 (宍道湖・中海水産振興事業). 平成16年度島根県内水面水産試験場事業報告, 8-16.
- 8) 後藤悦郎・三浦常廣・品川 明・戸田顕史・江角陽司・大北晋也 (2004) ヤマトシジミへい死要因調査 (宍道湖・中海水産振興対策検討調査事業) 平成15年度島根県内水面水産試験場事業報告, 15-30.
- 9) Seiji Goshima, Masato Ikegawa, Takeshi Sonoda, and Setoshi Wada: Seasonal Vertical Migration within Sediment by the Brackish

- Water Clam *Corbicula japonica*. Benthos Research Vol. 54, No2:87-97(1999).
- 10) 森脇晋平・若林英人・三浦常廣・山根恭道(2009) 宍道湖におけるヤマトシジミの資源生物学的特性—資源管理に向けて—. 島根県水産技術センター研究報告, 2, 31-38.
 - 11) 江角敏明・加藤李晋・松尾 豊・神谷 宏・石飛 裕(2020) 中海・宍道湖で越冬する潜水性カモ類の羽数の長期変化. 陸水学雑誌, 81, 233-242.
 - 12) 谷 幸則(2020) 宍道湖および神西湖における光合成色素分析による植物プランクトン組成. 豊かな内水面水産資源の復活のために—宍道湖からの提言(山室真澄編著), 生物研究社, pp. 13-24.
 - 13) 中村由行・Fatos・Kerciku・井上徹教・柳町武志・石飛 裕・神谷 宏・嘉藤健二・山室真澄(1997) 汽水湖沼沿岸部における水温・水質構造の日周変動—鉛直対流循環が二枚貝生態系に及ぼす影響—. 水工学論文集, 第41巻, 469-474.
 - 14) 大谷修司(2020) 宍道湖におけるヤマトシジミの摂餌, 排出と消化に関する研究. 豊かな内水面水産資源の復活のために—宍道湖からの提言(山室真澄編著). 生物研究社, 東京, pp. 53-64.
 - 15) 山口啓子・幸内綾子・藤岡克己(2008) ヤマトシジミへの給餌と軟体部増加に関する実験. LAGUNA(汽水域研究), 15, 49-55.
 - 16) 野尻由香里・加藤季晋・大谷修司(2018) 宍道湖・中海の植物プランクトン水質調査結果(2018年度)概要. 島根県保健環境研究所報告第60号, 63-79.
 - 17) 相崎守弘・高橋 愛・山口啓子(2001) ヤマトシジミの大量斃死機構に関する基礎的研究 I. LAGUNA(汽水域研究), 8, 31-37.
 - 18) 管原庄吾・清家 泰(2020) ヤマトシジミに対する貧酸素および硫化水素の影響. 豊かな内水面水産資源の復活のために—宍道湖からの提言(山室真澄編著), 生物研究社, pp. 83-91.
 - 19) 中村幹雄・原田茂樹(2003) 産卵・発生試験. 平成13年度島根県内水面水産試験場事業報告, 117.
 - 20) 国土交通省(2014) ヤマトシジミの動態. 河川技術研究開発制度地域課題分野(河川生態)平成25年度報告書 人との相互作用によって持続する汽水湖生態系の構築, pp39-60.
 - 21) 高橋正治・森脇晋平(2009) 宍道湖におけるシジミ漁業の漁業管理制度. 島根県水産技術センター研究報告, 2, 23-29.

資料

あなごかご漁業用餌料へのグリシンの添加効果

寺門弘悦¹・沖野 晃¹・岡本 満¹

Effect of glycine added to trap bait for conger eel tubuler trap fishery

Hiroyoshi TERAKADO, Akira OKINO and Mitsuru OKAMOTO

キーワード: アミノ酸, グリシン, かご漁業, 餌料, スルメイカ, マイワシ, マアナゴ

はじめに

あなごかご漁業は主にマアナゴ *Conger myriaster* を漁獲対象とする漁法であり、石見地域では小型底びき網漁業の休漁期間の代替漁業として操業される場合が多い。魚類を獲るかご漁業は水族の策餌行動を利用した漁法であり、¹⁾この餌料には一般にサンマ *Cololabis saira*, カタクチイワシ *Engraulis japonicus*, スルメイカ *Todarodes pacificus* などが使われる。²⁾漁具設置型のあなごかご漁業にとって、漁獲対象生物を漁具内に誘引する餌料種類の選択は、漁獲量を決定する重要な要因の一つである。

この餌料について石見地域のあなごかご漁業を操業する漁業者から 2020 年 2 月に水産技術センターに相談があった。その内容は、餌料として最適なスルメイカやその次に適しているカタクチイワシの入手が今年には困難であるため、魚類の嗅覚に関係するアミノ酸を活用した代替餌料が作れないかというものであった。

日本海のスルメイカ (秋季発生系群) およびカタクチイワシ (対馬暖流系群) の資源状態はともに低い水準で推移しており、^{3,4)}現在の入手困難な状態がすぐに解決できるとは考えにくいことから、このことは島根県内のあなごかご漁業者全体に影響を与える問題であると考えられる。一方、魚類の摂餌行動には嗅覚が関係しており、⁵⁾マアナゴを誘引する効果の低さからあなごかご漁業用として適さないとされてきた餌料でも、嗅覚刺激物質であるアミノ酸⁶⁾を添加することで、その誘因効果を高めることが期待される。そこで、水産技術センターでは、あなごかご漁業における代替餌料について検討することと

した。

かごの餌料として要求される条件には、漁獲対象種への高い誘因効果、餌持ちの良さ、入手のしやすさ、価格の安さなどが挙げられる。²⁾これらの条件から、まき網漁業で大量に漁獲され、低価格のマイワシ *Sardinops melanostictus* が候補として考えられる。しかしながら漁業者の評価では、マイワシは餌料としての誘因効果がスルメイカより劣るとされており、どの程度劣るかについて客観的に把握しておく必要がある。また、スルメイカもサイズが大型の場合は、餌かごの大きさに合わせて細断する手間がかかり、操業の効率面から餌料として適さないと評価されていることから、実際の有用性や取扱いについて把握しておく必要がある。

本研究では、まず、マイワシおよび大型サイズのスルメイカ (通常操業で使われるものよりも大型サイズのもの) に対する、漁業者のあなごかご漁業用餌料としての評価について、実操業における有用性をスルメイカ (通常操業で使われるサイズのもの) と比較することで検証した。次に、マイワシに 3 種類の方法でアミノ酸を添加した場合の漁獲への効果を調べ、スルメイカの代替餌料としてのマイワシの有用性を検討した。

方法

供試餌料 マイワシ (被鱗体長: 204±6.7mm, 推定重量: 96±9.6g (平均±標準偏差, 以下同様), $n=10$) は、2020 年春季に中型まき網漁業により水揚げされ、冷凍保管されていたもの入手した。スルメイカ (外套背長: 127±9.1mm, 推定重量: 45±10.1g, $n=10$)

¹ 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

(以下、通常スルメイカ)は、事前に漁業者が購入していたもので、中型まき網漁業により水揚げされたものであった。大型サイズのスルメイカ(外套背長:241±13.5mm, 重量:308±51.2g, $r=30$) (以下、大型スルメイカ)は、2020年5月25日に沖合底びき網漁業により水揚げされたものを購入し、使用時まで冷凍保管した。なお、マイワシおよび通常スルメイカの推定重量は、前者は2018年3月28日に、後者は2020年5月28日に中型まき網漁業が浜田漁港に水揚げした漁獲物の測定データから作成した体長(L:マイワシは被鱗体長, 通常スルメイカは外套背長)一体重(Wt)変換式(マイワシ: $Wt=9.30 \times 10^{-6} L^{3.04}$ (体長範囲 121-232mm), 通常スルメイカ: $Wt=16.6 \times 10^{-6} L^{3.06}$ (体長範囲 43-223mm))により変換した値である。

多くのアミノ酸が魚類の嗅覚を刺激する⁶⁾が、それらのなかでも安価で入手しやすいグリシン(栗本薬品工業株式会社製)を添加するアミノ酸として用いた。水溶性であるグリシンの漁具投入直後の海水中への溶出を抑制するため、展着剤としてアピファック-W(コーキン化学製)を用いた。これらをマイワシに添加し、3種類の餌料(まぶし, まぶし2倍, ミンチ)を調製した。“まぶし”は、船上で解凍したラウンドのマイワシ15kgに対して、グリシン150g(餌料の重量に対して1%), 展着剤60g(同0.4%)をあらかじめ混ぜ合わせたものを全体に振りかけ、魚体表面になるべく均一にコーティングされるように混ぜたもので、船上で餌かごに仕込む直前に調製した。“まぶし2倍”は、まぶしと同様の方法で調製

し、グリシンの量だけを2倍の300g(同2%)にしたものである。マイワシの“ミンチ”は、解凍したマイワシ15kgのすり身に対して、グリシン150g(同1%), 展着剤60g(同0.4%)を混ぜ、餌かごに入るサイズで細長い棒状に成形し(重量:87.9±13.1g, $r=30$), 使用時まで冷凍保管したものをを用いた。

餌かごには、通常スルメイカは2-3尾ずつ(90-130g), マイワシ(無処理, まぶし, まぶし2倍)は1尾ずつ(約100g), マイワシのミンチは1個ずつ(約90g), 大型スルメイカは横方向に2分割もしくは3分割した切り身(100-150g)を入れた。

試験方法 本試験はあなごかご漁業の操業船(総トン数14トン)に乗船し、2020年6月2-3日(試験1)と同年6月9-10日(試験2)の2回に分けて実施した。あなごかご漁業では、漁業名称に“かご”と入っているが、実際に使う漁具は円筒状の“あなご筒(以下、筒)”である。この操業船は、餌はあらかじめ餌かご(スリットの入ったカプセル)に入れておき、それを投入前の筒に仕込んでいく。1連あたり350個の筒(枝縄間隔は15m)を2連分投入する。各連の一部を試験用筒とし、筒に仕込む餌の種類を変え、筒の配置はランダムに行った。これ以外は通常通りの操業を行った(表1)。揚かご時に、試験用筒で漁獲されたマアナゴの尾数を記録した。

試験1では、漁業者の評価を検証することとし、マイワシおよび大型スルメイカがあなごかご漁業の餌料として通常スルメイカよりも劣るかどうかを確認するため、マイワシと大型スルメイカを餌料とする試験区および通常スルメイカを餌料とする対照区

表1. あなごかご漁業の操業状況

	試験1		試験2	
	1連目	2連目	1連目	2連目
試験期間	2020年6月2-3日		2020年6月9-10日	
投かご開始時刻	6/2 16:00	6/2 16:41	6/9 16:00	6/9 16:38
投かご終了時刻	6/2 16:36	6/2 17:19	6/9 16:34	6/9 17:13
揚かご開始時刻	6/3 0:33	6/2 21:26	6/10 0:19	6/9 21:02
揚かご終了時刻	6/3 3:39	6/3 0:02	6/10 3:15	6/9 23:53
かごの浸漬時間 hr	8.0-11.7	4.1-7.4	7.8-11.3	3.8-7.3
水深 m	139-140	140-142	141-143	138-141
底水温 °C	9.9-10.3	9.8-9.9	14.7-14.9	15.2-15.2
	通常スルメイカ	30	30	15
	大型スルメイカ	30	30	—
餌の種類別	マイワシ無処理	30	30	30
の筒の数	マイワシまぶし	—	—	30
	マイワシまぶし2倍	—	—	30
	マイワシミンチ	—	—	41
				32

を設定し、一筒あたりのマアナゴ漁獲尾数（以下、アナゴ CPUE）を比較した。

試験 2 では、マイワシにグリシンを添加することで、あなごかご漁業の餌料としての有用性が高まるかどうかを検討するために、マイワシ（無処理、まぶし、まぶし 2 倍、ミンチ）の 4 種類を餌料とする試験区および通常スルメイカを餌料とする対照区を設定し、アナゴ CPUE を比較した。

操業状況 操業状況を表 1 に示した。場所の重複による調査結果への影響を考慮し、試験 2 の場所は試験 1 よりもやや北側で操業を行った。漁具の投入（投かご）は 16 時に開始し、1 時間 20 分程度で終了した（1 連 350 筒の投入に要する時間は 30-40 分間）。投かご終了後、2 連目の入れ終わり地点の付近で待機した。21 時を過ぎた頃から漁具の引き揚げ（揚かご）を開始し、6 時間程度で終了した（1 連 350 筒の引き揚げに要する時間は約 3 時間）。揚かごは、2 連目の最後の筒から揚げ始め、1 連目の最初の筒を最後に引き揚げた。そのため、筒のおよその浸漬時間は、1 連目は 8 時間～11 時間、2 連目は 4 時間～7 時間となり、1 連目のほうが 2 連目よりも筒の浸漬時間は長かった。

漁具の設置水深は、投かご開始時と投かご終了時の水深を記録した。また筒の一つに水温データロガー（Onset 社製 HOBO U22-001）を取り付けて、投かご終了時から揚かご開始時の間の底水温を記録した。

統計的検定 本研究では、あなごかご漁業で通常使用されるスルメイカに替わる餌料を検討することが目的であるため、各餌料でのアナゴ CPUE について、試験 1 ではスルメイカ（対照区）に対するマイワシおよび大型スルメイカの 2 組において、試験 2

ではスルメイカ（対照区）に対するマイワシの無処理、まぶし、まぶし 2 倍およびミンチの 4 組において、アナゴ CPUE の差を連ごとに検定した。検定の多重性を考慮するため Bonferroni 法で p 値の調整を行ったうえで、有意水準 5% として Welch の t 検定を行った。

アミノ酸分析 スルメイカの遊離アミノ酸の含有量を分析した。試料は事前に漁業者が購入したもので、本調査に供したものと同一産地であるが、購入時期は異なるものであった。分析は筋肉（外套膜）、腕および内臓に分けて行った。サンプルを氷冷 10% 過塩素酸で固定した抽出液を pH2.2 に調整したのち、アミノ酸分析システム（島津製作所製 Prominence UFLC 検出器：RF-20Axs, カラム：島津製作所 Shim-pack AMINO-LI, 移動相流速：0.6ml/min, 検出 励起波長：350nm 蛍光波長：450nm）を用いた α -フタルアルデヒド-ポストカラム誘導体化法により、遊離アミノ酸 35 種類を定量分析した。

結果

操業試験 各試験での各餌料によるアナゴ CPUE を図 1, 2 に示した。

試験 1 の 1 連目では、対照区のアナゴ CPUE は 2.2 ± 1.5 尾（平均 \pm 標準偏差、以下同様）であったのに対し、試験区はマイワシでは 1.4 ± 1.0 尾、大型スルメイカでは 2.1 ± 1.6 尾であった。対照区と比較すると大型スルメイカでは有意差は認められなかったが ($p > 0.05$)、マイワシではアナゴ CPUE は有意に低かった ($p = 0.03$)。2 連目では、対照区のアナゴ CPUE は 1.8 ± 1.5 尾であったのに対し、試験区

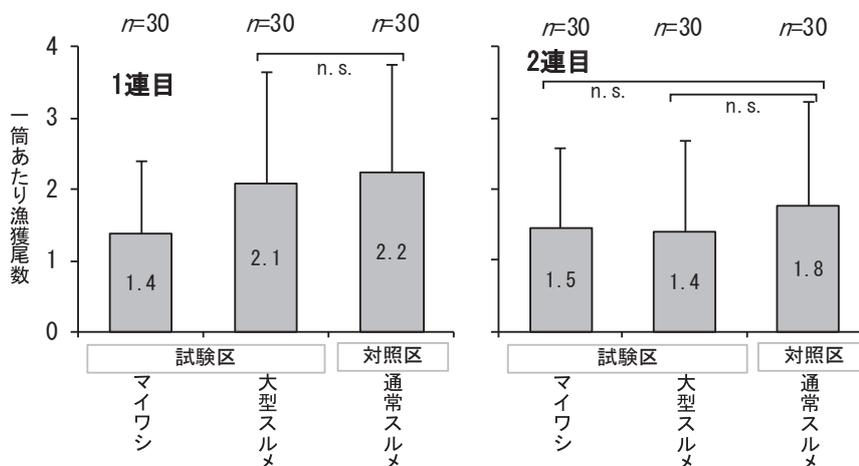


図 1. 試験 1 における餌料の種類別のマアナゴの一筒あたりの漁獲尾数

図中の数字は平均漁獲尾数、バーは標準偏差、n. s. は統計的な有意差がないことを示す。

はマイワシでは 1.5 ± 1.1 尾, 大型スルメイカでは 1.4 ± 1.3 尾であり, 対照区との有意差は認められなかった ($p > 0.05$). スルメイカはサイズに関係なく, 浸漬時間の長い 1 連目のほうがアナゴ CPUE は多い傾向であった.

試験 2 の 1 連目では対照区のアナゴ CPUE は 5.0 ± 1.8 尾であったのに対し, 試験区はマイワシ (無処理) では 3.0 ± 1.3 尾, まぶしでは 2.7 ± 1.7 尾, まぶし 2 倍では 4.0 ± 1.9 尾, ミンチでは 1.5 ± 1.3 尾であった. 対照区と比較すると, まぶし 2 倍では有意差は認められなかったが ($p > 0.05$), その他の餌料ではアナゴ CPUE は有意に低かった ($p < 0.05$). 2 連目では, 対照区のアナゴ CPUE は 3.8 ± 1.1 尾であったのに対し, 試験区はマイワシ (無処理) では 1.6 ± 1.1 尾, まぶしでは 1.0 ± 0.9 尾, まぶし 2 倍では 0.8 ± 0.8 尾, ミンチでは 1.0 ± 1.0 尾であった. 対照区と比較すると各餌料ともアナゴ CPUE は有意に低かった ($p < 0.05$). なお, 揚かご時, まぶし, まぶし 2 倍では, 魚体表面に展着剤が水糊状に残っており, ミンチは崩壊せず形状を留めていた.

試験 1, 2 の水深および水温を表 1 に示した. 各調査で水深は 138–143m の間でほぼ変わらなかった. 一方, 水温は試験 1 で 10°C 前後, 試験 2 で 15°C 前後と異なった.

アミノ酸分析 スルメイカの遊離アミノ酸の含有量の分析結果を表 2 に示した. 筋肉 (外套膜), 腕および内臓ともタウリンが最も多く含まれ, 次いでアルギニン, グルタミン酸 (腕ではプロリン) の順番

で含有量が多かった. ほぼ全てのアミノ酸で内臓 > 筋肉 > 腕の順で含有量が多かった. グリシンの含有量は筋肉で $27.6\text{mg}/100\text{g}$, 腕で $20.2\text{mg}/100\text{g}$, 内臓で $45.8\text{mg}/100\text{g}$ であった. また, 検討資料としてマイワシおよびカタクチイワシの遊離アミノ酸の含有量の分析結果を表 2 に併記した.

考察

本研究では, あなごかご漁業用餌料であるスルメイカの代替餌料を検討するため, これまであなごかご漁業用には誘因効果の低さから適さないとされてきたマイワシ餌料について, 嗅覚刺激物質であるアミノ酸の添加の有効性を検証した. 検証試験はあなごかご漁業の操業船に 2 回乗船し実操業の傍らで行ったため, 試験間での餌料の解凍や筒の配置などの条件統一はできなかった. また, 一般的に海域で行う調査では, 水温や潮流などの自然条件が水生生物の漁獲に影響を与えるが, 試験間でそれらを揃えることは困難である. 本研究の目的はスルメイカの代替餌料を検討することであるため, 試験間でのアナゴ CPUE の違いは考慮せず, 各試験・各連でスルメイカを基準とし, 各餌料によるアナゴ CPUE を対比させることで検討を進めた.

試験 1 では, マイワシおよび大型スルメイカがあなごかご漁業の餌料として通常スルメイカよりも劣るかどうかを確認した. マイワシとスルメイカでのアナゴ CPUE を比較したところ, 漁具の浸漬時間が短い 2 連目では差はなかったが, 漁具の浸漬時間の

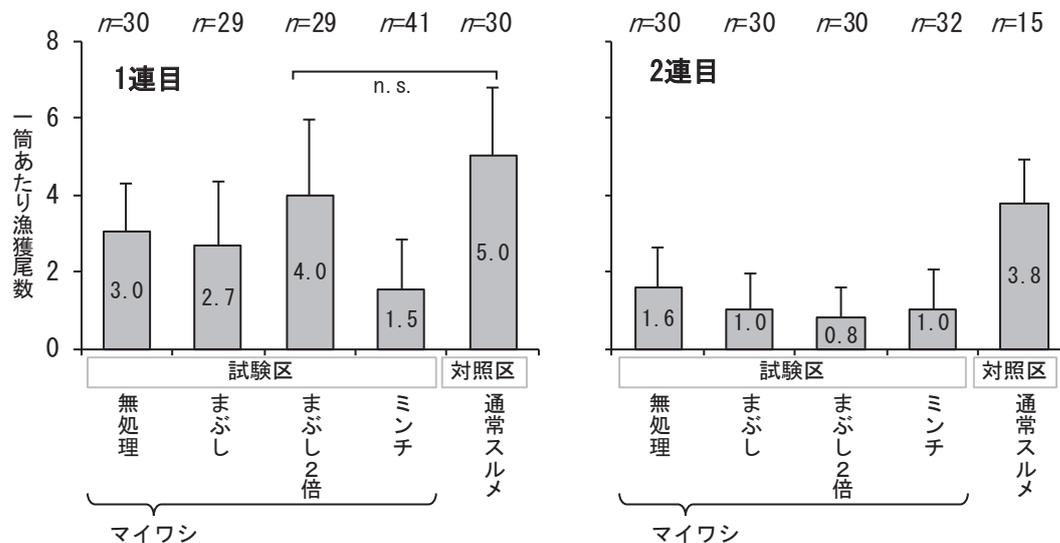


図 2. 試験 2 における餌料の種類別のマアナゴの一筒あたりの漁獲尾数

図中の数字は平均漁獲尾数, バーは標準偏差, n. s. は統計的な有意差がないことを示す.

表2. スルメイカの遊離アミノ酸含有量の分析結果

表中の“ND”は検出されなかったことを、“-”はデータがないことを示す。鹿山ほか⁷⁾によるマイワシおよびカタクチイワシの遊離アミノ酸含有量を併記する。魚体 100g あたり換算値は、各部位の重量比(表3)から計算した値である。

アミノ酸名	含有量 (mg/100g)						
	スルメイカ			マイワシ ⁷⁾		カタクチイワシ ⁷⁾	
	筋肉 (外套膜)	腕	内臓	筋肉 (普通肉)	内臓	筋肉 (普通肉)	内臓
グリシン	27.6	20.2	45.8	6.9	24.8	20.5	42.7
タウリン	399.0	338.4	540.2	106.6	216.7	180.2	235.2
アルギニン	115.1	72.1	167.5	1.9	71.4	11.1	178.7
グルタミン酸	57.3	34.4	138.4	6.5	60.8	21.2	124.7
ロイシン	50.5	28.0	134.7	3.4	68.5	16.6	116.0
リジン	45.5	24.8	116.7	9.1	73.4	58.8	139.8
アラニン	60.5	43.1	102.6	17.5	71.9	91.8	145.4
プロリン	73.4	58.2	95.0	11.4	34.7	33.6	70.2
フェニルアラニン	36.0	19.8	90.8	2.6	43.0	8.0	75.0
アスパラギン酸	38.1	20.7	90.2	ND	33.8	6.6	80.1
チロシン	21.2	12.2	85.1	2.4	36.6	6.3	62.4
イソロイシン	30.1	14.5	80.7	2.7	34.7	10.0	57.5
バリン	29.2	15.2	75.8	3.7	46.3	15.2	75.4
セリン	28.8	17.2	65.7	6.6	43.1	19.1	71.0
メチオニン	32.5	19.4	63.7	2.2	27.6	9.2	51.7
スレオニン	26.1	14.2	61.5	4.0	36.2	28.1	63.1
ヒスチジン	25.6	13.8	45.7	607.7	41.1	404.1	88.5
オルニチン	12.3	6.7	24.8	1.8	6.4	2.2	7.2
シスチン	10.2	8.8	12.1	ND	2.1	ND	5.3
ヒドロキシリジン	2.5	0.6	6.5	-	-	-	-
β-アラニン	2.2	1.6	3.8	ND	2.0	ND	8.0
カルノシン	0.6	0.3	1.4	ND	32.0	8.0	57.4
1-メチルヒスチジン	0.7	0.4	1.1	ND	ND	ND	ND
3-メチルヒスチジン	0.7	0.4	1.1	1.4	3.2	1.3	7.3
β-アミノイソ酪酸	0.5	0.4	0.8	ND	ND	ND	ND
ホスホエタノールアミン	0.0	0.0	0.1	-	-	-	-
γ-アミノ酪酸	0.1	0.2	0.1	ND	2.6	0.6	1.5
α-アミノアジピン酸	ND	ND	ND	-	-	-	-
α-アミノ酪酸	ND	ND	ND	ND	2.1	ND	1.1
アンセリン	ND	ND	ND	ND	23.0	7.1	14.1
サルコシン	ND	ND	ND	ND	ND	1.4	1.2
シスタチオニン	ND	ND	ND	ND	5.4	2.1	2.5
シトルリン	ND	ND	ND	ND	1.7	ND	ND
ヒドロキシプロリン	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ホスホセリン	ND	ND	ND	1.5	8.2	1.8	21.2
合計	1,126	786	2,052	800	1,053	965	1,804
魚体100gあたり換算値							
グリシン		29		10		24	
全アミノ酸合計		1,229		838		1,095	

長い1連目ではマイワシのほうがアナゴ CPUE が低かった。このことは、浸漬時間が長くなれば、あなごかご漁業用餌料としての有用性は通常スルメイカよりマイワシのほうが低いことを意味しており、漁業者の評価と一致する。これはスルメイカのほうが魚類の嗅覚を刺激する遊離アミノ酸を多く含むためと推察される。実際、スルメイカとマイワシ⁷⁾の遊離アミノ酸の分析結果を比較すると(表2)、スルメ

イカのほうが全般的に含有量が多い。魚体 100g あたりのアミノ酸含有量は、スルメイカ(1,229mg/100g) >カタクチイワシ(1,095mg/100g) >マイワシ(838mg/100g)の順に多く、餌料としてはスルメイカが最適で、次いでカタクチイワシであり、マイワシはそれらよりも劣るとする漁業者の評価の順と一致する。浸漬時間が短い場合に餌料間でアナゴ CPUE の差が出ない理由は明確ではないが、各餌料からの遊離ア

表 3. 魚種別の各部位の重量比

スルメイカの内臓重量比は高橋⁸⁾の測定値から計算した値. それ以外の値は浜田漁港に水揚げされた漁獲物の測定データから計算した. 水揚げ日は, スルメイカ ($n=21$) は 2021 年 3 月 22 日, マイワシ ($n=30$) は 2018 年 3 月 28 日, カタクチイワシ ($n=30$) は 2010 年 4 月 5 日であった.

種名	筋肉	内臓	頭足部 (腕)
スルメイカ	0.462	0.226 ⁸⁾	0.312
マイワシ	0.849	0.151	—
カタクチイワシ	0.845	0.155	—

ミノ酸の溶出速度が魚種によって異なり, さらに魚体の解凍状態の違いや各かごの設置場所の水温の違いにより遊離アミノ酸の溶け出し具合が変わってくるからかもしれない. また, 大型スルメイカと通常スルメイカではアナゴ CPUE に差はなかった. したがって, 現状使われているサイズよりも大きいスルメイカでもあなごかご用餌料として有用であることが分かった. しかし, 餌かごの大きさに合わせて細断する手間はかかるため, 数多くの筒に餌を仕込む本漁業には操業の効率面から適さないといえる. また, 通常スルメイカの価格は浜値により変動はするが, 1 箱 15kg 入りで消費税込み 3,000 円前後 (キログラム単価: 200 円/kg) であった. 今回の調査用として購入した大型スルメイカは, 1 箱 7kg 入りで消費税込み 8,316 円 (キログラム単価: 1,188 円/kg) であり, キログラム単価は通常スルメイカの 6 倍程度であった. したがって, 大型スルメイカはコスト面からも, あなごかご用餌料には適さないといえる.

試験 2 では, あなごかご漁業用餌料としてマイワシへのアミノ酸添加の有効性を検証した. 試験に供したアミノ酸添加餌料は, アミノ酸を魚体表面にまぶしたものとアミノ酸を混ぜ込んだミンチとした. 各餌料についてスルメイカでのアナゴ CPUE と比較したところ, 漁具の浸漬時間が短い 2 連目では, 各餌料ともスルメイカよりも低かった. 漁具の浸漬時間が長い 1 連目では, まぶし 2 倍のみスルメイカとの間にアナゴ CPUE の差はなかった. このことは, 浸漬時間が長くなれば, まぶし 2 倍の誘因効果はスルメイカと同程度であることを示唆している. 遊離アミノ酸としてのグリシンの魚体 100g あたりの含有量 (表 2) は, スルメイカ (29mg/100g) よりマイワシ (10mg/100g) のほうが少ない. マイワシの体表面にグリシンをコーティングすることで, マアナゴの嗅覚を刺激する閾値を超えた濃度でグリシンが海水

中に持続的に溶け出した効果だと考えられる. 水溶性のグリシンが持続的に溶け出したのは展着剤を添加した効果であろう. また, まぶすグリシンの量は, 餌料の重量に対し 1% では効果が低いことが明らかとなった. 一方, ミンチでは浸漬時間が長くなってアナゴ CPUE は平均 1.5 尾に留まり, 餌料としての有用性は低かった. これは展着剤をミンチに加えたことで, 浸漬時間の長い 1 連目の揚かご時でも形状は崩壊せず, 添加したアミノ酸だけでなく, マイワシに含まれるアミノ酸も含めて海水中に溶出しにくかった可能性がある. 加える展着剤の量を調整し, 適度に崩壊するミンチとすることで, 餌料としての有用性が高まる可能性が残された.

本試験で有効性が確認されたグリシンの添加方法 (まぶし 2 倍) では, マイワシ 15kg に対してグリシンを 0.3kg (2%), 展着剤を 0.06kg (0.4%) を添加した. この添加方法の費用 (消費税込み) について本調査での購入実績に基づき試算すると, マイワシ 15kg が 1,155 円, グリシンが 173 円, 展着剤が 450 円で合計 1,778 円となる. また, これらの添加は解凍したマイワシにまぶして混ぜるだけであり, 船上でも容易に行え, 作業時間も余りかからない (本試験では 5 分以内で完了した). したがって, グリシンを添加したマイワシ 15kg あたりの費用 (1,778 円) は, スルメイカのそれ (15kg あたり 3,000 円前後) より安く, 添加作業も簡便であるため, 本方法の費用対効果は高いといえる.

本研究の結果から, これまであなごかご漁業用餌料として誘因効果の低さから適しないとされるマイワシでも, アミノ酸の一種であるグリシンを展着剤とともに体表面にまぶすことで餌料としての有用性を高められ, 現在餌料として使われているスルメイカに劣らない可能性が示唆された. ただし, 本試験の添加方法では浸漬時間が長い 1 連目に効果が限定されたため, 展着剤の添加量については改良の余地が残っている. また, この方法はマイワシ以外の安価で大量に漁獲される魚種 (例えば, 小型のサバ類, ニギスなど) にも応用できる可能性はあるので, その地域で安価で入手しやすい魚種で試してみるとよい.

謝辞

漁業協同組合 JF しまね大田支所所属の伸洋丸には調査に際し乗船させていただいた. 島根県水産技術センターの内田浩部長, 寺谷俊紀研究員には餌料

の購入に際し協力をいただいた。同センターの開内洋科長には餌料のミンチ作製に際し助言と協力をいただき、またアミノ酸に関する有用な情報を提供いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

文献

- 1) 井上 実:かごに対する水族の行動,「かご漁業」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1981, pp. 37-50.
- 2) 竹内正一:かご漁業の漁労法,「かご漁業」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1981, pp. 22-36.
- 3) 久保田 洋, 宮原寿恵, 加賀敏樹, 岡本 俊, 西嶋翔太, 松倉隆一, 高崎健二, 齋藤 勉, 稲掛伝三:令和 2 (2020) 年度スルメイカ秋季発生系群の資源評価, 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 2021, 50pp, <http://abchan.fra.go.jp/digests2020/details/202019.pdf>
- 4) 黒田啓行, 高橋素光, 依田真里, 向 草世香, 佐々 千由紀, 日野晴彦:令和 2 (2020) 年度カタクチイワシ対馬暖流系群の資源評価, 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 2021, 33pp, <http://abchan.fra.go.jp/digests2020/details/202026.pdf>
- 5) 郷 保正, 田村 保:魚類の化学物質に対する嗅覚応答,「魚類の化学感覚と摂餌促進物質」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1981, pp. 36-47.
- 6) 山森邦夫:嗅覚応答,「魚介類の摂餌刺激物質」(原田勝彦編), 恒星社厚生閣, 東京, 1994, pp. 15-22.
- 7) 鹿山 光, 伊藤啓二, 宮沢啓輔, 堀 貫治, 飯島憲章:栄養成分の分布および含量変動 西日本海域, 昭和 59 年度魚介類有効栄養成分利用技術研究成果の概要, 水産庁研究部研究課, 1985, pp. 153-186.
- 8) 高橋 喬:イカの利用に関する研究—Ⅲ. スルメイカ魚体の各部分比およびその組成の季節的変化について. 日水誌, 26, 95-98(1960).

資料

島根県における磯焼け対策の実態調査—隠岐の島町蔵田の事例—

寺戸稔貴^{1a}・堀内正志^{1b}・向井哲也^{2c}

A fact-finding result of some approaches for the recovery from withered seashore in Shimane prefecture.
—The case in Okinoshima town Kurata—

Toshiki TERADO, Masashi HORIUCHI and Tetsuya MUKAI

キーワード:磯焼け対策, 磯焼け, 磯根資源, 藻場, ホンダワラ類, 母藻投入, 効果検証, 沿岸漁業

はじめに

アワビ類, サザエ, マナマコ等の磯根資源は沿岸漁業者の貴重な収入源である.^{1, 2)}しかし, 近年は一部の磯根資源の漁獲量が減少傾向にある. 例えば, 県内におけるアワビ類の漁獲量は 2000 年に 38 t,^{3, 4)} 2006 年の 69 t^{3, 4)} をピークに 2020 年には 17 t^{3, 4)} となり, 20 年間で 21 t 減少した (図 1).

磯根資源が減少している理由の 1 つとして磯焼けが指摘されている.⁵⁻⁸⁾磯焼けとは, 藻場の衰退現象のことを示す.⁵⁾磯焼けの原因には, ウニ類や魚類による食害, 母藻の減少にともなうタネ(幼胚または遊走子)の供給不足が例として挙げられる.^{6, 7)}全国の漁業者は, 各海域における磯焼けの原因を推定し, 食害生物の駆除や母藻投入等の対策活動を行っている.^{6, 7, 9, 10)}

県内においても藻場の衰退は確認されており,¹¹⁾漁業者は磯焼け対策に取り組んでいる.^{12, 13)}しかし, その効果検証事例や具体的な手法について記録している資料は見当たらない. そこで, 筆者らは県内の磯焼け対策の実態を把握するため, 漁業者の活動を調査および支援し, その内容について記録した.

本研究では, 漁業者主体で磯焼け対策の計画作りから科学的な効果検証を実施している隠岐の島町蔵田の取組みを調査対象とした.

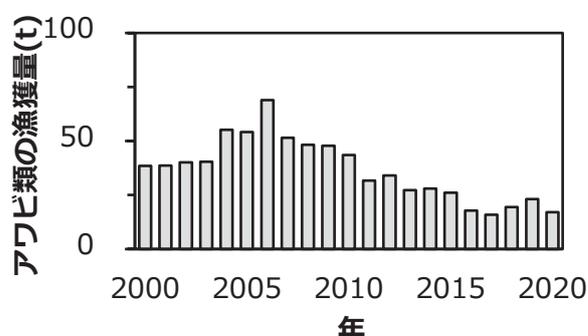


図 1. 島根県におけるアワビ類の漁獲量推移
(島根県漁獲管理情報処理システムより)

方法

2017 年に隠岐の島町蔵田の漁業者らから, 島根県隠岐支庁水産局 (現: 島根県隠岐支庁農林水産局) および隠岐の島町役場へ磯焼けの原因とその対策について相談があり, 聞き取りをした. 筆者らは磯焼けの原因への対策手法を漁業者らへ提案するとともに, 2019 年 6 月 22 日の磯焼け対策および 2019 年 11 月 17 日の効果検証に同行し, 活動支援と記録をした.

結果と考察

聞き取り調査 隠岐の島町蔵田の漁業者らは, 沿

¹ 隠岐支庁水産局 Oki Branch Office, Fisheries Bureau (現名称: 隠岐支庁農林水産局) Oki Branch Office Agriculture, Forestry and Fisheries Bureau

² 内水面浅海部 Inland Water Fisheries and Coastal Fisheries Division

^a 現所属: 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

^b 現所属: 農林水産総務課 General Affairs Division for Agriculture, Forestry and Fisheries

^c 2019 年 9 月死去

岸域で採介藻漁業(かなぎ漁または潜り漁)や刺網漁業を操業している。このうち、採介藻漁業を操業している漁業者は6名であり、主な漁獲対象種はアワビ類である。漁業者らはアワビ類の増殖を目的に稚貝放流に取り組んでいる。同時に、藻場の保全や動向に注視し、その機能(貝類の餌料場、水産動物の産卵場)^{6, 7, 14, 15)}について理解している。

同地区の沿岸域(図2)は2006年頃までアラム類やホンダワラ類が繁茂していた。しかし、2007年頃から地点Aで磯焼けが確認され、海藻が生育することなく、10年が経過していた。漁業者らは、2007年8月13日の大雨により陸域から土砂が大量に流入したことで、地点Aに生えていた母藻が枯死し、磯焼けが発生したと考えていた。また、磯焼けが10年間継続している原因は護岸工事による海流の変化でタネが供給されにくい環境になったためと推察されていた。

2019年6月22日に、島根県水産技術センターは同地区における磯焼けの原因が妥当か検証するため、地点Aで素潜りによるモニタリングを実施した。調査時には地点Aの海底基質に浮泥は堆積しておらず、ウニ密度は5個体/m²未満と適正¹⁶⁾であった。また、アイゴ等の植食性魚類⁵⁻⁷⁾は観察されなかった。このことから、地点Aにおける磯焼けの原因は、漁業者らの推察通り、母藻の枯死および海流の変化によるタネの供給不足と推定された。

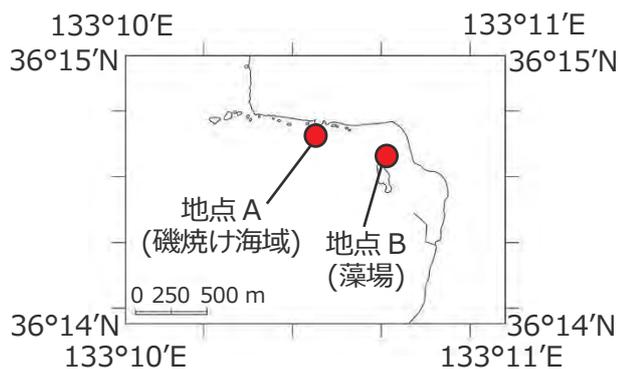


図2. 隠岐の島町蔵田の沿岸域

対策手法の提案 漁業者ら、隠岐の島町役場および島根県隠岐支庁水産局は、隠岐の島町蔵田における磯焼けの原因への対策手法について協議した。隠岐の島町役場は磯焼け対策の体制作りを支援した。島根県隠岐支庁水産局は島根県水産技術センターと連携しながら対策手法についての技術指導を担当し、

漁業者ら主体の磯焼け対策および効果検証を行うことになった。

地点Aにおける磯焼けの原因はタネの供給不足と推察されていたため、筆者らは地点Bで生育しているホンダワラ類の母藻投入^{17, 18)}を提案した。地点Bは、2007年の土砂災害の影響を受けなかったホンダワラ類主体の藻場(ガラモ場)である。しかし、隠岐の島町で漁業者らによる母藻投入の事例がなかったため、筆者らの提案はすぐに受け入れられなかった。漁業者らは①「地点Bから海藻を刈り取ると磯焼けするのでは?」、②「地点Aで母藻投入をしてもタネが別海域に流れて効果検証できないのでは?」と懸念していた。①については藻場を維持する海藻の刈り取り方^{17, 18)}を図解しながら説明した。また、②についてはホンダワラ類のようにタネの沈降速度が早い海藻^{19, 20)}であれば母藻投入の効果検証をしやすいことを「改訂 磯焼け対策ガイドライン」⁶⁾を提示しながら説明した。筆者らは、漁業者らの藻場や磯焼け対策手法についての理解醸成を重視し、提案を行った。このように漁業者らとの協議は、2017年に3回、2018年に7回、2019年に2回の計12回に及んだ。磯焼け対策は、聞き取り調査を実施した2017年から2年後に実行された。

次に、漁業者らが実際に達成できる目標^{6, 7)}を設定し、モチベーションを維持しながら実行できる体制作りを行った。まず、漁業者らの代表者1名が計画の策定および実行の指揮をとり、隠岐の島町役場および筆者らと連携しながら、他5名とともに実施した。対策は地点Aでホンダワラ類の母藻投入に取り組み、「地点Aのうち1か所にタネを着生させること」を目標とした。また、効果検証は箱眼鏡を用いた海底観察^{6, 7)}を行うこととした。年間スケジュールは、4~5月に母藻投入の準備、6月に地点Aにおける海藻の被度測定および母藻投入の実施、11月に効果検証とした。

現地での磯焼け対策および海藻の被度測定 2019年6月22日に、漁業者らはホンダワラ類の母藻投入を実施した。漁業者ら6名は船上から地点Bに生えている生殖器床の発達したホンダワラ類の半分より上側を「かなぎ漁」用の鎌で刈り取った(図3, 4)。採取したホンダワラ類は合計520株でノコギリモクおよびヤツマタモクで構成されていた。藻体の半分より下側は、地点Bで藻場を維持するために^{17, 18)}刈り取らなかった。なお、漁船は3隻用船し、母藻の刈り取りに要した時間は30分程度だった。

次に、オープンスポアバッグ(図5)を手順①~

③により^{17, 18)} 計 130 袋作製した。①採取した全てのホンダワラ類を雌雄 (図 6) に選別した。②ホンダワラ類の雌雄の株を 1~2 株ずつ束ねてアサリネット (園田商会社製) の表と裏の外側に結束バンド 2 本で固定した。③アサリネット内に拳と同程度の大きさの石を錘として 2 個入れた。オープンスポアバッグは、地点 A の 1 か所に可能な限り集約して全て投入した (図 7)。

2019 年 6 月 22 日 (母藻投入前) および 2019 年 11 月 17 日 (母藻投入後) に、漁業者らは船上から箱眼鏡を用いて地点 A の母藻投入地点 1 か所の海底における海藻の被度を測定した。箱眼鏡の観察面積は水深の実測値から比例で求めた。^{6, 7)} 地点 A の水深は 4 m だったので、観察面積を 12 m² と推定した。海底面における 12 m² 当たりの海藻の被度を測定し、6 階級^{6, 7, 17, 18)} に判定した (表 1)。

2019 年 6 月 22 日の地点 A における海底面は、植生がなく、海藻の被度が 5% 未満だったため被度階級「0」と判定した。5 か月後の 2019 年 11 月 17 日の地点 A は、海底面より植生が多く、海藻の被度が 75% だったため被度階級「4」と判定し、藻場面積は 12 m² であった。海藻は主にホンダワラ類の幼体で構成されていた。また、2019 年 6 月 22 日および 2019 年 11 月 17 日の海底の様子はそれぞれ図 8, 9 のとおりであった。



図 4. ホンダワラ類の採取

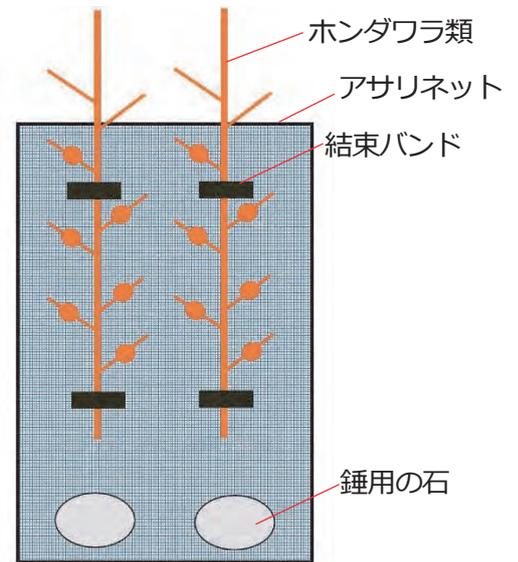


図 5. オープンスポアバッグの表面 (裏面も同様)



図 3. 「かなぎ漁」用の鎌



図 6. ホンダワラ類のメス株(左)とオス株(右)

- ・赤丸で囲まれた部分が生殖器床。
- ・メス株は太く短い、オス株は細長い。

※写真はノコギリモク



図7. ホンダワラ類の母藻投入



図8. 2019年6月22日の地点Aの海底
植生はなかった。

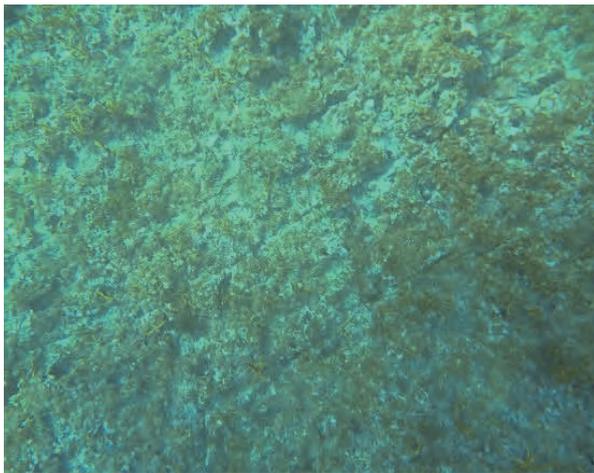


図9. 2019年11月17日の地点Aの海底
ホンダワラ類の幼体を確認。

表1. 海藻の被度階級

被度階級	区分	区分の基準	海藻の被度
5	濃生	海底面がほとんど見えない	75%以上
4	密生	海底面より植生の方が多い	50~75%
3	疎性	植生より海底面の方が多い	25~50%
2	点生	植生はまばらである	5~25%
1	極点生	植生は極くまばら	5%未満
0	なし	植生はない	0%

磯焼け対策の効果検証 2019年11月17日に撮影した海底面の写真にはホンダワラ類の幼体と推察される海藻が写っていた(図9)。母藻投入に用いたノコギリモクおよびヤツマタモクのタネは0.35 mmと大きく、沈降速度が0.19 cm/sと速い。^{6, 7, 19, 20} そのため、これらのタネは海流の影響を受けにくく、母藻投入地点から他海域へ拡散しにくいと考えられる。^{6, 7, 19, 20} また、ノコギリモクのタネは海底に着生してから、5か月後には葉長2~5 mmの発芽体に生長し、肉眼視できると報告されている。²¹ 母藻投入は2019年6月22日、効果検証は11月17日に実施しており、この期間と一致していた。さらに、2020年6月6日に漁業者らは海底観察を行い、生長したノコギリモクを目視で確認した。これらのことから、2019年11月17日に海底観察で確認されたホンダワラ類の幼体は、オープンスポアバッグから供給されたタネが海底に着生したものと推定された。

今後は船上からロープで固定したコドラート(方形枠)を海底に投下し、コドラートと共に海底の様子を撮影する⁷⁾ことで、写真から海藻被度を測定できると考えられた。

本活動により地点Aで12 m²の藻場が造成されたことから、漁業者らは目標である「地点Aのうち1か所にタネを着生させること」を達成できたと考えている。筆者らは、本取組みを参考に、漁業者主体で磯焼け対策を実施できるように母藻投入の方法についてマニュアルを作成した(別添資料)。漁業者らは母藻投入のマニュアルを参考とし、自主的に磯焼け対策を継続している。例えば、ホンダワラ類だけでなく、アラムの母藻投入^{17, 18)}に取り組んでいる(図10)。具体的には、アサリネット内に子嚢斑が形成された成熟したアラムを2株、拳と同程度の大きさの石および木材を2個ずつ入れ、網の口を結び、スポアバッグ(図11)を131袋作製し、母藻投入した。アラムを藻場から採取する時は、タネ供給を維持するために、^{17, 18)}二股に分かれている葉状部のう

ち片側の生長点より上側の葉体を刈り取った。採取したアラメは、タネが放出しやすくするために、⁸⁾日陰で1時間程度干した。木材はアラメの浮力を保つため¹⁸⁾にアサリネットに入れた。筆者らは、アラメの母藻投入を実施した地点において、タネが着生して幼体に生長していると漁業者らより報告を受けている。

また、漁業者らは2020年以降も自主的に磯焼け対策を継続しており、2021年には地点Aで藻場(ガラモ場)の範囲が拡大し始めていると推察していた。今後は、陸域から土砂が大量流入した2007年8月以前と同程度まで藻場面積を回復させ、主要漁獲対象種であるアワビ類の漁獲量増加に繋げることを長期的な目標としている。漁業者らが率先して磯焼け対策を継続することでこの目標が達成されると期待したい。本研究は、県内の漁業者らが新たに磯焼け対策に取り組む際の有益な情報になると考えられた。



図10. アラメの母藻投入

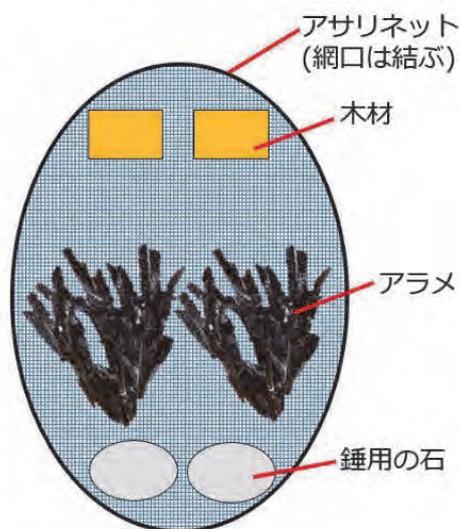


図11. アラメのスポアバッグ

謝辞

隠岐の島町蔵田の漁業者の皆様(代表：宮崎定從氏)には、主体的な磯焼け対策および効果検証に取り組んでいただきました。隠岐の島町役場の前田隼人氏には、磯焼け対策の体制作りを支援いただきました。

株式会社ベントスの南里海児氏には、磯焼け対策の手法について助言をいただきました。島根県隠岐支庁農林水産局の佐々木雄基主任には、母藻投入の作業補助をしていただきました。

島根県隠岐支庁農林水産局の池田博之水産課長、島根県水産技術センター内水面浅海部の金元保之主任研究員には、本研究内容について議論いただきました。

関係者の皆様には心から深くお礼申し上げます。

文献

- 1) 古谷尚大, 佐々木 正, 寺戸稔貴, 吉田太輔, 松井浩太朗, 岡本 満, 寺谷俊紀, 開内 洋: 沿岸域の有用な磯根資源の増殖技術の開発. 島根県水産技術センター年報令和2年度, 85-86 (2021).
- 2) 島根県水産技術センター: 重要磯根資源(サザエ、アワビ)の資源管理適正化事業. 島根県水産技術センターだより, 16, 4-5 (2021).
- 3) 村山達朗, 若林英人, 安木 茂, 沖野 晃, 伊藤薫, 林 博文: 漁獲管理情報処理システムの開発. 島水試研報, 12, 67-78 (2005).
- 4) 向井哲也, 村山達朗, 林 博文, 向井雅俊: 漁獲管理情報処理システムの改良. 島根水技セ研報, 3, 85-90 (2011).
- 5) 藤田大介, 村瀬 昇, 桑原久実: 磯焼け対策シリーズ③ 藻場を見守り育てる知恵と技術, 初版, 成山堂書店, 東京, 2010.
- 6) 水産庁: 改訂 磯焼け対策ガイドライン, 水産庁, 東京, 2015.
- 7) 水産庁: 第3版 磯焼け対策ガイドライン, 水産庁, 東京, 2021.
- 8) 吉田太輔, 向井哲也, 佐々木 正: 島根県における藻場モニタリングと調査方法の検討. 島根水技セ研報, 13, 25-39 (2021).
- 9) 南里海児, 中嶋 泰, 八谷光介, 清本節夫, 安藤亘, 吉村 拓: 長崎県三重地区における磯焼け対策について. 水産工学, 48, 59-64 (2011).
- 10) 中嶋 泰: もうかる藻場をめざして-磯根漁業

- の復活へー. 豊かな海, **33**, 63-67 (2014).
- 11) 吉田太輔: 島根県沿岸における藻場の状況と磯焼けに関する聞き取り調査. 島根水技セ研報, **9**, 37-42 (2016).
 - 12) 南里海児: 大田海域保全協議会. 水産多面的機能発揮対策事業個別サポート報告書 (環境・生態系保全) (2017).
 - 13) 隠岐地域藻場回復対策協議会: 隠岐地域 藻場回復ビジョン. 島根県漁港漁場整備課資料 (2019).
 - 14) 山崎 誠, 鴨志田正晃: アワビ類の生態に基づく資源管理・増殖, 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 増養殖研究所, 三重, 2018, pp. 40-67.
 - 15) 清本節夫, 渡邊庄一, 前野幸男, 吉村 拓, 玉置昭夫: 海藻群落の優占種の差異がクロアワビとメガイアワビの再生産と成長に与える影響. 水産増殖, **67**, 65-79 (2019).
 - 16) 南里海児: ウニ食害対策に係わる技術と課題. 水産工学, **18**, 213-219 (2015).
 - 17) 全国漁業協同組合連合会: 環境・生態系保全活動ハンドブック (環境・生態系保全活動支援推進事業), 全国漁業協同組合連合会, 東京, 2011, pp. 1-32.
 - 18) 南里海児: H28 年度 巡回教室<藻場>. 平成 28 年度大田市 (山陰) 沿岸域における磯焼け対策講習会資料 (2016).
 - 19) 奥田武男: ホンダワラ類の着生機構, 「近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究」 (水産庁西海区水産研究所編), 1983, pp. 129-136.
 - 20) 安藤 亘, 金山 進, 中村憲司, 村本信夫: ホンダワラ類の幼胚の到達範囲と藻場マウンドの位置関係について. 海洋開発論文集, **18**, 179-183 (2002).
 - 21) 村瀬 昇: 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C.Agardh の生態学研究. 水産大学校研究報告, **49**, 131-212 (2001).

ホンダワラ類の母藻投入マニュアル

1. 成熟、雌雄の調べ方：写真はヤツマタモク



1) 生殖器床の特徴

- ・ 粘り気がある。
- ・ 生殖器床に粒が観察される。

2) 気胞、生殖器床の見分け方

- ・ 潰して音が出るかどうか。
- ・ 音が出る場合は気胞、出ない場合は生殖器床と判断する。

3) 成熟時期の目安

- ・ アカモク：2～5月
- ・ ヤツマタモク：5～7月
- ・ マメタワラ：4～7月
- ・ ノコギリモク：6～7月

※成熟時期は海域や年によって異なる。

2. 母藻の採取



素潜り（鎌）



かなぎ

- ・ 根本からではなく藻体の半分より上側を刈り取る(成熟部分のみ)。

3. オープンスポアバッグの作製手順



(1) 材料準備

- ・ 成熟したホンダワラ類
オス株とメス株を計3~4株
- ・ アサリネット(園田商会製)1袋
- ・ 結束バンド6~8本
- ・ 拳大の石2個分



(2) ホンダワラ類の固定

オス株とメス株を1~2株ずつアサリネットの表と裏の外側に結束バンド2本で固定



(3) 石を袋の中に入れる。



(4) 完成

4. 母藻投入



(1) 投入作業

- ・ 可能な限り1か所に集約して投入。



(2) 投入後における海底の様子

資料

グリセリン浸透法による魚介類の色彩保存標本作製の検討

安原 豪¹

Examination on the preparation of color preserved specimens of fish and shellfish by glycerin penetration method

Go YASUHARA

キーワード: グリセリン浸透法, 色彩保存標本, ホルマリン固定, 液浸標本

はじめに

生物標本には液浸標本, 乾燥標本, 樹脂包埋標本など様々な種類がありその用途や研究の目的に応じた手法が開発されてきた。¹⁾ 魚類においては体内に含まれる水分が多いことから保存液に浸ける液浸標本として保存することが主流である。²⁾ 液浸標本は保存液としてエタノールもしくはホルマリン溶液を使用することが多い。¹⁾ 液浸標本のメリットとしては, 体型が変形しにくく, 計数および計測がいつでも可能である²⁾ ことなどが挙げられる。一方, 液浸標本のデメリットとしては, 発ガン性物質であるホルマリンや, 引火性が高く危険物に指定されているエタノールを保存液に使用する¹⁾ ことが挙げられる。また, 両者に共通する最大の欠点は, サンプルの体色が退色してしまうことである。³⁾ 体色が退色することで種を判別するための大きな手がかりを失い研究材料の価値を下げてしまう。そこで小野 (2004)¹⁾ はサンプルの色彩を残すグリセリン浸透法を検討し, それを廣田ら (2014)²⁾ は魚類に応用した。しかし, 全ての魚種で収縮, 変形および退色が起こり²⁾ 改良の余地があるとされた。さらに北詰 (2020)⁴⁾ はウミウシのグリセリン浸透法を作製する際に, 収縮を防ぐためにホルマリン固定したサンプルをグリセリン原液に直接浸漬するのではなく, 低濃度のグリセリンから徐々にその濃度を高め置換する方法の有用性について示唆した。

本報ではこれらの手法を応用し, 保存液としてホルマリンを使用せず, かつ体色を極力残して体型が変形しにくい標本の作製手法の有用性について検討したので報告する。

材料と方法

材料 サンプルは暖色系の体色であるチカメキンントキ (*Cookeolus japonicus*), 寒色系の体色であるマアジ (*Trachurus japonicus*), 体表が厚いウマヅラハギ (*Thamnaconus modestus*), 頭足類としてスルメイカ (*Todarodes pacificus*), 甲殻類としてオオコシオリエビ (*Cervimunida princeps*) とした。サンプルの固定には魚類で一般的に使用される 10%ホルマリン⁵⁾ を, 保存液にはホルマリンおよびグリセリンを用いた。

方法 手法 1 は北詰 (2020)⁴⁾ の手法を応用し, 比較として既存の知見である手法 2 および手法 3 を用いて検討を行った。

手法 1~3 に用いたサンプルはいずれも最初に 10%ホルマリンに浸漬して固定した。通常ホルマリンはサンプルのサイズにもよるが 7 日間~3 週間浸漬するが多い。⁵⁾ 本報では体色の退色を極力防ぐために 24 時間浸漬することで固定を行った。固定後のサンプルについては次の手法 1~3 により処理を行った。なお, 各手法の手順をまとめた概要は図 1 に示す。

手法 1 保存液への置換を行う前にサンプルを水道水に 10 分間浸すことでホルマリンを洗い流し, その後, グリセリンにより置換を進めた。つまり, 蒸留水で希釈した 10%グリセリンにサンプルを 2~4 日間浸漬した後, 同様の作業を 30%, 60%と徐々にグリセリン濃度を上げて置換を行った。そして最終的にグリセリンの原液に浸漬して完成とした。

手法 2 本手法はグリセリン浸透法を魚類に応用

¹ 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

した廣田 (2014) ²⁾ の手法を参考にした。固定後水道水に 10 分間浸してホルマリンを洗い流してからグリセリンの原液に浸漬することで完成とした。

手法3 固定用 10%ホルマリンにそのまま浸漬することで完成とした。

以上、これらの3つの手法で作製した標本について、2~3週間後に体色および体型のうち目の陥没と体表の皺について比較を行った。

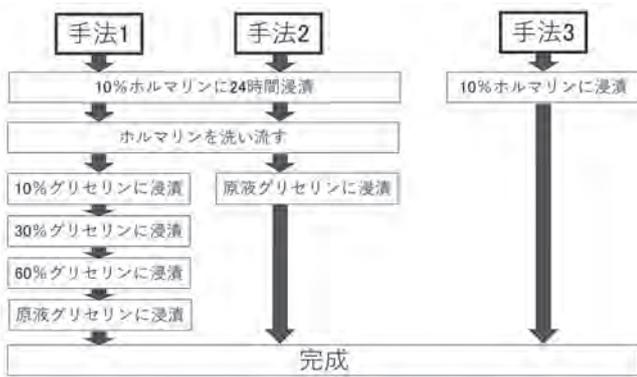


図1. 各手法の作製手順

結果

チカメキントキ 全ての手法で体色の退色が著しかった。体型については手法1では目の陥没が若干みられ、体表には少し皺ができた。手法2では目の陥没、体表の皺などの変形が顕著にみられた。手法3では目の陥没および体表の皺はほぼみられなかった。

以上のことから、体色に関しては3つの手法で退色したが、体型に関しては手法3が最も変形が少なく、手法1の方が手法2より変形は少なかった(図2)。

マアジ 手法1では体色が若干退色し、体型は目の陥没が若干みられ、体表には少し皺ができた。手法2では体色は若干退色し、体型は目が陥没して全体的に皺ができた。手法3では体色は黒っぽく変色し、目の陥没および体表の皺はほぼみられなかった。

以上のことから、体色に関しては手法1と手法2でほぼ差はなく、体型に関しては手法3が最も変形が少なく、手法1の方が手法2よりも変形は少なかった(図3)。

ウマヅラハギ 手法1では体色の退色はほぼみられず、体型は目の陥没が若干みられ、体表には少し皺ができた。手法2では体色の退色はほぼみられ

ず、体型は目が陥没して皺ができ、魚体の水分が急激に抜けたことで体が反り返り大きく変形した。手法3については体色が若干白濁したが、目の陥没および体表の皺はほぼみられなかった。

以上のことから、体色に関しては3つの手法で大きな差はなかったが、体型に関しては手法3が最も変形が少なく、手法1の方が手法2より変形は少なかった(図4)。

スルメイカ 手法1では体色が赤く変色し、体型は少し歪んだが大きな変形はなかった。手法2は、体色は手法1同様赤く変色し、体型は外套膜および触腕が曲がるなど大きく変形した。手法3については体色が白く白濁し、体型に変形はなかった。

以上のことから、体色に関しては手法1と手法2では赤く変色し、手法3では白く変色した。体型に関しては手法3が最も変形が少なく、手法1の方が手法2より変形は少なかった(図5)。

オオコシオリエビ 全ての手法で体型に変形はみられなかった。体色に関しては手法1および手法3ではほぼ変化はなく、手法2では生鮮時よりも標本完成時の方が、体色が赤く鮮やかとなった。

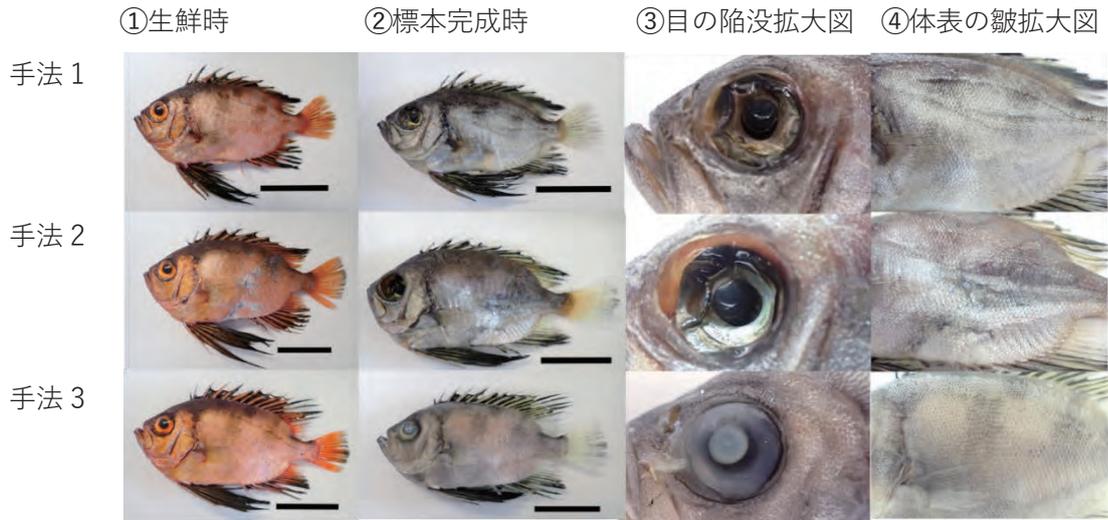
以上のことから、体型は3つの手法で差はなかったが、体色は手法2のみ変化があった(図6)。

なお、全ての結果の概要は表1に示す。

手法	魚種	体色	体型	
			目の陥没	体表の皺(変形)
1	チカメキントキ	△	○	○
	マアジ	○	○	○
	ウマヅラハギ	◎	○	◎
	スルメイカ	○	△	○
	オオコシオリエビ	◎	△	◎
2	チカメキントキ	△	△	△
	マアジ	○	△	△
	ウマヅラハギ	◎	△	△
	スルメイカ	○	△	△
	オオコシオリエビ	○	△	◎
3	チカメキントキ	△	◎	◎
	マアジ	△	◎	◎
	ウマヅラハギ	○	◎	◎
	スルメイカ	△	◎	◎
	オオコシオリエビ	◎	◎	◎

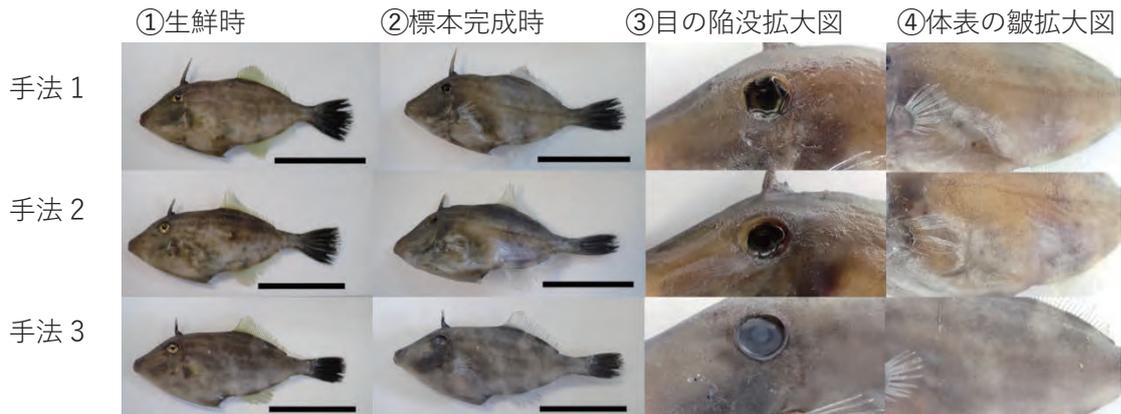
表1. 各種手法による結果

◎：生鮮時と比べて体色および体型にほぼ変化なし
 ○：生鮮時と比べて体色および体型に若干変化あり
 △：生鮮時と比べて体色および体型に大きな変化あり



スケール=50mm

図 2. チカメキントキによる各種標本



スケール=50mm

図 4. ウマズラハギによる各種標本



スケール=50mm

図 3. マアジによる各種標本

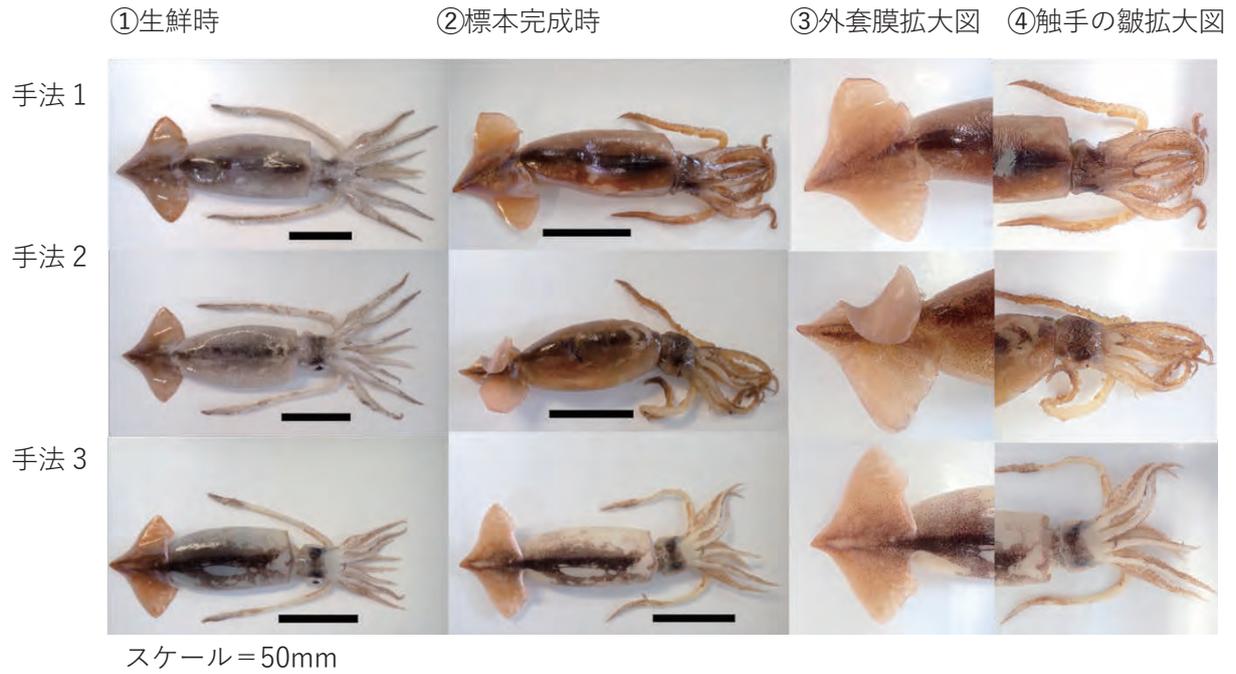


図 5. スルメイカによる各種標本

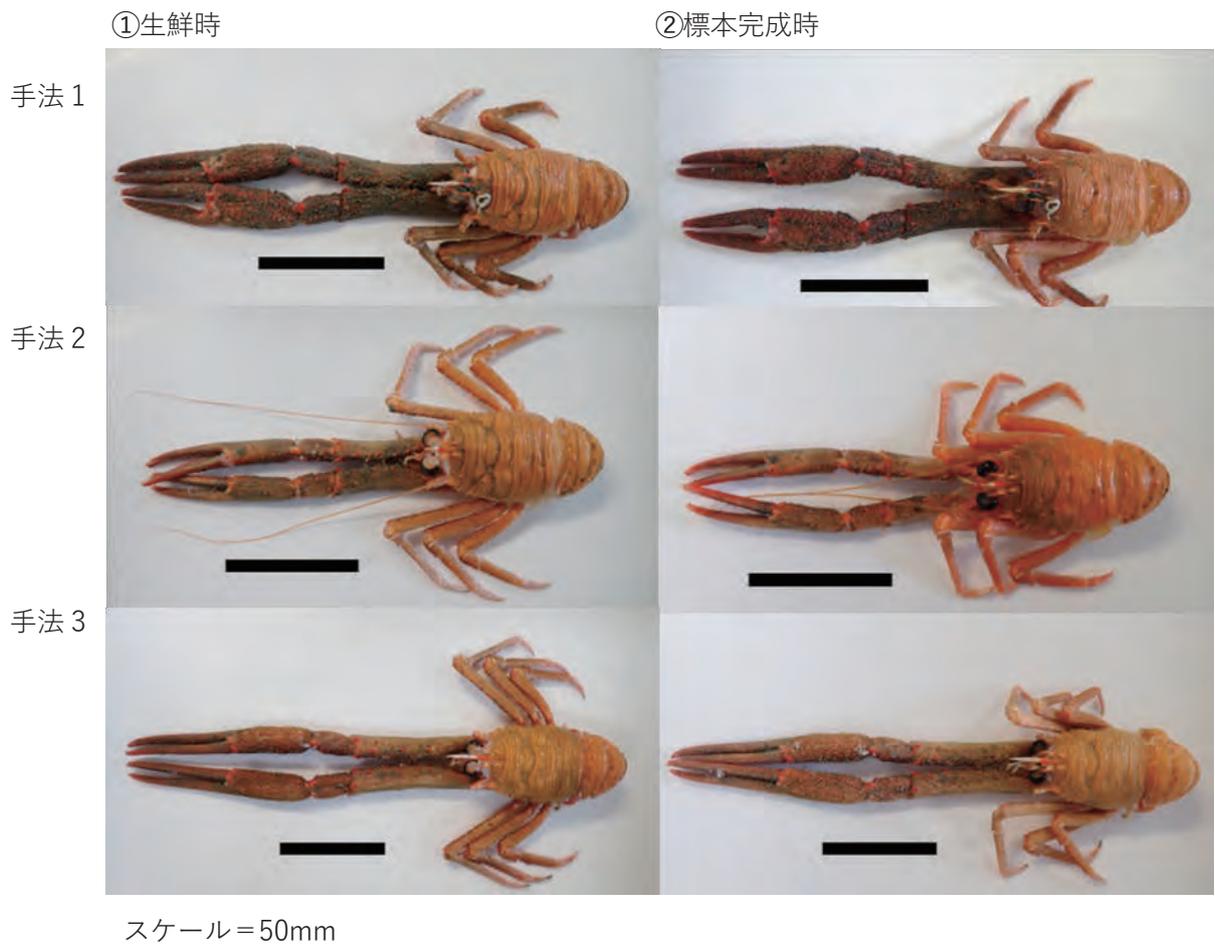


図 6. オオコシオリエビによる各種標本

考察

これまでに報告されている魚類のグリセリン浸透法の問題点としては、体色が退色することおよび体型が変形することが挙げられる。

体色については、手法1に用いた暖色系の体色であるチカメキントキではその体色は著しく退色したが、それ以外のサンプルに関しては比較的体色を残すことが可能であった。体色がある程度残せた要因は、固定時間を24時間と短くしたためと考えられる。廣田(2014)²⁾は、10%ホルマリンに浸漬したサンプルは3日後には退色したと報告しており、本手法の固定時間は適切であったと考えられる。また暖色系色素が退色した要因は、魚類の暖色系色素であるカロテノイドは脂溶性⁶⁾であり、グリセリンに溶け出したためと考えられる。一方、茶や黒などの暗色系色素であるメラニン⁷⁾は強アルカリなどの溶媒以外には不溶であり極めて安定している⁷⁾ことから暗色系色素は退色しにくかったものと考えられる。オオコシオリエビについては、手法2の方が手法1よりも赤く鮮やかとなったが、小野(2004)¹⁾の方法でもエビ類は赤くなると報告されている。またスルメイカに関しては手法1および2で赤く変色した。これはスルメイカの体色の色彩を構成する色素細胞の配置が変化⁸⁾したことで色彩が変わって見えたとと思われる。オオコシオリエビおよびスルメイカの体色の変化のメカニズムについては不明であり、今後の検討課題としたい。

また、体型については、従来のグリセリン浸透法である手法2よりも手法1の方がより変形が少なかった。この理由としては、保存液のグリセリンの濃度を変えて置換することでグリセリンの浸透速度が緩やかであったことが考えられる。

手法3で検討したホルマリンを用いた液浸標本は体色の退色はみられたが、体型の変形および収縮はほとんどみられなかった。しかし、ホルマリンを保存液に使用することで時間の経過とともに保存液は白濁しサンプルが退色することが知られており、^{3), 9)} 本研究においてほぼ退色がみられなかったウマヅラハギおよびオオコシオリエビのサンプルも時間の経過とともに退色すると思われる。また、福原(1979)¹⁰⁾によると、ホルマリン固定に用いた45mm程度のマダイ稚魚ではほぼ収縮しなかったことから、手法3で作製した標本の収縮は少ないと思われる。ホルマリンの有害性の問題において、手法1は有用であるものの体型の変形においては手法3

に及ばなかった。そのため体長や鱗条を計測するには手法3が適していると思われる。

本研究の結果から、グリセリンを多段階の濃度で浸透する手法1の利点および欠点分った。この手法を用いた標本では、他の手法に比べて種を判別するための手がかりとなる体色が残りやすいことが利点であり、また外見の良さから教育現場や公共機関でも教材として有効活用できると思われる。今回は、標本作製後2~3週間程度のものを比較しているが、長期間保管した場合の体色の退色および体型の変形への影響については不明であり、今後の課題としたい。

謝辞

本研究の実験を進めるにあたり島根県水産技術センター漁業生産部海洋資源科の沖野晃科長をはじめ同庁舎職員各位にはサンプリングや助言等格別の協力を頂いた。また、裕丸漁業生産組合および渡辺鮮魚店の梅野恭範氏にはサンプルの提供をして頂いた。ここに記して深謝します。

文献

- 1) 小野榮子:グリセリン浸透法による生物標本の作成. 第36回東レ理科教育賞受賞作品集, 39-41 (2005).
- 2) 廣田大輔, 中島経夫:魚類標本におけるグリセリン浸透法の検討. *Naturealistae*, **18**, 47-52 (2014).
- 3) 藤原慎一:関節の可動性を保持した甲殻類のポリエチレングリコール含浸標本の作製. 名古屋大学博物館報告, **32**, 27-32 (2017).
- 4) 北詰美加:ウミウシ類におけるグリセリンを用いた標本作成法の検討. きしわだ自然資料館研究報告, **6**, 25-32 (2020).
- 5) 本村浩之:魚類標本の作製と管理マニュアル. 株式会社朝日印刷, 鹿児島, 2009, **11**, pp. 52-53.
- 6) 鴻巣章二:魚の科学. 朝倉書店, 東京, 1994, pp. 65.
- 7) 鴻巣章二:魚の科学. 朝倉書店, 東京, 1994, pp. 63.
- 8) 山口勝巳:水産生物化学. 東京大学出版, 東京, 1991, pp. 102-103.
- 9) 石井綾子, 山根達也, 秀昭:生物液浸標本のイン

ベントリーと教材化の検討～100年の歴史を活用する～. 日本理科教育学会九州支部大会発表論文集, **37**, 55-58 (2009).

- 10) 福原修: ホルマリン固定によるマダイ卵稚仔の収縮について. 水産増殖, **27**, 129-136 (1979).

資料

2020 年の江の川におけるアユの産卵状況

谷口祐介¹・寺門弘悦¹・寺戸稔貴¹・安原 豪¹

Spawning state of ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*, in the Gounokawa River in 2020

Yusuke TANIGUCHI, Hiroyoshi TERAKADO, Toshiki TERADO and Go YASUHARA

キーワード：アユ，江の川，産卵場，河床の状態，埋没深

はじめに

江の川では天然アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* 資源の増大を目的に，江川漁業協同組合（以下，江川漁協）が主体となり親魚保護や産卵場環境の改善に取り組んでいる。2008 年以降，アユ産卵環境の改善を目的に，島根県水産技術センターが産卵場の河床状態を調査し，江川漁協がその結果および見込まれる親魚量に応じて，重機による河床の耕耘および天地返し等による産卵場の造成を行ってきた。¹⁻⁶⁾しかし，産卵場造成はアユの産卵環境を良くする一方で，河床を浮き石状態とするため，産卵場に必要の小石が流されやすくなる。江の川は上流からの土砂供給が乏しく，安易な造成を継続すると産卵場に必要の小石がより不足する危険性がある。⁷⁾したがって，その年ごとに産卵場の河床状態や見込まれる親魚量の多寡を検討したうえで，江川漁協とも協議しながら造成の必要性を判断している。

2020 年もアユ産卵場として適した場所がどの程度あるかを把握し，江の川での産卵場造成の必要性を判断するため，産卵期前に河床状態等の調査を行った。その後，アユの産卵状況を調査した。本報告では 2020 年に実施した一連の産卵場関連の調査結果を報告する。

材料と方法

産卵場事前調査 本調査は 2020 年 9 月 28 日に八戸川合流点，谷住郷の瀬，長良の瀬およびセジリの瀬において実施した(図 1)。調査日の日平均水位(長

良観測所)は 0.89m であった(国土交通省水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>, 2021 年 9 月 7 日入手)。アユの産卵場として適した河床(粒径 5mm~50mm⁸⁾の小石が主体の浮き石底)であるかを把握するため，礫の様子を観察し，粒径組成および貫入度を測定した。粒径組成の調査では，線形格子法を用いて，礫の粒径は谷田・竹門の簡便階級⁹⁾に従って区分した。すなわち，10cm 間隔で 10 個の点が刻まれた木製の棒を河床に固定し，各点の下に位置する礫の粒径(長径)を目視で 5 階級(砂泥：<4mm，砂利：4mm~50mm，石：50mm~250mm，巨石：250mm~500mm，岩：>500mm)に区分した。なお，本調査では泥(<0.125mm)，細砂(0.125mm~1mm)，粗砂(1mm~4mm)をまとめて砂泥(<4mm)として扱った。河床の柔らかさの目安として，石井⁹⁾に準じてシノによる貫入度を測定した。アユの産卵適水温に達しているかを調べるため，デジタル水温計(Myron L 社製 ULTRAPEN PT1)を用いて河川水温を測定した。河川の形状は，無人航空機(通称ドローン：DJI 社製 Phantom3)で空撮した画像を，画像加工ソフトウェア(Agisoft 社製 Metashape)で合成した平面図から把握した。アユの産卵が可能であると判断した範囲(以下，産卵適地)の外周の位置情報はハンディ GPS(GARMIN 社製 GPSMAP 64SJ)で取得した。その後，GIS アプリケーションソフトウェア(Google 社製 Google Earth Pro)を用いて位置情報から面積および形状を求めた。

産卵状況調査 本調査は 2020 年 11 月 4 日に八戸川合流点，谷住郷の瀬，長良の瀬およびセジリの瀬において実施した(図 1)。各調査日の日平均水位(長良観測所)は，0.47m であった(国土交通省水文水

¹ 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

質データベース <http://www1.river.go.jp/>, 2021年9月7日入手). 各地点を踏査・潜水目視し, アユの産着卵の有無を調査した. 産着卵が確認された場合, 産卵場事前調査と同様の方法で産卵範囲の面積および形状を求めた. 卵の埋没深の測定は, 高橋ら¹⁾に従い, 卵が付着している最も深い部分と周辺の河床面との高低差と定義し, 産卵場内で無作為に選定した産卵床で行った. 水温はデジタル水温計(Myron L社製 ULTRAPEN PT1)で測定した.

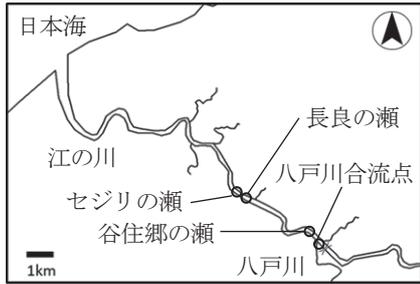


図1. 江の川における調査地点

結果と考察

産卵場事前調査 河床の粒径組成を図2, 貫入度の測定結果を図3に示した. 水温は八戸川合流点で18.5℃(7:15測定), 谷住郷の瀬で18.8℃(9:08測定), 長良の瀬で20.7℃(11:29測定), セジリの瀬で21.0℃(14:03測定)であった. アユの姿はいずれの地点でも視認できなかった. 産卵適地は八戸川合流点, 谷住郷の瀬, 長良の瀬で見られ, その面積は合計780m²と推測した. アユの親魚量は少ないと考えられたことから, 江川漁協と協議のうえで産卵場造成は見送った. 各地点の状況は以下の通りである.

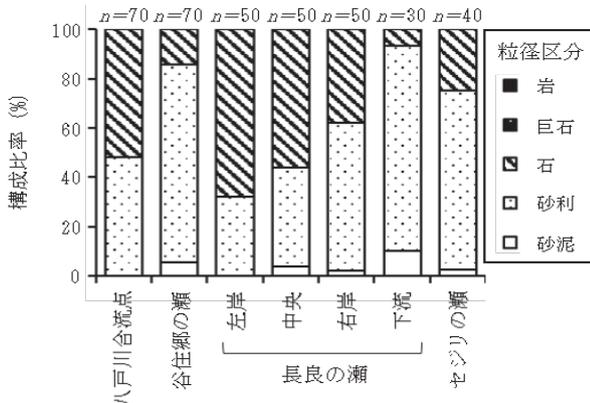


図2. 各調査地点における産卵期前の河床の礫の粒径組成
粒径は竹門の簡便階級(砂泥:<4mm, 砂利:4mm-50mm, 石:50mm-250mm, 巨石:250mm-500mm, 岩:>500mm)に従い区分した.

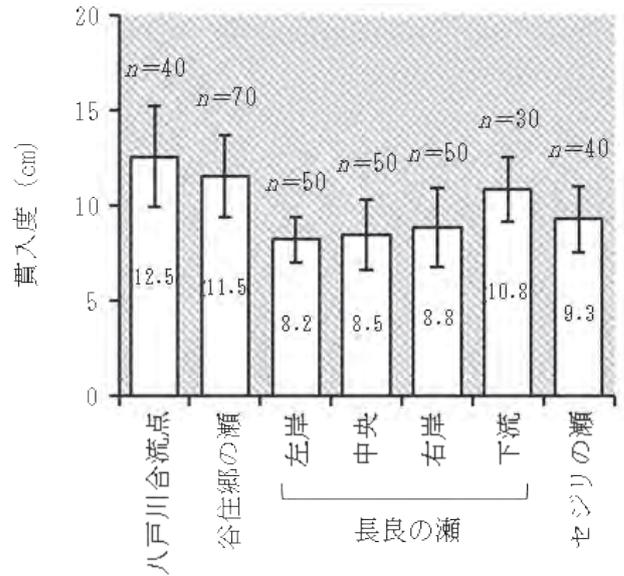


図3. 各調査地点における産卵期前の河床の貫入度
バーは標準偏差. 図中の数字は平均を示す.

(1) **八戸川合流点** 平面図を図4に示した. 産卵適地は2ヶ所(図4地点A, B)に分散しており, 面積は2ヶ所で合計180m²と見積もった. 河床は浮き石底で貫入度は平均10cm以上(12.5cm, 図3)であった. 礫の粒径組成はアユの産卵に適した砂利(粒径4mm~50mm)が5割程度であった(図2, 図5写真①, ②).

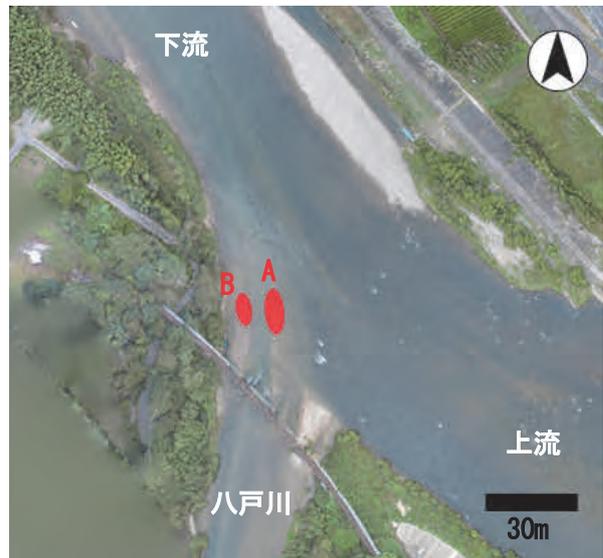


図4. 産卵期前における八戸川合流点の平面図
赤色で示した部分は産卵適地と考えられる範囲を示す. 産卵適地の面積は地点Aが110m², Bが70m².



図 5. 産卵期前における八戸川合流点の図 4 中の地点 A, B の河床
写真中の測量ポールは一目盛 5cm.

(2) 谷住郷の瀬 平面図を図 6 に示した. 産卵適地は砂州の下流側の一部にあり, 面積は 40m^2 と見積もった. 産卵に適した礫が多く (図 2, 図 7), 貫入度の平均も 10cm 以上 (11.5cm , 図 3) であった.

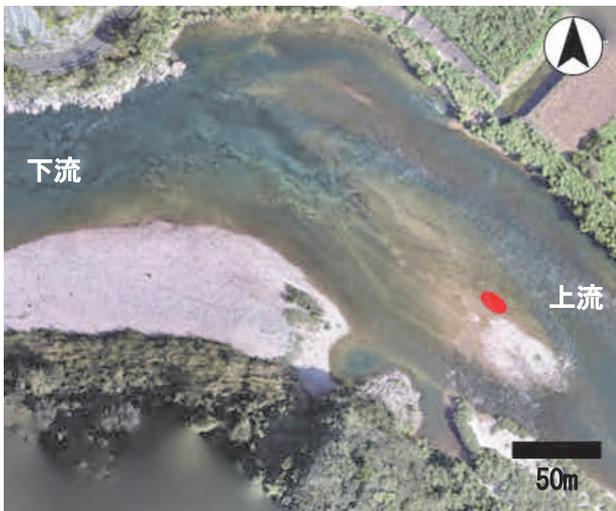


図 6. 産卵期前における谷住郷の瀬の平面図
赤色で示した部分は産卵適地と考えられる範囲を示す. 産卵適地の面積は 40m^2 .



図 7. 産卵期前における谷住郷の瀬の河床
写真中の測量ポールは一目盛 5cm.

(3) 長良の瀬 平面図を図 8 に示した. 左岸側および中央部は糸状緑藻が繁茂しており (図 9 写真③, ④), 産卵には不適と判断した. 右岸側は, 貫入度の平均は 10cm を下回った (8.8cm , 図 3) もの, 糸状緑藻の繁茂は少なかった. さらに, 産卵に適した礫が多いことから (図 2, 図 9 写真①), 産卵適地と判断した. 産卵適地の面積は 180m^2 と見積もった (図 8 地点 D).

また, 下流側にも貫入度の平均が 10cm を上回り (10.8cm , 図 3), 糸状緑藻の繁茂が少なく, 浮き石底で産卵に適した礫の多い箇所が存在し (図 9 写真②), この一帯を産卵適地と判断した. 産卵適地の面積は 380m^2 と見積もった (図 8 地点 E).

(4) セジリの瀬 平面図を図 8 に示した. 右岸側に産卵に適した礫の多い箇所がみられた (図 2, 図 9 写真⑤). しかし, 流れは緩やかに見え, 貫入度の平均は 10cm を下回っていた (平均 9.3cm , 図 3) ため, 産卵には不適と判断した.



図 8. 産卵期前における長良の瀬およびセジリの瀬の平面図

赤色で示した部分は産卵適地と考えられる範囲を示す. 地点 F~H は産卵には不適と考えられた地点を示す. 産卵適地の面積は地点 D が 180m^2 , E が 380m^2 .

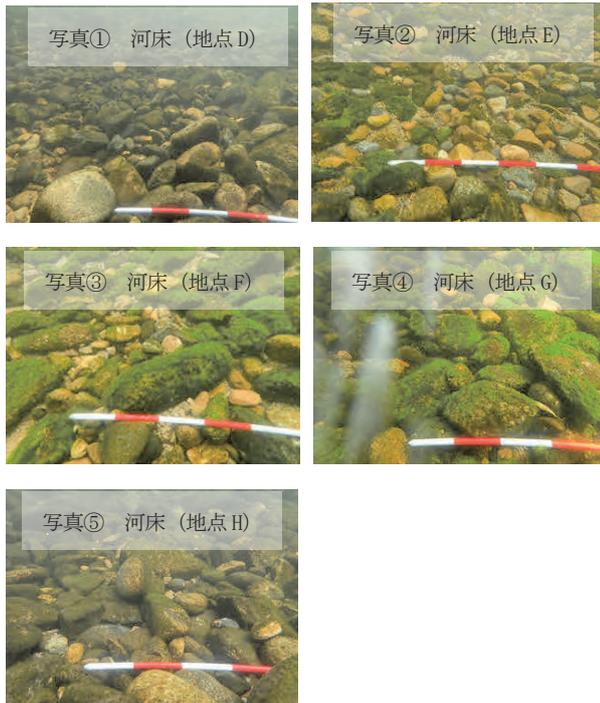


図9 産卵期前における長良の瀬およびセジリの瀬の図8中の地点D~Hの河床

写真中の測量ポールは一目盛5cm. 地点D, Eは産卵適地, 地点F~Hは産卵には不適と考えられる.

産卵状況調査 アユの産着卵は八戸川合流点および長良の瀬で確認された. 産卵面積は合計1,005m²であった. 谷住郷の瀬およびセジリの瀬ではアユの産着卵は確認されなかった. 事前調査で産卵適地が確認された谷住郷の瀬で産着卵が確認されなかった理由は, 事前調査の時点から日平均水位が約0.4m低下しており, 産卵適地周辺の水深もアユの産卵場に適した水深(10cm~数10cm)¹¹⁾を下回ったためと考えられる. 水温は八戸川合流点で14.7℃(8:23測定), 長良の瀬で15.5℃(11:07測定)で, いずれもアユの産卵適水温(14℃~19℃)¹¹⁾であった.

(1) **八戸川合流点** 左岸側の流心の脇に産着卵が確認され, 産卵面積は65m²であった(図10). 卵の埋没深は6.7±1.2cm(平均±標準偏差; *n*=8)で, 良好な産卵環境の目安となる10cm以上¹²⁾には達しなかった(図12). 事前調査で産卵適地が確認された範囲(図4地点A)で産着卵が確認されなかった理由は, 前述した谷住郷の瀬と同様に, 水位の低下によるものであると考えられる.

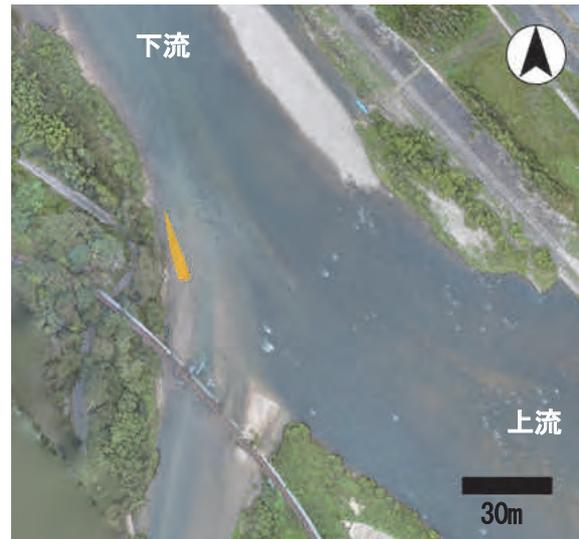


図10. 八戸川合流点におけるアユの産卵範囲
黄色で示した部分はアユの産卵範囲(面積: 65m²)を示す.

(2) **長良の瀬** 下流側の瀬で産着卵が確認され, 産卵面積は940m²であった(図11). 卵の埋没深は8.7±1.5cm(平均±標準偏差; *n*=13)で, 一部で良好な産卵環境の目安となる10cm以上¹²⁾に達していた(図12). なお, 事前調査で産卵適地が確認された範囲(図8地点D)で産着卵が確認されなかった理由は, アユの親魚量が少ないことや事前調査で産卵に適した礫が多く(図2), 貫入度の深かった(図3)すぐ下流の地点(図11)が産卵場として選択されたためと考えられる.



図11. 長良の瀬におけるアユの産卵範囲
黄色で示した部分はアユの産卵範囲(面積: 940m²)を示す.

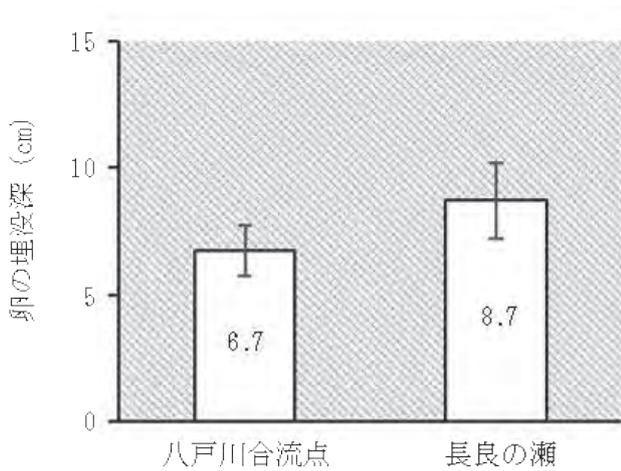


図 12. 各調査地点におけるアユ卵の埋没深
バーは標準偏差，図中の数字は平均を示す。

文献

- 高橋勇夫，寺門弘悦，村山達朗：島根県西部河川におけるアユ産卵場造成について．島根水技セ研報，**2**，39-48 (2009)．
- 高橋勇夫，寺門弘悦，村山達朗：島根県西部河川におけるアユ産卵場造成について－II．島根水技セ研報，**3**，69-84 (2011)．
- 高橋勇夫，寺門弘悦，曾田一志，安木 茂：2011年の江の川におけるアユ産卵場造成について．島根水技セ研報，**5**，43-52 (2013)．
- 高橋勇夫，寺門弘悦，曾田一志，安木 茂，沖野 晃：2012年の江の川におけるアユ産卵場造成について．島根水技セ研報，**6**，19-29 (2014)．
- 高橋勇夫，寺門弘悦，曾田一志，安木 茂，村山達朗，福井克也：2013年の江の川におけるアユ産卵場造成について．島根水技セ研報，**7**，19-29 (2015)．
- 寺門弘悦，吉田太輔，安原 豪：2019年の江の川におけるアユの産卵場造成と産卵状況．島根水技セ研報，**13**，65-70 (2021)．
- 島根県水産技術センター：第2回江の川の天然アユを増やすためのシンポジウム～今，私たちにできる川づくりとは？～．島根水技セ研報，**6**，59-67 (2014)．
- 高橋勇夫：天然アユが育つ川．築地書館，東京，2009．
- 竹門康弘：水域の棲み場所を考える，「棲み場所の生態学」，平凡社，東京，1995，pp. 11-66．
- 石井 徹：貫入度．アユ産卵場づくりの手引き（魚類再生産技術開発調査報告書），全国内水面漁業協同組合連合会，1993，pp. 228．
- 落合 明，田中 克：アユ，「新版魚類学（下）改訂版」，恒星社厚生閣，東京，1985，pp. 465-474．
- 高橋勇夫：産卵場造成の必要性和その実際．天然アユを増やすと決めた漁協のシンポジウム第1回天竜川大会記録集，天然アユ保全ネットワーク，2007，pp. 11-18．

小田川および田儀川におけるアユの生息状況 (短報)

寺門弘悦^{1a}・福井克也²

Present status of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in the Oda and Tagi rivers

Hiroyoshi TERAKADO and Katsuya FUKUI

キーワード: アユ, 小田川, 仔魚の流下状況, 遡上状況, 田儀川

小田川水系小田川 (以下, 小田川) および田儀川水系田儀川 (以下, 田儀川) は旧多伎町 (現出雲市多伎) を流れる二級河川であり, 天然アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* が遡上する河川として地域住民に古くから親しまれてきた. 両河川には漁業権の設定はなく, 河川規模が小さいため, 生息するアユは過剰に採捕されやすい. こうした背景から地域住民の要望を受け, アユの繁殖保護を目的として5月20日から6月20日の32日間, 手釣りおよびさお釣りを除き, アユの採捕を禁止する島根県内水面漁場管理委員会指示 (以下, 委員会指示) が発出され, 現在 (2021年9月時点) も継続されている. 両河川のアユの生息状況について, 島根県水産試験場三刀屋内水面分場 (後の内水面水産試験場で, 現在は水産技術センター内水面浅海部) が調査し, 島根県内水面漁場管理委員会に定期的に報告していた. 著者が確認できたのは1984年から1999年間の調査結果であり, その後の両河川のアユの生息状況に関する資料は確認できなかった. 2016年に出雲市に聞き取りを行ったところ, 両河川のアユの生息量は減り, アユを利用する地域住民も減っているとのことであった. 委員会指示による採捕規制の効果を考えるうえで, 対象河川に生息するアユの現状を把握することは重要である. 本研究では, 小田川および田儀川におけるアユの生息状況を把握するため, 2017年春季のアユの遡上状況調査および秋季のアユ仔魚の流下状況調査を実施した.

遡上状況調査は, 2017年5月1日の午前中に実施した. 小田川 (河川流路延長5.22km) は河川幅3-7m程度で, 比較的透明度が高かった. 田儀川 (河川

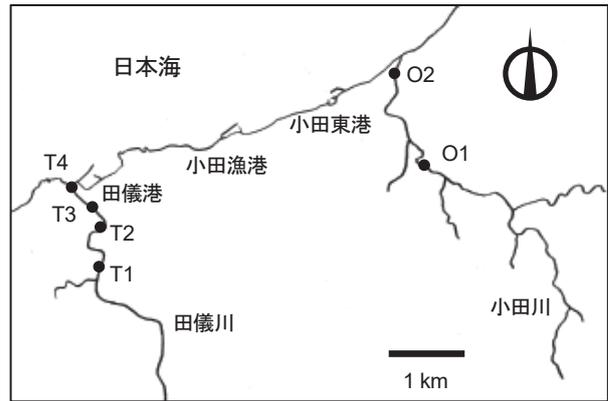


図1. 小田川および田儀川における調査地点

流路延長9.09km) は河川幅5-15m程度で, 小田川より流量は多いが, 調査当日は白濁していた. 調査地点 (図1) は, 小田川では上流側から城山橋の上流側にある堰堤下 (O1), 橋爪橋付近 (O2) の2地点とし, 田儀川では, 上流側から机田橋付近の堰堤下 (T1), 三本松橋付近の堰堤下 (T2), 河口潮止め堰の上流側 (T4) の3地点とした. 各地点において最大2名で投網 (目合い26節) によるアユの採集を試みた. 採集されたアユは冷蔵し, 水産技術センター内水面科に持ち帰り, 体長 (標準体長, 1mm単位), 体重 (0.1g単位) を測定し, 背鰭第5軟条を基点として側線上方横列鱗数を計数した. 側線上方横列鱗数はアユの由来を判別する計数形質になる.¹⁾河川水温は適宜, デジタル水温計 (Myron L社製 ULTRAPEN PT1) で測定した.

アユ仔魚の流下状況調査は2017年11月8日に実施した. 両河川の最下流の早瀬の直下となる T3 (田

¹松江水産事務所 Matsue Regional Office of Fisheries Affairs (現名称: 東部農林水産振興センター Eastern Agriculture, Forestry and Fisheries Promotion Center)

²内水面浅海部 Inland Water Fisheries and Coastal Fisheries Division

^a現所属: 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

儀川, 本願寺付近) および02 (小田川, 国道9号付近) を採集地点とし(図1), 稚魚ネット(口径45cm, 側長180cm, 目合いGG54) で仔魚の採集を試みた. 採集時刻は県内の他河川のアユ仔魚の流下ピーク時刻を参考に, 各河川とも18時前後および19時前後とし, 5分間の採集を行った. 採集物は5%ホルマリンで固定し, 水産技術センター内水面科に持ち帰り, ソーティングを行った. 河川水温はデジタル水温計(Myron L社製ULTRAPEN PT1) で測定した.

遡上状況調査における採集状況を表1に示した. 両河川の水温は, 14.5-15.1°Cの範囲にあり, アユが遡上する水温帯であった. アユの採集尾数は, 小田川では1尾(56mmSL), 田儀川では4尾(78-95mmSL)であった. 側線上方横列鱗数は, 小田川で採集された1尾は16枚, 田儀川で採集された4尾は14-16枚であった. 島根県西部の高津川では概ね16枚以上が天然魚, 16枚以下が人工生産された放流魚と報告されている.²⁾ この基準に従うと, 14-15枚のアユは人工生産された放流魚と判別され, 16枚のアユはどちらの可能性も残される. いずれにしても, 漁業権の設定がなく, 放流履歴のない河川で天然以外のアユが採集されたことになる. この理由として, 他の河川で放流されたアユが何らかの要因で一旦海に流され, その後両河川に遡上してきた可能性が考えられる. 両河川に最も近く, 漁業権の設定があり, アユが放流されている条件を全て満たす河川として斐伊川水系神戸川(以下, 神戸川)がある. 神戸川では2017年3月下旬から4月上旬にかけてアユの人工産種苗(日野川漁業協同組合, 江川漁業協同組合および高津川漁業協同組合産)が放流されていた(<http://kandofc.jugem.jp/?month=201703>, <http://kandofc.jugem.jp/?month=201704>, <http://kandofc.jugem.jp/?page=1&month=201704>, 神戸川漁業協同組合のブログ, 2021年9月8日). また, 2017年4月18日には, 神戸川(馬木観測所)の平均流況(豊水流量14.13m³/s, 平水流量8.58m³/s)³⁾を上回る流量61.3m³/s(水文水質データベース:<http://wwl.river.go.jp/>, 国土交通省, 2021年9月8日)の出水があった. アユは大規模な出水により海域まで流される場合がある.⁴⁾ 出水後海域に流出したアユは再び河川に遡上することが, 耳石に含まれるストロンチウム/カルシウム比から確認されている.⁵⁾ 以上を考え合わせると, 両河川で採集された, 側線上方横列鱗数から放流魚と判別されるアユは, 神戸川で放流されたものである可能性が高い. この可能性を考慮すれば, 両河川で採集された天然

アユは最大でもそれぞれ1尾ずつと考えられる.

島根県内水面漁場管理委員会で報告された1984年から1999年間の調査結果を表2に整理した. これらの調査地点は年により異なる場合があるが, 本調査における両河川の最上流の調査地点(小田川の01, 田儀川のT1)よりも下流側の範囲内に全てが含まれていた. 投網回数の記録が揃っていないため単純な比較は難しいが, 採集尾数の多寡のみから判断すれば, 本調査年(2017年)の遡上状況は低水準であると判断される.

一方, アユ仔魚の流下状況調査は1日限りで, 採集の時間帯を18時と19時前後に絞って行った. 同県内の高津川や江の川で水産技術センターが行っている流下状況調査(採集地点は最下流の産卵場の直下)では, 仔魚の流下の時期は10月下旬から11月上旬にピークとなり, 仔魚の採集量は18時台から19時台にかけて急増する場合が多い. また, 両河川の河川流路延長は10km以内と比較的短く, 小田川には河口から約2kmの位置にアユが遡上できない堰堤があり, 田儀川にはアユが遡上しにくい突出型魚道が付設された堰堤が点在するため, 河口から数km以内の場所でアユが産卵すると考えて妥当であろう. したがって, アユが産卵していれば本調査の方法で

表1. 遡上状況調査時のアユの採集状況

河川名	採集地点	水温 °C	投網回数	採集尾数	体長 mm	重量 g	側線上方横列鱗数
小田川	01	14.6	7	0	-	-	-
	02	15.1	9	1	56	1.9	16
田儀川	T1	-	12	2	78,90	5.5, 7.9	14, 15
	T2	14.5	9	2	80, 95	8.6, 8.9	15, 16
	T4	14.8	1	0	-	-	-

表2. 島根県内水面漁場管理委員会で報告された, 小田川および田儀川における遡上状況調査(投網によるアユの採集)の結果

調査日	小田川		田儀川	
	水温 (°C)	尾数 (尾)	水温 (°C)	尾数 (尾)
1984年5月7日	17.0	0	18.5	0
1985年5月13日	18.2	0	18.5	2
1986年4月24日	17.9	10	17.7	11
1987年4月22日	15.3	7	14.8	-
1988年5月9日	-	1	-	3
1989年5月8日	18.0	-	18.6	0
1990年5月7日	14.1	0	14.8	7
1996年4月16日	11.2	0	11.0	1
1999年5月10日	21.9	44	19.2-21.5	20

わずかでも仔魚は採集されると考えられる。このように仔魚が採集されやすい条件で調査を行ったが、今回は両河川とも仔魚は全く採集されなかった。このことは、両河川でのアユの再生産はきわめて小規模であり、親魚量もきわめて少ないことを示唆している。

以上を整理すると、小田川および田儀川とも、2017年のアユの遡上状況は低水準であり、再生産はきわめて小規模であったと推測された。近年、島根県下の河川におけるアユ資源は低位な状況が継続しており、資源保護・増殖の取り組みが必要である。本調査を行った小田川や田儀川のような小河川においても、アユの繁殖保護のためにも、少なくとも現在の採捕規制は継続する必要があると考えられる。また、委員会指示の実行性を高めるため、禁止期間を明示する看板の設置等、一般県民等への周知方法について検討する必要もあろう。

謝辞

松江水産事務所(現・東部農林水産振興センター)の仲村克広課長(当時、現所属・沿岸漁業振興課)には調査への配慮と協力をいただいた。浜田水産事務所(現・西部農林水産振興センター)の為石雄司

企画員(当時、現所属・東部農林水産振興センター)、松江水産事務所(現・東部農林水産振興センター)の富田賢司主任には島根県内水面漁場管理委員会の報告資料の入手に際して多大な協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

文献

- 1) 戸井田伸一：アユの鱗等による産地判別法、「アユ資源研究部会報告書(平成12年度から平成14年度までのまとめ)」(全国湖沼河川養殖研究会アユ資源研究部会)，2003，pp. 54-56.
- 2) 寺門弘悦，村山達朗，金岩 稔：島根県高津川におけるアユの天然魚と放流魚の混合率の推定。日水誌，82，911-916(2016)。
- 3) 国土交通省中国地方整備局：3. 斐伊川の現状と課題，斐伊川水系河川整備計画【国管理区間】，2010，17-41。
- 4) 高橋勇夫，東 健作：差しもどしアユ，「天然アユの本」，築地書館，東京，2016，pp. 136-137。
- 5) 南雲克彦，澤原和哉，北村秀之，森 伊佐男，白尾豪宏：ダム排砂が黒部川のアユに与える影響。環境工学研究論文集，43，473-482(2006)。

本号掲載要旨

(報文)

島根県沿岸における岩礁性重要貝類の増養殖に関する研究

佐々木 正

島根県の沿岸漁業において重要なサザエとイワガキを対象に、サザエでは資源管理に必要な産卵から稚貝の発生までの加入量変動にかかわる初期生態の解明を、イワガキでは養殖の安定化に欠くことのできない人工種苗生産技術における諸課題を解決することを目的として研究を行った。その結果、サザエでは島根県における産卵、浮遊幼生および稚貝の発生などの初期生態について新たな知見を明らかにした。イワガキでは養殖種苗の供給元である栽培漁業センターの種苗生産における大量安定生産およびシングルシード種苗生産のための実用的な採苗技術を開発した。さらに、これら重要貝類の増養殖に関して有効な資源管理手法や種苗生産技術についての提言を行った。

宍道湖のヤマトシジミ資源量が2018年から2019年の間に急変した際の各種条件の比較

清川智之・谷 幸則・原口展子・
岡本 満・平松大介・福井克也

宍道湖におけるヤマトシジミは、2018年6月と10月の資源量調査の間に急減し、そのわずか1年後の2019年6月と10月の資源量調査の間に回復した。本研究では、2018年から2019年の間の宍道湖における水温、塩分および餌料である植物プランクトン相等の各種環境条件のほか、本種の殻長組成、斃死貝および肥満度等について詳細に調査を行い、当該期間における本種資源量に急変をもたらした要因について検討した。

その結果、当該期間のうち両年7~9月の間に明瞭な相違が認められた。本種の肥満度低下にともなって増加する傾向を示す斃死が、本種資源量の急変をもたらした要因である可能性が示された。

(資料)

あなごかご漁業用餌料へのグリシンの添加効果

寺門弘悦・沖野 晃・岡本 満

あなごかご漁業用餌料に使用されるスルメイカの入手が困難になり、代替餌料としてグリシンを添加したマイワシの有用性を検討した。あなごかご漁業の操業

船に乗船し、1回目の試験でマイワシがスルメイカより餌料として劣ることを、一筒あたりのマアナゴ漁獲尾数(アナゴCPUE)を比較することで確認した。2回目の試験でグリシンを添加した3種類のマイワシ(まぶし、まぶし2倍、ミンチ)、無処理のマイワシ、スルメイカを餌料とし、アナゴCPUEを比較した。その結果、漁具の浸漬時間が長い(8~11時間)場合、まぶし2倍のアナゴCPUEはスルメイカのそれと有意差がなく、グリシン添加マイワシが有用である可能性が示唆された。

島根県における磯焼け対策の実態調査—隠岐の島町蔵田の事例—

寺戸稔貴・堀内正志・向井哲也

筆者らは県内での磯焼け対策の実態把握を目的に、隠岐の島町蔵田の漁業者らの活動を調査し、その内容について記録した。隠岐の島町蔵田における磯焼けの原因は土砂の流入による母藻の枯死およびタネの供給不足と推定された。漁業者らは2019年6月22日に磯焼け海域でホンダワラ類の母藻投入、同年11月17日に箱眼鏡を用いた海底観察による効果検証を行った。海底面の海藻被度は5か月間で75%増加し、12m²の藻場が造成された。ホンダワラ類のタネの大きさや沈降速度を考慮すると、これはオープンスポアバッグから供給されたタネに由来するものと推定された。本研究は県内の漁業者らが新たに磯焼け対策に取り組む際の有益な情報になると考えられた。

グリセリン浸透法による魚介類の色彩保存標本作製の検討

安原 豪

魚類の標本は、体内に含まれる水分が多いことから液浸標本として保存することが主流である。一般的に保存液としてホルマリン溶液やエタノールを使用する。しかし、サンプルの体色が退色することが問題となっている。そのため、グリセリン浸透法が開発されたが、その手法の確立までに至っていない。そこで既存の知見を応用して体色を極力残し、さらに魚体に変形しにくい標本の作製を試みた。その結果、暖色系色素の退色は著しかったが、魚種によっては暗色系色素および体型を維持することがわかった。本報で検討した標本は外見が良いことから教育現場や公共機関でも教材と

して有効活用できると思われる。

2020年の江の川におけるアユの産卵状況

谷口祐介・寺門弘悦・寺戸稔貴・安原 豪

江の川における2020年のアユの産卵場の造成の必要性を判断するため、産卵期前に河床状態等を調査し、産卵場としての適否を把握した。その結果、産卵適地は合計780m²の面積が見込まれた。アユ親魚量は少ないと考えられたことから、江川漁協とも協議のうえで産卵場造成を見送った。その後、産卵状況の調査を行った結果、八戸川合流点、長良の瀬（下流側）で産着卵が確認され、産卵面積は合計1,005m²であった。

(短報)

小田川および田儀川におけるアユの生息状況

寺門弘悦・福井克也

島根県内水面漁場管理委員会指示によるアユの採捕規制の対象河川である小田川および田儀川におけるアユの生息状況を把握するため、2017年春季のアユの遡上状況調査および秋季のアユ仔魚の流下状況調査を実施した。遡上状況調査では、他河川で放流されたと考えられるアユも採集され、天然アユは最大でも各河川1尾ずつであった。また、流下状況調査では両河川ともアユ仔魚は全く採集されなかった。これらの結果から、2017年の両河川のアユ資源は低位な状況にあると推測され、資源保護・増殖のため現在の委員会指示を継続する必要があると考えられた。

他誌掲載論文の抄録

ラジウム同位体からみた日本海南西域の黒潮の寄与 (英文)

井上睦夫・城谷勇陸・諸角季生・花木祥太郎・伊藤 雅・
亀山紘旭・小藤久毅・沖野 晃・四方崇文・吉田真明・
長尾誠也

Continental Shelf Research, Volume 214, 1 February
2021, 104328

複雑な表層海水循環システムを解析するため、2015
年から2020年にかけて、日本海南西部の表層海水にお
ける²²⁸Ra濃度と²²⁸Ra/²²⁶Ra比を調査した。

²²⁸Ra/²²⁶Ra比は大きな季節変動を示し、7-9月に他
の月よりも高い比(1.5-2.5)を示していた。²²⁸Ra濃
度と塩分に基づく太平洋からの黒潮の混合比は、調査
海域西部では、5月から7月にかけて急減した後、7月
に最も低くなった(0.95-0.6)。これは、季節変化や局
地的な海水循環を反映して、東シナ海大陸側浅層海水
と黒潮の混合比が大きく変化しているためと考えられ
る。

Chaetoceros calcitrans の屋外における大量安定培養の 試み

佐々木 正

水産増殖, 69(1), 55-69(2021)

Chaetoceros calcitrans の屋外における大量培養の安
定性を明らかにするため、春季から秋季に100 l, 500 l
および5 kl水槽を用いて*Chaetoceros neogracile* と比
較する試験区を設定して屋外培養試験を実施した。ま
た、*C. calcitrans* の市販品を元種に用いる方法の実用性
や高温期に遮光幕を用いることの有効性を明らかにす
るための培養試験も併せて実施した。

その結果、*C. calcitrans* は培養適期の春季には最高細
胞密度で100 l, 500 l水槽とも約600万細胞/mlに達
し、最高細胞密度はやや劣る傾向があるものの*C.*
neogracile と同様に安定的な培養が可能であることが
判明し、さらに市販品を元種に用いることでより効率
的な培養ができることを確認した。また、高温期に遮光
幕を用いて培養水温を低く抑えることにより、高温耐
性の低い*C. calcitrans* でも盛夏期における培養が可能
であることが示唆された。

島根県沖合底びき網漁業における超高分子量ポリエチ レン繊維製網地による抵抗削減効果-模型実験, 数値解 析, 海上実験による検討-

江幡恵吾・沖野 晃・鈴木勝也

日本水産学会誌, 87(4), 348-356(2021)

島根県沖合底びき網漁業を対象として、現用網の袖
網および身網の一部に超高分子量ポリエチレン繊維製
網地を導入して網糸直径を細くした改良網1、さらに
天井部の目合を拡大した改良網2について、模型実験
と数値解析によって抵抗削減効果を推定した。

現用網から改良網2に変更することで網抵抗は
29.6%、網抵抗と海底との摩擦抵抗の合計は9.9%減
少し、網形状はほとんど変化しないと考えられた。実
物網を用いた海上実験では、通常の曳網速度3ノット
で改良網2では現用網と比べてハンドロープ張力が
19.3%減少した。

日本海南西海域に生息する主要底魚類における漁獲状 況の昼夜差の検討

金元保之・道根 淳

水産海洋研究, 85(3), 141-152(2021)

日本海南西海域に生息する主要底魚類の漁獲状況の
昼夜差について、調査船調査及び漁船活用調査に基づ
く解析を行った。調査船調査は延べ10ヶ所の曳網地
点において昼夜それぞれ一回ずつ計20回行い、主要
底魚類の計数・計量及び魚体測定を実施した。漁船活
用調査は487件の結果を用いて種ごとの漁獲効率及び
出現頻度を昼夜で比較した。本研究では漁獲効率につ
いて、昼夜で2倍以上異なった魚種のうち、昼に高い
魚種を昼タイプ、夜に高い魚種を夜タイプと定義した。

両解析の結果、昼タイプに区分された魚種はアカム
ツ、ニギス、ヤリイカ、マダイ、マフグ、スルメイカ、
ケンサキイカ、カガミダイ及びマトウダイであり、夜
タイプに区分された魚種はマアナゴ、ミギガレイ、ソ
ウハチ及びヤナギムシガレイであった。本海域に生息
する主要底魚類の多くに昼夜での漁獲効率の違いが見
られたことから、昼夜を考慮した資源管理手法の導入
や資源量指標値の標準化が必要であろう。

編集委員長

川島隆寿

編集委員

若林英人・内田 浩

事務局

栗田守人

島根県水産技術センター研究報告 第14号

2022年（令和4年）3月発行

● 編集・発行

島根県水産技術センター研究報告編集委員会

〒697-0051 島根県浜田市瀬戸ヶ島町25-1

TEL 0855-22-1720 FAX 0855-23-2079

● 印刷

柏村印刷株式会社

〒697-0034 島根県浜田市相生町3889

TEL 0855-23-2040 TAX 0855-22-3274

REPORT
OF
SHIMANE PREFECTURAL FISHERIES
TECHNOLOGY CENTER
NO. 14

CONTENTS

Original

- Study on resource regeneration and aquaculture of the commercially valuable shellfish species in rocky shore of Shimane Prefecture
.....Tadashi SASAKI 1
- Comparison of various conditions during the rapid fluctuation for stock of *Corbicula japonica* in Lake Shinji from 2018 to 2019.
.....Tomoyuki KIYOKAWA, Yukinori TANI, Hiroko HARAGUCHI, Mitsuru OKAMOTO,
Daisuke HIRAMATSU and Katsuya FUKUI 139

Notes

- Effect of glycine added to trap bait for conger eel tubular trap fishery
.....Hiroyoshi TERAKADO, Akira OKINO and Mitsuru OKAMOTO 149
- A fact-finding result of some approaches for the recovery from withered seashore in Shimane prefecture. —The case in Okinoshima town Kurata—
.....Toshiki TERADO, Masashi HORIUCHI and Tetsuya MUKAI 157
- Examination on the preparation of color preserved specimens of fish and shellfish by glycerin penetration method
.....Go YASUHARA 165
- Spawning state of ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*, in the Gounokawa River in 2020
.....Yusuke TANIGUCHI, Hiroyoshi TERAKADO, Toshiki TERADO and Go YASUHARA 171

Short report

- Present status of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in the Oda and Tagi rivers
.....Hiroyoshi TERAKADO and Katsuya FUKUI 177