

徳島大学博士論文

投棄されるトリガイを種苗に使うコンパクト養殖の研究

香 川 哲

徳島大学大学院
総合科学教育部

2021年

目 次

序論	1
トリガイ主要産地の状況	2
香川県のトリガイ漁業と流通販売状況	5
トリガイのコンパクト養殖の必要性	9
本論	
第1章 トリガイの混獲と投棄	12
第2章 混獲トリガイを種苗とする条件	17
第3章 香川県沿岸におけるコンパクト養殖の可能性	21
第4章 低利用の漁港で実施するコンパクト養殖技術の開発	31
第5章 混獲トリガイを種苗として使うコンパクト養殖の採算性	44
第6章 トリガイのコンパクト養殖方法の提言	50
要約	55
謝辞	63
文献	65
図	71
表	93
参考論文	103

序 論

トリガイ *Fulyla mutica* (Reeve) は、軟体動物門 (Phylum Mollusca)、二枚貝綱 (Class Bivalvia)、異歯目 (Order Heterodonta)、ザルガイ科 (Family Cardiidae) に属する大型二枚貝である。殻の形は円形に近く、殻長、殻高ともに 8~9 cm になる。殻は薄くて壊れやすい。殻頂付近には紅斑があるが、ほかは淡黄色。殻の表面に 40~50 本の溝があり、殻皮が毛のように密生している (図 I)。足は長く、紫黒色で、普段は貝殻の中に織りたたまれているが、ヒトデなどの外敵が近づくと、足を利用して飛び跳ねて逃げる。日本をはじめ、韓国、中国の沿岸域に広く分布する。日本では北海道を除く各地の内湾、内海の 10~30 m の砂泥質に多く生息している。本種は比較的大型な二枚貝で、特に東京湾、三河湾、宮津湾、舞鶴湾、栗田湾、大阪湾、七尾湾、瀬戸内海沿岸海域、周防灘海域、長崎沿岸、博多湾では漁獲対象資源として経済的価値が認められ、アサリ、バカガイと共に小型底びき網漁業の重要種となっている (田 1992)。

トリガイという名前は、食用とする足の部分が鳥のくちばしのような形状をしていることに由来する。また食味が鶏肉に似ているためとする説もある。殻の形は円形に近く、殻長、殻高ともに 8~9 cm になる。内湾の 10~30 m くらいの泥底に生息する。殻は薄くて壊れやすい。殻頂付近には紅斑があるが、ほかは淡黄色。殻の表面に 40~50 本の溝があり、殻皮が毛のように密生している。足は長く、紫黒色で、普段は貝殻の中に織りたたまれているが、ヒトデなどの外敵が近づくと、足を利用して飛び跳ねて逃げる (田 1992 ; 奥谷・鈴木 2001)。

主にトリガイは寿司だねとして欠かせない高級貝の一種で寿司の材料として利用され、塩屋ら (2003) によれば、東京湾のトリガイは明治時代から貝類漁業の対象として漁業者に利用され、茹で剥き身加工が盛んになった。比較的高価な二枚貝であるが、供給 (産地) 価格が不安定である。これは、時として大発生を起したり、貧酸素などで大量死することがあり、年々の漁獲量変動が激しく、量的変動が激しいことが要因となっている (田 1992 ; 香川ら 2020)。

トリガイは、黒の色素が落ちやすく鮮度保持が難しいことから、貝類の中では例外的に、産地で殻むきされ湯通ししたものがプラスチックケースに並べられて冷蔵や冷凍したものが流通している。中国や韓国からの冷凍品の輸入も多い（富田ら 2005）。また、水産物輸送技術の向上により、近年殻つきの活けの状態でも流通することもあり、しなやかな舌触りとしこしこした歯ごたえ、上品な甘みを味わうことができることから、生鮮とは違った格別の味で高い評価を得ている。

トリガイは刺身で食したり、寿司だねとしても欠かせない高級貝の一種である。しなやかな歯ざわりとしこしこした歯ごたえが特徴で、さっぱりしたしながらも芳醇な甘みがある。「オハグロ」と呼ばれる斧足部分が食用となる。これを二等辺三角形に切り開いたものを湯通しし、刺身や寿司だねに使用する。足の黒い部分が取れやすいため、まな板を使わず、ガラス板の上で開く。酢の物や酢味噌和えにしてもよく、炙ったり、バター焼きにして食べることもある。

トリガイ主要産地の状況

（伊勢湾・三河湾）

田（1992）、船越ら（1997）や香川ら（2020）によれば、日本で最も漁獲量が多い産地は、愛知県（主に三河湾・伊勢湾）であり、多い年には 9,000 トンの漁獲量があり、近年でも 100～700 トンのレベルで漁獲されている。三河湾では秋季発生群と春季発生群の 2 つの発生群が存在すること、大発生した 1980 年や 1994 年生まれや、比較的発生量が多かったと推定される 1995 年生まれが、いずれも春季発生群だった可能性がある（船越ら 1997）としている。2000 年から、愛知県水産試験場が、トリガイ漁場形成機構調査として、トリガイ浮遊幼生調査、漁場におけるトリガイ稚貝の成長と生残調査を実施している（愛知県水産試験場 2001～2014）。この調査の目的は、漁獲量の経年変動が大きく、この好不漁が漁家経営に及ぼす影響は大きいこと、本種資源の増大と安定化を図るために漁場造成機構を明らかにする必要があるが、その基礎的な知見となる幼生の動態、稚貝の着底場所やその後の生残、成長等の基礎的生態を明らかにする必要があるためであった。調査の結果、三河湾における春季の資源形成には、湾内の貧酸素水塊が解消する秋季の豊富な産卵量が資

源形成の重要な要因の一つであり、その秋季の豊富な産卵量を確保するためには、親貝資源の存在やその保護が必要と報告された。

（瀬戸内海西部）

山口県（瀬戸内海沿岸）では、1963年に約5,000トンの漁獲が見られたが、1960年代の半ばに崩壊し、2000年以降は数トンレベルに減少し、2007年以降は1日数個レベル（一人あたりの漁獲）のため、他の漁獲物と混ぜられて出荷され、トリガイの漁獲量が把握できていない。同じく瀬戸内海沿岸を漁場とする広島県では山口県とほぼ同じ傾向を示し、1961年に5,000トン近く漁獲量が見られたが、1960年代半ばに崩壊し、その後回復したものの、ほとんどの年には、100トンに満たず、特に近年では10トンにも達しない状態が続いている。2000年以降は全国的に漁獲量が減少傾向にあるが、特に瀬戸内海の漁獲量の減少が著しい（香川ら2020）。

瀬戸内海の山口県海域では、トリガイの生物学的知見や資源生態的知見について研究がなされた。井上（1955a, b）により、山口県の瀬戸内海周防灘におけるトリガイの生態（成長、産卵期等）が報告されている。それによれば、トリガイ貝殻の輪紋形成時期は4月から1月の年1回である。これは水温および産卵等の影響による障害輪と考えられる。殻長は満1年、2年および3年以上でそれぞれ69, 85 mm およびそれ以上で、産卵期は2月～6月、8月～11月の春秋2期で、盛期は4月～5月、9月～10月である。雌雄同体で、満1年で産卵し、生物学的最小形は殻長38 mm 程度と考えられている。また、山口県では、2002年から、山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究を行っている。これは当該海域が、貝けた網が終了する4月頃、小型トリガイが多数見られるものの、11月以降の貝けた網漁期には漁獲されないという問題があった。当該海域の漁業者の要望に基づき、資源の合理的な利用方法を明らかにする目的で実施した。資源の主体は秋期発生群で、1月に殻長10～30 mm で出現し、3, 4月に数を増して資源を形成した。1998年7月の資源量は166トン、1999年5月の資源量は77トンと推定。秋期発生群は殻長70 mm 台に達するが、7月あるいは8月から漸減して10月までに死滅した。春期発生群は9月に殻長20～30 mm 台が少数出現したが、12月までに死滅した。肥満度は1月～5月の間は高く、6月～11月の間は低い。また、水温29°Cまで

はほとんど斃死が見られなかった。秋季発生群の一部の個体で3月～6月に生殖腺が発達したが、その他の個体は8月以降死亡するまでの間、生殖腺はほとんど発達せず、再生産をしなかった。死亡原因としては成熟期の栄養失調が最も疑われ、餌料からの検討が必要としている（檜山 2002；木村・檜山 2002；木村・高見 2002；松野・木村 2002；馬場ら 2002；木村ら 2002）。

（東京湾）

東京湾も伊勢湾・三河湾・瀬戸内海同様に産地として有名で、東京湾を漁場とする神奈川県と千葉県では漁獲量がそれぞれおよそ0～240トン及び0.7～4,000トンの範囲で変動している。

東京湾では、田・清水（1997）が東京湾のトリガイ漁業と漁獲量の変動を明らかにし、トリガイの生物学的特性を解明し、得られた知見を基に、資源の構造及び資源の動態の定量解析を行った。東京湾のトリガイは主に神奈川県横浜漁協芝支所と千葉県富津漁協で漁獲されている。東京湾では4月から産卵し、満1歳で殻長がおよそ60mmになる。また芝支所では漁期が4月～8月であるため、ちょうど満1歳で資源に加入し、漁獲の対象になっている。漁獲物の殻長組成から1歳未満および2歳以上の割合は非常に小さく、東京湾のトリガイの資源は1歳群が多くを占める。近年極端な不漁が続いており、1990年以降東京湾（神奈川県）では資源が崩壊に瀕し、2000年以降も低迷した状態が続いている（田・清水 1997；香川ら 2020）。

（京都府）

全国的にも評価が高いトリガイとして、「丹後トリガイ」が有名である。

宮津湾と舞鶴湾及び栗田湾を漁場とする京都府では漁獲量が1970年までは0～200トンの範囲で変動していたが、近年は0～50トンの範囲となっている。京都府の内湾（宮津湾・舞鶴湾・栗田湾）で漁獲されるトリガイは殻長8～10cmで、可食部の重量が約20～40gあり、他の海域で漁獲されるトリガイに比べ大きい特徴がある。しかしその漁獲量は、0～200トンと変動が大きく、不安定である。そこで資源の安定増大を目指し、京都府海洋センターでは、1976年からトリガイの種苗生産、放流技術確立及び海面での養殖技術の開発のための試験研究に取り組み、1988年以降1mmサイズ種苗を100万個以上生産できるまでの種苗生産技術の向上が見られた。

この人工的に生産された稚貝を用いて養殖技術の開発研究が進められた結果、現在事業規模でトリガイ養殖を実施し、「丹後トリガイ」として全国に出荷している。京都府農林水産技術センター海洋センターホームページで説明されているトリガイ養殖は、毎年7月頃に約1 cm サイズの稚貝を用いて養殖を開始し、翌年6月～7月に8～9 cm サイズで出荷する1年サイクルの養殖である（京都府農林水産技術センター海洋センターホームページ：<http://pref.kyoto.jp/kaiyo/torigaiyousyoku.html>, 2017年1月15日）。

香川県のトリガイ漁業と流通販売状況

香川県におけるトリガイの主要な産地は、西部に位置する燧灘海域であり、燧灘で操業する小型底びき網の重要な漁獲対象種であるが、漁獲量の不安定なことに加えて、近年は漁獲量が低迷した状態が続いている。当海域で操業する地元漁業者によれば、「毎年トリガイの稚貝が発生し、小型底びき網に混獲されているが、夏季に多くのトリガイが斃死し、生き残ったトリガイも貝殻の破損がよく見られ、出荷サイズまでに成長するトリガイは少ない。」と問題が指摘され、順調に成長しない原因の解明が求められていた。当海域のトリガイの不漁の原因は、環境、不合理漁獲、食害等の原因が考えられるが、残念ながら現在まで貧酸素水塊の発生による大量斃死した報告以外に見当たらない（真鍋 1978；矢野 1977）。当海域のトリガイの生態はもとより、漁獲の実態や漁獲量の変動状況についても把握されていない現状である。

燧灘海域は瀬戸内海の中央部に位置し（図Ⅱ）、小型底びき網、小型定置網、瀬戸内海機船船びき網、刺し網等の漁業が営まれている。一方、川之江・伊予三島市（現在の四国中央市）や新居浜市の工業地帯に面し、この水域は戦後の高度成長期には製紙排水等による水質汚染による赤潮の発生や貧酸素水塊の発生による水産被害が頻発した海域でもある（香川県漁業史編さん協議会 1994；矢野 1977；真鍋 1978）。現在でも夏季には貧酸素水塊の発生が見られている（安部ら 2000）。

燧灘海域で操業する香川県の漁業者（観音寺市と三豊市の漁業者（燧灘海域で操業する漁業者と一部備讃瀬戸海域で操業する漁業者も含む））の2009年の漁獲量

14,242 トンの内訳は、カタクチイワシが 11,307 トンと最も多く、カレイ類 89 トン、エビ類が 214 トン、イカ類 101 トン、タコ類 137 トン、貝類 42 トンであった。貝類の内訳は、アワビ、サザエ、アサリ類併せて 1 トン、その他の貝類 41 トンであった。その他の貝類のうちトリガイが 41 トンと大部分を占めていた（中四国農政局香川農政事務所 2011）。地元観音寺市では、豊富な漁獲量を基盤とした水産加工業も盛んで、かまぼこなどの練り製品、カタクチイワシを原料とした煮干し、小型エビ類を原料としたエビせんべい、干しエビ等が製造されている。またシャコやトリガイも 1990 年代までは、豊富な漁獲量に支えられ漁業者が自ら加工行なうなど全国有数の産地であった。そのためトリガイの郷土料理として、剥き身にして鍋料理にしたり、トリガイ飯やちらしすしの具にしていた。またヒモの部分も鮮魚店に並ぶことがあり、軽くゆがいて、てんぷらや分葱和えなどにした。これらはよく居酒屋の突き出しにも使われていた（香川県漁業史編さん協議会 1994）。しかし、2000 年以降資源が縮小し、漁獲量も低迷していることから、地元の加工業者も減少し、地元の鮮魚店で目にする機会も激減し、料理される機会も大きく減少した。

トリガイの漁業実態について、観音寺市内にある観音寺漁業協同組合、伊吹漁業協同組合、西かがわ漁業協同組合に所属する小型底びき網漁業者から聞き取りを行った（2016 年 4 月～2017 年 3 月）。トリガイ漁獲量は、2006 年までは香川県農林水産統計年報、それ以降は水産課が調査した漁獲量から集計したものと、観音寺・伊吹漁業協同組合の漁業種別魚種別漁獲統計表から集計したものを利用した。流通の実態について、観音寺漁業協同組合・伊吹漁業協同組合の魚市場の職員、観音寺市内のトリガイの加工業者から聞き取りを行った（2016 年 4 月～2017 年 3 月）。また現在トリガイの加工はやっていないが、以前トリガイの加工を手掛けていた小型底びき網漁業者からも聞き取りを行った（2016 年 4 月～2017 年 3 月）。これらから次のことが判明した。

関係する漁業協同組合 現在燧灘（原則的に燧灘東部海域、つまり香川県海面と一部入会い操業が可能な愛媛県・広島県海面の範囲）でトリガイ漁業を行っているのは、西詫間漁協・観音寺漁協・伊吹漁協と西かがわ漁協に所属する小型底びき網漁業者である。しかし、西詫間漁協は、トリガイを目的に操業する漁業者が少なく、

大半は西かがわ漁協，観音寺漁協と伊吹漁協である。かつては，観音寺漁協の漁業者の多くが，トリガイやシャコ等を漁獲後自宅に持ち帰り，むき身に加工して販売する所謂“自家加工”を営み，トリガイは重要な漁獲対象種となっていた。

漁場 観音寺地先におけるトリガイ漁場を図Ⅲに示した。漁場はほぼ水深 10~25 m の燧灘東部海域のほぼ全域にわたり，海底は泥～砂泥質である。特に大量に漁獲される場所として，水深 20 m 以深の海域で伊吹島と観音寺の中央部，伊吹島の周辺部などが示されたが，この場所は夏季に貧酸素が進行しやすい海域でもあり，年によって全滅することもあるとのことであった（図Ⅲ）。

漁具と漁法 燧灘海域は，小型底びき網の戦車こぎ網（地方名称，桁を有する漁具）と貝けた網（地方名称，桁を有する漁具）が 12 月～3 月の間操業され，えびこぎ網（地方名称，ビームを有する漁具）が 4 月から 11 月の間操業される。漁業者はこの戦車こぎ網とえびこぎ網を組み合わせる周年小型底びき網漁業を営んでいる。最近では戦車こぎ網とえびこぎ網の組み合わせが多く，その両漁具の概略を図Ⅳに示した。戦車こぎ網の網口の幅は 300 cm で，つめが 60 本あって，爪の長さは約 27 cm である。袋網の目合いは，10 節（網目の目合い約 3.3 cm）を使用することが多い。1 隻の漁船は，1 個の戦車漕ぎの漁具を装備する。えびこぎ網の鉄製のビームの長さ 7.5 m である。袋網の目合いは，目的の魚種によって異なるが，多くは 10~12 節であった（図Ⅳ）。

現在観音寺漁協では，約 30 隻程度の漁船が小型底びき網に従事しており，伊吹漁協では，冬季には約 40 隻，夏季には約 20 隻の漁船が小型底びき網に従事している。漁船はすべて 5 トン未満で，普通 1~2 人乗りである。操業時刻は，季節により異なり，冬季（戦車こぎ網）は日の出から始まり，夕方 5 時には終了する。春から秋季（えびこぎ網）は，夜中の 12 時～3 時頃から始まり，昼 1~3 時ごろに終了する。1 回の曳網時間は概ね 30 分～1 時間ぐらいで，1 日 10 回前後曳網する。曳網の間に船上に広げた漁獲物を選別し，ごみや混獲物は直ちに海上に投棄する。

漁期 トリガイの漁期は，主に商品サイズ（大体殻長が 6 cm 以上が目安）に成長した冬～春の期間に爪のついた漁具（第 3 種）で漁獲する。また 4 月以降でも商品サイズのトリガイが漁場に多量に生息する時は，トリガイを主目的とした漁法に転換

し、集中的にトリガイを漁獲することもあったが、近年は少ない（表 I）。このことと「毎年トリガイの稚貝が発生し、小型底びき網に混獲されているが、夏季に多くのトリガイが斃死し、生き残ったトリガイも貝殻の破損がよく見られ、出荷サイズまでに成長するトリガイは少ない。」との問題が指摘され、順調に成長しない原因の解明が求められていることが、研究を始めるきっかけとなった（図 V）。

漁獲量の経年変化 香川県におけるトリガイの漁獲量は、1976 年の 3,600 トンが最大で、1970 年代まで 1,000 トンを超える漁獲をしていたが、1980 年代には 1982 年、1987 年の 2 か年が 100 トンを超える漁獲量となったが、その他の年は 50 トン以下となった。1990 年代は 100 トンを超える年はなく、2000 年代には 2000 年、2008 年に 200 トンを超える漁獲量となったが、その他は 100 トン未満であった。2015 年以降は 10 トン未満のレベルで推移している（図 VI）。また香川県内のトリガイ漁獲量の大半は燧灘で操業する観音寺漁協と伊吹漁協が占めており、燧灘での漁獲が香川県の漁獲変動を反映している。

漁獲量の経月変化 1999 年～2002 年と 2014 年～2017 年の観音寺漁協の月別の漁獲量変化を表 I に示した。1999 年～2002 年の 10 トン～100 トンレベルの漁獲量があった時期と、2014 年～2017 年の 10 トン未満の漁獲量となり低迷している時期の月別漁獲量を比較したところ、どちらも 1 トンを超える漁獲量を示す月は、1 月～3 月の冬季に見られるが、1999 年～2002 年には、5 月から 9 月の夏季に 1 トンを超えるような漁獲がたびたび見られている。このように夏季に漁獲できていないことが漁獲が低迷している近年の特徴であった。

加工・流通 トリガイは、足の部分の黒の色素が落ちやすく鮮度保持が難しいことから、貝類の中では例外的に、産地で殻むきされ湯通ししたものがプラスチックケースに並べられて冷蔵や冷凍したものが流通している。燧灘でトリガイが豊富に漁獲されていた 1990 年以前には、観音寺市内にトリガイ加工の専門業者数軒に加えて、観音寺漁協の小型底びき網漁業者約 20 名と西かがわ漁協 1 名がトリガイの加工を行っていた。この漁業者が行う加工(自家加工)は、トリガイを漁獲した後、自宅の作業小屋へ持ち帰り、家族で加工を行うもので、自宅の加工場で貝殻を割って軟体部を取出し、軟体部を切り開き、可食部のみにしたものを湯で短時間ボイルし、プラ

スチックケースに並べて出荷した。

このトリガイの加工は、1966年（昭和44年）頃から始まった。その様子は、昭和44年度香川県青壮年部・婦人部実績発表大会において、観音寺漁協青年部がトリガイの自家加工について報告している。当時観音寺漁業協同組合には、小型底びき網が約120隻操業し、漁期にはトリガイこぎ漁業（貝桁網漁業）を行い、殻付きのまま他県の加工業者に出荷していた。トリガイ漁業は、豊凶差が激しいこと、価格が不安定な問題があり、解決策として漁業者が加工して出荷すると利益が向上すると考えられた。そこで1964年に2軒の漁業者が試験的に加工に取り組んだ結果、加工・販売共に順調だったことから、加工する漁業者が増加した。その後観音寺市で漁獲されるトリガイはすべて地元でいったん加工されて全国へ出荷されるようになった。

観音寺市内の市場や加工業者からの聞取りによれば（2016年4月～2017年3月）、漁獲量が多かった時代は、地元の魚屋（仕出し屋）、飲食店への出荷はごく一部にとどまり、加工されたトリガイの大半は、京阪神や東京方面に出荷されていた。

漁獲量が激減した現在、漁獲されたトリガイは、漁業者が加工することなく地元の産地市場に殻つきや殻を剥いた状態で出荷され、購入した地元の加工業者が直ちに加工している。聞取りを行った加工業者は、地元の仕出し屋・飲食店の注文に応じて出荷し、それ以外は京阪神に出荷するとのことであった。地元の産地市場職員も、単価が高いために、地元の鮮魚店やスーパーマーケットに流通する量は少量とのことであった。

トリガイのコンパクト養殖の必要性

香川県の基幹漁業である小型底びき網漁業は、漁獲量の減少や単価の低迷から漁業収入が減少し、漁業者の高齢化や減少が著しい（中国四国農政局香川統計情報事務所1999）。当該漁業の特徴として、多量の混獲物を海上で投棄することから、未利用資源の有効活用が必要と言われている（石谷・江藤2009）。また、漁業者の高齢化・減少から低利用になっている漁村インフラの有効活用や高齢化した漁業者や女性による就業対策も必要となっている（土屋ら2016；後藤2018）。

このような課題は、瀬戸内海の中央部に位置する燧灘海域においても深刻な問題

となっている。燧灘海域で操業する観音寺市（一部三豊市）に住所を有する漁業者は市内の漁港を基地として小型底びき網（165人）、小型定置網（50人）、瀬戸内海機船船曳網（23人）、サワラ流しさし網（52人）等各種の漁業を営んでおり、その中でも特に小型底びき網が盛んな海域となっている（香川県 2003）。特に、燧灘海域では、香川県におけるトリガイの主要な産地でもあり、小型底びき網漁業の重要な資源である。全国有数の産地であったが、近年は漁獲量が低迷している（中国四国農政局香川統計情報事務所 2001）。この漁獲量の低迷が加工や流通にも影響を与えており、かつては漁獲したトリガイをむき身にする加工業者も多く、漁業者自らむき身加工する者も20人以上いたほどの全国有数のトリガイ産地であったが、漁獲量の激減により加工業者も数軒となり、持ち帰ったトリガイを加工する漁業者もいなくなった。

当海域で操業する漁業者から、「小型底びき網には、毎年2月～3月頃からトリガイの小さな貝が多数入網するが、出荷サイズに成長するトリガイは少ない。」と問題が指摘され、順調に成長しない原因の解明が求められていた。しかし現在まで、燧灘のトリガイの成長停滞やへい死と海洋環境との関連やトリガイの資源生態の特徴を解明するための調査がされていない。また、多量の混獲物を沖合いで投棄することが小型底びき網の課題の一つであり、本研究の対象とするトリガイについても混獲物として海上で投棄している小型のトリガイ（以下、混獲トリガイと称する）の実態が不明なままである。そこで本研究では、混獲トリガイの実態を把握し、その混獲トリガイの有効活用策として、投棄している混獲トリガイを漁業者自ら持ち帰り、これを用いて養殖を行い、未利用資源の活用ができないか検討を行うこととした。また、小型底びき網の副業として収益向上に資するために初期投資の軽減や本業に支障が出ない養殖の可能性についても検討し、現在は使われていない漁業者の漁業資材を転用して経費を安くすること、養殖の準備や管理作業に家族の高齢者や女性を巻き込んだ副業的な養殖（以下、コンパクト養殖と称する）をすることを考えた。

また、当該地域も全国的な傾向と同様に漁業者の高齢化や減少により、漁村インフラの遊休化が課題となっている。当該地域の基地港の一つである観音寺市室本港

は、昔は米の積出港として栄えたが、近年貨物船は姿を消し、漁船とプレジャーボートのみが係留されている。2013年には34隻の漁船が係留されていたが、2018年には16隻と半減し、プレジャーボートも79隻から72隻と減少傾向にあり、係留に使用している奥の船溜まり以外の約65,000m²の港域は未利用状態である（観音寺市建設課から聞き取り（2016年4月～2017年3月）。このような漁船の大幅な減少により、港内の遊休化が進行していることから、港内の船舶の通行の障害とならない静穏域を養殖場として使用することは、漁港の有効活用になると考えられる（図VII）。水産庁も、漁港の有効活用のため漁港施設に関する利用規制の緩和を推し進めており、特に養殖業の活用等を推進している（水産庁2019）。

瀬戸内海の小規模な漁船漁業（小型底びき網漁業）を営む漁業者が将来にわたって安定した漁獲量や水揚げ金額を維持する方策の一つとして、未利用資源の混獲物を種苗に用い、現在使われていない漁業者の漁業資材を転用して、低利用な漁港やその周縁の安全な場所で高齢者や女性による副業的なコンパクト養殖が有効であると本研究で明らかにしたい。

そこで本研究では、序論において、近年漁獲量が低迷した状態が継続している燧灘におけるトリガイ漁業の実態及び漁獲量の経時的変化を明らかにし、また低迷した漁獲量が流通に及ぼした影響についても明らかにすることを目的に調査を行った。本論では、混獲トリガイが、小型底びき網の混獲物として多量に投棄されている実態や、混獲トリガイの破損状態や生存との関連を明らかにする。その混獲トリガイを養殖種苗として使い、初期投資を最低に抑えるために現在は使っていない漁業者の漁業資材を用いるなど工夫をし、瀬戸内海に多く存在する低利用な漁港の活用策として港内の静穏域やその周縁の安全な場所で小型底びき網漁業者だけでなく、家族の高齢者や女性も巻き込んだ副業的な養殖（コンパクト養殖）が可能か、燧灘海域で操業する小型底びき網漁船に乗船した調査、香川県水産試験場でコンパクト養殖の予備試験や低利用漁港である観音寺市室本港での養殖実証試験を行った（図II）。

本論

第1章

トリガイの混獲と投棄

緒言

混獲トリガイの未利用資源を種苗として使うコンパクト養殖を継続的に実施するためには、種苗供給量の把握、すなわち沖合で投棄されているトリガイの量などの実態把握が必要となる。また、トリガイの殻は薄く破損しやすいことから（田1992）、種苗として使用できるトリガイを船上で判別する方法を明らかにしておかねばならない。そこで、本研究は、近年不漁が続く燧灘のトリガイの漁業実態、特に混獲物として多量に投棄されている実態を明らかにするために、小型底びき網漁における混獲トリガイと貝殻破損の実態を船上で調査した。

材料と方法

燧灘海域で操業する観音寺市内の小型底びき網漁船に2016年1月～2017年12月にかけて、原則月1回乗船した。操業は、燧灘東部海域の操業可能な広範囲に及んだ（図II）。本調査では、通常なら投棄されるトリガイを含め、漁獲されたすべての個体の殻長をノギスで0.1 mmまで計測した。また、2016年5月からは、殻の破損度を判別した。1曳網当たりの漁獲数は測定した総トリガイ数を曳網回数で除した個数とした。

燧灘海域で操業する小型底びき網漁は、漁業許可の関係から12月～3月の間は桁を有する網具である手繰第3種漁業の戦車こぎ網が使われ、4月～11月の間はビームを有する網具である手繰第2種漁業のえびこぎ網が使われる。操業方法は、1日7～10回、漁具を海底まで沈めた後に、約30～60分間曳網する。選別に要する時間は毎回20～60分で、トリガイは選別終了まで空気中に暴露された状態であり、出荷

される貝は選別終了後に漁船の活間に収容される。

また、殻の破損状況を肉眼で観察し、次の4つに分類した(図1-1)。

破損度0：どちらの殻にも破損が無いもの。

破損度1：どちらかの殻に明瞭なひび割れがあるが、両側の殻ともに欠損はない。

破損度2：両側の殻もしくはどちらかの殻に欠損がある。ただし、どちらの殻にも面積比で殻全体の1割以上の欠損はない。

破損度3：両側の殻もしくはどちらかの殻に面積比で殻全体の1割以上の欠損がある。

結果

乗船した小型底びき網の漁法に関係なく、毎回トリガイが漁獲され、特に3月～9月の間の漁獲数は多かった。1曳網当たりの漁獲数は、2016年1月に4.0個体、2月に12.2個体と少量であったが、3月に99.4個体と増加し、5月～8月の間は、57.5～243.0個体で推移し、9月以降は3.6～17.3個体に減少した。翌年も前年同様に1月～3月の間は2.0～9.9個体であったが、4月には115.8個体に増加し、6月～9月の間は76.0～117.5個体で推移し、10月以降は15.7～43.0個体に減少した(表1-1)。また、漁獲されたトリガイのうち、商品サイズ以下のもの(59 mm以下)は選別後海上で投棄されるが、2016年3月～12月と翌2017年4月～10月には、ほぼ9割以上が投棄され、1年を通して投棄されるトリガイが多いことが判明した(表1-1)。

漁獲されたトリガイの殻長の推移を図1-2に示した。殻長60 mm以上が商品となるサイズである。2016年1月には、殻長60 mm以上の個体が半数を占めていた。2月から20～40 mmの小型個体が見られ始め、3月～5月の間は20～40 mmがモードとなり、6月には40～60 mmに成長している様子がわかる。しかし7月以降になっても40～60 mmのモードは動かず、60～80 mmに成長する個体は少なかった。翌2017年1月～3月の間は、60 mmを超える個体が多かった。しかし、4月には大型個体は見えなくなり、20～40 mmにモードが見られた。7月までにはそのサイズが成長し40～60 mmにモードが移行した。7月以降にも60 mm以上となる個体は

わずかであった（図 1-2）。

混獲トリガイの破損の状況を表 1-2 に示した。投棄される個体のうち、破損の無いもの（破損度 0）の割合は、2016 年 5 月は 48.7%，6 月は 47.6%であったが、7 月、8 月、10 月は 60%を超え（表 1-2）、11 月には 36.3%に低下した。えびこぎ網の期間はほぼ 50%以上であった。12 月～3 月の間は、漁具が戦車こぎ網となり、漁獲数も減少したこともあり低い割合となった。4 月からは漁具が再びえびこぎ網となり、漁獲数が増加し、破損度 0 の個体は、11 月 32.0%を除き高い割合で推移した。そして、12 月には戦車こぎ網となり、39.3%と低くなった（表 1-2）。

漁具別に破損度の内訳をみると、2016 年 5 月～2017 年 12 月の総計では、えびこぎ網で、破損度 0 が 56.9%，破損度 1 が 7.6%，破損度 2 が 14.0%，破損度 3 が 21.5%だった。これに対し、戦車こぎ網では、0 が 33.9%，1 が 3.6%，2 が 17.0%，3 が 45.5%であり、えびこぎ網よりトリガイを損傷させやすいことは明らかである。また漁獲加入直後 4 月～6 月のトリガイは特に殻が薄く、破損していない個体の割合が 40%台と低い。

考 察

燧灘で操業する小型底びき網漁で漁獲されるトリガイは、春季から夏季（概ね 3 月～9 月）の間、1 曳網当たり 5～200 個と多数漁獲されたが、商品サイズ未満のために 80～100%がそのまま投棄され、秋季から冬季（概ね 10 月～2 月）の間は、1 曳網当たりの投棄数は数個～50 個未満と大幅に減少した。商品サイズに成長したトリガイは重要な漁獲対象であり、すべて市場に出荷された（表 1-1）。同じ瀬戸内海の山口県大島郡日良居地先のトリガイでは、秋生まれ群と春生まれ群から構成されているが、春生まれ群は極めて少数なため資源的に秋生まれ群で構成されていること、1 月に殻長 20～30 mm で出現する秋生まれ群は、満 1 歳以降の秋以降の生残が悪く、生残率 0%になると報告（木村・檜山 2002；木村ら 2002）がある。燧灘海域のトリガイも山口県海域と同様に、2 月以降大量に漁獲加入してくる秋生まれ群と 7 月以降に新たに漁獲加入する春生まれ群で構成され、秋生まれ群が 6 月には殻長 40～60 mm に成長するが、それ以降順調な成長が見られないことや、9 月以降大幅に

漁獲数が減少することから、何らかの原因により秋生まれ群は斃死していると考えられた。また、7月以降に新たに漁獲加入する春生まれ群も多くは見られなかった。この秋生まれ群の生き残りとして、資源量の少ない春生まれ群のうち成長が速い個体が12月から3月の間には重要な漁獲対象であったと考えられる(図1-2)。本研究では、混獲トリガイを使った養殖を水温が25°C以下に低下する9月から開始するのが良いと考えているが、燧灘では、9月以降になると漁獲数は減少するものの1曳網当たり4~99個の投棄トリガイが漁獲されることから、以下にも言及するが、1日で36千個/調査地域の種苗が推計で確保でき、数量的には養殖種苗の確保に問題はないと考えられた。

また、混獲トリガイの破損状況を観察したところ、えびこぎ網の時期は、漁獲されたトリガイのうち破損のない個体(破損度0)の割合が概ね50%以上で、31~89%の範囲にあるが、戦車こぎ網の時期は、破損のない個体(破損度0)の割合が、概ね50%以下で、10~50%の範囲にあった。えびこぎ網に比べて、戦車こぎ網の漁具の方が、より破損する個体が多かった。また、破損の状況から、えびこぎ網では、破損度1が概ね10%以下、破損度2が概ね10~20%、破損度3が概ね10~30%と各破損度はほぼ平均していたが、戦車こぎ網では、破損度1が10%以下、破損度2が10~30%、破損度3が25~75%となり、破損度3の個体が多く、平均5割を占めていた。戦車こぎ網の方が、トリガイの破損度が高いことが分かった。

この殻の破損は、先行研究によると、戦車こぎ網と類似するウバガイ桁網(手繰第3種漁業の1種)による破損貝が生じる基本的な仕組みは、砂中を移動する桁網の爪に貝がぶつかることによって起こるものであり(梨本1985)、また同じウバガイを研究対象とした貝桁網で1日平均13%(5.5~48.9%)の破損貝が発生し、破損貝割合の変化と水温の関連性についても報告している(成田2018)。戦車こぎ網も、底泥中に潜在するカニ類や貝類等を掘り起こす目的で網口に鉄製の爪が付いており、この爪でトリガイを掘り起こす際に、貝殻を破損したと考えられた。京都府で行われるトリガイ桁網(爪のついた3種の底びき網の1種)で、操業期間中に漁獲したトリガイの総個数のうち、破損した貝の個数が35%を占めていたとの報告(内野ら1992)があるが、本試験の戦車こぎ網の破損貝割合66.1%と比べると破損する個体

が少ない。これは曳網時間が 10 分間と短時間であること（内野ら 1992）によると推察されるが、破損する仕組みは同じと考えられた。

一方、えびこぎ網によるトリガイなど二枚貝類の破損貝の報告事例は見当たらない。えびこぎ網は、鉄製の爪は無く、袋網の中でゴミとトリガイが攪拌されることで殻が損傷される。戦車こぎ網に比べ殻を損傷する個体が少ない結果から、種苗を確保する漁法として適していると考えられた。

第 2 章

混獲トリガイを種苗とする条件

緒 言

この未利用資源である混獲トリガイを種苗として使うコンパクト養殖を継続的に実施するため、トリガイの殻は薄く破損しやすいことから（田 1992）、種苗として使用できるトリガイを船上で判別する方法を明らかにしておかねばならない。そこで、本研究は、トリガイの貝殻破損状況と種苗性の関係を確認する実験を陸上水槽（短期飼育試験）と海面（長期飼育試験）で実施した。

材料と方法

破損度別短期飼育による生残試験

破損度別の短期生残率を確認するため、2016年10月～2017年9月に実施した混獲トリガイの実態調査（原則月1回）で漁獲したトリガイを使い、1～2日間の短期飼育後の生残について調査した。漁獲したトリガイは漁船の活け間に収容し、帰港後に現場海水 20 l を入れたビニール袋に1袋に100個未満となるようにして入れて保冷し、車で約90分間かけて運搬し、香川県水産試験場に運んだ。そして、ろ過海水をかけ流した100 l のパンライト水槽に収容し、1～2日間の短期飼育をしたトリガイの生死を、手で触れたときの殻の開閉状況で判断した。

破損度別長期飼育による生残試験

また、破損度別の長期生残率を確認するため、2017年4月16日に漁獲したトリガイから肉眼で破損が無い個体（破損度0）を選別し、香川県水産試験場にて予備飼育をした。小型底びき網漁業調査による漁獲では、短期生残率実験もあったことから、同じ母集団で破損度別に各30個そろえることが困難であったため、2017年4月16日から21日まで予備飼育をしたトリガイを手でコンクリートに押し付け、破損度1, 2, 3のトリガイを各30個作成した。ただし、破損度3については、殻の2

～3割程度までの欠損とし、それ以上に欠損した貝は使用しなかった。

そして、先行研究に基づき（岩尾ら 1991；西広 1997）、粒径 2～3 mm のアンストラサイトを 10 cm の厚さに敷き、カバーネットを装着した丸型カゴに入れて香川県水産試験場の地先に設置されている試験用筏にカゴを垂下し、2017年4月21日～8月10日の間蓄養した。

結 果

破損度別短期飼育による生残試験

混獲トリガイの短期間（1日あるいは2日間）の生残率は、破損度0の貝では11月と翌年2月～4月は90%を超えたが、10月と翌年6月～9月は、55.1～74.5%の範囲で推移した。破損度1の生残率は、2月と3月は100%と高かったが、その他の月は0～80%と大きく変動した。破損度2の生残率は、1月～3月は100%と高かったが、その他の月は、0～75%と大きく変動した。破損度3の生残率は、すべての月で50%を下回り、0～44.4%と低い傾向にあった（表2-1）。破損度ごとの実験期間の平均生残率で見ると、破損度0が76.3%、破損度1が59.3%、破損度2が60.0%、破損度3が18.4%と破損状況が生残に大きな影響を与えていることが判明した（表2-1）。また、1年を通して混獲トリガイ全体の平均生残率は、59.1%となった。さらに、6月～10月の間は、破損していない個体でも他の月に比べやや生残率が低い傾向が見られ、破損のない個体（破損度0）であっても短期間に死亡し、生残率の月変動が大きいことが判明した。また、破損度3のものは1年を通して生残率が低く、種苗として使えないことは明らかである。

破損度別長期飼育による生残試験

実験的に作った破損度0～3のトリガイを長期飼育したところ、破損度0の30個体は、開始した4月から1カ月後の5月に斃死は見られず、6月に1個体、7月1個体、8月1個体の斃死が見られたが、4カ月後の8月10日に27個生残しており、生残率90%であった。破損度1の個体は、1カ月後の5月に斃死個体は無く、6月に2個体斃死、7月に3個体斃死、8月に2個体斃死し、4カ月後に生残率77%となり、少し影響が見られた。一方、破損度2の個体は、1カ月後に6個体斃死し、生残率

80%となった。6月に斃死する個体は見られなかったが、7月に6個体斃死し、生残率60%、8月に6個体斃死し、生残率40%となった。破損度3の個体は、1カ月後に5個体斃死し、生残率83%、6月に9個体斃死し、生残率53%、7月に6個体斃死し、生残率33%、8月に2個体斃死し、生残率26%となった。破損度2, 3は、破損度0, 1に比べて、飼育開始から1~2カ月の短期間で破損の影響によって斃死する個体が多く、その後も斃死が継続し、生残率が大きく減少した(図2-1)。

考 察

短期飼育による季節や貝殻破損による混獲トリガイの生残への影響を見ると、戦車こぎ網で1月~3月に漁獲された破損度0~2(破損が無い個体と軽度な破損)の個体は、生残に影響が見られず、破損度3の個体は生残率20%未満と死亡する割合が高かった。えびこぎ網での6月~10月に漁獲された破損度0(破損していない個体)でも死亡する個体があり、生残率が50~75%で推移した。戦車こぎ網と同様に破損度3の個体の生残率は、0~41.2%と低い割合で推移した。漁法別で見ると、えびこぎ網の生残率は概ね50%、40.7~67.0%の範囲にあり、戦車こぎ網は、概ね40%、16.7~68.8%の範囲にあり、えびこぎ網の生残率が高い傾向にあった。また、破損度3の個体は、他の破損度の個体に比べ短期生残率は明らかに低い結果となった。

混獲問題は、資源管理のテーマの一つとして多くの研究が行われ、季節・漁具・魚体の損傷状態等により投棄後の生残状況が大きく影響すると言われている(藤石1995; 松宮1997; 岡本・反田1997)。さらに、トリガイ資源の減耗原因の一つとして、漁具による殻の破損が考えられるとの報告があるが(内野ら1992)、本研究でも破損している個体の生残率は低く、特に破損度3は、投棄後に0~40%しか生残しないことが明らかになった。また、殻の破損が少ないえびこぎ網の6月~10月の間でも、破損していない個体の生残率が50~75%しかなく、投棄後半数近くが死亡していることが推定された。これは夏季の小型底びき網の船上での経過時間と投棄魚の生残率が関連したと報告(平川・田中1997; 香川1997)されているように、本研究においても、選別中に船上で高温の空気に暴露されることが、混獲トリガイの

生残に影響していると推察された。

以上から、混獲トリガイの生残には、殻の損傷度合や季節が影響しており、殻が強く破損すると、明らかに生残率が低下すること、破損していない個体でも夏季には生残率が低い場合があることが明らかとなった。

また、長期間飼育した結果、飼育開始 1 カ月間で破損度 2 と 3 の個体が死亡し始め、飼育 4 カ月後には破損度 0 と 1 の個体が、8 割以上生残したが、破損度 2 と 3 の個体は、4 割以下の生残率となった。この破損度 0 と 1、2 と 3 の生残率の差は、殻の欠損の有無である。トリガイは、殻が欠損した状態で潜砂することができないため、殻の欠損は生存に影響を及ぼす（内野ら 1992）。このため、養殖用種苗には破損が無い個体とひび割れ程度の破損個体（破損度 0 か 1）を選択すべきであり、殻が欠損している個体は適さないと推察された。

燧灘海域で操業する小型底びき網漁業者は 165 人と多く、その操業のたびに混獲物として投棄される量は、莫大であると推察される。養殖の種苗を入手する 9 月には、1 曳網当たりのトリガイ漁獲個数は 52 個、平均 1 日 8 回曳網すると仮定すると、1 日 1 隻で 416 個を漁獲し、そのうち約 350 個（85%）を投棄していることになる。燧灘で操業する小型底びき網の総隻数で考えると、1 日に 57,750 個が投棄されると試算できる。また 9 月に混獲トリガイとして、投棄されるすべてのトリガイのうち種苗として使用可能なトリガイは、破損していないもの（破損度 0）か、ひび割れまでの状態のもの（破損度 1）が 62.8%となり、種苗として使用できるものは 1 日 1 隻あたり約 220 個程度と考えられる。燧灘で操業する小型底びき網全体では 1 日で約 3 万 6 千個の種苗を確保できる試算となる。

第3章

香川県沿岸におけるコンパクト養殖の可能性

緒言

香川県では、西部に位置する燧灘海域がトリガイの主要な産地であり、小型底びき網漁業の重要な資源であるが、近年は漁獲量が低迷している（中四国農政局香川統計情報事務所 2001）。当海域で操業する漁業者によれば、「小型底びき網には、毎年2月～3月頃からトリガイの小さな貝が多数入網するが投棄しており、出荷サイズ（おおむね殻長 60 mm 以上）に成長するトリガイは少ない。」という（西かがわ漁業協同組合副組合長私信）。そこで、混獲トリガイを養殖種苗として使って、漁業者自身が漁港内で養殖することができれば、資源・社会資本の有効活用につながり、小型底びき網漁業者の経営安定に資すると考えた。

トリガイ養殖については、すでに京都府舞鶴市や宮津市、石川県七尾湾において、県営種苗生産施設が生産したトリガイを用いて垂下養殖を行い、地域の特産品として販売しており、養殖技術が確立されている（西広 1997；濱上ら 2014）。

そこで、これらの先行事例を参考にしながら、養殖資材の初期投資を抑えるため、地域の漁業者が現有し余っている資材を利活用することを前提として、香川県沿岸で投棄されている混獲トリガイを種苗として使って養殖が可能か確認することを目的として試験を行った。

材料及び方法

本研究では3つの試験を香川県水産試験場（香川水試）で実施した（図 II）。小型底びき網漁で漁獲され、選別後に投棄される混獲トリガイを使ったコンパクト養殖の実績がないことから、まず、その混獲トリガイを飼育することが可能かどうかを確かめるための試験（試験 1）、経費を抑えた簡便な養殖方法を探るための試験（試験 2）、そして、養殖を開始する時期を確認する試験（試験 3）を行った。先進地のトリガイ養殖では、スリットや網目が入っていない 60 × 40 × 深さ 20 cm のプラス

チック製コンテナ（以下コンテナ）にアンストラサイトを敷いて、トリガイ種苗を入れ、それらを海中に垂下して行われている（京都府農林水産技術センター海洋センターホームページ：<http://pref.kyoto.jp/kaiyo/torigaiyousyoku.html>，2017年1月15日）。本研究でもそれに準じ、粒径2～3 mmのアンストラサイトを深さ10 cmに敷いた。ただし、容器はコンテナの代わりに漁業者が漁獲物の選別に使用している角型カゴとかつて養鰻業に使用するために多数保有し、今は使っていない丸型カゴの2タイプを使用した。角型カゴ（北海箆102300，三甲）は縦40×横30×高さ20 cmの大きさで、アンストラサイトが抜けないように、ハサミで展開した目合い2 mmのタマネギ袋を内側に縫い付けた（図3-1のaとcのカゴ）。丸型カゴ（養鰻箆402200，三甲）は直径45×高さ20 cmで2 mm幅のスリットがあり、アンストラサイトは抜け出ない（図3-1のbのカゴ）。

試験1 コンパクト養殖予備試験

用いたトリガイは、2014年9月26日に燧灘沿岸で操業する小型底びき網（地方名称：えびこぎ網，袋網目合い12節）に入網した個体で、本来なら投棄するサイズの24個体（平均殻長 $45.4 \pm$ 標準偏差6.2 mm，範囲35～59 mm）である。これらは40～50分間曳網の後に、船上で破損のない個体として選別したもので、漁船の活け間に収容して港に持ち帰った。翌27日にトリガイを25°Cの現場海水20 lとともにビニール袋に入れて、保冷剤を敷いたクーラーボックス（30 l）に移し、1.5時間かけて車で香川水試まで輸送した。輸送終了後のビニール袋の海水温は、21°Cであった。

香川水試は、瀬戸内海の中央部に位置する備讃瀬戸東部海域の屋島湾奥にあり（図II），その地先に設置されている試験用筏からカゴを垂下する方法で実験を行った。

アンストラサイトを敷いた角型カゴ1カゴに24個体のトリガイを入れ、カゴの上面を直接目合い2.5 cmのポリエチレン製漁網で覆い、筏の枠から水深2 mの位置に垂下した（図3-1のaのカゴ）。その後、毎月1回カゴを引き揚げ、生死を確認し、殻長と体重を測定した。試験期間中はカゴの清掃やアンストラサイトの洗浄は行わず、

測定後のトリガイはアンストラサイト上に並べ、再び垂下した。死亡したトリガイの殻は、殻長を測定後に取り除いた。試験期間は、2014年9月27日～2015年7月20日とした。養殖試験筏の表層水温は原則毎日1回、0.1°Cの精度で測定した。

試験2 コンパクト養殖の器材や方法

コンパクト養殖の基質としてアンストラサイトの他に安価な軽石が使えるかどうか、また、カバーネットの形状や容器であるカゴの形状の影響、さらに高密度で飼育することが可能かどうかを確認するために、2016年4月28日～2016年8月11日の間に香川水試で養殖試験を実施した（表3-1）。この期間は成長が早くなる水温上昇期なので、成長差が出やすい（岩尾ら1993）。

試験に用いたトリガイは、燧灘沿岸で操業する小型底びき網（地方名称：戦車こぎ網，袋網目合い10節）により2016年3月20日に漁獲されたのもので、本来なら投棄されるサイズの貝である（ 39.1 ± 6.5 mm，19.3～58.5 mm）。40～50分間曳網の後に、破損のない個体を選別して、漁船の活け間に収容し港に持ち帰り、コンパクト養殖予備試験と同様に翌日にトリガイを香川水試まで輸送した。袋内の水温は収容時12°C，取上時9°Cであった。実験に使用するまでの38日間は、同予備試験に使用した角型カゴにて蓄養した。

アンストラサイト以外の基質の可能性を探るため、角型カゴに粒径2～3 mmのアンストラサイトを敷いたもの1カゴと、粒径2～5 mmの軽石（ひゅうが軽石細粒，栄配送サービス）を敷いたもの1カゴを用意した（図3-1のa）。この軽石は、アンストラサイトと較べて同体積で価格が1/14と安価で、ホームセンター等で入手しやすい（2018年6月時点）。軽石は、アンストラサイトと同様に、深さ約10 cmになるように敷き、蓄養していたトリガイ22個体（ 42.6 ± 2.7 mm，収容密度1.6個体/100 cm²）を収容し試験を開始した（表3-1）。なお、軽石は空気を含み海水に浮くため、使用の前日からネットに入れた軽石を強制的に海水に沈めて空気を除去した後に使用した。

トリガイの逃亡や食害を防止するためのカバーネットの形状については、角型カゴの上面を目合い2.5 cmのポリエチレン製の漁網で平坦に覆ったもの1カゴ（以下、

平面区) (図 3-1 の a) と巾着型のカバーネット 1 カゴ (以下, 四角錘区) (図 3-1 の c) を比較した。四角錘区には, 角型カゴに香川水試で蓄養中のトリガイ 22 個体 (43.5 ± 5.7 mm, 1.6 個体/100 cm²) を収容して試験を開始した (表 3-1)。丸型カゴで平面のカバーネットを使用した場合には, 垂下のためのロープをバランスよく取り付ける加工が難しいため, 実用化は難しいと判断して最初から使用しなかった。

養殖カゴの形状について検討するために, 角型カゴと丸型カゴを 1 カゴずつ用意し, 成長を比較した。角型カゴにはトリガイ 22 個体 (43.5 ± 5.7 mm, 1.6 個体/100 cm²), 丸型カゴには 20 個体 (47.0 ± 3.5 mm, 1.3 個体/100 cm²) を収容した。角型カゴ, 丸型カゴとも, 目合い 2.5 cm のポリエチレン製漁網で巾着型のカバーネットを付けた (図 3-1 の b と c, 表 3-1)。

収容密度についての知見を得るために, 先行事例 (京都府農林水産技術センター海洋センターホームページ : <http://pref.kyoto.jp/kaiyo/torigai-qa-4.html>, 2017 年 1 月 15 日) に準じて, 1.6 個体/100 cm² 程度の収容密度とした低密度区と, 5.7 個体/100 cm² の収容密度とした高密度区を設定し, 角型カゴにアンスラサイトを敷き, 上面を平坦に覆う目合い 2.5 cm のカバーネットを装着し, トリガイ 69 個体を収容した (35.6 ± 5.0 mm) (表 3-1)。

以上のカゴは, 筏から水深 2 m の位置に垂下した。毎月 1 回カゴを取り上げ, 貝の生死を確認し, 殻長と体重の測定を行った。そして, 大畑ら (2015) のようにカゴの付着生物をタワシで落とし, 海水を入れてアンスラサイトや軽石の基質を攪拌し洗浄した。測定後のトリガイは基質の表面に並べ, 埋め戻しはしなかった。死亡していた個体は, 取り除いた。試験筏の表層水温は, 原則毎日 1 回, 0.1°C の精度で測定した。

8 月の取上げ時点での 2 試料のデータセット間の差の有意性については, 殻長は Mann-Whitney の *U* 検定で, 生残率についてはその時点までの生死の個体数を使い Fisher の正確確率検定によって判断した (小椋 2009)。

試験 3 コンパクト養殖開始時期

混獲トリガイを使った養殖を開始する適切な時期を確かめることを目的に, 2017

年6月から11月の間に毎月養殖カゴを準備し、飼育を開始した。養殖試験は海水温が25°Cを上回る2017年6月までとした。試験場所は、前の試験同様に香川水試の養殖筏に垂下し、養殖方法は前の試験2に準じた。試験に用いたトリガイは、前の試験同様に、燧灘沿岸で操業する小型底びき網(地方名称:えびこぎ網、袋目合い12節)により漁獲されたものを香川水試に輸送し、1週間以内の畜養後に養殖試験に供した。

香川水試の養殖筏の環境を把握する目的で、2017年1月から2017年12月の1年間毎月1回、多項目水質計(RINKO-Profiler JFEアドバンテック)を使用して、トリガイの養殖カゴを垂下した養殖筏の水温・塩分・溶存酸素濃度・クロロフィル a 濃度の鉛直プロファイル測定を行った。

結 果

試験1 コンパクト養殖予備試験

水産試験場地先の水温は、試験を開始した2014年9月27日に26°Cであったものが、2月には7°Cまで低下し、その後7月20日に25°Cまで上昇した(図3-2)。2014年9月27日に試験を開始し、翌月の10月30日までの1か月間で斃死する個体は無く初期生残率は100%であったことから混獲トリガイ飼育の可能性は十分であった。そこで次のステップである長期間飼育した場合の生存や成長を把握するための予備試験としてその後も飼育実験を行った。翌年の6月4日までに斃死したトリガイは3個体で、生残率は87.5%であったが、7月20日には1個体を除き全て斃死していたことから試験を終了した(図3-2)。

殻長は、試験を開始した2014年9月27日には平均45.4 mmで、10月30日には45.4 mm、11月21日には45.5 mmと成長が見られなかった。しかし、12月18日には49.3 mmに成長し、2015年3月17日には53.4 mmに達したが、その後は成長が滞った。体重は、9月27日に平均26.2 gであったが、11月21日には28.2 gになり、3月17日には43.4 gに増加した。その後5月1日、6月4日の測定では増加が見られず、7月20日には、殻長50 mm、体重27.2 gの1個体のみが生残し、それ以外は死亡していた(図3-3)。

試験2 コンパクト養殖の器材や方法

(1) 飼育基質

試験を開始した2016年4月28日の水温は、17°Cであったが、7月4日には25°Cを上回り、終了した8月11日には29°Cであった。

アンストラサイト区(表3-1のRcAF)と軽石区(同RcPF)の平均殻長は、実験開始時には、それぞれ37.7 mmと42.6 mmであったが、毎月増加し、実験を終了した8月11日にはそれぞれ56.1 mmと50.2 mmに成長した(図3-4)。開始時には、軽石区の方が4.9 mm大きかったが、5月に差がほぼなくなった。取上げ時の8月にはアンストラサイト区の方が3.9 mm大きく、両区の間には有意差が認められた(Mann-WhitneyのU検定, $P < 0.05$)。一方、アンストラサイト区と軽石区の生残率は、それぞれ、5月に86.4%と95.5%、6月に81.8%と85.7%、7月に45.5%と71.4%、8月に45.5%と57.1%で7月は軽石区の方が高いものの、8月になると両区の差は小さくなり、有意差も認められなかった(Fisherの正確確率検定, $P > 0.05$) (図3-5)。軽石は浮いて流失しやすいので、試験開始の前日にネットに入れて海水に浸漬させてから使用したが、カゴを揚げて再び垂下するたびに一部は浮上し、カゴ外に流出した。

(2) カバーネットの形状

平面区(表3-1のRcAF)と四角錘区(同RcAP)の平均殻長は開始時にはそれぞれ37.7 mm, 43.5 mmから毎月増加し、実験を終了した8月11日には56.1 mm, 52.0 mmと成長した(図3-4)。開始時は四角錘区の方が5.8 mm大きかったが、5月には差が小さくなった。8月には平面区の方が4.1 mm大きくなったが、両者の間に有意差は認められなかった(Mann-WhitneyのU検定, $P > 0.05$)。一方、平面区と四角錘区の生残率は6月にはそれぞれ81.8%, 86.4%、7月には45.5%, 68.2%であったものが、8月には45.5%, 45.5%と両区に差がなくなり、有意差も認められなかった(Fisherの正確確率検定, $P > 0.05$) (図3-5)。

(3) 養殖カゴの形状

角型カゴ区（表 3-1 の RcAP）と丸型カゴ区（同 RnAC）の平均殻長は、開始時にはそれぞれ 43.5 mm, 47.0 mm であったものが、毎月増加し、実験を終了した 8 月 11 日に 52.0 mm, 52.8 mm と成長した（図 3-4）。実験開始時に丸型カゴ区が 9.3 mm 大きかったが、6 月には差が小さくなった。8 月には角型カゴ区が 3.8 mm 大きくなったが、両区の間には有意差は認められなかった（Mann-Whitney の U 検定, $P > 0.05$ ）。また丸型カゴ区では 8 月に大型のトリガイが多く死亡したことにより、殻長の最大値が大きく低下し、最小値に大きな変化が見られなかった（図 3-5）。一方、生残率の推移は、4 月～6 月の間は差が見られなかったが、7 月から丸型カゴ区 60.0%, 角型カゴ区 68.2%と 8.2%の差が生じ、8 月には丸型カゴ区 30.0%, 角型カゴ区 45.5%と差が拡大したが、有意差は認められなかった（Fisher の正確確率検定, $P > 0.05$ ）（図 3-5）。

(4) 収容密度

低密度区（表 3-1 の RcAF）と高密度区（同 RcAF）の平均殻長は、開始時にはそれぞれ 37.7 mm, 35.6 mm から毎月増加し、実験を終了した 8 月 11 日には 56.1 mm, 44.1 mm と成長した（図 3-4）。開始時に低密度区が 2.1 mm 大きかったが、8 月に低密度区が 12.0 mm 大きくなりその差は拡大した。また両区の殻長の範囲は、開始時には 58%の重複があったが、成長速度の違いから差が広がり、8 月は 4%の重複となった。両区の 8 月の殻長には有意差が認められた（Mann-Whitney の U 検定, $P < 0.05$ ）。一方、低密度区と高密度区が生残率は、6 月には 81.8%, 86.2%と低下を始め、7 月には 45.5%, 64.6%, 8 月には 45.5%, 43.1%と両区とも大きく低下したが、有意差は認められなかった（Fisher の正確確率検定, $P > 0.05$ ）（図 3-5）。

試験 3 コンパクト養殖開始時期

養殖カゴを垂下した水深 2.0 m の水温は、6 月 9 日の 22.0°C、7 月 13 日 24.8°C、8 月 24 日 26.9°C と上昇し、9 月 19 日 26.1°C と下降し 10 月 4 日には 24.1°C と 25°C を下回る水温となった。その後は 12 月 6 日に 12.9°C まで低下した（図 3-6）。

同水深の塩分は、最低値 30.3 (9 月) から最大値 32.6 (6 月) の間で変動し、周年 30.3 以上の塩分値で推移していた (図 3-6)。同水深の溶存酸素濃度は、3 月に 10.46 mg/l と最高となり、9 月に 6.70 mg/l と最低を示したが、養殖に影響する月は見られなかった (図 3-6)。同水深のクロロフィル a 濃度は、1~7 月は 1~2 µg/l の数値で推移したが、8 月は 4.19 µg/l、9 月は 4.31 µg/l を示したが、10 月には 2.20 µg/l と減少し、12 月は 1.02 µg/l となった。(図 3-6)。

6 月 9 日に飼育を開始したトリガイは、8 月まで生残率 96% と順調であったが、9 月には生残率 16.9% とへい死が急に増加した。7 月 13 日に飼育を開始した貝は、8 月まで 97% と順調であったが、9 月に生残率 78.9% とへい死する個体が増加し、11 月に生残率 31.6% とへい死個体が増加した。8 月 24 日に飼育を開始した貝は、9 月に生残率 70% とへい死する個体が多く、10 月には生残率 54% と半減した。9 月 19 日に飼育を開始した貝は、11 月に生残率 68% 減少したが、その後は斃死する個体は少なかった。10 月 4 日飼育を開始した貝は、12 月に生残率 75% とややへい死個体が増加したが、その後へい死する個体は少なかった。11 月 7 日に飼育を開始した貝は、期間を通してへい死する個体が少なく、6 月に生残率 61.5% を示した (図 3-7)。

考 察

試験 1 で、2014 年 9 月に燧灘で操業する小型底びき網漁で投棄されているトリガイを角型カゴで飼育したところ、翌年 6 月まで約 90% が生存したことから (図 3-2)、投棄しているトリガイを養殖種苗に使うことや、飼育容器として、コンテナに代わり角型カゴを使うことは可能だと判断した。しかし、7 月 20 日までに 1 個体を残し全滅した (図 3-2)。試験 2 においても、すべての養殖カゴで 7 月から成長が停滞し、生残率も低下した (図 3-4, 図 3-5)。この時期の水温は約 25°C であり、松野・木村 (2002) が報告したトリガイが斃死する 29°C より低かった。また、トリガイは 50% 海水、すなわち塩分 17 程度の環境で生残に悪影響を受ける (谷本ら 2015) が、水産試験場地先に河川の流入はなく、大きな塩分低下はなかったと考えられる。25~27°C の高水温期に、1 ml/l 前後の溶存酸素量の低下が死亡に最も影響する (野上ら 1981) が、本実験中は同場所の小割生簀で飼育しているハマチ等の魚介類には変

化は見られず、大きな溶存酸素量の低下は認められなかった。水温と酸素消費量の関係については、25°Cを超えた水温の下ではトリガイの抵抗力が弱まり環境変化の影響を受けやすいこと（野上ら 1981）や、8月以降成長が停滞する原因としてトリガイの活力が低下する水温 25°Cを上回っている（岩尾ら 1993）ことが挙げられている。本試験でも同様に、7月以降の高水温により成長や生残に影響が出たと考える。夏場の大量斃死を防ぐ上で、1週間毎のこまめなコンテナ清掃作業や低密度飼育が有効との報告（大畑ら 2015）がある。香川県沿岸の環境条件から考えると、頻繁にカゴやカバーネットの清掃等のメンテナンス作業を行うことによって、7月中まで養殖を継続できる可能性がある。しかし、29°Cを超える高水温となる8月以降まで養殖期間を延伸することは難しいであろう。

試験 2 から、アンストラサイトと比べ成長に有意差があったことから基質として、アンストラサイトの代用として軽石を使うことはできないと判断するが、角型カゴだけでなく丸型カゴを使うことや、巾着型のカバーネットを採用することは問題無いと考える。現場では、平面のカバーネットは垂下に 2本のロープが必要で、カゴの揚げ降ろしをバランス良く行わねばならず、作業性が悪かった。また、カゴに巾着型のカバーネットを取り付ける場合、角型カゴより丸型カゴの方が製作が容易であった。これらのことから、丸型カゴに巾着型のカバーネットを取り付けて使う方法が良いと思われる。なお、京都府方式のコンテナでは、海中から船上や筏上へのコンテナ引上げ時の重量が 50kgにもなる（西広 1997）が、ここで提案する丸型カゴに巾着型カバーネット使う方法では、海面でカゴから水が抜けるのを待つことで、重量は 9~10kg（実測値）となるので、大幅な労力を軽減できる。

京都府沿岸の事例（岩尾ら 1993）と比較すると、試験 1 および試験 2 ともにトリガイの成長は遅かった。すなわち、宮津湾では7月の時点で平均殻長 86.2 mm に育っていたが、本試験 1 では平均殻長 53.4 mm と小さく、本試験 2 の8月時点で成長が最も良かった角型カゴでも平均殻長 56.1 mm と成長が劣る結果となった。このような差が出た原因として、垂下場所の餌（植物プランクトン）の量や養殖容器の清掃をこまめにしていないために海水の流動が妨げられて成長に影響したことが考えられた。餌の指標であるクロロフィル a は、季節や水深で変動することが知られて

おり（岩尾ら 1993），その濃度に対応して養殖容器の垂下する水深を変動させることにより成長をさせることが可能かもしれない。

以上から，当海域におけるトリガイ養殖は，海水が飼育容器から抜けるカゴを用いるなど漁業者が保有している資材を活用し，混獲トリガイを使って水温が 25°C を下回った 9 月下旬から開始し，翌年 7 月に水温が 25°C を超える時期までに取り上げるようにし，クロロフィル a 濃度が高い場所で，収容密度を低くして，特に水温上昇期に清掃などのメンテナンス作業を頻繁に行うようにしながら実施する必要がある。さらに養殖を事業化するに際しては，種苗の確保の見通しや，底びき網漁の片手間に実施することによる採算性について，検討する必要がある。これらについては，第 5 章で検討する。

第4章

低利用の漁港で実施する コンパクト養殖技術の開発

緒言

香川県の基幹漁業である小型底びき網漁業は、漁獲量の減少や単価の低迷から漁業収入が減少し、漁業者の高齢化や減少が著しい（中四国農政局香川統計情報事務所 1999）。当該漁業の特徴として、多量の混獲物を海上で投棄することから、未利用資源の有効活用が必要と言われている（石谷・江藤 2009）。また、漁業者の高齢化・減少から低利用になっている漁村インフラの有効活用や高齢化した漁業者や女性による就業対策も必要となっている（土屋ら 2016）。そこで、沖合いで投棄されている混獲トリガイを種苗として使い、現在は使っていない漁業者の漁業資材を用いて、低利用な漁港やその周縁の安全な場所で高齢者や女性による副業的な養殖（以下、コンパクト養殖と称する）をすることで、漁家の経営安定に資することができるのではないかと考えた。

京都府でのトリガイ養殖は、アンスラサイトを底質とし、プラスチック製コンテナに入れて上面を網フタでおおい、これを水深 6 m 前後の海中に垂下する方法で行われている（岩尾ら 1991）。餌は与えないが、日常的なメンテナンス作業として付着物による目詰まりを防ぐためにコンテナおよびフタの交換作業が必要である（西広 1997；大畑ら 2015）。こうした作業のためには、養殖コンテナを海中から筏や船上に頻繁に引き揚げねばならないが、約 50 kg の力が必要とされ、生産者にとっては大きな負担となっている（西広 1997）。この京都府で開発された養殖方法は、他の養殖産地でも行われている。しかし、養殖種苗として混獲物の稚貝の利用（天然採苗）やそのコスト計算、高齢者・女性の就業に対応した養殖であるかどうか検討した研究事例は現在までにない。

第 3 章では、京都府の養殖手法を参考にしながら、香川県内沿岸でコンパクト養殖が可能かどうかの実験を行ってきた。その結果、混獲トリガイが養殖種苗として使用できること、漁業者が以前に漁業で用いていた丸型カゴに、巾着型カバーネットを取付けて容器として使うことで作業を軽減できることが判明した。しかしながら、夏場の死亡個体が増えるため、水温が 25°C を下回る 9 月下旬から開始して翌年 7 月に水温が 25°C を超える時期の前に出荷しなければならず、そのうえ京都府の養殖トリガイと比べると成長も劣る。しかし、養殖容器を垂下する場所を餌となるクロロフィル a 濃度が高い所にして、トリガイの収容密度も低くし、さらに水温上昇期に清掃などのメンテナンス作業を頻繁に行うようにすることで、混獲種苗を用いた香川県の漁港内での垂下養殖は可能と判断した。

そこで、観音寺市室本漁港において、小型底びき網で混獲される出荷サイズ以下のトリガイを使用し、先行研究（岩尾ら 1991；西広 1997）に基づきコンパクト養殖実証試験を 2015 年から 2017 年にかけて 2 回実施し、養殖漁場（港内）の環境、トリガイの生残率や成長等の検討を行った。また、2 回目のコンパクト養殖実証試験で得られた養殖に係る労働状況や経営収支の調査分析データは、第 5 章混獲トリガイを種苗として使う養殖の採算性の章で検討することとする。

材料および方法

コンパクト養殖試験地の漁業および漁港の概要

瀬戸内海の中央部に位置する燧灘東部海域では、観音寺市(一部は三豊市)に住所を有する漁業者が市内の漁港を基地として小型底びき網 (165 人)、小型定置網 (50 人)、瀬戸内海機船船曳網 (23 人)、サワラ流しさし網漁業 (52 人) 等各種の漁業を営んでおり、小型底びき網が盛んである (香川県 2003)。その基地港の一つである観音寺市室本港は、昔は米の積出港として栄えたが、近年貨物船は姿を消し、漁船とプレジャーボートのみが係留されている(図 4-1)。2013 年には 34 隻の漁船が係留されていたが、2018 年には 16 隻と半減し、プレジャーボートも 79 隻から 72 隻と減少傾向にあり、係留に使用している奥の船溜まり以外の約 65,000 m² の港域は未

利用状態である（観音寺市建設課から聞き取り（2016年4月～2017年3月））。このような漁船の大幅な減少により、港内の遊休化が進行していることから、港内の船舶の通行の障害とならない静穏域を養殖場として使用することは、漁港の有効活用になる。水産庁も漁港施設に関する利用規制の緩和を推し進めており、養殖業の活用等を推進している（水産庁 2019）。港内や近隣に流入する河川はないため、淡水の影響を受けにくいことから、低塩分環境（海水の半分の塩分濃度 17 以下）に弱い（谷本ら 2015）とされるトリガイを養殖する漁場として最低限の条件を満たしていた。

コンパクト養殖の方法

前章で予備試験を西広（1997）や濱上ら（2014）などの先行研究に基づき 2014年9月～2015年7月と 2016年4月～8月に香川県高松市屋島湾で実施した（香川 2020）。そして、6月上旬までのへい死はほとんどなく、それ以降にへい死が急増加すること、また出荷サイズである殻長 60 mm 以上には成長しなかったが、密度効果が成長に大きく寄与することが明らかとなった。また、燧灘で操業する実際の小型底びき網漁業で約 9 割の混獲トリガイを確認したこと、それが種苗として利用できることを確認した。さらに、養殖場・港口・船溜まりの 3 か所で水温・塩分・クロロフィル a・DO の調査を実施したが、3 地点間の大きな差は見られず、顕著な水温躍層も見られなかった。これは港内に流入する河川がないこと、漁港を取り囲む沿岸と漁港が一文字防波堤で仕切られている単純な構造であることや干満差が 2～3 m と大きいために潮汐により、港内の半分程度の海水は港外と交換しているために港内の環境は一様な状態に保たれていた。このような予備試験を踏まえて、以下のコンパクト養殖の方法を行うこととした。

コンパクト養殖の期間は、室本港内の、夏季（7～8月）の水温が 28°C を超え、養殖個体が減耗することが予想されることから、香川ら（2020）が示した水温が 25°C を下回る 9 月末から水温が 25°C に上昇する 6 月末までとし、2015年から 2016年と 2016年から 2017年の 2 回実施した。

コンパクト養殖に用いる種苗は、燧灘沿岸で操業する小型底びき網漁業で 40～50

分間曳網後に入網した混獲トリガイを、船上で破損の確認・選別したのち養殖種苗とし、漁港内の栈橋に垂下したプラスチック製の角型カゴ（50 × 36 × 30 cm）で試験開始まで蓄養した。

当該地区の漁業協同組合の承諾の下、航行等の邪魔にならない港内の一面にブイとロープを用いて養殖枠（3 × 9 m）を設置し（図 4-2）、養殖カゴを 1 m 以上の間隔で、図 4-1 の☆の場所に垂下した。香川ら（2020）に準じ、粒径 2～3 mm のアンスラサイトをプラスチック製のカゴの中に深さ 10 cm に敷いた。カゴは地元漁業者が 1990 年頃に養鰻業を営んでいた時に活〆作業に使用していた丸型カゴ（（養鰻籠 402200，三甲）である。直径 45 × 高さ 20 cm で 2 mm 幅のスリットがあり、アンスラサイトは抜け出ない）を使用した（図 4-3）。また、他県で利用されているコンテナと比べ、取上げ時に容器から海水が抜けることで重量が大幅に削減され（海水を満たしたカゴの重量は約 30 kg あるが、海水が抜けたカゴの重量は約 9～10 kg に軽量化される）、養殖作業の軽減が図れる（香川ら 2020）。用いた丸型カゴの上面には、外敵の侵入やトリガイの逃亡を防止する目的で、巾着型のカバーネットを装着した。最初の養殖実証試験では、目合い 42 mm のナイロン網製の巾着型のカバーネットを装着した。ナイロン網のカバーネットは弾性伸度に優れ、流水抵抗が少ない特徴があり（本田 1973）、養殖作業の容易さや付着生物の減少等の効果が期待できる。しかし、食害により貝が全滅したため、2 年目の試験では、漁業者が小型底びき網に使用しているポリエチレン製の漁網を利用した。

毎月 1 回カゴを取上げ、生死を確認し、殻長の測定を行った。同時に、カゴの付着生物をタワシで落とし、海水を入れてアンスラサイトを攪拌し洗浄した。測定後のトリガイはアンスラサイトの表面に並べ、埋め戻しはしなかった。死亡していた個体は、殻長を測定し取り除いた。使用した資材のうちアンスラサイト（税別 7,000 円/30 l）以外は、漁業者が保有していたものを流用したために、要した経費はアンスラサイト購入費のみである。

コンパクト養殖実証試験 1

コンパクト養殖実証試験 1 は、2015 年 9 月 12 日～2016 年 4 月 16 日の間に行っ

た。試験に用いた種苗は、2015年9月5日～9月11日の間に、燧灘沿岸で操業する小型底びき網（地方名称：えびこぎ網，袋網目合い12節）に入網したトリガイで、これらは40～50分間曳網の後に、船上で破損のない個体として選別したもので、選別終了後に漁船の活け間に收容して港に持ち帰ったものを、棧橋に垂下したプラスチック製の角型カゴ（50×36×30 cm）で試験開始まで蓄養した120個体（平均殻長±SD，範囲：45.4±6.2 mm，35.0～59.0 mm）である。

また、予備調査結果において、出荷時期の5月末に出荷サイズである殻長60 mm以上に達しなかったことと、その原因の一つが密度効果と推察されたことから、養殖試験開始時は、120個体を丸型カゴ3カゴに分け、1カゴ当たり40個体を收容し、その後65 mm程度に成長した個体は別のカゴに收容した。この分養によって12月19日に1カゴ、さらに1月23日に2カゴ、2月23日に1カゴを追加し、合計7カゴとなった。しかし、3月15日以降に1カゴのロープが切れて海底に落下したため、4月16日の測定は6カゴとなった。2016年5月10日には、6個のカゴのうち5個のカゴのナイロン網のカバーネットに穴が開き、破壊されたトリガイの殻が散乱し、生存個体は見られなかった。またカゴに侵入していた680 gのマダコ *Octopus vulgaris* 1個体を捕獲した。このことから、試験を終了し、4月16日までのデータについて解析を行った。

コンパクト養殖実証試験2

コンパクト養殖実証試験2は、2016年9月から養殖準備作業を行い10月1日から室本港内で本養殖を開始した。試験に用いたトリガイ種苗は、2016年9月25日から9月30日の間に漁獲した本来なら投棄する小型貝221個（52.8±4.7 mm，34.9～61.4 mm），11月1日から11月7日の間に一部商品サイズも含む小型貝142個（54.5±4.7 mm，39.3～62.8 mm），12月13日から12月19日の間に一部商品サイズも含む小型貝78個（55.3±4.9 mm，38.0～64.5 mm）を追加し、合計441個で養殖試験を行った。なお、当該種苗は僅かに商品サイズも含んでいるが小型であり、出荷できるロットでなく、すなわち出荷されない小型貝を種苗として用いた。また、漁業者が種苗の確保や搬入を3回に分けた理由は、小型底びき網漁業の操業

に支障が出ないこと、すなわち実際の漁業操業に即したトリガイ種苗の確保を行ったためである。

また、コンパクト養殖実証試験 1 に比べ飼育当初から収容個数の低減を図り、さらに成長に伴って収容個数を削減した。具体的には、養殖開始時の収容密度を 1 カゴ当たり 20 個体とし、2017 年 3 月 18 日には成長に伴い、殻長 60 mm 以上のトリガイを 1 カゴ当たり 12 個体、60 mm 未満のトリガイは 1 カゴ当たり 18 個体収容するように選別し、養殖試験開始から 5 カゴを追加して 27 カゴとした。

なお、すべての養殖カゴのトリガイの殻長を測定し、各カゴごとの成長や生存状況を明らかにした。3 月 18 日には成長に伴い、すべてのトリガイを選別しサイズごとに区分したためカゴ単位での追跡ができなくなった。また、日間成長率は、ある調査日とその次の調査日の間の日数を分母とし、またその間で成長した平均殻長を分子として、計算した。

そして、上述試験の生残率や成長の結果を補完するため、毎月 1 回養殖カゴがある水深 2.5m の水温・塩分・クロロフィル a・溶存酸素濃度を、養殖枠に船外機船を係留して多項目水質計を使って測定した。2016 年 9 月から 2017 年 8 月の 1 年間毎月 1 回、多項目水質計 (RINKO-Profiler JFE アドバンテック) を使用して測定した。

さらに、一般化線形混合モデル (Generalized Linear Mixed Models, GLMM) を用いて、養殖期間、トリガイの密度、種苗のロット、および水質等物理的環境要因がトリガイの殻長、ならびにカゴ単位での生残率に及ぼす影響を評価した (Bolker et al. 2009)。生物の成長は密度に反比例することが報告されているため、トリガイの密度は $1/\text{養殖密度}$ の形式で説明変数に用いた。殻長に関するモデルでは、種苗が単一年級群で構成されていると考えられることから、応答変数が従う確率分布を正規分布とし、結合関数には恒等 (変換なし) を用いた (すなわち、線形混合モデル)。生残率に関するモデルでは、応答変数が百分率で示されることから二項分布に従うものとし、結合関数にはロジットを用いた。生残率に関するモデルについては、3 月に成長したトリガイの密度を調整するためにカゴの数を増やしており、カゴ単位での生残率を追跡できないため、10 月～3 月と 3 月～5 月を分けて解析した。種苗

ロットの違いは、養殖を開始した月が 11 月、および 12 月に該当するか否かをそれぞれ示すダミー変数として、モデルに組み込んだ。なお、10 月に養殖を開始した種苗ロットは、いずれの月にも該当しないものとして識別した。

線形モデルでは、相関の強い説明変数を同時に使用すると、多重共線性の問題が生じる (Zuur et al. 2010)。本研究の養殖期間を通じた殻長データでは、塩分、および溶存酸素濃度と養殖開始日からの経過日数との間に強い積率相関 ($r > 0.7$, $p < 0.001$) が認められた。カゴごとの生残率データにおいては、10 月～3 月に水温、塩分、および溶存酸素濃度と養殖開始日からの経過日数の間で、3 月～5 月では月ごとに 1 箇所計測している全ての物理的環境要因との間に強い積率相関が示された ($r > 0.7$, $p < 0.001$)。そのため、養殖現場の物理的環境要因のうち、殻長モデルでは水温とクロロフィル a 濃度を、生残率モデルでは 10 月～3 月にクロロフィル a 濃度のみを解析に用いた。Zuur et al. (2009) に従って全ての説明変数を含む飽和モデルの残差プロットを作成したところ、成長モデルにおいては、月間で不等分散が認められたため、線形モデルを拡張してばらつきの違いに対応可能とする一般化最小二乗法 (Generalized Least Squares, GLS) を適用した (ピネイロ・ベイツ 2010)。また、養殖カゴ内において自己相関が示されたことから、カゴをランダム切片としてモデルに組み込み、線形混合モデルを構築した (Bolker et al. 2009 ; Zuur et al. 2009)。そして、全ての説明変数を含む飽和モデルを用いて、赤池情報量基準 (Akaike Information Criterion, AIC) を基準に総当たり法でモデル選択を行った。解析には、R ver. 3.6.2 (R Core Team), およびそのパッケージである nlme, lme4 と MuMIn を用いた。

結 果

コンパクト養殖実証試験 1

養殖開始後 2 カ月以上経た 11 月 27 日から斃死が起きようになり、4 月 16 日までの各毎月合計 0～11 個体が斃死した。7 カ月後の 4 月 16 日までの生残率は 73% であった (表 4-1)。

養殖を開始した 2015 年 9 月 12 日の平均殻長は 45.4 mm であったが、7 カ月後の

4月16日には、66.7 mm となり、平均殻長で21.3 mm の増加が見られた（表4-1）。

垂下して7カ月後の2016年4月16日には、93%の個体が殻長60 mm（漁業者が出荷基準としている最小サイズ）を超えた。また殻長が70 mm を超える大型個体が21%見られたが、80 mm を超える個体は見られなかった。毎月の殻長の平均値から計算した日間成長速度は、9月～10月は0.36 mm/日、10月～11月は0 mm/日、11月～2月にはおおよそ0.10 mm/日となり、これ以降は0.04～0.05 mm/日と小さくなった（表4-1）。

収容密度は、養殖開始時に120個体を1カゴ当たり40個に分けて3カゴに収容し、その後成長に合わせてカゴを増加させたことにより、2015年9月12日の開始時2.5個体/100 cm²から終了時の4月16日には0.8個体/100 cm²と先行研究に基づき、適切な密度で行った（表4-1）。

本試験では、5月に養殖中の6カゴのうちカバーネットに穴の開いた5カゴのトリガイが全滅した。この原因として、イシガニ *Charybdis japonica* が同じ二枚貝であるアサリの強力な捕食者であり、被食後は貝殻が細かく砕かれている状態であることが報告されている（高橋ら 2016）ことや先進地の京都でヒトデ・カニ等の侵入が養殖したトリガイ斃死の原因の一つとして報告されている（岩尾ら 1991；内野ら 1990）ことから、本試験でも、カバーネットのナイロンテグス糸が切られ、カゴ内に食害生物が侵入可能となっていたこと、被食されたトリガイの貝殻がすべて砕かれており、イシガニによる被食の特徴（高橋ら 2016）と一致していたこと、マダコは、イシガニが破ったカバーネットの網目から侵入したと考えられることから、イシガニによる網の切断とそこから侵入したイシガニ・マダコによる食害で全滅したと考えられた。そこで食害対策としてイシガニの鉗脚でも切断できない太さのポリエチレン製漁網（小型底びき網に使用していた廃棄する漁網）によるカバーネットに変更し、さらに、海底からイシガニが登りにくいようにカゴを垂下する水深を浅くする対策を講じたところ、その後はイシガニによる食害は一掃できている。

コンパクト養殖実証試験2

養殖を開始した10月とその後2回追加した種苗の合計441個を100%とし、7カ

月後の 5 月の取上げ時の生残率は 66.2%となった。本試験では、ポリエチレン製の漁網のカバーネットを使用したことや垂下水深を 2.5 m とやや浅くしたことから、イシガニやマダコによる食害は、観察されなかった。平均殻長は、10月 52.8 mm から試験が終了した 5 月に 64.1 mm となり、その間 11.3 mm 成長した。本試験では、70 mm を超える個体が 1 月に出現し、5 月には 59 個 (20%) を占めたが、80 mm を超える個体は見られなかった。日間成長速度は、10~11 月 0.05 mm/日から増加し、12~1 月には、0.10 mm/日となったが、その後は低減し、4~5 月には 0.04 mm/日となった。収容密度は、開始時に 1 カゴ当たり 20 個に分けて収容したことから 1.26 個体/100 cm²、3 月以降、0.75、0.69 個体/100 cm²となった (表 4-2)。

コンパクト養殖の方法で述べたとおり、11 月に 54.5 ± 4.7 mm, 39.3~62.8 mm (142 個)、また、12 月に 55.3 ± 4.9 mm, 38.0~64.5 mm (78 個) の種苗を追加したが、表 4-2 のトリガイのサイズ結果と概ね同様であった (10 月, 11 月, 12 月の種苗と養殖トリガイについて、各月ごとに t 検定 (小椋 2009) を行った結果、有意な差がなかった)。

また、殻長の度数分布 (50 mm 未満, 50~60 mm, 60~70 mm, 70 mm 以上の 4 区分) は、養殖を開始した 10 月には、50~60 mm が 79.2%, 50 mm 未満が 19.9% と 60 mm 未満が 99.1% を占めていたが、成長に伴い 50~60 mm が 11 月 77.4%, 12 月 67.8%, 1 月 52.8% と減少し、2 月には 50~60 mm が 42.0%, 60~70 mm が 50.3% と逆転した。3 月には 60~70 mm が 50.3%, 70 mm 以上が 9.3% となり、60 mm 以上が約 60% となった。その後も 60~70 mm が 4 月 53.9%, 5 月 55.1% と横ばいであったが、70 mm 以上が 4 月 17.7%, 5 月 20.2% と増加し、60 mm 以上のトリガイが養殖を終了した 5 月時点で 75% を占めた。

養殖カゴを垂下した水深 2.5 m の水温は、9 月 3 日の 26.3°C から 1 月 23 日には 9.3°C と最低となり、2~3 月は 10°C 台と低い水温であったが、4 月に 14.5°C と上昇し、5 月に 20.0°C, 6 月に 23.4°C となり、7 月と 8 月は養殖上限温度の 25°C を超過した (図 4-4)。同水深の塩分は、最低値 30.7 (7 月) から最大値 32.4 (4 月) の間で変動し、周年 30.5 以上の塩分値で推移し、谷本ら (2015) の養殖限界値を大きく上回っていた (図 4-4)。同水深の溶存酸素濃度は、9 月から 7 月まで 5.70~

10.20 mg/l の間で変動し、養殖に影響する 2.86 mg/l (松野・木村 2002) を下回る月は見られなかった (図 4-4)。同水深のクロロフィル a 濃度は、9 月は 3.65 $\mu\text{g/l}$ を示したが、10 月には 1 $\mu\text{g/l}$ と減少し、11~2 月は 1~3 $\mu\text{g/l}$ の範囲となったが、3~4 月は 1 $\mu\text{g/l}$ 以下と低くなり、5~8 月の間は 1~3 $\mu\text{g/l}$ の範囲で推移した。12 カ月間のうち 8 カ月間が 1~3 $\mu\text{g/l}$ の範囲の値となり、1 $\mu\text{g/l}$ 以下が 3 カ月間、3 $\mu\text{g/l}$ 以上が 1 カ月間となり、養殖地点のクロロフィル a 濃度は、0~4 $\mu\text{g/l}$ の範囲で推移した (図 4-4)。

回帰分析した結果、不等分散に対応した GLS の殻長モデルは、通常の線形モデルと比べて AIC が低く ($\Delta\text{AIC} = 12.56$)、尤度比検定においても有意差が認められた (尤度比 = 22.56, $p < 0.001$)。カゴごとのランダム切片を加えた線形混合モデルは、不等分散のみに対応した GLS モデルより AIC が低く ($\Delta\text{AIC} = 1402.07$)、尤度比検定結果も有意であった (尤度比 = 1404.06, $p < 0.001$)。線形混合モデルを AIC 基準でモデル選択した結果、水温を除く全ての説明変数を含むモデルが最良モデルとなった (表 4-3)。効果が有意であった環境要因についてまとめると、日数経過に伴ってトリガイの殻長が大きくなっており、クロロフィル a 濃度が低い計測回ほど殻長が大きい傾向が示された。密度 ($t = -1.800$, $p = 0.072$) と養殖ロット (11 月: $t = 0.036$, $p = 0.971$; 12 月: $t = -0.306$, $p = 0.761$) の効果は有意ではなかった。一般に解釈の対象となる、最良モデルからの AIC のずれが 2 以内のモデルでは、経過日数と密度に加えて養殖ロットのうち一方のみが含まれており、経過日数以外はいずれも有意ではなかった (表 4-3)。これらから、追加した種苗ロットの影響は経過日数に比べて十分に小さいことが示された。

生残率の GLMM は、10 月~3 月、3 月~5 月ともに、カゴのランダム項を含まない GLM に比べて AIC が低く (10 月~3 月: $\Delta\text{AIC} = 89.24$; 3 月~5 月: $\Delta\text{AIC} = 48.68$)、尤度比検定の結果も有意であった (10 月~3 月: $\chi^2 = 91.24$, $p < 0.001$; 3 月~5 月: $\chi^2 = 50.69$, $p < 0.001$)。GLMM の飽和モデルからモデル選択を行った結果、10 月~3 月においては、経過日数とクロロフィル a 濃度が最良モデルで選ばれた (表 4-4)。最良モデルからの AIC のずれが 2 以内のモデルでは、他に密度、種苗ロットが加わったモデルが含まれていた。いずれの上位モデルにおいても、経過日

数のみ、有意な効果が認められた。これらから、養殖期間が長くなるにつれて生残率が低下するものの、それ以外の環境要因が生残率に及ぼす影響は小さいことが示された。3月～5月の解析では、固定効果とランダム効果の組み合わせで応答変数が完全に説明される分離が一部のカゴにおいて生じたため、経過日数以外の説明変数を生残率モデルに組み込むことができなかった。10月～3月にかけてと同様に、養殖期間が長くなるにつれて生残率が低下する傾向にあった（表 4-4）。

考 察

低利用である室本港内で、9月に小型底びき網で混獲される出荷サイズ以下のトリガイを使用し、先進地（岩尾ら 1991；西広 1997）の方法に準じて翌年の5月まで飼育するコンパクト養殖実証試験を2回実施した。成長に伴い、間引いたトリガイを追加したカゴに収容し、収容密度を適正に保ったこと、月に1回程度カゴの清掃やアンストラサイトの洗浄を行ったことで、飼育環境は良好に維持できていたと考えられる。しかし、実証試験1では、ナイロン網のカバーネットが弾性伸度に優れ、流水抵抗が少ない特徴があり（本田 1973）、養殖作業の容易さや付着生物の減少等の効果を期待し、カバーネットに使用したが、5月にナイロン糸を切断され、養殖中の6カゴのうち穴の開いた5カゴのトリガイが全滅していた。高橋ら（2016）は、同じ二枚貝であるアサリにイシガニ *Charybdis japonica* が強力な捕食者であり、被食後は貝殻が細かく砕かれている状態であることを報告している。また先進地では、ヒトデ、カニ等の侵入が養殖したトリガイ斃死の原因の一つとしている（岩尾ら 1991；内野ら 1990）。本試験でも、カバーネットのナイロンテグス糸が切られ、カゴ内に食害生物が侵入可能となっていたこと、被食されたトリガイの貝殻がすべて砕かれており、高橋ら（2016）の報告にあるイシガニによる被食の特徴と一致していたこと、マダコは、イシガニが破ったカバーネットの網目から侵入したと考えられることから、イシガニによる網の切断と食害により全滅したと考えられる。そこで実証試験2では、イシガニの食害対策としてイシガニの鉗脚でも切断できない太さのポリエチレン製漁網によるカバーネットを使い、さらに、海底からイシガニが登りにくいようにカゴを垂下する水深を浅くする対策を講じたところ、イシガニに

よる食害は一掃することができた。

実証試験 1 では、2015 年 9 月 12 日の 45.4 ± 6.2 mm から 7 カ月後の 4 月 16 日には、 66.7 ± 4.4 mm と 93% の個体が殻長 60 mm（漁業者が出荷基準としているサイズ）を超えた。また殻長が 70 mm を超える大型個体が 21% 見られた。実証試験 2 は、10 月 1 日の平均殻長 52.8 ± 4.75 mm から 8 カ月後の 5 月 23 日には、 64.1 ± 6.60 mm と 75% が商品サイズを超え、20% が 70 mm を超えたが、どちらも 80 mm を超える個体は見られなかった。

実証試験 2 では 441 個のうち 292 個が生残し、うち出荷サイズ（60 mm）を超えていた 220 個を出荷することができた。養殖トリガイの成長は、10 月 1 日の平均殻長 52.8 ± 4.75 mm から 8 カ月後の 5 月 23 日には、 64.1 ± 6.60 mm と 75% が商品サイズを超え、20% が 70 mm を超えたが、80 mm を超える個体は見られなかった。西広（1997）と比較すると、9～2 月の間に明らかな差は見られないが、3 月から成長が停滞し、5 月時点で 15 mm の差が生じた。

Nishikawa et al.（2015）は、日本海の居組漁港内でトリガイ養殖試験を行い、1 $\mu\text{g/l}$ 未満のクロロフィル a 濃度を示した月が、1 年のうち 8 カ月を占め、成長の停滞や生残率の低下を引き起こしたと報告している。また、内野ら（1988）は、京都府宮津湾のトリガイ養殖にクロロフィル a 濃度が 10 $\mu\text{g/l}$ 必要と報告していることや岩尾ら（1993）は、クロロフィル a が 5 $\mu\text{g/l}$ 以下でトリガイの成長が停滞すると報告している。

本試験の回帰結果から、クロロフィル a の濃度は成長や生残にほとんど影響を与えないことが明らかになったが、1 年を通して 5 $\mu\text{g/l}$ 以下である室本港内の低いクロロフィル a 濃度条件下における結果であり、岩尾ら（1993）の報告にあるとおり、必要とされる 10 $\mu\text{g/l}$ を通年下回っていることから、特に 3 月と 4 月は 1 $\mu\text{g/l}$ 以下となることから、京都府宮津湾の養殖トリガイに比べ成長の停滞が起きたと推察された。

しかし、本養殖方法で実施すれば、斃死率 27, 34% と先行研究結果（西広(1997)）の 20% と比較してやや斃死率が高いものの、93, 75% が出荷サイズに達し、トリガイ養殖漁場として試験漁港は成立すると考えられた。

また、7～9月は、水温が25°Cを上回る高水温となり、養殖には適していないが、他の月は25°C以下の水温であり、港内水温を確認して養殖を開始し、6月中に出荷する本養殖方法によって当該漁港における養殖は可能であると推察された。また、港内に流入河川がないことから塩分は安定し、溶存酸素濃度についてもトリガイ養殖業に負の影響を与えることは無いと推察された。

第 5 章

混獲トリガイを種苗として使う

コンパクト養殖の採算性

緒 言

香川県観音寺市を調査地として、コンパクト養殖が成立するか明らかにすることを本研究目的とし、前章において、港内養殖による生残率及び出荷サイズである殻長 60 mm 以上に達するかの確認を行った。さらに、生残率や成長の結果を補完するために水質測定等を行い、港内での養殖が可能であることが判明した。そこで、養殖に係る労働状況や経営収支の調査・分析を行った。そして、コンパクト養殖の所得が小型底びき網漁業の時間当たり所得と同程度となることによって、当該地域漁業関係者によるコンパクト養殖業が普及すると考えられた。

材料と方法

小型底びき網漁業の副業として新たに養殖を開始するため、本業に影響せずに、過重労働にならないことが重要である。また、本業を退いた高齢者や女性も当該養殖業の労働者として想定していることから、当該漁業の家族及びその関係者によって日々の養殖作業が可能かどうか分析する必要がある。このことから、高齢の小型底びき漁家（家父長 70 歳代）・家族（家父長の妻（60 歳代））を対象に当該試験を依頼し、労働実態等について聞き取り調査を行った（2016 年 9 月～2017 年 9 月）。収支計算するため、主な作業の労働時間等について調査し、また実際に筆者らが作業を実施して、労働データをまとめた。加えて、養殖に係る費用を明らかにするために、本試験に使用した資材や作業に使った船舶等の機材等についても協力漁家から聞き取りを行った（2016 年 9 月～2017 年 9 月）。経費の科目については鬼木(2013)を援用した。本研究の目的が未利用資源・資材の有効活用であることから、種苗費用は 0

円、本業で使用している船や未利用資材の減価償却費も計上を行わず、それ以外の費用を合計し、またその費用合計と販売額から所得と、労働生産性：投下労働時間対所得率＝所得/総投下労働時間を計算した。

本試験の養殖トリガイの出荷先は、「活貝」の状態で香川県内の寿司店や飲食店に流通させることを想定し、県内において幅広い販路を持つ高松市中央卸売市場とした。そして、2017年5月23日にすべての養殖カゴを取上げ、生存していた292個のうち商品サイズ（殻長が60mm以上）の220個を出荷した。出荷方法は、当日の朝にあらかじめ栈橋に垂下していたカゴから取り上げ、出荷サイズ以上のトリガイを選別し、殻の汚れを清掃した後に数時間冷水で冷却し、濡らした新聞紙と氷を入れた発泡スチロールの容器に詰めて出荷した。出荷した養殖トリガイの評価や価値等について、高松市中央卸売市場の香川県魚市場株式会社のトリガイ担当者等と高松市内の和食を中心とした外食業者1社を対象に聞き取りを行った（2017年5月）。

結 果

トリガイ養殖に係る作業は、大きく分けて準備、管理、出荷の3つに分類できる。まず準備として養殖枠の作成に1日（3時間）、丸型カゴにカバーネットやロープの取付け作業に2日（4時間×2日）、養殖枠の設置に1日（2時間）、養殖カゴの設置に3日（1時間×3日）の合計7日間で延べ16時間であった。なお、養殖に使う小型トリガイを確保する作業は、漁業者からの聞き取り調査結果から、小型底びき網漁として漁獲物を選別する通常の作業の中で手間をかけずに行えるので（実証試験を行った漁業者から聞き取り（2016年9月～2017年9月）、またすべての作業に筆者らも参加し確認した。）、作業時間として加算しなかった。管理は本業の無い日や時間帯に11月～4月の間に月1回養殖カゴを取り上げ、付着生物を落とす作業やアンスラサイトの洗浄に1日（2時間）の合計6日間で、延べ12時間だった。出荷前日に養殖施設から栈橋まで養殖カゴを移動する作業が1時間であった。翌日は、家族（家父長の妻）がトリガイの取上げ、殻の清掃、選別、冷水を入れたバケツにトリガイを浸漬、箱詰めを1日（3時間）行った。よって、この試験では漁業者が養殖に14日間、延べ29時間従事し、家族が1日、延べ3時間従事した。なお、養殖カゴ

の平均耐用年数が 10 年とすると養殖カゴ作成・設置時間が 11 時間であったことから 1.1 時間/年（修繕等）となり、漁業者と家族併せた養殖作業の総労働時間は 22.1 時間/年となった。なお、養殖枠の設置と養殖カゴの設置は、施設の定期的なメンテナンスを想定して初期設置時間を毎年加算することとした。

出荷作業を行った家族から当該作業等について聞き取った（2016 年 5 月）。漁船が出漁した日、小型底びき網を営む漁業者の妻（高齢者）は、帰港後漁獲物を出荷する作業に従事する。主な作業は、漁獲物を作業小屋に持ち帰り、種類別・銘柄別に選別して、送り先別に発泡スチロール箱に重量を計測しながら入れることであった。この作業はもっぱら午後に行われるため、午前中の時間が空いていること、また出漁しない日は空いているとのことであった。上述のとおり、トリガイの出荷で掛かった時間は午前中の 3 時間であったことから、小型底びき網の出荷に影響は出なかった。

また、養殖カゴ揚げ時の重量は排水することによって軽量化されており、養殖カゴからトリガイを取り上げたり、箱詰め等の作業に支障はなかったとのことであった。このことから、漁業者に代わり、月 1 回の管理作業、カゴを取り上げて掃除する作業も、午前中や休漁日に行えるとのことであった。さらに、養殖漁場が港内であることから、養殖施設管理作業も安全に行えるとのことであった（実証試験を行った漁業者の家族（大人の女性から聞き取り（2017 年 5 月）））。

実証試験の経営収支を表 5-1 に示した。本業である小型底びき網漁業に関する収支は、除外している。本試験に要した費用は、船外機に使用した燃料代として 5,000 円、販売手数料として高松市中央卸売市場の卸売会社等に 1,633 円（混載出荷）、減価償却費として 10,816 円（27 カゴ分のアンスラサイト購入費 108,158 円（税別 7,000 円/30 l）、1 年で 10%が流出すると仮定し 10 年で償却）で合計養殖支出として 17,449 円となった。それ以外の支出で、使用した船外機船は、本業の雑作業等に利用する漁船で、未利用時間帯の有効利用として、本試験では減価償却費として計上せずに、燃料代のみを計上した。本試験では餌（施肥等）は使用しておらず餌代は 0 円である。本試験で種苗は漁業者自らが投棄している小型貝を持帰り利用したことから種苗代は 0 円である。養殖枠作成に使用したイカリ・ロープ・ブイすべて

漁業者が保有している未利用資材を活用し、トリガイ飼育容器の作成に使用した丸型カゴ・カバーネット・クレモナロープも漁業者が保有している未利用資材等を活用したため、購入費は 0 円であった。支出のうち、アンストラサイト代が 6 割を占めていた。これらの価値のない未利用資材や廃材が中古資材として売れることはないため、逆に廃棄するなら産業廃棄物処理代が多少なりとも掛かるので、これらのように有効利用できることは漁家にとってもメリットがあった。

2017年5月23日に取り上げた292個のうち、商品サイズを超えたトリガイを220個選別し、「活貝」として約5kg ずつ発泡スチロール製の箱に入れて、高松市中央卸売市場に出荷し、29,700円の売り上げとなった。出荷した重量は、19.8kgで1,500円/kgで販売された。平均重量が90g/個であったので1個当たりの単価は135円となった。高松中央卸売市場調査結果において、トリガイは寿司や刺身として提供される高級二枚貝で、中央卸売市場でも寿司店や割烹などの料理店に卸す仲卸業者が中心に注文しており（注成品）、価格は高値で安定している特徴があった。また、特に殻付きの活トリガイは、客前で調理する高級寿司店が購入するため、むき身の鮮トリガイより高値で取引されるとのことであった（高松市中央卸売市場の関係者から聞き取り（2017年5月））。

10年以上前から養殖してブランド化している京都府の殻付きトリガイの価格3,500円～5,000円/kg（西広1997；鬼木2013）と比較すると1/2～1/3程度のかなり低い単価となった。その原因として、先進地に比べてサイズが一回り小型であること以外に、高松市中央卸売市場に出荷されているトリガイは足の部分だけパックされた加工品が大半で、京都府と異なり殻付きトリガイ市場が形成されていないこと、出荷した箱の中にいろいろなサイズが混じっていたこと、出荷に際して高く買ってもらおうための努力（養殖トリガイのPR）をしていないと指摘された（高松市中央卸売市場の関係者から聞き取り（2017年5月））。また、調査した和食を中心とした外食業者によると、1個150円まで購入可能な商品とのことであった（高松市内の飲食店から聞き取り（2017年5月））。

次にトリガイ養殖の収支結果（実証試験）から、所得率や労働生産性を分析した。29,700円の養殖収入、17,449円の養殖支出となり、養殖所得が12,251円となった。

1 個当たりの生産原価は 79 円、養殖収入対所得率（所得率）が 41%となった。また、総労働時間が 22.1 時間/年で、養殖所得が 12,251 円であったことから、投下労働時間対所得率（労働生産性）は 554 円/時間となった。

考 察

本試験の出荷を高齢の妻が本業の作業に支障なく実施できたことや養殖カゴの取上げ等の作業が高齢の女性でも問題ないこと、港内やその周辺で安心して作業を行えたことから、コンパクト養殖が高齢漁業者や女性の活躍の場を提供できることが示唆された。また、本調査を通じて、実証試験に取組んだ漁業者は、高齢のため体力の衰えから本業である小型底びき網漁業の操業日数が減少しており、本業を補うトリガイ養殖に可能性を感じているとのことであった。今後は、数人の高齢漁業者の仲間でグループを作り、未利用の漁業資材を持ち寄り、低利用漁港を活用し、体力的にも時間的にも無理のないように役割分担をしながらコンパクト養殖を行う計画を検討していた（その後実施して、2020 年 6 月現在も継続中である）。

経費を削減したコンパクト養殖をめざしたことから、1 個当たりの生産原価は、79 円、所得率 41%となった。ただし、経費の大半をアンスラサイト代が占めており、安価な基質への変更（第 3 章で、1/10 の値段の基質を試験）を検討すべきであった。また、投下労働時間対所得率（労働生産性）は 554 円/時となった。香川県の一般的な小型底びき漁業の投下労働時間対所得率を計算するための統計情報等がなかったことから、同じ瀬戸内海の山口県の小型底びき網漁業のデータを参考にしたところ、投下労働時間対所得率が 855 円/時間であり（木村・中村 2009；木村 2009）、また香川県の最低賃金が 818 円/時間（2020）で（香川県労働局 https://jsite.mhlw.go.jp/kagawa-rouudoukyoku/hourei_seido_tetsuzuki/saiteichingin.html（2020 年 6 月 1 日閲覧））、これらと比較すると 65~68%の投下労働時間対所得率となった。

ただし、高松中央卸売市場の関係者から販売単価を上げるための改善策として、70 mm 以上のサイズを選別して「大」銘柄で販売することでインパクトが生まれることや、実需者へ「養殖もの」の利点を前面に打ち出した宣伝を行うことで、天然

トリガイと差別化ができることと指摘された。養殖トリガイは、天候に左右されずに飲食店の注文に応じた出荷が可能であることや（外食等から市場への注文品）、漁具による損傷やストレスで死に易い天然トリガイと比較して養殖貝は活度の高い「活貝」を提供できることによって、鮮魚店や飲食店における品切れによる売上ロスや、へい死による店の原材料ロスを低減させる利点がある。このような利点が鮮魚店や飲食店などに理解されれば、京都府ではこの約 3 倍の価格で流通しているので、販売単価も改善されると推察された。また、本調査終了後、協力漁家は現在も当該コンパクト養殖を継続しており（2020 年 6 月現在）、香川県内でレストランや寿司店を営む企業と、70 mm 以上のトリガイが 350 円/個で売買成立したとの情報提供があった。本試験では平均 135 円/個であったが、全量ではないものの 2.6 倍となる価格取引が成立したことから、今後は流通調査で指摘をされたことを改善しつつ、京都府の事例と同程度の価格で取引できる企業へのプロモーションが重要であることが認識できた。

本試験は試みであり、成熟した技術や技能、確立した販路もなかったことから、価格や所得に課題は残ったものの、上述のとおり改善できる点はあり、今後、これらの問題点を改善することによって、投棄されている混獲トリガイを利用したコンパクト養殖は成立すると推察された。また、小型底びき網の混獲物の有効利用等だけでなく、地域社会への相乗効果として、この養殖が燧灘沿岸の漁港に波及すれば、当該地域における漁村インフラの有効活用だけでなく、地域の特産品として見直され、地域の活性化につながることも期待できる。

調査協力してもらった漁業者は、本実証試験と同様に小型底びき網の操業に支障が出ないことを確認しながら、段階的に規模拡大を進めるべきであること、そしてこの規模拡大には家族の協力（高齢者や女性が養殖作業を肩代わりする）が必要であるとの意見であった。当該養殖の収益性改善のために、この規模拡大による収益改善の実証、技術習熟・改善による養殖トリガイの生残率や成長率の向上、施肥等によるサイズアップを目的とした養殖方法の改善、販売戦略の構築による単価の向上、安価な基質への変更などが今後の課題として残った。

第 6 章

トリガイのコンパクト養殖方法の提言

第 1 章から第 5 章の研究により燧灘で操業する小型底びき網漁業者が基地港とする漁港内の静穏域において、漁業者とともに操業時に投棄する混獲トリガイを持ち帰ってコンパクト養殖試験を行ったところ、実用化された先行研究と比較してやや劣るものの、本研究の生残や成長結果から、出荷サイズのトリガイが高い割合で生産できたことから、小型底びき網漁業の副業として成立すると推察された。また、近年燧灘海域では小型サイズのトリガイが成長せずに死滅していることから、混獲トリガイを利用したコンパクト養殖は、未利用資源の有効利用として期待できる。

さらに、第 4 章でモデルとした室本漁港のように漁業者の高齢化・減少から低利用となっている漁港の活性化対策としても有効である。また、コンパクト養殖の所得が小型底びき網漁業の時間当たり所得と同程度となることによって、当該地域の高齢漁業者対策や女性の活躍の場として、漁港内の静穏水域がコンパクト養殖の養殖場として活用されることが期待されている。

当海域において小型底びき網漁を行う漁業者が、混獲トリガイを使った養殖を行うためには、良質な種苗と判明した破損が無い個体とひび割れ程度の破損個体を、水温が低下する 9 月以降で漁法が戦車こぎ網になる 11 月までのえびこぎ網の期間中に確保する必要があることが明確となった。また、種苗としてより良質な混獲トリガイ（60 mm 以下の小型貝）を入手するために、殻の破損低減や漁獲のストレスを軽減する曳網について、すなわち、曳網時間の短縮や船上で長時間空気に暴露されることを防ぐ処置をすることなどで操業や船上作業の改善を検討する必要があることも判明した。

燧灘海域で操業する小型底びき網漁業者は、165 人（2003 年時点）と多く、その操業のたびに混獲物として投棄される量は、莫大であると推察される。燧灘で操業する小型底びき網の総隻数で考えると、1 日に 57,750 個が投棄されると試算できる。

また 9 月に投棄されるすべての混獲トリガイのうち種苗として使用可能なトリガイは、破損していないもの（破損度 0）か、ひび割れまでの状態のもの（破損度 1）が 62.5%となり、種苗として使用できるものは 1 日 1 隻あたり 220 個程度と考えられる。燧灘で操業する小型底びき網全体では 1 日で約 3 万 6 千個の種苗を確保できる試算となる。

混獲トリガイのコンパクト養殖（地域の高齢漁業者と女性漁業者等による未利用・低利用資源を用いた小規模で経済的な養殖）の実証試験を行った香川県観音寺市室本港は、漁船の大幅な減少により、港内の遊休化が進行していることから、港内の船舶の通行の障害とならない静穏域を養殖場として使用することは漁港の有効活用になる。また、室本港の水質環境は餌資源量の指標となるクロロフィル a 濃度が低い傾向にあるものの、9 月から 5 月の期間であれば養殖漁場として利用可能であった。また、養殖管理・出荷作業は港内の軽作業であり、小型底びき網漁業の休漁日等に作業ができることから、本業に支障が出ることは無かった。さらにその家族の高齢者や女性でも安全に就業可能であった。そして、所得率 41%で収益が確保できること、投下労働時間対所得率（労働生産性）は 554 円/時となり、65～68%の投下労働時間対所得率であることが確認された。今後は、コンパクト養殖の収益性改善のために、この規模拡大による収益改善の実証、技術習熟・改善による養殖トリガイの生残率や成長率の向上、施肥等によるサイズアップを目的とした養殖方法の改善、販売戦略の構築による単価の向上、安価な基質への変更など改善すべき課題がある。

また、本研究では養殖対象種はトリガイの 1 種類であるが、小型底びき網漁業に混獲物として入網する貝類で養殖対象種として有望な貝にアカガイもある。この養殖対象種を複合化する考えに基づき、室本港内に貝類養殖団地を造成する事業として 2019 年からスタートしている。

本研究の結果から、香川県沿岸における低利用漁港・未利用資源の有効活用となり、高齢漁業者・女性漁業者の活躍も期待できる混獲トリガイのコンパクト養殖についてガイドラインを次のように提案する。

混獲トリガイのコンパクト養殖ガイドライン

1 コンパクト養殖カレンダー

混獲トリガイのコンパクト養殖の年間スケジュールは以下のとおりである。

月	養殖作業内容
8月	養殖施設・養殖カゴの作成
9月	養殖施設の設置, 養殖種苗の確保, 養殖カゴの垂下
10月	養殖種苗の確保, 養殖カゴの垂下, 養殖管理作業
11月	養殖種苗の確保, 養殖カゴの垂下, 養殖管理作業
12月	養殖管理作業
1月	養殖管理作業
2月	養殖管理作業
3月	養殖管理作業
4月	養殖管理作業
5月	養殖管理作業
6月	養殖トリガイの出荷, 養殖施設の撤去

2 養殖場を確保する

燧灘東部海域は、冬季に季節風による風浪が強く、風浪を避ける島影や湾もないことから、県内の他の海域のように養殖業が発展していない。そこで今回は低利用となっている漁港内の船舶航行に支障のない静穏域に着目した。事業実施前に船舶関係者や港湾管理者の承認を得る必要がある。

3 養殖施設・飼育器具を作成し、設置する

コンパクト養殖では、漁業者自ら所有する未使用の資材を利用し、経費を削減する。漁業者は、多量の漁業資材を保有し、かつ未使用の資材も多い。その未使用の漁業資材を有効活用できる。近年、漁業者の高齢化が進行し廃業する漁業者が多い

が、廃業と共に漁業資材も廃棄されている。この高齢漁業者と廃棄漁業資材を再度有効活用する手段としてコンパクト養殖を推進したい。

養殖施設は、先進地のように筏とせずにブイ、ロープとイカリで構成する養殖枠とし、経費を節減する。漁港内の静穏域に設置することで、この養殖枠でも養殖が可能である。トリガイを飼育する容器は、漁業者が多数保有している海水が流出するカゴとし、その中にトリガイを入れて養殖枠に垂下する。飼育カゴの形状は問わないが、粒径 2~3 mm のアンスラサイトが流出しないものとする（丸型カゴ（養鰻籠 402200, 三甲）や角型カゴ（北海籠 102300, 三甲）等）。カゴの目合いが大きい場合は粒径 2~3 mm のアンスラサイトが流出しないように 2 mm 未満の網を敷く。カゴにはトリガイの逃亡防止やイシガニ等の食害を防止するために漁網で作成した巾着型のカバーネットを装着する。これらの施設や容器は、養殖を開始する 9 月までに準備をしておく。

4 養殖種苗を確保する

養殖する港内の水温が 25°C を下回る 9 月以降になったら、養殖種苗の確保作業を開始する。小型底びき網（えびこぎ網）を操業しながら、混獲トリガイの中から種苗の条件に適合する健全なトリガイを持帰る。持ち帰ったトリガイは養殖開始まで蓄養し、斃死する個体を除去しておく。種苗の条件はひび割れ程度までの破損の貝とし、殻に欠損がある貝は除外する。この種苗を確保する作業は、本業に支障のない範囲とする。

5 養殖開始する

飼育容器は、事前に準備した海水が流出するカゴとし、その中にトリガイを入れて養殖枠に 1 m 以上の間隔を開けながら垂下する。飼育カゴの形状は問わないが、カゴの目合いが大きい場合は粒径 2~3 mm のアンスラサイトが流出しないように 2 mm 未満の網を敷く。アンスラサイトは 10 cm 程度の厚さになるように入れる。養殖開始時の飼育密度は、取り上げ時に 1 個/100 cm² 前後になるように調整するが、開始時から低密度にする方が成長が良いと考えられることから 1~2 個/100 cm² とし、トリガイを等間隔で水管側の殻が見える程度にアンスラサイトに埋め込む。飼育カゴを垂下する水深は、干潮時でも海底に着かない水深とする。

6 養殖管理作業をする

養殖カゴやアンストラサイトが十分確保できている場合は、貝をアンストラサイトを入れた新しいカゴに移し替えることで、海上作業を省略することができる。しかし、本コンパクト養殖では、毎月 1 回程度、養殖カゴの清掃、アンストラサイトの洗浄の管理作業を行う。この時に斃死貝は取り除いておく。トリガイの成長に伴い、密植にならないように選別・カゴの追加作業を行う。これらは、港内の静穏域の作業であることから、高齢漁業者や女性漁業者の作業も可能である。

7 出荷作業をする

商品サイズに成長したトリガイを市場や流通関係者と連絡を取りながら適宜出荷する。高温による斃死をさけるため、6 月中にすべて出荷する。

事前に殻の清掃や冷水に浸漬し活性を低下させておき、殻付きの活貝として発泡スチロールの箱に海水で濡らした新聞を入れて発送する。

要 約

香川県において、2014年～2018年にかけて、燧灘で小型底びき網に漁獲されるトリガイの混獲と投棄の実態、混獲トリガイを種苗とする条件、香川県におけるコンパクト養殖の可能性、低利用漁港で実施するコンパクト養殖技術の開発、混獲トリガイを種苗として使うコンパクト養殖の採算性について、乗船調査やコンパクト養殖実証試験等の各種調査を実施した。

序論

トリガイ *Fulyla mutica* (Reeve) は、殻の形は円形に近く、殻長、殻高ともに8～9 cm になる比較的大型な二枚貝で、特に東京湾、三河湾、宮津湾、舞鶴湾、栗田湾、大阪湾、七尾湾、瀬戸内海沿岸海域、周防灘海域、長崎沿岸、博多湾では漁獲対象資源として経済的価値が認められ、アサリ、バカガイと共に小型底びき網漁業の重要種となっている。比較的高価な二枚貝であるが、供給（産地）価格が不安定である。これは、時として大発生を起したり、貧酸素などで大量死することがあり、年々の漁獲量変動が激しいことが要因となっている。

トリガイ主要産地の概況 日本で最も漁獲量が多い産地は、愛知県（主に三河湾・伊勢湾）であり、多い年には9,000トンの漁獲量があり、近年でも100～700トンのレベルで漁獲されている。瀬戸内海・東京湾（神奈川県）も産地であったが、2000年以降漁獲量の低迷が著しい。また、「丹後トリガイ」として高い評価を得ていた京都府は、人工的な種苗生産や養殖技術の研究に取り組み、現在事業規模でトリガイ養殖を実施している。

香川県のトリガイ漁業と流通販売状況 香川県内のトリガイ漁獲量の大半は燧灘で操業する観音寺漁協と伊吹漁協が占めており、燧灘での漁獲が香川県の漁獲変動を反映している。香川県におけるトリガイの漁獲量は、1970年代まで1,000トンを超える漁獲をしていたが、1980年代以降から大きく減少し1982年、1987年の2か年

が 100 トンを超える漁獲量となったが、その他の年は 50 トン以下となった。1990 年代は 100 トンを超える年はなく、2000 年代には 2000 年、2008 年に 200 トンを超える漁獲量となったが、その他は 100 トン未満であった。2015 年以降は 10 トン未満のレベルで推移している。このようにトリガイの漁獲量が激減したためトリガイの加工業者は数軒となり、自ら漁獲したトリガイを加工する漁業者はいなくなった。

トリガイのコンパクト養殖の必要性 多量の混獲物を沖合いで投棄することが小型底びき網漁が抱える課題の一つであるため、その解決策として混獲トリガイの有効活用を検討することが必要であると考え、本研究では、投棄している混獲トリガイを漁業者自ら持ち帰り、これを用いて養殖を行い、未利用資源の活用ができないか検討を行った。また、小型底びき網の副業として収益向上に資するために初期投資の軽減や本業に支障が出ないことが必要である。そのために、現在は使われていない漁業者の漁業資材を転用して経費を安くすること、養殖の準備や管理作業に家族の高齢者や女性を巻き込んだ副業的な養殖（以下、コンパクト養殖と称する）をすることを考えた。そこで本研究では、小型底びき網の混獲物として多量に投棄されている実態や、混獲トリガイの破損状態や生存との関係を明らかにし、その混獲トリガイを養殖種苗として使い、初期投資を抑えるために現在は使っていない漁業者の漁業資材を用いるなどの工夫をし、瀬戸内海に多く存在する低利用な漁港の活用策として港内の静穏域やその周縁の安全な場所で小型底びき網漁業者だけでなく、家族の高齢者や女性も巻き込んだ副業的な養殖（コンパクト養殖と定義する）が可能と考えた。

第 1 章 トリガイの混獲と投棄

混獲トリガイの未利用資源を種苗として使うコンパクト養殖を継続的に実施するためには、種苗供給量の把握、すなわち沖合で投棄されているトリガイの量などの実態把握が必要となる。また、トリガイの殻は薄く破損しやすいことから、種苗として使用できるトリガイを船上で判別する方法を明らかにしておかねばならない。そこで、本研究は、近年不漁が続く燧灘のトリガイの漁業実態、特に混獲物として

多量に投棄されている実態を明らかにするために、小型底びき網漁における混獲トリガイと貝殻破損の実態を船上で調査した。

その結果、燧灘で操業する小型底びき網漁で漁獲されるトリガイは、春季から夏季（概ね3月～9月）の間、1曳網当たり50～200個と多数漁獲されたが、商品サイズ未満のために80～100%がそのまま投棄され、秋季から冬季（概ね10月～2月）の間は、1曳網当たり数個～50個未満と大幅に減少したが、商品サイズに成長したトリガイは重要な漁獲対象であり、すべて市場に出荷された。著者らは、投棄トリガイを使った養殖を水温が25°C以下に低下する9月から開始するのが良いと考えているが、燧灘では、9月以降になると漁獲数は減少するものの1曳網当たり4～99個の投棄トリガイが漁獲されることから、1日で3万6千個/調査地域の種苗が推計で確保でき、数量的には養殖種苗の確保に問題はないと考えられた。

投棄トリガイの破損状況を観察したところ、えびこぎ網の時期は、漁獲されたトリガイのうち破損のない個体（破損度0）の割合が概ね50%以上で、31～89%の範囲にあるが、戦車こぎ網の時期は、破損のない個体（破損度0）の割合が、概ね50%以下で、10～50%の範囲にあった。えびこぎ網に比べて、戦車こぎ網の漁具の方が、より破損する個体が多かった。また、戦車こぎ網の方がより強く破損していることが分かった。えびこぎ網の方が、戦車こぎ網に比べ殻を損傷する個体が少ない結果となり、種苗を確保する漁法として適していると考えられた。

第2章 混獲トリガイを種苗とする条件

この未利用資源である混獲トリガイを種苗として使うコンパクト養殖を継続的に実施するため、トリガイの殻は薄く破損しやすいことから、種苗として使用できるトリガイを船上で判別する方法を明らかにしておかねばならない。そこで、本研究は、トリガイの貝殻破損状況と種苗性の関係を確認する実験を陸上水槽（短期飼育試験）と海面（長期飼育試験）で実施した。

その結果、トリガイ資源の減耗原因の一つとして、漁具による殻の破損が考えられるとの報告があるが、本研究でも破損している個体の生残率は低く、特に破損度3は、投棄後に0～40%しか生残しないことが明らかになった。また、殻の破損が少な

いえびこぎ網の6月～10月の間でも、破損していない個体の生残率が50～75%しかなく、投棄後半数近くが死亡していることが推定された。混獲トリガイの生残には、殻の損傷度合や季節が影響しており、殻が強く破損すると、明らかに生残率が低下すること、破損していない個体でも夏季には生残率が低い場合があることが明らかとなった。

また、長期間飼育した結果、飼育開始1カ月間で破損度2と3の個体が死亡し始め、飼育4カ月後には破損度0と1の個体が、ほぼ8割以上生残したが、破損度2と3の個体は、4割以下の生残率となった。この破損度0と1、2と3の生残率の差は、殻の欠損の有無である。トリガイは、殻が欠損した状態で潜砂することができないため、殻の欠損は生存に影響を及ぼす。このため、養殖用種苗には破損が無い個体とひび割れ程度の破損個体（破損度0か1）を選択すべきであり、殻が欠損している個体は適さないと推察された。

第3章 香川県沿岸におけるコンパクト養殖の可能性

先行事例を参考にしながら、養殖資材の初期投資を抑えるため、地域の漁業者が現有し余っている資材を利活用することを前提として、香川県沿岸で投棄されている混獲トリガイを種苗として使って養殖が可能か確認することを目的として試験を行った。

予備的に、2014年9月に燧灘で操業する小型底びき網漁で投棄されている混獲トリガイを角型カゴで飼育したところ、翌年6月まで約90%が生存したことから、投棄しているトリガイを養殖種苗に使うことや、飼育容器として、コンテナに代わり角型カゴを使うことは可能だと判断した。しかし、7月20日までに1個体を残し全滅した。香川県沿岸の環境条件から考えると、頻繁にカゴやカバーネットの清掃等のメンテナンス作業を行うことによって、7月中まで養殖を継続できる可能性があるが、29°Cを超える高水温となる8月以降まで養殖期間を延伸することは難しいであろう。

養殖方法の検討では、安価な軽石とアンスラサイトを比べ成長に有意差があったことから基質として、アンスラサイトの代用として軽石を使うことはできないと判

断するが、角型カゴだけでなく丸型カゴを使うことや、巾着型のカバーネットを採用することは問題無いと考える。現場では、平面のカバーネットは垂下に 2 本のロープが必要で、カゴの揚げ降ろしをバランス良く行わねばならず、作業性が悪かった。また、カゴに巾着型のカバーネットを取り付ける場合、角型カゴより丸型カゴの方が製作が容易であった。これらのことから、丸型カゴに巾着型のカバーネットを取り付けて使う方法が良いと思われる。なお、京都府方式のコンテナでは、海中から船上や筏上へのコンテナ引上げ時の重量が 50 kg にもなるが、ここで提案する丸型カゴに巾着型カバーネット使う方法では、海面でカゴから水が抜けるのを待つことで、重量は 9~10 kg（実測値）となるので、大幅な労力を軽減できる。

当海域におけるトリガイ養殖は、海水が飼育容器から抜けるカゴを用いるなど漁業者が保有している資材を活用し、混獲されたトリガイを使って水温が 25°C を下回った 9 月下旬から開始し、翌年 7 月に水温が 25°C を超える時期までに取り上げるようにし、クロロフィル a 濃度が高い場所で、収容密度を低くして、特に水温上昇期に清掃などのメンテナンス作業を頻繁に行うようにしながら実施する必要がある。さらに養殖を事業化するに際しては、種苗の確保の見通しや、底びき網漁の片手間に実施することによる採算性について、検討する必要がある。

第 4 章 低利用の漁港で実施するコンパクト養殖技術の開発

混獲トリガイが養殖種苗として使用できること、漁業者が以前に漁業で用いていた丸型カゴに、巾着型カバーネットを取付けて容器として使うことで作業を軽減できることが判明した。しかしながら、夏場の死亡個体が増えるため、水温が 25°C を下回る 9 月下旬から開始して翌年 7 月に水温が 25°C を超える時期の前に出荷しなければならず、そのうえ京都府の養殖トリガイと比べると成長も劣る。しかし、養殖容器を垂下する場所を餌となるクロロフィル a 濃度が高い所にして、トリガイの収容密度も低くし、さらに水温上昇期に清掃などのメンテナンス作業を頻繁に行うようにすることで、混獲種苗を用いた香川県の漁港内での垂下養殖は可能と判断した。

そこで、観音寺市室本漁港において、小型底びき網で混獲される出荷サイズ以下のトリガイを使用し、先行研究に基づきコンパクト養殖実証試験を 2015 年から

2017年にかけて2回実施し、養殖漁場（港内）の環境、トリガイの生残率や成長等の検討を行った。

その結果、コンパクト養殖実証試験1では、2015年9月12日の 45.4 ± 6.2 mmから7カ月後の4月16日には、 66.7 ± 4.4 mmと93%の個体が殻長60 mm（漁業者が出荷基準としているサイズ）を超えた。また殻長が70 mmを超える大型個体が21%見られた。コンパクト養殖実証試験2は、10月1日の平均殻長 52.8 ± 4.75 mmから8カ月後の5月23日には、 64.1 ± 6.60 mmと75%が商品サイズを超え、20%が70 mmを超えたが、どちらも80 mmを超える個体は見られなかった。

本試験の水質環境データの回帰結果から、クロロフィル a の濃度は成長や生残にほとんど影響を与えないことが明らかになったが、1年を通して $5 \mu\text{g/l}$ 以下である室本港内の低いクロロフィル a 濃度条件下における結果であり、岩尾ら（1993）の報告にあるとおり、必要とされる $10 \mu\text{g/l}$ を通年下回っていることから、特に3月と4月は $1 \mu\text{g/l}$ 以下となることから、京都府宮津湾の養殖トリガイに比べ成長の停滞が起きたと推察された。7～9月は、水温が 25°C を上回る高水温となり、養殖には適していないが、他の月は 25°C 以下の水温であり、港内水温を確認して養殖を開始し、6月中に出荷する本養殖方法によって当該漁港における養殖は可能であると推察された。また、港内に流入河川がないことから塩分は安定し、溶存酸素濃度についてもトリガイ養殖業に負の影響を与えることは無いと推察された。

本コンパクト養殖方法で実施すれば、へい死率27、34%と先行研究結果の20%と比較してややへい死率が高いものの、93、75%が出荷サイズに達し、トリガイ養殖漁場として試験を行った室本漁港は成立すると考えられた。

第5章 混獲トリガイを種苗として使うコンパクト養殖の採算性

香川県観音寺市を調査地として、コンパクト養殖が成立するか明らかにすることを本研究目的とし、前章において、港内養殖による生残率及び出荷サイズである殻長60 mm以上に達するかの確認を行った。さらに、生残率や成長の結果を補完するために水質測定等を行い、港内での養殖が可能であることが判明した。そこで、養殖に係る労働状況や経営収支の調査・分析を行った。そして、コンパクト養殖の所

得が小型底びき網漁業の時間当たり所得と同程度となることによって、当該地域漁業関係者によるコンパクト養殖業が普及すると考えられた。

本研究では、経費を削減したコンパクト養殖をめざしたことから、1個当たりの生産原価は、79円、所得率41%となった。ただし、経費の大半をアンストラサイト代が占めており、安価な基質への変更（第3章で、1/10の値段の基質を試験）を検討すべきであった。また、投下労働時間対所得率（労働生産性）は554円/時となった。同じ瀬戸内海の山口県の小型底びき網漁業のデータを参考にしたところ、投下労働時間対所得率が855円/時間であり、また香川県の最低賃金が818円/時間（2020）で、これらと比較すると65～68%の投下労働時間対所得率となった。

高松中央卸売市場の関係者から販売単価を上げるための改善策として、70mm以上のサイズを選別して「大」銘柄で販売することでインパクトが生まれることや、実需者へ「養殖もの」の利点を前面に打ち出した宣伝を行うことで、天然トリガイと差別化ができると指摘された。養殖トリガイは、天候に左右されずに飲食店の注文に応じた出荷が可能であることや（外食等から市場への注文品）、漁具による損傷やストレスで死に易い天然トリガイと比較して養殖貝は活度の高い「活貝」を提供できることによって、鮮魚店や飲食店における品切れによる売上ロスや、へい死による店の原材料ロスを低減させる利点がある。このような利点が鮮魚店や飲食店などに理解されれば、京都府ではこの約3倍の価格で流通しているので、販売単価も改善されると推察された。

本試験は試みであり、成熟した技術や技能、確立した販路もなかったことから、価格や所得に課題は残ったものの、上述のとおり改善できる点はある。今後、これらの問題点を改善することによって、混獲物として投棄されている小型トリガイを利用したコンパクト養殖は成立すると推察された。また、小型底びき網の混獲物の有効利用等だけでなく、地域社会への相乗効果として、この養殖が燧灘沿岸の漁港に波及すれば、当該地域における漁村インフラの有効活用だけでなく、地域の特産品として見直され、地域の活性化につながることも期待できる。

調査協力してもらった漁業者は、本実証試験と同様に小型底びき網の操業に支障が出ないことを確認しながら、段階的に規模拡大を進めるべきであること、そして

この規模拡大には家族の協力（高齢者や女性が養殖作業を肩代わりする）が必要であるとの意見であった。

第6章 トリガイのコンパクト養殖方法の提言

本研究の結果から、小型底びき網漁業の副業として収益の向上、未利用資源の有効活用、香川県沿岸における低利用となっている漁港の活性化対策となることや当該地域の高齢漁業者対策・女性漁業者の活躍も期待できるトリガイのコンパクト養殖についてガイドラインを作成した。

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、終始暖かく励ましてくださるとともに懇切なご指導を賜った徳島大学大学院総合科学教育部の浜野龍夫教授に衷心よりお礼を申し上げます。また、同大学院同教育部（当時）の小山保夫教授、中川秀幸教授、横井川久己男教授のご指導に心から感謝する。さらに平井松午教授及び山本裕史准教授（いずれも当時）、また高橋晋一教授には、いかに地域の産業に寄与していくかといった「地域科学」の目線から大変有意義なご意見を賜った。ここに厚くお礼申し上げます。徳島大学大学院総合科学教育部の真壁和裕教授、三浦哉教授には、本論文のとりまとめに際して、有益なご指導をいただいた。徳島大学大学院社会産業理工学研究部の岡直宏講師、徳島大学産業院團昭紀客員教授、山口大学大学院創成科学研究科齋藤稔特命助教には文献収集や論文作成で多大なご助力を賜った。心よりお礼申し上げます。

水産研究・教育機構水産技術研究所宮田勉主幹研究員には、本論文の柱となる水産経済の基礎から懇切丁寧に指導して頂き、投稿論文作成段階で、挫けそうになる私を叱咤激励して頂き、ここまでたどり着くことができた。改めて心より感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり香川県水産課北尾登史郎課長（当時）、香川県水産試験場坂本久場長（当時）はじめ、職員の皆様にはそれぞれの立場から貴重なご助言、多大なご助力を賜った。特に香川県水産課湯谷篤技師（当時）には、水産業改良普及員として当研究のスタートにご尽力頂いた。ここにお礼申し上げます。

本研究の現場での試験実施にあたり、多くのトリガイに関わる漁業者・漁業協同組合・市場・飲食店のご協力を頂いた。特に観音寺市観音寺漁協・伊吹漁協・西かがわ漁協の小型底びき網漁業者には、乗船調査やトリガイサンプルの入手にご協力頂いた。同漁協職員には、忙しい中、聞き取り調査や漁獲量などの資料収集に参加して頂いた。観音寺市農林水産課・建設課の課員の皆様には現場の作業に参加して頂いたり、観音寺市室本港での養殖試験にご理解を頂きスムーズに養殖試験が開始

できた。改めて本研究にご尽力いただいた皆様に厚くお礼申し上げます。

本研究のきっかけとなったトリガイの不漁対策を相談して頂いた西かがわ漁協の合田誠志氏は、私が水産試験場の研究員の駆け出しのころから長年にわたり燧灘の環境や漁業について指導して頂いている小型底びき網漁業者であるが、本研究においては合田誠志氏とそのご家族の方々には現場の養殖実証試験に多大なご支援を頂いた。ここに厚くお礼申し上げます。

最後に、本研究の遂行及び取りまとめにあたり、長年私のわがまを許してくれ、支え続けてくれた妻美鈴に感謝する。

文 献

- 安部昌明・高砂 敬・安部享利・松岡 聡・菊地博史・栩野元秀（2000）水質異常・魚類斃死等に関する調査，平成10年度香川県水産試験場事業報告，33-37.
- 愛知県水産試験場（2001～2014）海面増養殖技術試験 海産生物増養殖試験 重要二枚貝増養殖試験（トリガイ漁場形成機構調査），愛知県水産試験場業務報告書.
- 馬場俊典・木村 博・立石 健（2002）山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究－VI トリガイ漁場の環境特性，山口水研セ研報，1，31-39.
- Bolker, B.M., Brooks, M.E., Clark, C.J., Geange, S.W., Poulsen, J.R., Stevens, M.H.H., White, J.S.S. (2009) Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution *Trends Ecol. Evol.*, 24, 127-135.
- 中国四国農政局香川統計情報事務所（2001）海面漁業・養殖業累年統計書,中国四国農政局香川統計情報事務所.
- 中国四国農政局香川統計情報事務所（1999）「図説」香川県漁業の動き，社団法人香川県農林統計協会.
- 中国四国農政局香川農政事務所（2011）「図説」香川県漁業の動き，中国四国農政局香川農政事務所.
- 後藤卓治（2018）高齢漁業者も利用しやすい漁港づくりについて，地域漁業研究，58，84-88.
- 濱上欣也・沢矢隆之・勝山茂明・相木寛史・西田 剛（2014）トリガイ養殖技術開発事業（養殖試験），平成24年度石川県水産総合センター事業報告書，30-32.
- 平川英人・田中利幸（1997）小型底びき網における再放流ヒラメの生残率，月刊海洋，29，376-379.
- 檜山節久（2002）山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究－I 既往文献の整理と問題の所在，山口水研セ研報，1，1-3.
- 本田勝司（1973）水産と高分子，高分子，22，344-349.

- 藤石昭生（1995）漁業の混獲問題，恒星社厚生閣，東京，pp. 30–42.
- 船越茂雄・瀬川直治・矢澤 孝・都築 基（1997）三河湾産トリガイの成長について，
愛知県水産試験場研究報告，**4**, 73–75.
- 井上 泰（1955a）トリガイの生態学的研究－I 成長について，日本水産学会誌，**21**,
24–26.
- 井上 泰（1955b）トリガイの生態学的研究－II 産卵期について，日本水産学会誌，
21, 27–29.
- 石谷 誠・江藤拓也（2009）小型底びき網漁業における混獲投棄魚の実態について，
福岡水産海技セ研報，**19**, 21–27.
- 岩尾敦志・西広富夫・藤原正夢（1991）トリガイ養殖の可能性について.京都海洋セ
研報，**14**, 14–19.
- 岩尾敦志・藤原正夢・藤田真吾（1993）トリガイ養殖に関する研究－I トリガイ秋生
まれ種苗および春生まれ種苗の養殖種苗としての適性について，京都海洋セ研報，
16, 28–34.
- 香川県（2003）平成14年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書，香川県.
- 香川県漁業史編さん協議会（1994）香川県漁業史通史編，第一法規出版株式会社，東
京，pp. 939–951, p. 1292.
- 香川 哲・湯谷 篤・齊藤 稔・浜野龍夫・岡 直宏（2020）香川県沿岸の小型底び
き網漁で投棄されるトリガイを種苗に使う養殖の可能性，香川水研報，**19**, 1–7.
- 香川 哲・齊藤 稔・浜野龍夫・岡 直宏（2020）トリガイの漁獲量変動（アンケー
ト調査結果より），香川水研報，**19**, 9–13.
- 香川 哲（1997）シャワー方式による小型底びき網漁業での再放流シャコの生残率の
向上，月刊海洋，**29**, 385–388.
- 木村 博（2009）山口県瀬戸内海における小型機船底びき網漁業の経営実態について，
山口水研セ研報，**7**, 11–17.
- 木村 博・檜山節久（2002）山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管
理に関する研究－II トリガイ資源の消長，山口水研セ研報，**1**, 5–10.
- 木村 博・檜山節久・松野 進・馬場俊典・高見東洋・立石 健（2002）山口県大島

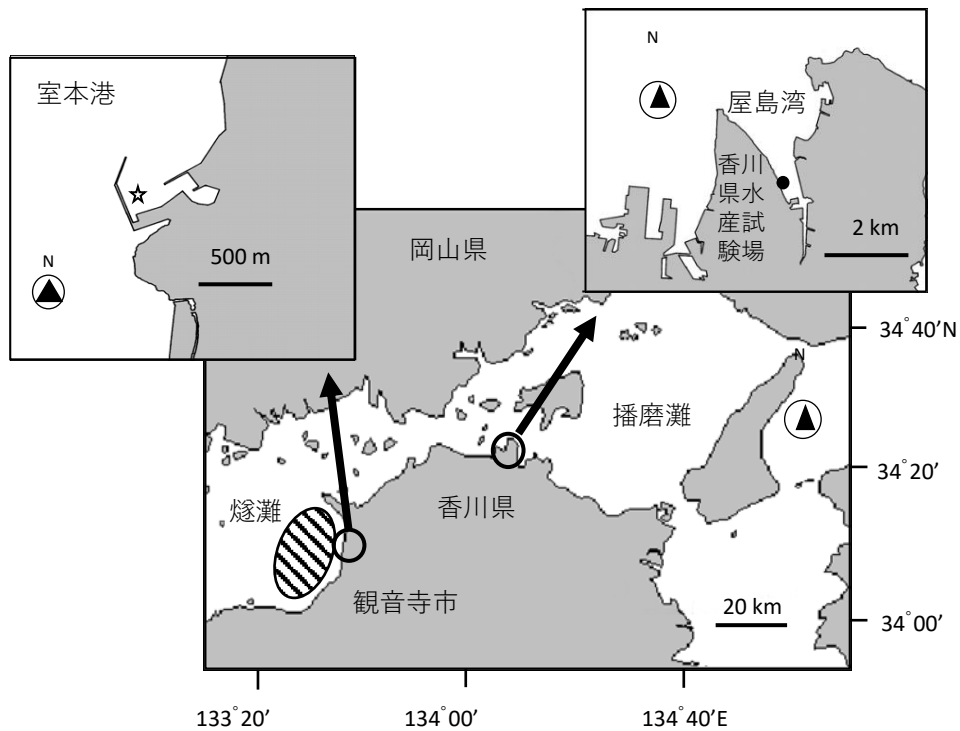
- 郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究－Ⅶトリガイ死亡原因と資源の有効利用に関する考察, 山口水研セ研報, **1**, 41–52.
- 木村 博・中村圭吾 (2009) 山口県瀬戸内海における小型機船底びき網漁業の操業実態について, 山口水研セ研報, **7**, 1–9.
- 木村 博・高見東洋 (2002) 山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究－Ⅲ飼育トリガイの成長と生残, 山口水研セ研報, **1**, 11–15.
- 真鍋寛定 (1978) 燧灘東部海域における溶存酸素量変化, 昭和51年度香川県水産試験場事業報告, 21–30.
- 松宮義晴 (1997) 再放流・投棄魚の諸研究と資源管理との関連, 月刊海洋, **29**, 327–332.
- 松野 進・木村 博 (2002) 山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究－Ⅴトリガイの高水温耐性および低酸素耐性, 山口水研セ研報, **1**, 23–29.
- 成田 薫 (2018) 貝けた網漁業で漁獲したウバガイの破損貝の割合, 福島県水産試験場研究報告, **18**, 50–52.
- 梨本勝昭 (1985) ウバガイ桁網の漁獲による破損貝について, 日本水産学会誌, **51**, 1631–1637.
- 西広富夫 (1997) 京都府のトリガイ養殖試験の現状, 日本海区水産試験研究連絡ニュース, **379**, 5–9.
- Nishikawa, T., Hisago, Y. and Yonezawa, T. (2015) Potential for the suspended culture of the cockle *Fulvia mutica* at Igumi fishing port, Hyogo Prefecture, southwestern Sea of Japan, *Aquacult. Sciences*, **63**, 475–479.
- 野上和彦・梅沢 敏・阪口清次・福原 修 (1981) トリガイ *Fulvia mutica* (REEVE) の酸素消費量と高水温期におけるへい死との関係について, 南西水研研報, **13**, 19–28.
- 小椋将弘 (2009) Excelで簡単統計 Excel 2007対応版一データ入力一発解答 CD-ROM付, 株式会社講談社, 東京, pp. 1–213.
- 岡本繁好・反田 実 (1997) 小型底びき網で漁獲されるカレイ類幼稚魚の投棄実態と

- 再放流の生存率, 月刊海洋, **29**, 371–375.
- 奥谷喬司・鈴木たね子 (2001) エビの栄養・イカの味貝の生態—水産無脊椎動物の生物学・栄養・機能成分—, 株式会社アポック社, 東京, pp. 43–75.
- 鬼木浩一 (2013) トリガイ養殖と収支シミュレーション, 養殖ビジネス, **16**, 16–19.
- 大畑亮輔・田中雅幸・今西裕一・久田哲二・尾崎 仁 (2015) トリガイ養殖における清掃作業と低密度飼育の有効性, 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告, **37**, 25–27.
- ピネイロJ.C.・ベイツD.M. (2010) S-PLUSによる混合効果モデル解析 (緒方宏泰 監訳), シュプリンガー・ジャパン, 東京, pp. 209–279.
- 塩屋照雄・相沢秀男・田中義高・福井省三 (2003) 江戸前貝類漁業小史 東京の干潟に生きた貝類漁師の覚書, 財団法人東京湾内湾漁業環境整備協会, pp. 1–215.
- 水産庁 (2019) 漁港の有効活用について (漁港施設に関する利用規制の緩和), 水産庁.
- 高橋宏司・澤田英樹・益田玲爾 (2016) イシガニによるアサリ捕食のメカニズムとその対策, 日本水産学会誌, **82**, 706–711.
- 谷本尚史・田中雅幸・久田哲二・大畑亮輔・今田裕一 (2015) 塩分がトリガイの生残に及ぼす影響, 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告, **37**, 7–10.
- 田 永軍 (1992) 東京湾のトリガイ資源に関する研究, 博士論文, 東京大学, 東京.
- 田 永軍・清水 誠 (1997) 東京湾におけるトリガイの漁獲量変動と個体群構造, 日本水産学会誌, **63**, 353–360.
- 富田 進・高橋ひろみ・鈴木尚代・関村亮一 (2005) 貝の食環境と文化, 窓映社, 八千代市, pp. 92–93.
- 土屋詩織・後藤卓治・富田 宏 (2016) 漁村活性化のあり方について, 漁村総研調査研究論文集, **26**, 21–27.
- 内野 憲・藤原正夢・田中雅幸・桑原昭彦・辻 秀二・葭矢 護 (1988) トリガイ春生まれ種苗の囲網内における成長と生残, 京都海洋セ研報, **11**, 17–23.
- 内野 憲・辻 秀二・道家章生・葭矢 護・船田秀之助 (1990) トリガイ種苗の食害による減耗と捕食種 (予報), 京都海洋セ研報, **13**, 17–20.

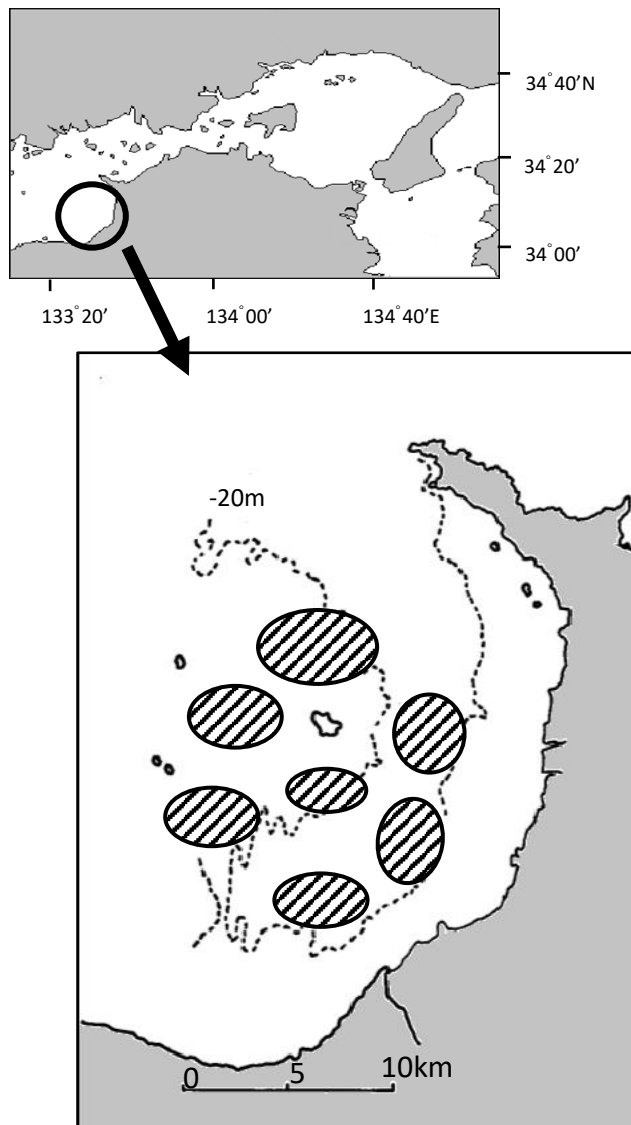
- 内野 憲・辻 秀二・道家章生・船田秀之助（1992）宮津湾におけるトリガイの減耗の過程, 日本海ブロック試験研究集録, **23**, 73–81.
- 矢野 純（1977）燧灘貧酸素水塊形成, 愛媛水試研報, **1**, 9–17.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., and Smith, G. M. (2009) *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*, Springer, New York, pp. 101–142.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N. and Elphick, C. S. (2010) Protocol for data exploration to avoid common statistical problems, *Methods Ecol. Evol.*, **1**, 3–14.




図 I トリガイの写真.

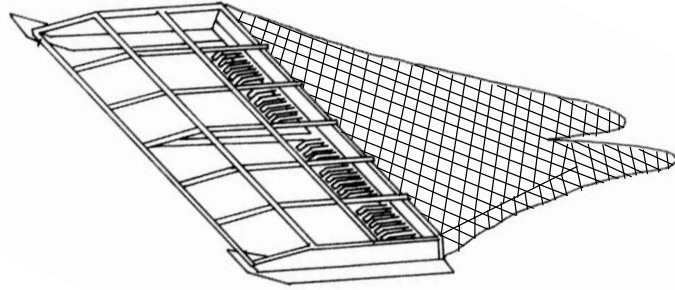


図Ⅱ 研究対象とした海域図（☆：コンパクト養殖試験地点，●：香川県水産試験場試験地点，⊗：乗船調査海域）。

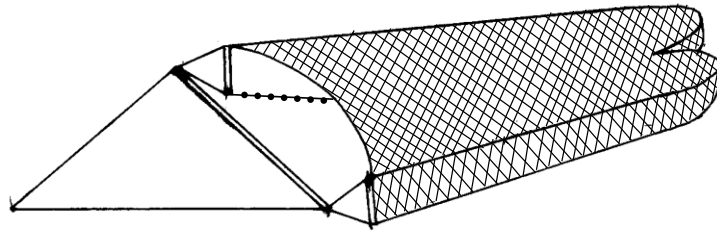


図Ⅲ 小型底びき網漁業のトリガイ漁場図（聞き取り調査から作成,  : 過去のトリガイの漁場）.

a



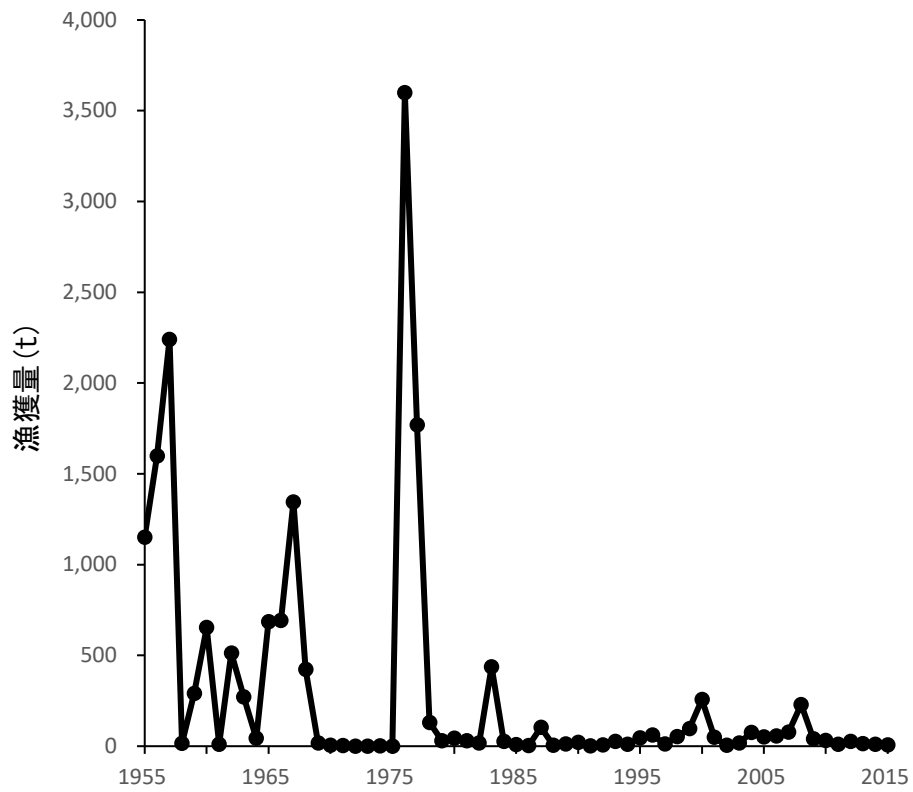
b



図IV 燧灘海域で小型底びき網漁業に
使用される漁具図 (a: 戦車こぎ網,
b: えびこぎ網) .



図V 小型底びき網で混獲されたトリガイの写真.
a : 船上の漁獲物の中に見える混獲トリガイ.
b : 一網で獲れた混獲トリガイ.



図VI 香川県におけるトリガイの漁獲量（1955年～2015年）.



図Ⅶ 低利用漁港（観音寺市室本港）の写真.
a：漁船等が係留されている船溜まり.
b：防波堤より船溜まり入り口を望む.

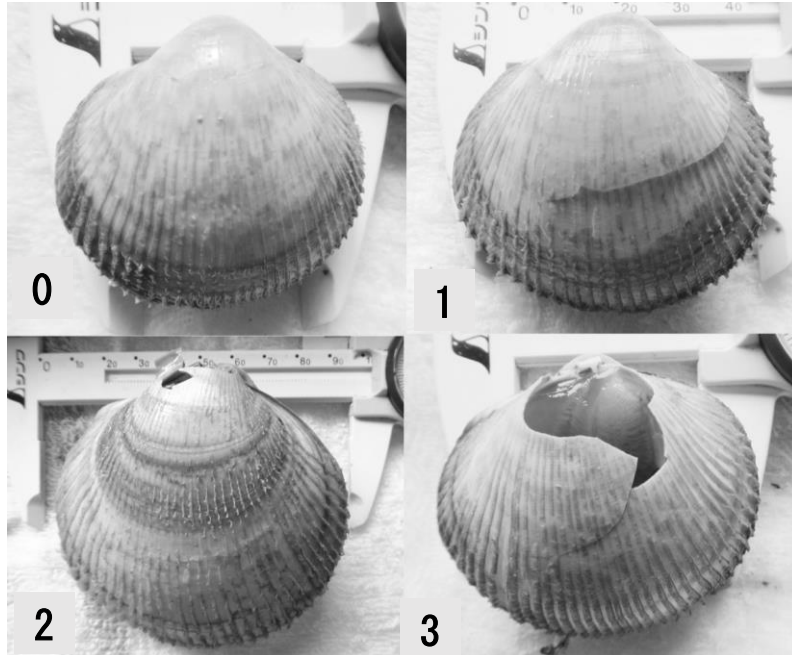


図1-1 殻の破損状況の分類.

- 破損度0：どちらの殻にも破損が無いもの。
破損度1：どちらかの殻に明瞭なひび割れがあるが、両側の殻ともに欠損はない。
破損度2：両側の殻もしくはどちらかの殻に欠損がある。ただし、どちらの殻にも1割以上の欠損はない。
破損度3：両側の殻もしくはどちらかの殻に1割以上の欠損がある。

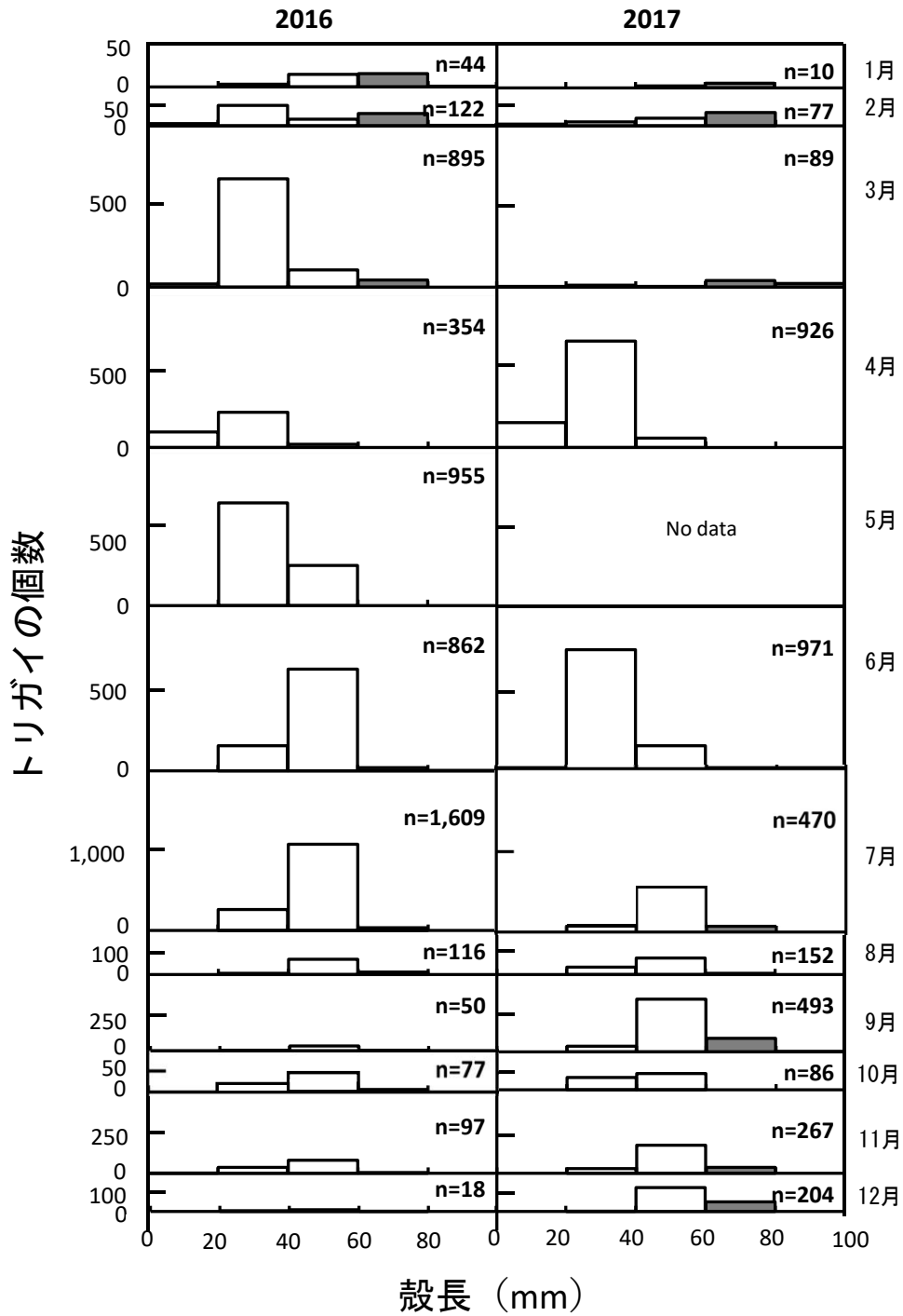


図1-2 漁獲されたトリガイ殻長の殻長組成（着色部は商品サイズ）。

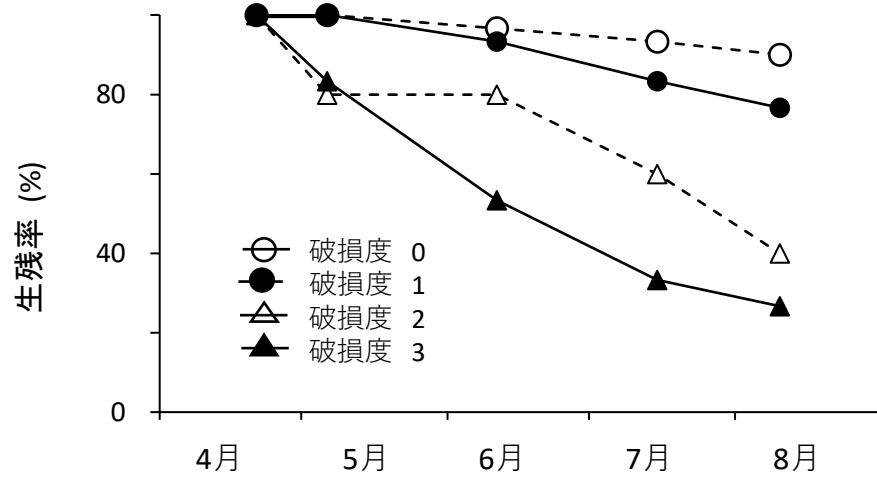


図2-1 各破損度ごとの長期間飼育の生残状況.

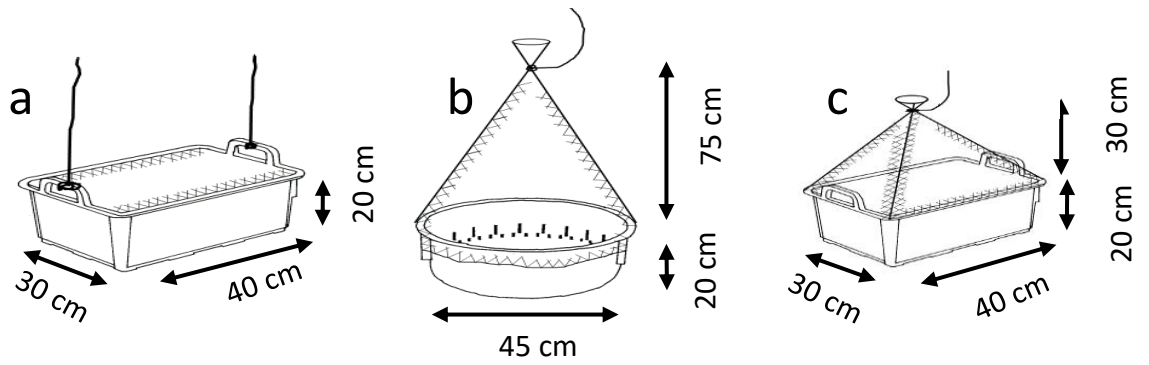


図3-1 養殖に使用したカゴの図.

- a : 角型カゴに平坦に覆ったカバーネット.
- b : 丸形カゴに巾着型カバーネット.
- c : 角型カゴに巾着型カバーネット.

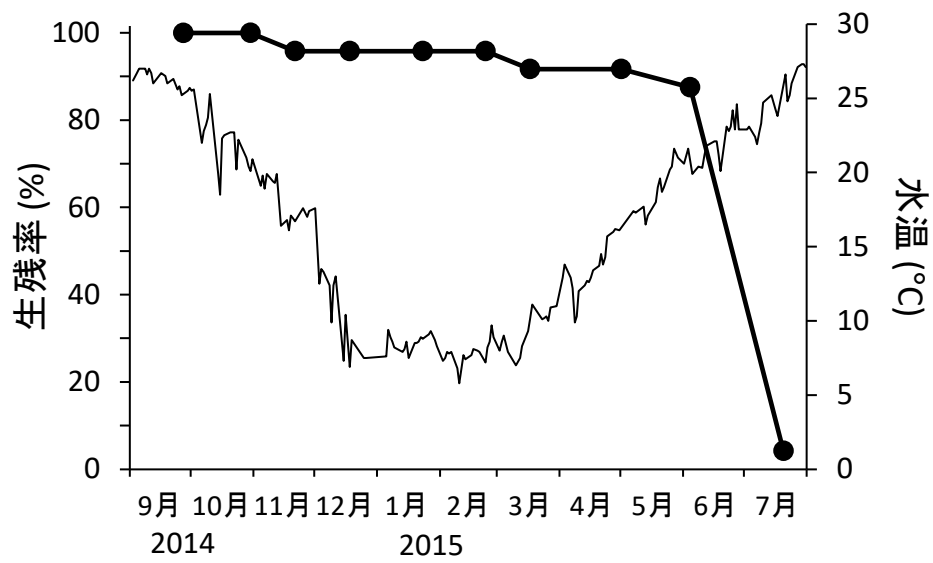


図3-2 養殖トリガイの生残率と水温の月別変動.

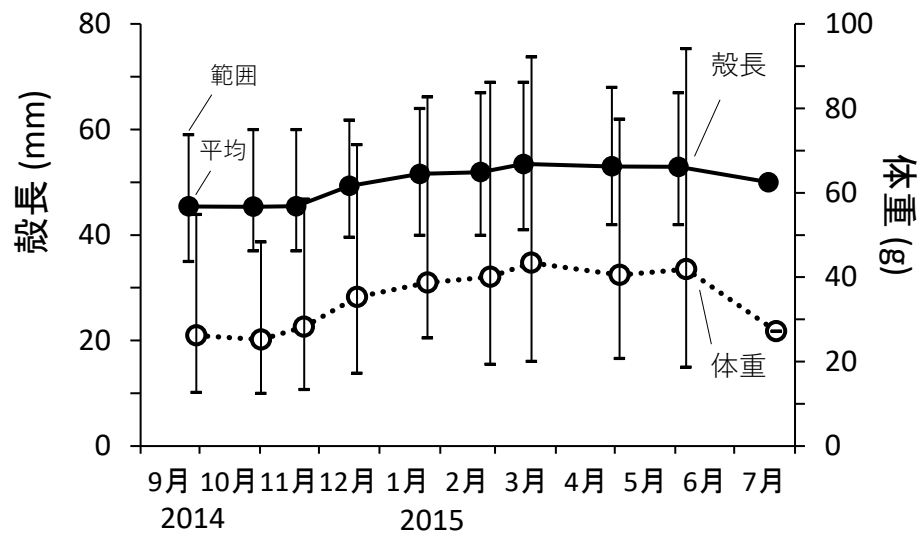


図3-3 養殖トリガイの殻長と体重の月別変動.

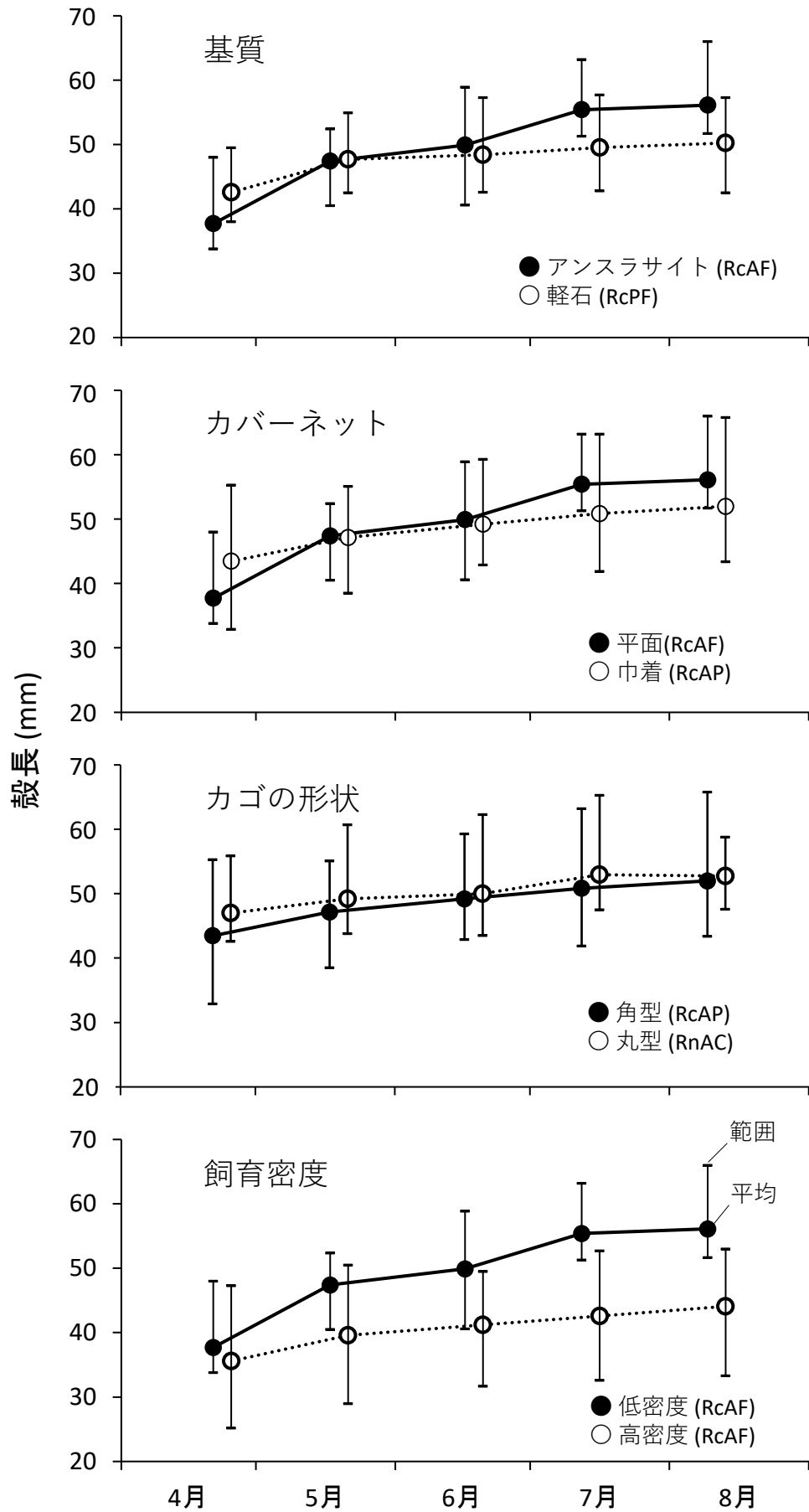


図3-4 カゴの形状，基質，カバーネットの形状，飼育密度が違った養殖によるトリガイの殻長の経月変化。

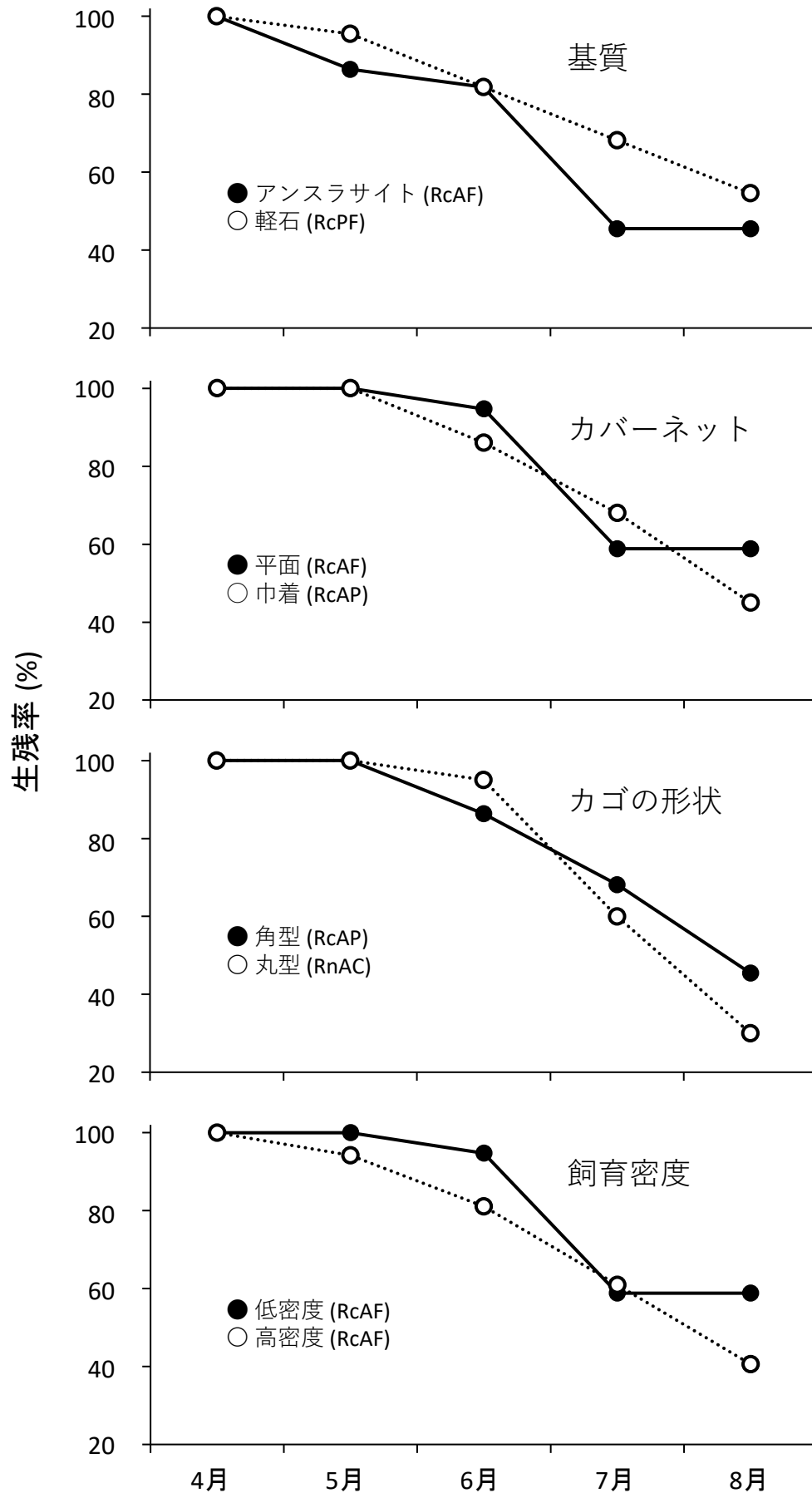


図3-5 カゴの形状，基質，カバーネットの形状，飼育密度の違う養殖によるトリガイの生存率の経月変化。

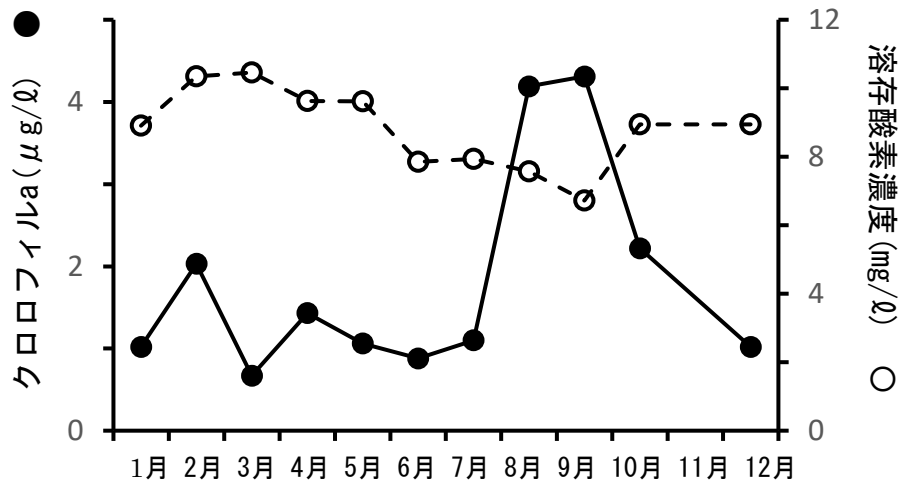
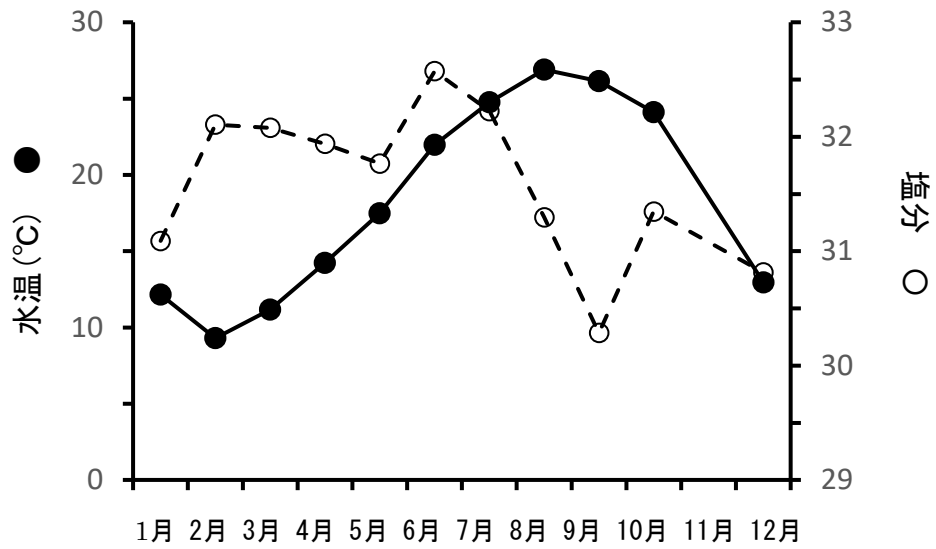


図3-6 養殖環境の変化.
 試験地点 (香川水試) の水温, 塩分, クロロフィルa, および溶存酸素濃度.

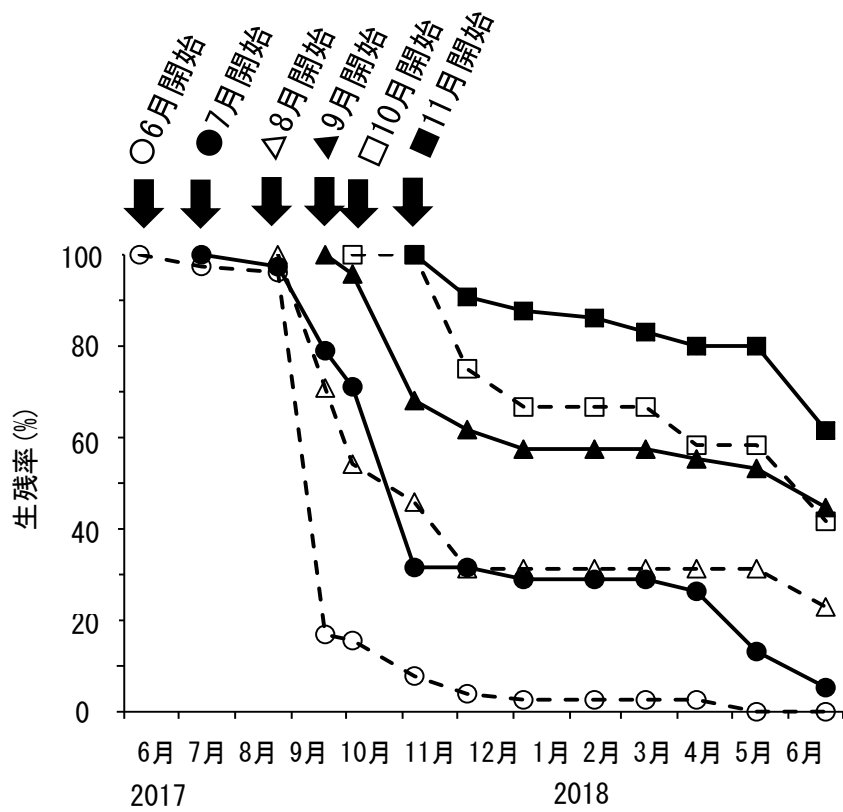


図3-7 養殖開始時期の異なるトリガイの生残率の経月変化.

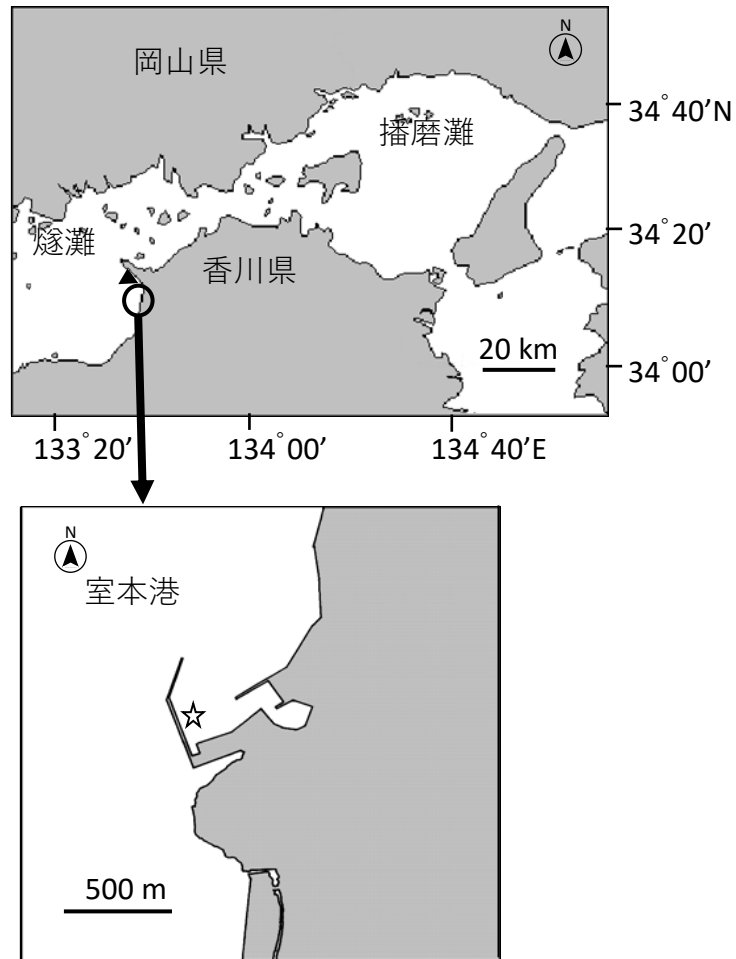


図4-1 香川県海域における室本港位置図.
 ☆：トリガイ養殖漁場位置.

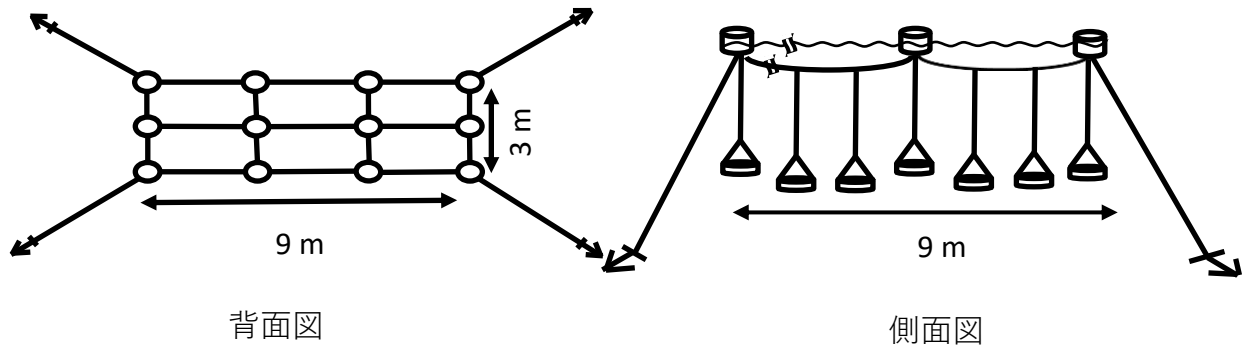


図4-2 港内に設置したコンパクト養殖施設の様式図.

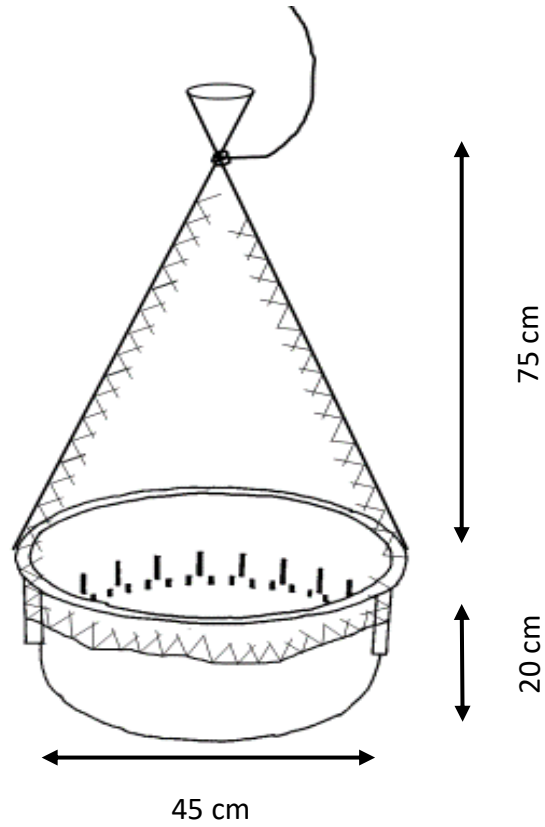


図4-3 コンパクト養殖実証試験に使用した丸型カゴ（カゴのサイズ：直径45×高さ20cmで2mm幅のスリット，形状：丸形カゴに巾着型カバーネット，ネットのサイズ：高さ25cmの円錐型のカバーネット）。

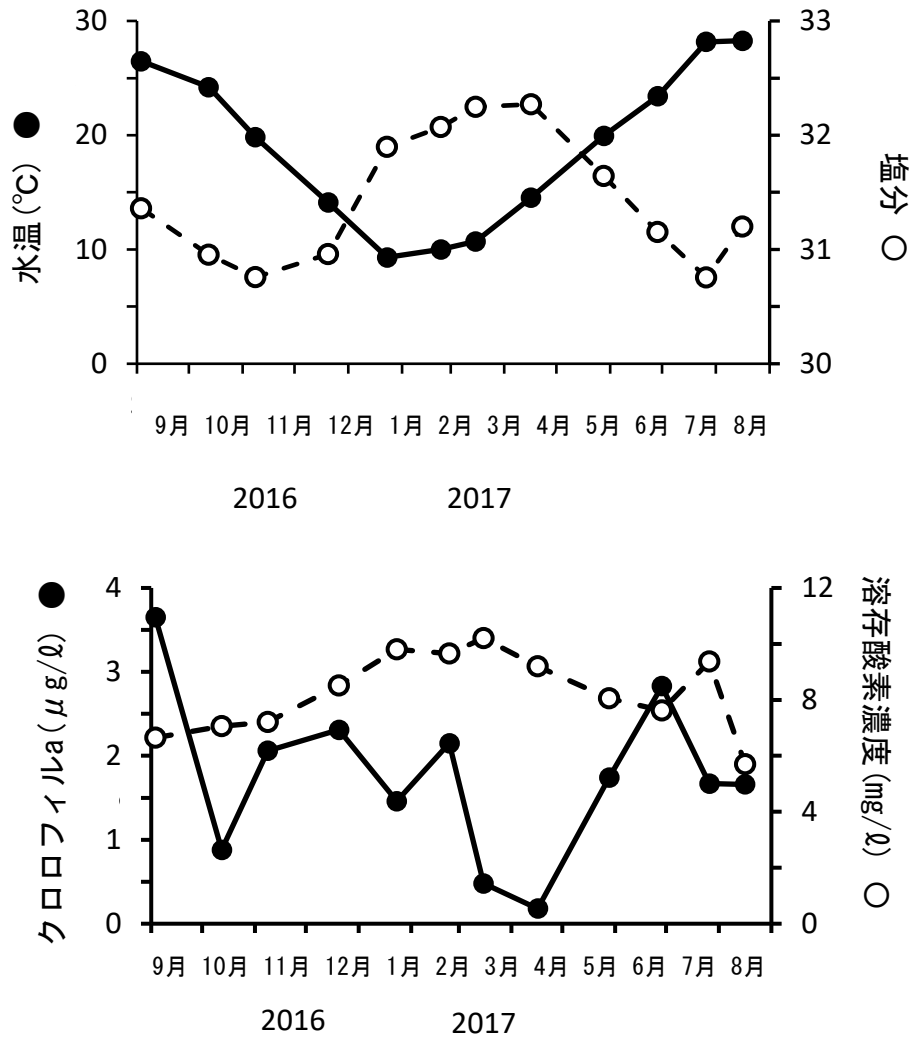


図4-4 コンパクト養殖実証試験時の水温・塩分・クロロフィルa・溶存酸素濃度の月別変化.

表 I 観音寺漁業協同組合におけるトリガイ漁獲量(kg)の季節変動(上段は1999年～2002年, 下段は2014年～2017年)

年/月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
1999	0	0	0	0	0	3,828	26,083	16,504	14,969	0	3,333	23,550	88,268
2000	18	8	17	3	0	1,593	2,514	4,614	2,534	340	0	20	11,661
2001	481	2,071	523	0	3	2	3,595	18,108	12,891	600	0	0	38,273
2002	5	3	6	0	0	0	0	419	2,063	0	5	25	2,525

年/月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
2014	173	481	762	58	13	14	18	14	4	0	0	6	1,542
2015	253	515	1,233	54	2	1,986	60	14	3	2	1	10	4,133
2016	23	357	551	31	3	46	75	510	18	0	0	0	1,613
2017	35	286	399	5	0	2	8	18	14	0	0	35	802

表1-1 燧灘における小型底びき網漁の1曳網（40～50分）
で漁獲されたトリガイ個数と投棄された貝の割合（％）

月	2016年		2017年	
	個数	投棄率％	個数	投棄率％
1月	4.0	52.3	2.0	30.0
2月	12.2	69.7	7.7	49.4
3月	99.4	94.7	9.9	24.7
4月	35.4	100.0	115.8	100.0
5月	119.4	99.4	—	—
6月	123.1	97.2	108.1	99.5
7月	243.0	97.4	117.5	94.5
8月	57.5	87.0	76.0	94.7
9月	5.1	90.2	98.6	81.1
10月	3.8	86.8	43.0	100.0
11月	17.3	95.7	15.7	84.3
12月	3.6	88.9	17.0	71.1

注

漁獲：混獲・投棄を含む

水揚：混獲・投棄を含まない

表1-2 混獲トリガイの破損状況

年	月	漁法 [†]	殻長が60mm未満								殻長60mm以上			
			破損度0		破損度1		破損度2		破損度3		合計		個数	(%)*
			個数	(%)	個数	(%)	個数	(%)	個数	(%)	個数	(%)		
2016	5月	B	462	(48.7)	148	(15.6)	135	(14.2)	204	(21.5)	949	(100)	6	(0.6)
	6月	B	399	(47.6)	93	(11.1)	168	(20.0)	178	(21.2)	838	(100)	24	(2.8)
	7月	B	1,016	(64.8)	89	(5.7)	225	(14.4)	237	(15.1)	1,567	(100)	42	(2.6)
	8月	B	69	(68.3)	6	(5.9)	15	(14.9)	11	(10.9)	101	(100)	15	(12.9)
	9月	B	23	(51.1)	2	(4.4)	4	(8.9)	16	(34.8)	45	(100)	5	(10.0)
	10月	B	44	(61.1)	2	(2.8)	11	(15.3)	15	(20.8)	72	(100)	5	(6.5)
	11月	B	33	(36.3)	6	(6.6)	25	(27.5)	27	(29.7)	91	(100)	6	(6.2)
	12月	S	8	(50.0)	1	(6.3)	3	(18.8)	4	(25.0)	16	(100)	2	(11.1)
2017	1月	S	0	(0.0)	0	(0)	1	(33.3)	2	(66.7)	3	(100)	7	(70.0)
	2月	S	8	(21.1)	0	(0)	7	(18.4)	23	(60.5)	38	(100)	39	(50.6)
	3月	S	3	(13.6)	1	(4.5)	5	(22.7)	13	(59.1)	22	(100)	67	(75.3)
	4月	B	455	(49.1)	71	(7.7)	108	(11.7)	292	(31.5)	926	(100)	0	(0)
	6月	B	649	(67.2)	41	(4.2)	111	(11.5)	165	(17.0)	966	(100)	5	(0.5)
	7月	B	237	(53.1)	20	(4.5)	63	(14.1)	126	(28.3)	446	(100)	24	(5.1)
	8月	B	110	(76.4)	6	(4.2)	13	(9.0)	15	(10.4)	144	(100)	8	(5.3)
	9月	B	262	(65.5)	18	(4.5)	41	(10.3)	79	(19.8)	400	(100)	93	(18.9)
	10月	B	73	(84.9)	3	(3.5)	6	(7.0)	4	(4.7)	86	(100)	0	(0)
	11月	B	72	(32.0)	16	(7.1)	34	(15.1)	103	(45.8)	225	(100)	42	(15.7)
	12月	S	57	(39.3)	6	(4.1)	22	(15.2)	60	(41.4)	145	(100)	59	(28.9)

*: (殻長60 mm以上の個数/漁獲された総個数) × 100.

†: B, えびこぎ網; S, 戦車こぎ網.

表2-1 各破損度ごとの生残率の変化

年	月	水温 (°C)	破損度0		破損度1		破損度2		破損度3		合計	
			生残数 /全数	生残率 (%)	生残数 /全数	生残率 (%)	生残数 /全数	生残率 (%)	生残数 /全数	生残率 (%)	生残数 /全数	生残率 (%)
2016	10月	24.9	16/25	(64.0)	0/0	—	0/2	(0)	0/0	—	16/27	(59.3)
	11月	19.1	18/19	(94.7)	3/6	(50.0)	15/21	(71.4)	4/24	(16.7)	40/70	(57.1)
2017	1月	9.6	0/0		0/0	—	1/1	(100)	0/5	(0)	1/6	(16.7)
	2月	7.9	5/5	(100)	1/1	(100)	4/4	(100)	1/6	(16.7)	11/16	(68.8)
	3月	10.0	1/1	(100)	1/1	(100)	2/2	(100)	2/11	(18.2)	6/15	(40.0)
	4月	14.6	40/44	(90.9)	0/3	(0)	9/17	(52.9)	12/27	(44.4)	61/91	(67.0)
	6月	22.3	39/59	(66.1)	0/1	(0)	6/18	(33.3)	4/21	(19.0)	49/99	(49.5)
	7月	26.2	38/51	(74.5)	1/3	(33.3)	6/8	(75.0)	1/24	(4.2)	46/86	(53.5)
	8月	27.5	47/64	(73.4)	4/5	(80.0)	8/14	(57.1)	7/17	(41.2)	66/100	(66.0)
	9月	27.5	43/78	(55.1)	2/3	(66.7)	5/14	(35.7)	0/28	(0)	50/123	(40.7)

表3-1 試験2におけるトリガイ養殖試験カゴの組合せ

カゴ	カゴの形状	基質	カバーネット	殻長 (mm)		密度	
				平均 ± SD	最小 - 最大	個数 /カゴ	個数 /100 cm ²
RcAF	角型	アンスラサイト	平面	37.7 ± 2.8	33.8 - 48.0	22	1.6
RcPF	角型	軽石	平面	42.6 ± 2.7	38.0 - 42.6	22	1.6
RcAP	角型	アンスラサイト	巾着	43.5 ± 5.7	32.9 - 55.2	22	1.6
RnAC	丸型	アンスラサイト	巾着	47.0 ± 3.5	42.6 - 55.9	20	1.3
RcAF	角型	アンスラサイト	平面	35.6 ± 5.0	25.2 - 47.3	69	5.1

*: 基質の深さ, 10 cm.

表4-1 コンパクト養殖実証試験1における養殖トリガイの生残・殻長・日間成長・密度の変化

年	月	生残数	殻長 (mm)		日間成長 (mm/day)	養殖密度	
			平均 ± SD	最小 - 最大		個数/カゴ	個数 /100 cm ²
2015	9月	120	45.4 ± 6.2	35.0 - 59.0	—	40	2.5
	10月	120	56.9 ± 5.1	38.0 - 66.0	0.36	40	2.5
	11月	115	57.0 ± 4.0	42.0 - 66.3	0.00	38	2.5
	12月	109	59.1 ± 5.1	43.2 - 71.1	0.13	27	1.8
2016	1月	98	62.5 ± 4.2	54.0 - 73.4	0.14	16	1.1
	2月	91	64.8 ± 4.7	55.2 - 76.7	0.10	13	0.8
	3月	91	65.5 ± 4.9	55.2 - 77.4	0.04	13	0.8
	4月	87	66.7 ± 4.4	55.5 - 75.9	0.05	12	0.8

表4-2 コンパクト養殖実証試験2における養殖トリガイの生残・殻長・日間成長・密度の変化

年	月	生残数	殻長 (mm)		日間成長 (mm/day)	養殖密度	
			平均 ± SD	最小 - 最大		個数 /cage	個数 /100 cm ²
2016	10月	221	52.8 ± 4.8	34.9 - 61.6	—	20	1.26
	11月	341	54.1 ± 4.7	36.7 - 62.6	0.05	20	1.26
	12月	382	56.1 ± 5.0	37.4 - 64.8	0.07	20	1.26
2017	1月	393	58.5 ± 5.5	39.8 - 72.0	0.10	20	1.26
	2月	376	60.7 ± 6.2	42.1 - 73.4	0.09	20	1.26
	3月	374	61.6 ± 6.2	43.3 - 77.5	0.06	12	0.75
	4月	317	63.4 ± 6.6	44.7 - 78.4	0.06	12	0.75
	5月	292	64.1 ± 6.6	44.9 - 77.6	0.04	12	0.75

表4-3 線形混合モデルにて推定された養殖トリガイの殻長と環境要因の関係
(事前解析の過程でモデル作成に用いることが妥当でないと判断された説明
変数は示していない)

モデル	切片		養殖日数		1/養殖密度		クロフィラ	
	Coef	SE	Coef	SE	Coef	SE	Coef	SE
最良 (Best)	54.605	1.254	0.054	0.002	-26.392	14.666	-0.389	0.123
	54.602	1.162	0.055	0.002	-26.134	14.503	-0.389	0.123
	54.478	1.200	0.055	0.002	-25.602	14.575	-0.392	0.123
飽和 (Full)	52.932	1.528	0.060	0.003	-29.697	14.748	-0.429	0.125
一定 (Null)	60.831	0.871						

11月種苗 †		12月種苗 †		水温		対数尤度	AIC	ΔAIC
Coef	SE	Coef	SE	Coef	SE			
0.073	2.014	-0.783	2.557			-7836.7	15699.5	
		-0.791	2.503			-7838.4	15700.7	1.2
0.167	1.972					-7838.7	15701.3	1.8
0.631	2.043	-0.186	2.587	0.062	0.032	-7837.4	15702.8	3.3
						-8203.5	16423.1	723.6

*: 太字は、5%水準で有意.

†: 11月、または12月に追加した種苗ロット.

表4-4 一般化線形混合モデルにて推定された養殖トリガイの生残率と環境要因の関係
 (事前解析の過程でモデル作成に用いることが妥当でないと判断された説明変数は示していない)

モデル	切片		養殖日数		1/養殖密度		加卵 t/ha		11月種苗†		12月種苗†		対数尤度	AIC	ΔAIC
	Coef	SE	Coef	SE	Coef	SE	Coef	SE	Coef	SE	Coef	SE			
10月～3月															
最良(Best)	2.320	0.670	-0.007	0.002			0.457	0.270					-192.8	393.6	
	3.323	0.334	-0.009	0.002									-194.2	394.4	0.76
	2.438	0.687	-0.006	0.002	-3.914	5.406	0.495	0.275					-192.6	395.1	1.48
	2.272	0.680	-0.007	0.002			0.453	0.270	0.194	0.503			-192.7	395.5	1.84
	2.281	0.676	-0.007	0.002			0.457	0.270					-192.7	395.5	1.85
飽和(Full)	2.318	0.712	-0.007	0.002	-3.752	5.419	0.487	0.275	0.251	0.516	0.343	0.624	-192.4	398.7	5.07
一定(Null)	2.243	0.228											-205.6	415.1	21.50
3月～5月															
最良(Best)	4.435	0.756	-0.031	0.012									-68.4	142.8	
一定(Null)	2.732	0.311											-71.8	147.6	4.8

* : 太字は、5%水準で有意。

† : 11月、または12月に追加した種苗ロット。

表5-1 コンパクト養殖実証試験2における経営収支

区 分	単 位	結 果	備 考
動力船隻数	隻	1	船外機船
動力船総トン数	T	1トン未満	
養殖施設面積	m ²	50	
最盛期の漁業従事者数	人	2	出荷を家族が実施
延べ出漁日数	日	15	
延べ労働時間	時間	32	
収穫量	kg	19.8	
漁業投下固定資本	円	0	既存船外機船等を利用
漁労所得	〃	12,251	
漁労収入	〃	29,700	
養殖業生産物収入	〃	29,700	
漁労支出	〃	17,449	
うち雇用労賃	〃	0	
油費	〃	5,000	ガソリン代
えさ代	〃	0	
種苗代	〃	0	
修繕費	〃	0	
販売手数料	〃	1,633	荷扱い量、魚函代、氷代、運賃、通信費などを含む
負債利子	〃	0	
租税公課諸負担	〃	0	
減価償却費	〃	10,816	アンスラサイト10年で償却
所得率	%	41	

参考論文

主論文

香川 哲・齋藤 稔・浜野龍夫・岡 直宏・宮田 勉 (2020) 小型底びき網漁業の投棄未利用資源の有効活用～低利用漁港を活用したトリガイのコンパクト養殖とその種苗について, 沿岸域学会誌, **33**, 43-51.

副論文

香川 哲・湯谷 篤・齋藤 稔・浜野龍夫・岡 直宏・宮田 勉 (2020) 香川県沿岸の小型底びき網漁で投棄されるトリガイを種苗に使う養殖の可能性, 香川県水産試験場研究報告, **19**, 1-7.

香川 哲・湯谷 篤・齋藤 稔・浜野龍夫・岡 直宏 (2020) トリガイ漁獲量変動 (アンケート調査の結果より), 香川県水産試験場研究報告, **19**, 9-13.