
福岡県水産海洋技術センター研究報告

第 3 3 号

BULLETIN
OF
FUKUOKA FISHERIES AND MARINE TECHNOLOGY RESEARCH CENTER
No. 33

福岡県水産海洋技術センター

2023年3月

目 次

[研究報告]

1. 有明海におけるリシケタイラギの中間育成および母貝育成の適正条件
江崎 恭志・合戸 賢利 1
2. 筑前海におけるムラサキウニの養殖技術開発
神田 雄輝・梨木 大輔 11
3. 豊前海における水平垂下式カキ養殖の導入に関する研究
田中 慎也・永松 公明・黒川 皓平・野副 滉・後川 龍男・鹿島 祥平···· 17

有明海におけるリシケタイラギの中間育成および母貝育成の適正条件

江崎 恭志・合戸 賢利
(有明海研究所)

現在、有明海のタイラギ資源量は非常に低位である。秋には稚貝の発生が認められるものの資源加入までに大きく減耗し、再生産が十分に行われていない。この対策として、県では2018年より種苗生産した稚貝（以下、人工種苗とする）を用いた母貝育成場造成に取り組んでいるが、生残率の向上が課題である。そこで本研究では、適正な育成条件の解明を目的として、従来使用されてきた育成ネットに加えて育成カゴを用い、種々の条件の組み合わせによる育成試験を行った。

その結果、中間育成においては、港内静穏域が適地であること、カゴの浮泥や食害生物を除去することで生残率の向上が図られることがわかった。また、母貝育成においては、殻長40mmの種苗を沖合域にカゴ移植することで、満1歳産卵後まで4～6割程度生残することがわかった。

キーワード：有明海、リシケタイラギ、中間育成、母貝育成、適正条件

有明海におけるリシケタイラギ *Atrina pectinata* *lischkeana*（有明海には、殻に鱗状突起を持つ「ケン」と呼称されるリシケタイラギと無鱗の「ズベ」とされるタイラギの2種が生息するが、今回の報告では漁獲対象として重要なリシケタイラギ（以下、タイラギとする）を対象とした）の潜水器漁業は1920年代から営まれ¹⁾、ノリ養殖に次ぐ冬季の重要な漁業であった。しかし2000年代に入ってから、沖合の非干出域において、底泥から這い出し立ち上がった状態で斃死する「立ち枯れ斃死」といわれる現象が見られる等、その資源量が減少し²⁻⁴⁾、潜水器漁業は2012年以降11年連続の休漁を余儀なくされている。

近年では、夏季の産卵後、秋季には稚貝の発生は見られることはあるが、満1歳の産卵期を経て漁獲サイズ（殻長15cm以上）になる翌冬までに大きく減耗し、資源の再生産が十分に行われていない現状にある。これらのタイラギ減耗要因としては、餌料不足²⁾、貧酸素²⁾、浮泥の堆積⁵⁾、底質中の硫化物⁶⁾、疾病⁷⁾、条虫の関与⁸⁾、ナルトビエイによる食害⁹⁻¹¹⁾等が指摘されているが、未だに特定されるには至っていない。

本県では2018年より、タイラギ資源回復対策として、種苗生産、中間育成、母貝育成場造成に取り組む中で、生残率向上のための技術開発を図っている。これまでの研究で、海中育成ネット等の育成方式を用いることで、中間育成、

母貝育成ともに大量へい死が避けられることがわかっている¹¹⁾¹²⁾。

しかし、海中育成ネット方式では定期的な洗浄等の管理作業が必要であり、規模拡大に伴い労力が増加する。限られた経費の中で一定程度の育成数を確保し、母貝育成場造成の取り組みを効率的に推進するためには、生残率の向上が課題である。

そこで本研究では、中間育成や母貝育成における生残率向上のため種々の条件の組み合わせによる育成試験を行った。

方 法

1. 中間育成試験

(1) 育成場所および方法の検討

中間育成に適した場所、方法を把握するため、干潟域（有区第10号 DL:0m）、沖合域（峰の洲 DL:5m）および港内静穏域（三池港 DL:5m）において（図1）、アロン丸形収穫カゴ（直径36cm。以下、育成カゴとする）による育成試験を行った。試験の条件を表1に示した。

育成カゴの仕様（図2）は、稚貝を潜砂基質（粒径約2mmのアンストラサイト）とともに逸散防止用の1重収穫

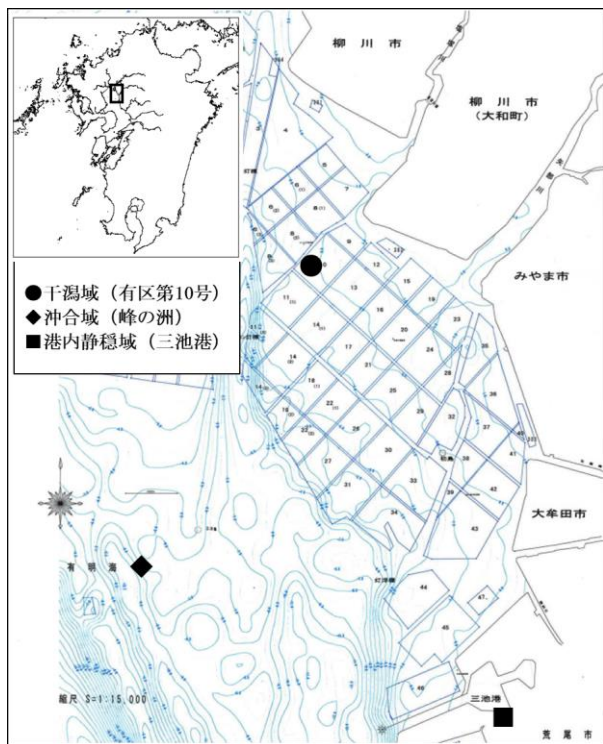


図1 中間育成および母貝育成試験場所の位置図

表1 中間育成試験の条件（育成場所および方法）

場所	育成方式	収容密度
干潟域 (有区第10号)	上架式 埋設式	16,000個/m ²
沖合域 (峰の洲)		8,000個/m ² 4,000個/m ²
港内静穏域 (三池港)	垂下式	

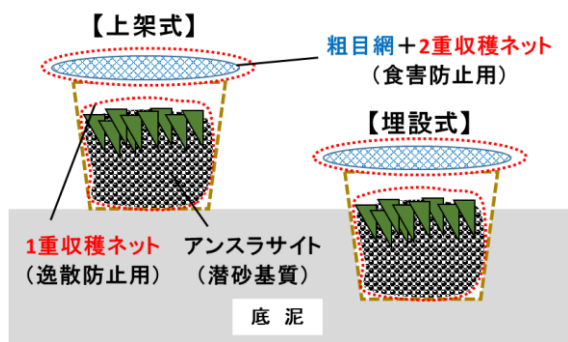


図2 上架式および埋設式育成カゴの仕様

ネット（目合2mm）に入れ育成カゴに収容，さらに食害防止のため育成カゴ上面に粗目網（目合6mm）と2重収穫ネットによる保護を施した。

試験には2020年に国立研究開発法人水産研究・教育

表2 中間育成試験の条件（港内静穏域での育成方法）
（上段：管理手法別 下段：収容密度別）

管理手法		収容密度
逸散・食害防止用ネット	浮泥・食害生物の定期的除去	
粗目網あり	あり	8,000個/m ²
粗目網なし	なし	
従来型	なし	

管理手法		収容密度
逸散・食害防止用ネット	浮泥・食害生物の定期的除去	
粗目網あり	あり	16,000個/m ² 8,000個/m ² 4,000個/m ²

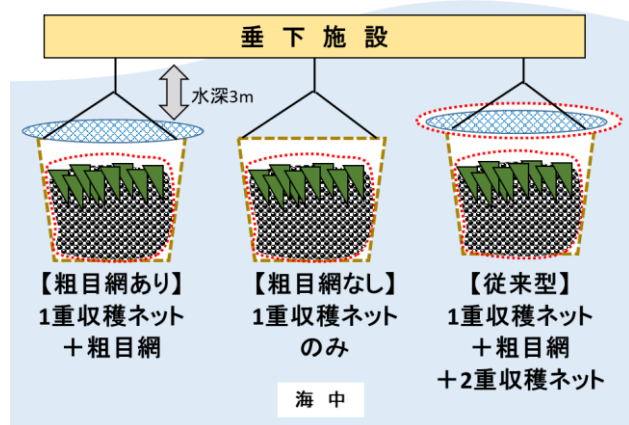


図3 垂下式育成カゴの仕様

機構水産技術研究所百島庁舎（広島県尾道市）から分与された平均殻長10mmの人工種苗を用いた。

育成方式は，干潟域および沖合域は海底上に設置し底泥との接触を断った上架式，潜砂基質上面まで海底に埋設し底泥と接触させた埋設式とした。港内静穏域は三池港内の既設の係船筏から海中3m付近への垂下式とした。

収容密度は，他海区の知見で適正とされる8,000個/m²¹³⁾（以下，中密度とする）を中心に，16,000個/m²（以下，高密度とする）および4,000個/m²（以下，低密度とする）の3段階とした。

育成期間は，干潟域では2020年9月8日～10月20日，沖合域では9月24日～11月10日，港内静穏域では9月15日～11月16日とし，浮泥や食害生物（以下，浮泥等とする）の定期的な除去は行わなかった。

試験終了時にすべての個体を取り上げ、計数と殻長の測定を行い、育成条件のかけ合わせの相互間で、生残および成長を比較（2要因の分散分析）した。

（2）港内静穏域での育成方法の検討

上記試験（1）の結果、最も生残率が高かった港内静穏域（三池港）において、適正な育成方法を把握するため、管理手法および収容密度別に育成条件を設定し、海中垂下式の育成試験を行った。試験の条件を表2に示した。

試験には2021年に福岡県水産海洋技術センター（福岡市西区）で種苗生産した平均殻長10mmの人工種苗を用いた。

育成期間は2021年9月28日～11月12日とした。

1) 管理手法の検討

育成カゴに施す収穫ネット等の保護資材や浮泥等の定期的な除去といった、管理手法が及ぼす影響について検討するため、育成カゴの仕様を変更した（図3）。試験（1）の方法（以下、従来型とする）に加え、「1重収穫ネット+粗目網（以下、粗目網ありとする）」および「1重収穫ネットのみ（以下、粗目網なしとする）」の2条件を設定した。また、浮泥等の除去についても10日～2週間程度に1回ありまたはなし（以下、浮泥等除去ありまたはなしとする）の2条件を設定した。なお、浮泥等の除去は、収穫ネットを開けて基質表面に堆積した浮泥を現場海水で洗い流すことで行った。

収容密度は8,000個/㎡とした。

浮泥等の除去の際に一部の個体を、また試験終了時にすべての個体を取り上げ、計数と殻長の測定を行い、育成条件のかけ合わせの相互間で、生残および成長を比較（2要因の分散分析）した。この計数および測定の際には併せて育成カゴ内部の浮泥堆積厚を測定した。

2) 収容密度の検討

上記試験（1）と同じ3段階の条件を設定し、同様に成長および生残を比較した。

管理手法は粗目網ありかつ浮泥等の除去ありとした。

2. 母貝育成試験

（1）育成場所および方法の検討

母貝育成に適した場所や方法を把握するため、干潟域（有区10号）、沖合域（峰の洲）および港内静穏域（三池港）において（図1）、移植から翌春までの期間、育成カゴおよびポケットネット（的場ら¹¹⁾。以下、育成ネットとする）による育成試験を行った。試験の条件を表3に示した。

表3 母貝育成試験の条件（育成場所および方法）

場所	育成方式	収容密度
干潟域 (有区第10号)	上架式カゴ 埋設式カゴ 育成ネット (沖合域のみ)	2,000個/㎡ 1,000個/㎡ 500個/㎡
沖合域 (峰の洲)		
港内静穏域 (三池港)	垂下式カゴ	

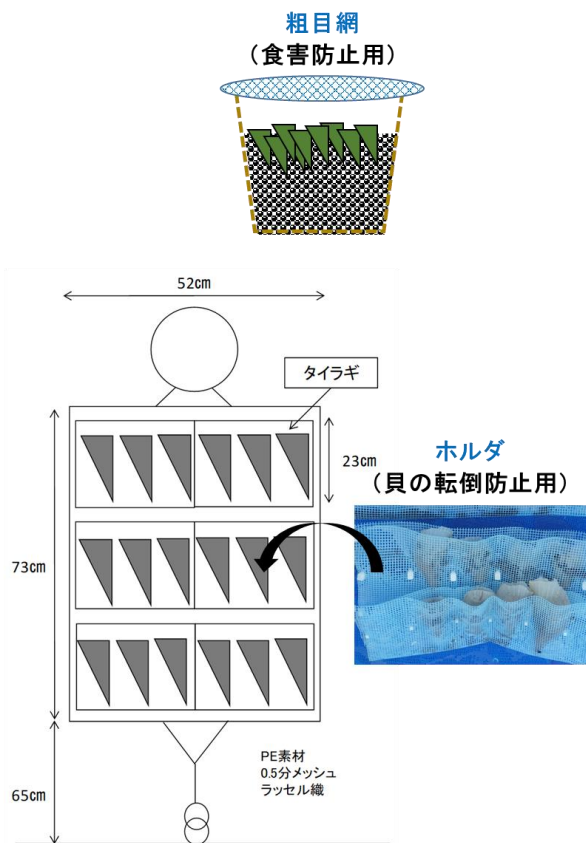


図4 育成カゴおよび育成ネットの仕様

育成カゴおよび育成ネットの仕様（図4）は、育成カゴは稚貝を潜砂基質（粒径約2mmのアンスラサイト）とともに収容、食害防止のため育成カゴ上面に粗目網（目合12mm）による保護を施した。育成ネットは、貝の転倒防止用の人工樹脂製のホルダがあるものおよびないものを用いた。

試験には2020年に三池港で中間育成した平均殻長40mmの人工種苗を用いた。

育成方式は、干潟域は上架式および埋設式育成カゴ、沖合域は上架式、埋設式育成カゴおよび育成ネット、港内静穏域は垂下式育成カゴとした。

収容密度は、2,000個/㎡、1,000個/㎡および500個/㎡の3段階とした。

育成期間は、干潟域では2020年12月15日～2021年

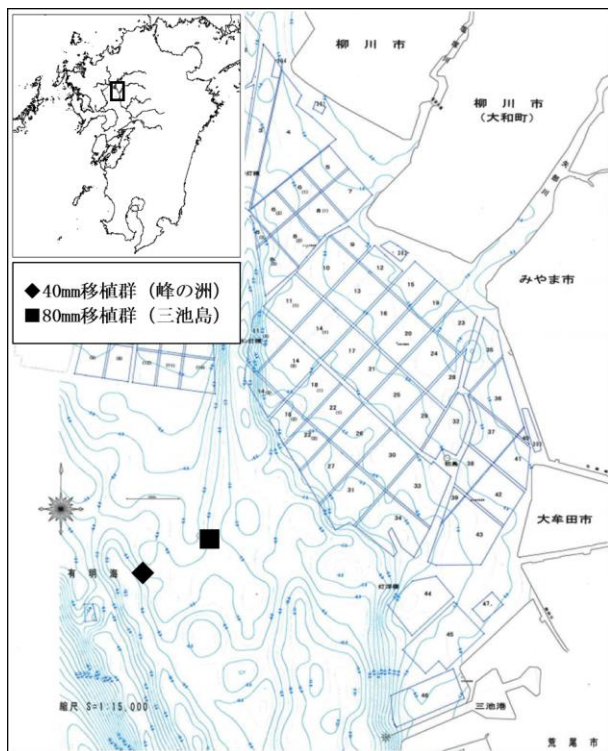


図5 沖合域における母貝育成試験場所の位置図

表4 母貝育成試験の条件（満1歳産卵後までの育成方法）

移植サイズ (殻長)	育成方式	収容密度	育成期間	場所
40mm	上架式カゴ	1,000/㎡	3/4～11/15 (256日間)	峰の洲
	育成ネット		2/5～10/19 (256日間)	
80mm	上架式カゴ		6/17～11/19 (155日間)	三池島
	育成ネット		5/19～10/19 (153日間)	

4月12日、沖合域では12月22日～4月21日、港内静穏域では12月7日～4月19日とした。

試験終了時にすべての個体を取り上げ、計数と殻長の測定を行い、育成条件のかけ合わせの相互間で、生残および成長を比較（2要因の分散分析）した。

（2）満1歳産卵後までの育成方法の検討

上記試験（1）の結果、最も生残および成長の良かった沖合域において、満1歳産卵後までの長期間にわたる母貝育成に適した方法を把握するため、峰の洲および三池島（図5ともにDL:5m）において、育成カゴおよび育成ネットによる育成試験を行った。試験の条件を表4に示した

育成カゴおよび育成ネットの仕様は上記試験（1）と同様とし、育成方式は上架式育成カゴおよび育成ネット（ホルダ有）とした。

試験には2020年に三池港で中間育成した平均殻長

40mmの人工種苗を用いた。

収容密度は、貝の成長に伴うカゴの容量不足が生じない範囲で、1,000個/㎡とした。

育成期間は、移植サイズの違いによる影響について検証するため、殻長40mm移植群を2021年2～11月（峰の洲）、80mm移植群を5～11月（三池島）とした。また、性成熟の確認のため、本試験の供試個体とは別に同一生産ロットの個体を同一条件で育成し、満1歳産卵期に入る7月中旬に取り上げて解剖、生殖腺の目視観察を行った。

試験終了時にすべての個体を取り上げ、計数と殻長の測定を行い、育成条件のかけ合わせの相互間で、生残および成長を比較（t検定）した。

なお、育成期間中の水質環境の影響を検証するため、峰の洲の底上1mにJFEアドバンテック（株）製ワイパー式メモリーDO計（AROW2-USB）を設置し、溶存酸素飽和度の連続観測を行った。

結 果

1. 中間育成試験

（1）育成場所および方法の検討

試験終了時の稚貝の生残率と殻長を図6に示した。

干潟域および沖合域では、カゴの中の収穫ネット内部に浮泥が堆積し（最大堆積厚：干潟域25mm、沖合域14mm）、タイラギ稚貝および基質が泥の中に埋没していた。生残率は、干潟域の上架式で0.8～0.9%、同埋設式で0～0.2%、沖合域の上架式で9.7～12.5%、同埋設式で1.3～4.8%であった。港内静穏域の生残率は17.3～29.3%であり、沖合域の上架式と比較して高かった（有意水準5%）。また、干潟域および沖合域における各試験区間で、収容密度による生残率に有意差は見られなかった。

平均殻長は、干潟域の上架式で43.3～49.4mm、同埋設式で28.6～38.0mm、沖合域の上架式で31.9～33.5

mm、同埋設式で26.9～39.7mm、港内静穏域で27.8～29.3mmであり、上架式および埋設式では干潟域>沖合域>港内静穏域の順（有意水準1%）となった。収容密度による有意差は見られなかった。

（2）港内静穏域での育成方法の検討

1）管理手法別

浮泥堆積厚、生残率および平均殻長の推移を図7に示した。

浮泥堆積厚は、浮泥等除去ありが試験期間を通じて1.5～2mmにとどまったのに対して、浮泥等除去なしでは徐々

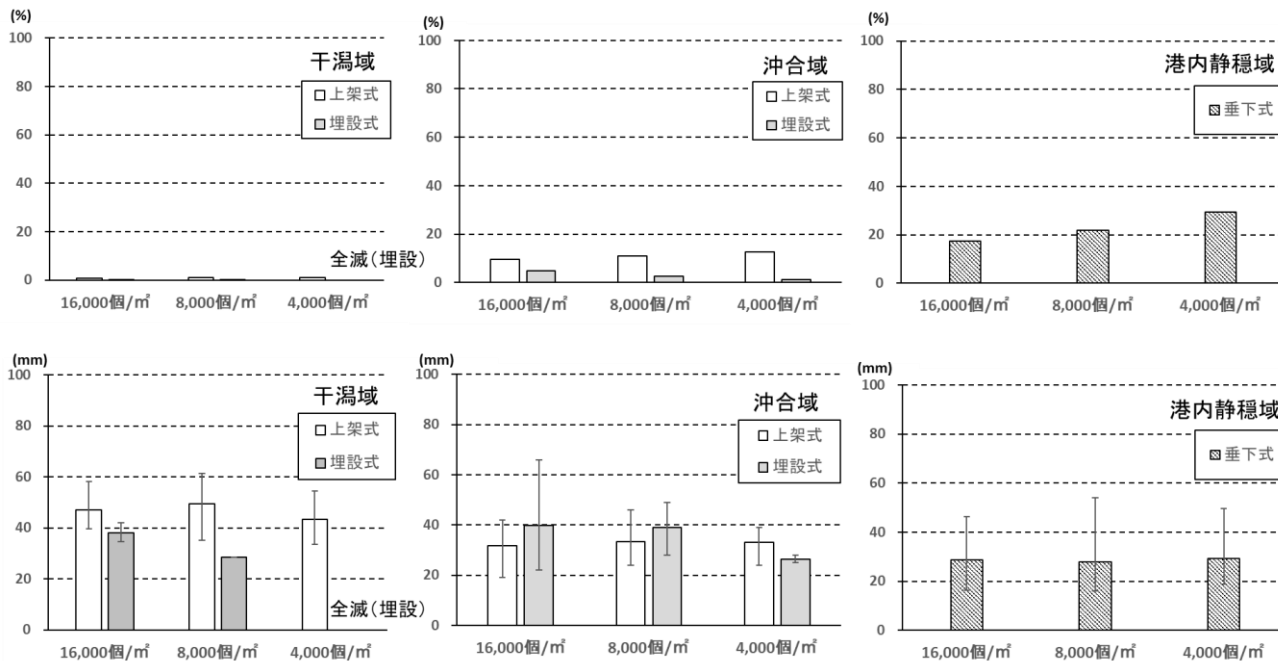


図6 干潟域、沖合域および港内静穏域で実施した中間育成試験終了時の生残率と平均殻長

(上：生残率 下：殻長)

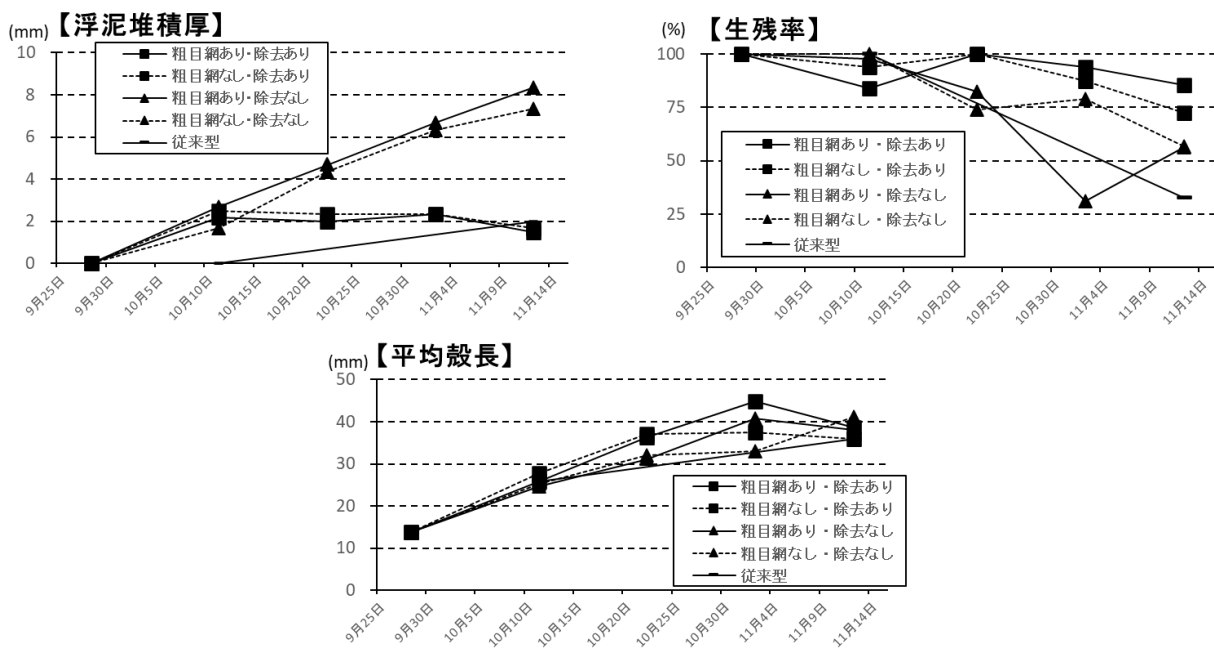


図7 港内静穏域で行った中間育成試験での浮泥堆積厚、タイラギ稚貝の生残率および平均殻長の推移

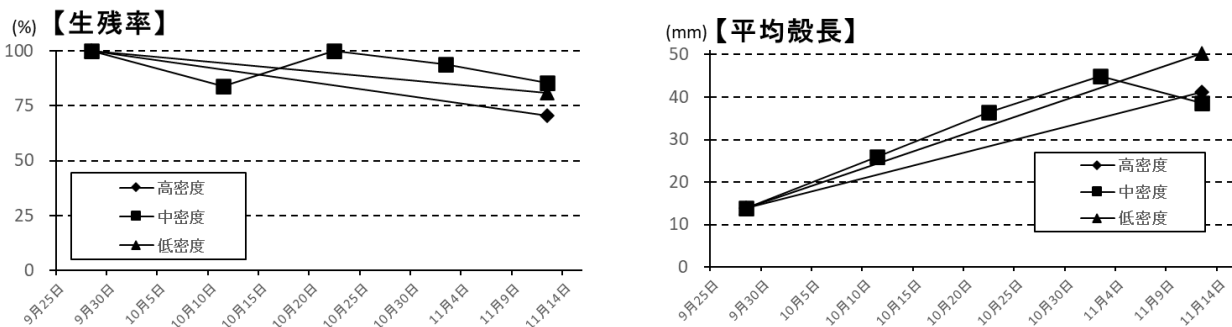


図8 港内静穏域で行った中間育成試験での収容密度別のタイラギ稚貝の生残率および平均殻長の推移

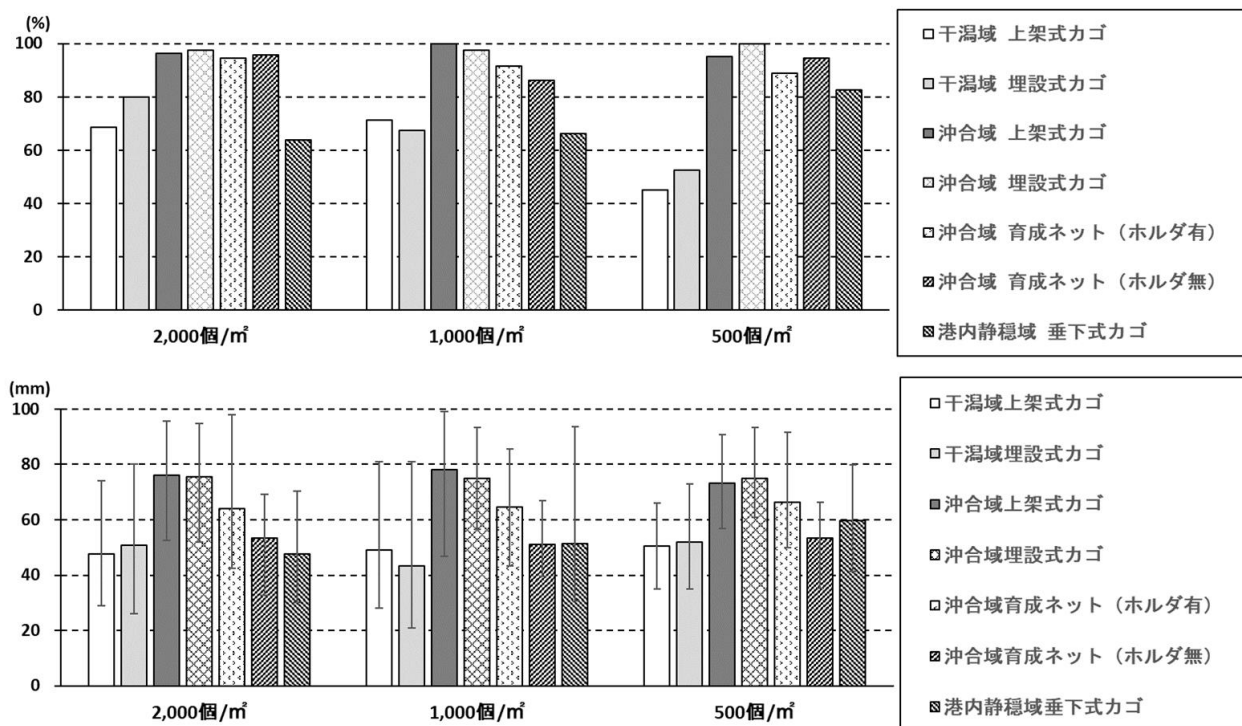


図9 干潟域、沖合域および港内静穏域で実施した母貝育成試験終了時の生残率と平均殻長

(上：生残率 下：殻長)

に増大し、試験終了時に7.3～8.3mmの堆積が見られた。従来型は、浮泥等除去をしなかったにもかかわらず、浮泥等除去ありと同程度の2.0mmだった。

生残率は、浮泥等除去あり(85.4および72.5%)>浮泥等除去なし(56.3および56.7%)>従来型(32.5%)の順(有意水準1%)となった。

粗目網の有無については、生残率に有意差は見られなかった。

平均殻長は、浮泥等除去ありは38.6および35.9mm、浮泥等除去なしは38.0および44.1mm、従来型は35.9mmであった。いずれの試験区も有意差は見られなかった。

2) 収容密度別

タイラギ稚貝の生残率および平均殻長の推移を図8に示した。

生残率は、低密度で80.8%、中密度で85.4%、高密度で70.4%となり、収容密度による生残率に有意差は見られなかった。

平均殻長は、低密度(50.3mm)>高密度(41.2mm)>中密度(38.6mm)の順(有意水準1%)となった。

2. 母貝育成試験

(1) 育成場所および方法の検討

試験終了時のタイラギの生残率および殻長を図9に示した。

生残率は、干潟域の上架式カゴで45.0～71.3%、同埋設式カゴで52.5～80.0%、沖合域の上架式カゴで

95.0～100%、同埋設式カゴで97.5～100%、沖合域の育成ネット(ホルダ有)で88.9～99.4%、同(ホルダ無)で86.1～95.3%、港内静穏域の垂下式カゴで63.8～82.5%であった。育成場所で比較すると、沖合域は上架式カゴで干潟域や港内静穏域より生残率が高く(いずれも有意水準5%)、育成方式や収容密度による有意差は見られなかった。

平均殻長は、干潟域の上架式カゴで47.6～50.4mm、同埋設式カゴで43.4～52.0mm、沖合域の上架式カゴで73.3～78.2mm、同埋設式カゴで74.8～75.6mm、沖合域の育成ネット(ホルダ有)で64.0～66.4mm、同(ホルダ無)で50.9～53.4mm、港内静穏域の垂下式カゴで47.6～59.6mmであった。育成場所で比較すると、沖合域は上架式および埋設式カゴの双方で、干潟域および港内静穏域より成長が良好であった(それぞれ有意水準1%および5%)。育成方法で比較すると、沖合域でのカゴは育成ネットより成長が良好(有意水準5%)であった。育成ネットはホルダ有で無より良好であり(有意水準1%)、上架式と埋設式カゴの相互間での有意差はなく、収容密度による有意差も見られなかった。

(2) 満1歳産卵後までの育成方法の検討

育成試験終了時のタイラギの生残率および殻長を図10に示した。性成熟については、いずれの移植群および育成方式においても、解剖所見により75.0%の個体で確認された。

生残率は、40mm移植群は育成ネットで15.0%、上架

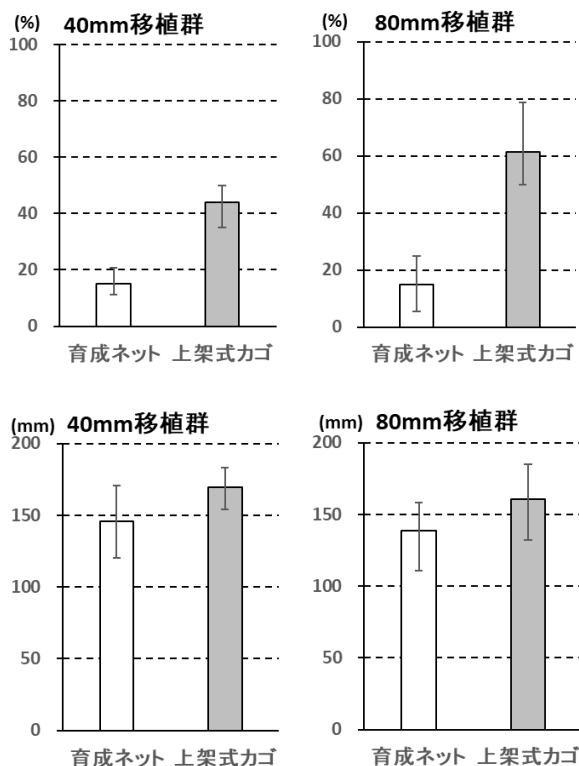


図10 移植サイズ別の長期間母貝育成試験終了時の生残率と平均殻長
(上：生残率 下：殻長)

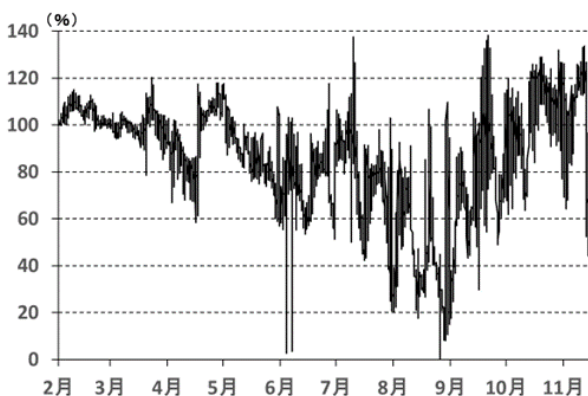


図11 長期間母貝育成試験期間中の溶存酸素飽和度の推移
(峰の洲 底上1m)

式カゴで 44.1%であった。80mm 移植群は同じく 14.8 および 61.3%であった。また平均殻長は、40mm 移植群は育成ネットで 146.0mm, 上架式カゴで 169.5mm であった。80mm 移植群は同じく 138.6 および 160.6mm であった。生残、成長ともに、40mm 移植群と 80mm 移植群の双方で、上架式カゴは育成ネットより良好(有意水準 1%)であった。

なお、育成期間中の溶存酸素飽和度(図11)は、7月下旬~9月上旬にかけて断続的に低下し、その後上昇していった。

考 察

1. 中間育成試験

(1) 育成場所および方法の検討

これまでタイラギ稚貝の中間育成は、内湾の静穏域でのカゴを用いた垂下飼育により試みられてきた¹³⁾¹⁴⁾。本県有明海は、干満の差が大きく潮流が速いこと、またノリ養殖業との漁業調整上の理由から、垂下施設の設置が困難である。垂下飼育が実施可能な場所は、本研究を行った三池港のみであるが、港湾管理上の観点から、垂下施設の規模は自ずと限定されるため、スペースの制約を受けない干潟域および沖合域海底の中間育成場所としての活用が期待される。しかし、本研究の結果、これらの海域における殻長 10mm 程度の稚貝を用いた中間育成は困難であることが明らかになった。塚本ら⁵⁾は、陸上水槽を用いた室内実験を行い、潜砂したタイラギの上に 10mm 厚以上の浮泥を堆積させた場合に 5mm 厚以下の場合より生残率およびグリコーゲン量が低下したことから、浮泥の堆積はタイラギの栄養状態を低下させ死亡させる可能性があるかと推察している。このことから、本研究における干潟域および沖合域において生残率が低かった要因としては、これらの試験区で観察された浮泥の堆積である可能性が高い。

浮泥堆積への対策としては、定期的な管理による浮泥の除去が考えられる。しかし、干潟域は潮位の関係上、管理作業の実施日程や時間に制約を受ける。また、沖合域は潜水作業が必要となるため、経費および労力を要する上、波浪や濁り等の海況条件による制約も受ける。

これらのことから、現状では、本県有明海での中間育成は、規模は限定されるものの、管理作業に制約の少ない三池港内の静穏域で行うことが適当であると結論づけた。ただし、本試験の港内静穏域での生残率は他海区の事例¹³⁾と比較すると低かったことから、管理手法等の改善の余地が残されていると考えられる。

(2) 港内静穏域での育成方法の検討

育成カゴを用いた港内静穏域での垂下式による中間育成については、本研究の管理手法別試験の結果から、浮泥等の除去が生残率の向上に寄与したものと考えられる。一方、従来型では、浮泥等の除去をしていないにもかかわらず除去ありと同等の浮泥堆積厚であったことが示すように、食害防止用の収穫ネットの重ね枚数が過多であったために育成カゴ内外の海水交換が悪くなり、それが生残率低下に繋がった可能性が考えられ

る。なお、食害生物の影響については、他海区の事例¹³⁾で食害防止用の収穫ネットに数cm程度の穴およびイシガニ（甲幅15～36mm）による食害痕（破碎された貝殻）が観察されていた。本研究では、こうした大型食害生物防除用の粗目網による生残率への影響は見られず、また食害痕も観察されなかったが、今後中間育成を継続的に実施していく上では、浮泥の除去と併せて、山口県においてミルクイの中間育成で行われている¹⁵⁾ような定期的な食害生物除去も有効であると考えられる。

成長については、いずれの試験区も差が見られなかったが、生残率の低い試験区では密度効果により成長が促進されるために、結果として試験区間の差が小さくなったものと考えられる。

収容密度別試験では、生残成長ともに、明確に密度効果を反映した結果とはならなかった。すなわち、本研究で設定した密度条件の範囲では、過密育成による悪影響は窺えなかったことから、作業効率や港内スペースの制約を考慮すると、高密度での育成が実用的と考えられる。

2. 母貝育成試験

(1) 育成場所および方法の検討

成貝までの育成については、(旧)西海区水産研究所(現)水産技術研究所長崎庁舎(長崎市)が2007年に有明海で平均殻長160mmまで成長させた事例¹⁶⁾をはじめ、各地で試験が行われてきた。これらの育成方式は、中間育成同様の育成カゴや、育成ネットによる垂下飼育である¹²⁾が、本県有明海では前述の理由により垂下飼育による母貝育成場の造成が困難であることから、沖合域海底でのカゴ等による育成が必要となる。

育成方式別試験の結果では、生残は沖合域での育成カゴと育成ネットでの差はなかったが、成長はカゴの方が良好だった。また上架式と埋設式の差はなかった。他海区¹²⁾においても、同一の場所において上架式カゴ(アンスラサイト基質)、垂下式カゴ(同)および育成ネットと比較したところ、生残・成長とも、上架式カゴ>垂下式カゴ>育成ネットの順となり、今回の結果と概ね同様であった。このことから、母貝育成は、沖合域において育成カゴにより行うのが適当であり、作業性を考慮するとより設置が容易な上架式カゴで育成することが最適であると考えられた。

収容密度別試験の結果では、生残と成長ともに差がなく、密度効果を反映した結果とはならなかった。このため、本試験の設定条件より高密度での育成の可能性も考えられるものの、本試験期間以降は貝の成長が急激に増大し育成カゴ等の中で過密状態となるおそれが

あることから、これ以降の成長速度を考慮した上で適正密度を判断する必要があると考えられる。

(2) 満1歳産卵後までの育成方法の検討

有明海タイラギの1歳での産卵盛期は8月¹⁷⁾であり、母貝育成場としての機能を検証するには、冬～春季の移植から産卵終了後の秋季までの生残・成長を評価する必要がある。本研究の結果、移植時期にかかわらず、育成手法としては生残と成長ともに、育成カゴの方が育成ネットよりも良好だったことから、母貝育成は育成カゴにより行うのが適当と考えられた。

このような結果となった原因としては、浮泥の堆積が考えられる。坂本ら⁵⁾は、有明海産タイラギに対する室内実験による浮泥の暴露試験を行い、貝の潜砂状態を観察したところ、堆積する浮泥表面まで殻の上端が達するように潜砂深度を変化させ呼吸孔を確保していること、またそのような行動が取れなかった個体は浮泥が殻孔内に侵入した状態で死亡していることを確認した。また、杉野ら⁶⁾は、本県有明海の天然貝の分布と底質との関係から、ほとんどタイラギの生息が見られない不適条件として、浮泥堆積厚20mm超としている。本試験の育成期間直近の2021年2月において、育成場所である峰の洲および三池島の海底の浮泥堆積厚は4mmであり、本県有明海沖合域の中では平均(3.3mm)程度であった¹⁸⁾ことから、浮泥堆積の観点からは不適条件ではなかったと考えられた。しかしながら、試験終了後の貝の状態を見ると、育成カゴ、育成ネットとも内部に浮泥の堆積が見られたものの、育成カゴでは貝がアンスラサイト基質からせり上がり粗目網を通して呼吸孔を確保できていたのに対し、育成ネットでは浮泥中で貝が動かないままの状態になっており、このことが、本研究での貝の生残や成長に反映されたものと考えられた。

的場ら¹⁹⁾は、2016、2017年に三池島漁場で育成ネットを用い、満1歳産卵期まで高い生残率での育成に成功している。これは2ヶ月に1～2回の頻度で育成ネットを潜水作業により船上に上げ、水中ポンプによる水流で洗浄を行ったものであり、定期的な浮泥の除去ができていた効果が大きいものと考えられる。本研究ではこうした定期的管理を行っていないが、今後母貝育成場の運用を行っていく上では数千～万個体単位での移植が必要となることを考慮すると、管理をしなくてもより高い生残が得られる育成カゴによる育成が有効であろう。また、本試験の育成期間中、夏季の溶存酸素飽和度は、タイラギの鰓纖毛運動を低下させる40%以下²⁰⁾のレベルまで、7～10日程度の期間で断続的に低下していたが、この程度の貧酸素状態であれば影響を

受けない育成方式であると考えられる。

なお、本研究では満1歳産卵後までの検討しか行っていない。(旧)西海区水産研究所および(旧)瀬戸内海区水産研究所(現)水産技術研究所百島庁舎)が実施した、満2歳以上の個体を用いた採卵試験では、雌1個体当たり数千万粒単位で産卵している²¹⁾等、本種の産卵数は多く、産卵母貝の保護による資源増殖効果は高いと考えられることから、今後は満2歳までの高い生残率を確保することが可能な密度調整も考慮した育成方法の検討が必要となると考えられる。

文 献

- 1) 山下康夫. 有明海産タイラギに関する研究-I 漁獲量変動の周期性について. 佐賀県有明水産試験場報告 1980 ; 7 : 85-88.
- 2) 松井繁明. 有明海北東部漁場におけるタイラギの資源変動. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2002 ; 12 : 29-35.
- 3) 環境省. 生物(3)有用二枚貝. 有明海・八代海等総合調査評価委員会報告 2017 ; 175-176.
- 4) 川原逸郎, 伊藤史郎. 2000年, 2001年夏季に有明海北東部漁場で発生したタイラギの斃死-I. 佐賀県有明水産試験場研究報告 2003 ; 21 : 7-13.
- 5) 塚本達也, 田中勝久, 那須博史, 松岡数充. 有明海の浮泥がタイラギに及ぼす影響. 水産増殖 2008 ; 56(3) : 335-342.
- 6) 杉野浩二郎, 吉田幹英, 山本千裕. タイラギの生息に適した底質条件の検討-タイラギの生息状況とその底質条件-. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2010 ; 20 : 53-60.
- 7) 前野幸男, 伊藤史郎, 山口敦子. 有明海におけるタイラギ大量斃死の病理学的解析. 西海区水産研究所主要研究成果集 2004 ; 7 : 14-15.
- 8) 吉田幹英, 筑紫康博, 松井繁明. 有明海におけるタイラギに寄生する条虫の幼生について-タイラギ斃死との関連について-. 福岡水産海洋技術センター研究報告 2005 ; 15 : 55-59.
- 9) 環境省. 有明海全体-有用二枚貝の減少. 有明海・八代海等総合調査評価委員会報告 2017 ; 366-376.
- 10) 川原逸郎, 伊藤史郎, 山口敦子. 有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトビエイの影響. 佐賀県有明水産試験場研究報告 2004 ; 22 : 29-33.
- 11) 的場達人, 廣瀬道宣, 長本篤, 吉田幹英, 篠原直哉. 有明海福岡県地先におけるタイラギの斃死要因に関する研究IV. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2016 ; 26 : 1-8.
- 12) 国立研究開発法人水産研究・教育機構. タイラギ種苗生産・養殖ガイドブック. 2019 ; 62-97.
- 13) 山本昌幸, 伊藤篤, 山崎英樹, 兼松正衛. 異なる基質・密度で垂下飼育したリシケタイラギ稚貝の生残率と成長率. 水産増殖 2017 ; 65(3) : 263-269.
- 14) 鈴木健吾, 塚本達也, 清水節夫, 伏屋礼子, 前野幸男. 各種の基質で垂下飼育したリシケタイラギ稚貝の成長, 生残および潜行. 水産増殖 2013 ; 5(2) : 119-124.
- 15) 山口県. 栽培てびき(改訂版) ミルクイ. 2012 ; 120-121.
- 16) 松山幸彦, 鈴木健吾, 伏屋玲子, 長副聡. 環境調和型タイラギ養殖技術と今後の展望. アクアネット 11月号 2009 ; 35-39.
- 17) 塚本達也, 前野幸男, 松井繁明, 吉岡直樹, 渡辺泰徳. タイラギの性成熟と各種組織におけるグリコーゲン量との関係. 水産増殖 2005 ; 53(4) : 397-404.
- 18) 令和2年度有明海特産魚介類生息環境調査(福岡県沖)委託事業 タイラギ広域生息環境調査業務報告書. 2021 ; 2. 35.
- 19) 的場達人, 吉田幹英, 上田拓, 長本篤, 山田京平. 海中育成ネットで育成したリシケタイラギの成熟・産卵について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2019 ; 29 : 17-23.
- 20) 山元憲一, 田中実, 田中直樹, 神菌真人, 秋本恒基. マガキ, クマサルボー, タイラギの鰓のほふく速度に及ぼす低酸素と水温の影響. 水産増殖 1993 ; 41 : 435-438.
- 21) 国立研究開発法人水産研究・教育機構, 福岡県, 佐賀県, 長崎県, 熊本県. 平成29年度二枚貝資源緊急増殖対策委託事業報告書. 2018 ; 8-20.

筑前海におけるムラサキウニの養殖技術開発

神田 雄輝・梨木 大輔
(水産海洋技術センター)

近年、福岡県筑前海区では、藻場の局所的な衰退が問題となっており、漁業者はウニ類をはじめとした食害生物の駆除や母藻投入といった保全活動に取り組んでいる。しかし、これらの活動中、漁業者は休漁しなければならず、経済的負担となっている。このため、保全活動で駆除される商品価値のないウニを有効利用できないかといった強い要望がある。本研究では、ウニ養殖技術確立のため、養殖適期、地元廃棄野菜の餌料としての有効性、養殖設備（カゴ）の形状の有効性等について、陸上および海上試験により検討した。その結果、陸上水槽では水温の低い冬季を除き、塩蔵ワカメの飽食給餌を継続すれば3か月で十分なGSIの増加が見られたこと、餌料として、廃棄野菜の大根葉やブロッコリー葉のような幅広い葉野菜が活用できる可能性があること、陸上試験では小さく仕切られた養殖カゴで最もGSIが増加することが明らかになった。

キーワード：ムラサキウニ、養殖技術開発、藻場保全、食害

近年、福岡県筑前海区では局所的な藻場の衰退が問題視されており、その一因としてムラサキウニをはじめとした植食動物による食害が挙げられている¹⁾。ウニ類は飢餓に強く、貧海藻域にも高密度で分布するが、貧海藻域のウニ類は可食部である生殖腺が小さく、商品的価値がないため、漁獲対象とならず、更にウニ類が増加して藻場の衰退が拡大していくという負の連鎖を生じてきた。このため、漁業者はウニ類をはじめとした食害生物の駆除や、母藻投入といった藻場の保全活動に取り組んでいる。しかし、これらの活動を行うには、漁業者は休漁する必要があり、収入減が経済的負担となっている。これらのことから、漁業者による保全活動において、駆除される未利用ウニを用いた低コストで取組みやすい養殖技術の開発が求められている。本研究では、ムラサキウニ *Anthocidaris crassispina* (以降、ウニと表記する) 養殖技術の確立に向け、その基礎的な知見となる養殖適期、地元廃棄野菜の餌料としての有効性、養殖設備（カゴ）について検討し、若干の知見が得られたため報告する。

方 法

1. 養殖適期の検討

養殖適期（効率的な養殖開始時期および養殖期間）

を検討するため、2020年7月から2021年3月まで、2か月ごとに採取したウニに、三陸産塩蔵ワカメ端材を飽食給餌して飼育試験を実施した。ウニは図1に示す糸島市福吉地先で潜水によって採取し、各月35個体ずつを5mm目ネトロンネット製のカゴ（長さ×幅×深さ＝1.0×0.5×0.5m、カゴ内水深0.4m）に収容して当センター敷地内の陸上水槽で飼育し、月に1度、各試験区から1カゴ分のウニを取上げ、そのうち30個体の殻径、全重量、生殖腺重量を測定し、GSI（Gonado Somatic Index：生殖腺重量÷全重量×100）を算出した。

2. 廃棄野菜の餌料としての検討

コスト削減のため、餌料は地先周辺で入手できる廃棄野菜等を想定し、その餌料効率を検討するため、2021年2月から6月まで、地先周辺で入手した大根葉、ブロッコリー葉、小ネギをウニに飽食給餌して飼育試験を実施した。試験に用いたウニは図1に示す糸島市福吉地先で潜水によって採取し（平均殻径49.5mm、平均重量55.7g、平均GSI：1.60）、40個体ずつを5mm目ネトロンネット製カゴ（長さ×幅×深さ＝1.0×0.5×0.5m、カゴ内水深0.4m）に収容して当センター敷地内の陸上水槽で飼育し、月に一度、各試験区から10個体ずつ取り上げ、殻径、全重量、生殖腺重量を測定し、GSIを算出した。

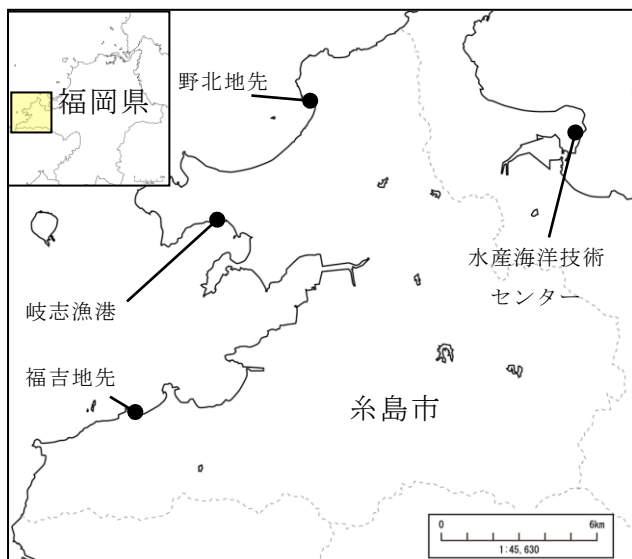


図1 各試験のウニ採取地点と試験地

3. 養殖設備（カゴ）の検討

各養殖カゴの写真と特徴を図2,3及び表1に示す。

コスト削減のため、ポンプやブローアといった設備が不要である海上筏での垂下飼育を想定し、陸上及び海上での養殖カゴの検討を行った。

養殖カゴは、全体を海中に沈め、表層の環境変化を受けにくい「沈下型」、上面が開放され、給餌作業が簡易な「開口型」とした。沈下型は給餌時にカゴの上げ下げが必要であるため、容積約0.07m³の軽量で小型のもの、開口型は収容量増大のため容積約0.4m³の大型のものを使用した。

沈下型は、佐賀県でアカウニ養殖に使われている市販のコンテナ（三甲株式会社サンテナーA#50-3（長さ×幅×深さ＝約0.6×0.4×0.3m）を用いた「①沈下・コンテナ区」、同コンテナのふたを30mm目トリカルネットに替え軽量化した「②沈下・改良コンテナ区」、及び全体を30mm目トリカルネットで円筒型に作成した「③沈下・円筒型区」、同角型に作成した「④沈下・角型区」の計4種類とし、各カゴにウニを40個体ずつ収容した。

開口型は、30mm目トリカルネットで作成した「⑤開口区」（長さ×幅×深さ＝1.0×0.8×0.7m、カゴ内水深0.5m）、同カゴに10mm目トリカルネットで付着器を設けた「⑥開口・付着器区」、及び同カゴに同ネットで仕切りとフタを設けた「⑦開口・仕切り・フタ区」の計3種類とし、各カゴにウニを収容した。

（1）陸上試験における検討

養殖カゴの形状がウニのGSI変化に与える影響を効果的に検討するため、観察や管理が容易な陸上水槽で

養殖試験を実施した。ウニは、2022年7月に図1に示す糸島市野北地先で採取し（平均殻径47.1mm，平均重量：50.6g，平均GSI：2.94），当センター屋外2t水槽で飼育した。表1に陸上試験の各試験区の特徴を示した。餌料は地元飲食店と協議し，廃棄コンブ（出汁を取った後のもの）を使用した。同年11月まで飽食給餌し，月に一度，各試験区からウニを取り上げ，殻径，全重量，生殖腺重量を測定し，GSIを算出した。



図2 各養殖カゴ（沈下型）



図3 各養殖カゴ（開口型）

表1 陸上試験の各試験区の特徴

試験区	資材	容積(m ³)	個体数(n)	密度(n/m ³)	
沈下型	①沈下・コンテナ	市販コンテナ	0.07	40	556
	②沈下・改良コンテナ	市販コンテナ，トリカルネット(30mm)	0.07	40	556
	③沈下・円筒型	トリカルネット(30mm)	0.06	40	637
	④沈下・角型	トリカルネット(30mm)	0.07	40	556
開口型	⑤開口	トリカルネット(30mm)	0.40	120	300
	⑥開口・付着器	トリカルネット(10mm, 30mm)	0.40	120	300
	⑦開口・仕切り・フタ	トリカルネット(10mm, 30mm)	0.40	120	300

(2) 海上試験における検討

養殖カゴの陸上、海上の飼育環境の違いがウニの GSI 変化に与える影響を検討するため、海上において養殖試験を実施した。ウニは 2022 年 7 月に図 1 に示す糸島市福吉地先で採取し（平均殻径 47.1 mm, 平均重量：46.3g, 平均 GSI：3.04），これらを養殖現場で実績のある①沈下・コンテナ，および②沈下・改良コンテナに 40 個体ずつ収容して図 1 に示す糸島市岐志漁港の棧橋から水深約 1.5m 深に垂下し，陸上養殖試験と同様，廃棄コンブを飽食給餌して同年 11 月まで飼育した。飼育中は，月に 1 度，各試験区からウニを取り上げ，殻径，全重量，生殖腺重量を測定して GSI を算出し，陸上試験の結果と比較した。測定個体数は 8 月，9 月が 5 個体，10 月が 10 個体，11 月が 20 個体である。なお，試験で使用できるスペースが限られていたため，上記 2 試験区に限定した。

結 果

1. 養殖適期の検討

GSI および水温の推移は図 4 のとおりとなった。塩蔵ワカメを飽食給餌した結果，2021 年 1 月開始区を除く全ての試験区で，給餌開始から 2~3 か月で大幅な増加がみられ，試験の終了時には 10 を超えた。特に，2020 年 7 月開始区では，8 月に先月比+2.19，9 月に先月比+5.10 と増加量が多かった。2021 年 1 月開始区では，2 月に先月比+1.61，3 月に先月比+0.51 と増加量の停滞が見られた後，4，5 月に先月比+4.31，+2.39 と大幅な増加が見られた。なお，1 月開始区では一部のウニで棘の脱落やへい死が見られた。

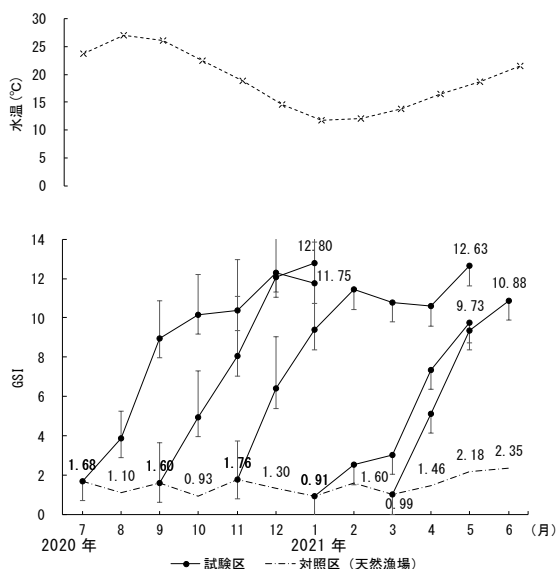


図 4 養殖開始時期毎のウニ GSI 変化と水温の推移

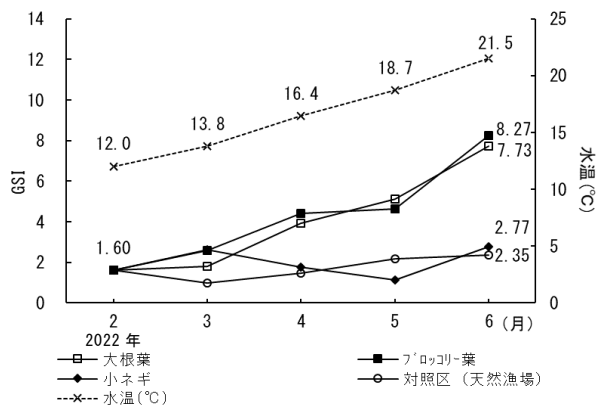


図 5 餌料毎の GSI 変化と水温の推移

2. 廃棄野菜の餌料としての検討

GSI および水温の推移は図 5 のとおりとなった。大根葉区およびブロッコリー葉区は徐々に GSI が増加し，6 月には大根葉区で 7.73，ブロッコリー葉区で 8.27 と，ともに 8 前後に達したが，塩蔵ワカメの飽食給餌で見られた GSI の急増は見られなかった。一方，小ネギ区の GSI は対照区の天然ウニとほぼ同値で推移し，生殖腺の発達は見られなかった。

3. 養殖設備（カゴ）の検討

(1) 陸上試験における検討

GSI 及び水温の推移を図 6 と 7 に示した。沈下型では，給餌開始から 4 か月後の①沈下・コンテナ区の GSI が

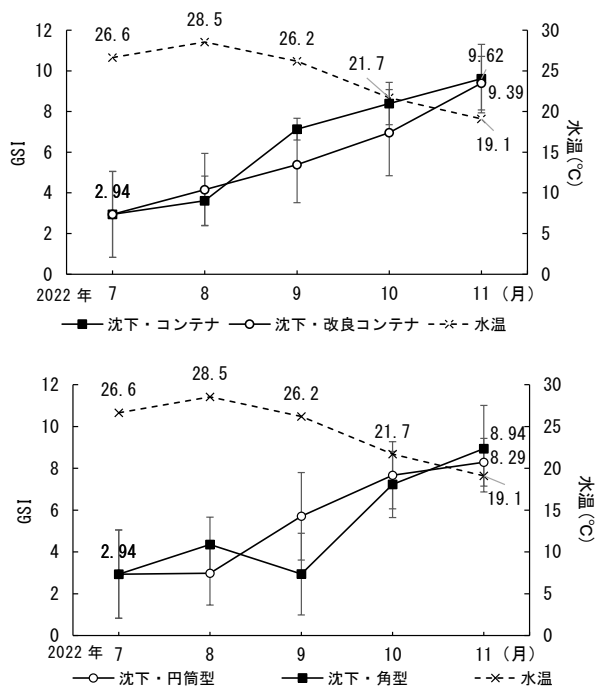


図 6 陸上試験における養殖カゴ別 GSI 変化と水温の推移（沈下型）

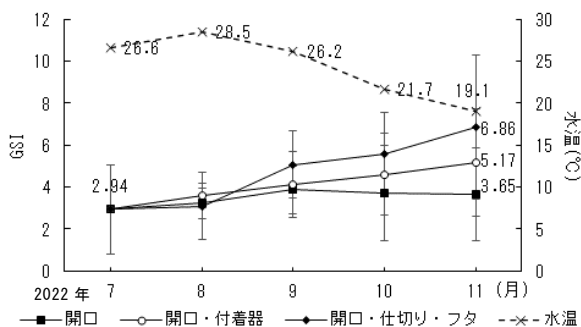


図7 陸上試験における養殖カゴ別 GSI 変化と水温の推移 (開口型)

9.62 と最も高かった。また、③沈下・円筒型区では 8.29、④沈下・角型区では 8.94 となった。

開口型の 3 試験区の GSI は、⑤開口・カゴ区で 3.65、⑥開口・付着器区で 5.17、⑦開口・仕切り・フタ区で 6.86 と、⑦開口・仕切り・フタ区で最も増加したが、GSI の増加は沈下型よりも低い結果となった。

(2) 海上試験における検討

GSI の推移は図 8 のとおりとなった。給餌開始から 4 か月後の①沈下・コンテナ区では、陸上試験での GSI が 9.62 となったのに対し、海上試験では 5.91 と低い値を示した。また、②沈下・改良コンテナ区においても、陸上試験での GSI が 9.39 であったのに対し、海上試験での GSI は 6.79 と低い値となった。

考 察

本研究では、ムラサキウニ養殖に必要な基礎的な知見を収集するため、まずは養殖適期について検討した。堀井²⁾によれば、ムラサキウニの産卵期は 6~8 月、生殖腺の発達期は 1~5 月とされるが、今回の陸上試験では給餌開始から 3 か月後に、1 月開始区を除く全ての

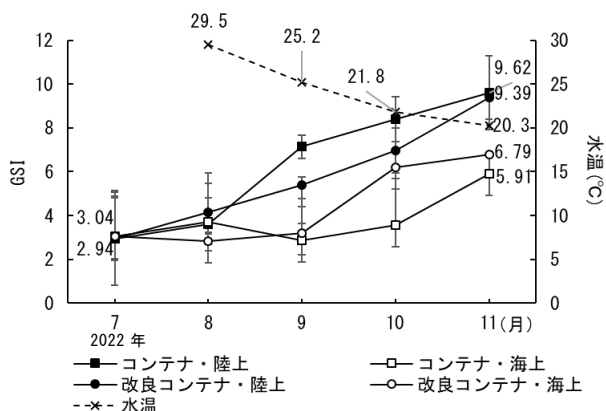


図8 海上試験における養殖カゴ別 GSI 変化と水温の推移

試験区で GSI が平均 10 以上まで増加した。2021 年 1 月開始区で 1~3 月に GSI の増加量が停滞した原因については、低水温の影響が考えられた。川原ら³⁾は、アカウニ種苗生産において、浸漬海水の水温の違いによる細菌の感染試験を行った際、水温低下が感染の引き金となる可能性を指摘している。本試験で、ウニの GSI の増加量が停滞していた 1~3 月の水温は試験期間中最も低い 12°C 前後であり、再び GSI の増加が見られた 3~4 月の水温は 13.8°C まで上昇していた。また、本試験でも 1~3 月には一部のウニで棘の脱落やへい死が見られたことから、低水温がウニの活性低下に影響を及ぼしていることも考えられる。よって、ひとつの目安として、水温が 14°C を下回る 1~2 月は養殖開始時期として不適であると考える。本県筑前海区のウニの優良漁場である岡垣町波津地区では、ムラサキウニを 4 月から 6 月にかけて漁獲しており、このときの GSI は 7~8 程度である。このため、漁業者は GSI が 7 以上で出荷可能と判断していると考えられる。これらのことから、1~2 月の低水温期を除けば、十分な給餌を行うことで、給餌開始時期に関わらず、十分な身量を得ることが可能であり、養殖期間は 3 か月間程度が適当であると考えられた。これにより、年末年始や天然ウニの漁獲がない秋季など、需要が見込まれる時期を狙った計画的な養殖が可能であることが期待できる。

次に餌料の検討を行った。白井ら⁴⁾はキャベツや野菜などだけで飼育したムラサキウニが 4 年目を迎えても、特に問題なく成長していることを報告している。今回の試験では、大根葉区およびブロッコリー葉区で GSI の増加が見られ、両者のウニの餌料としての有効性が示唆された。これらは、給餌直後は水面に浮いていたが、翌日には水槽内で沈み、カゴ底面のウニが摂餌の様子が確認された。一方、小ネギ区で GSI の増加が見られなかったのは、小ネギの内部が空洞であるため沈まず、カゴ壁面の水面近くに付いたウニ以外は摂餌できなかったものと考えられた。さらに、小ネギは 5mm 目のネットロネットからの流出もみられ、餌料保持の点からも不適であると考えられた。

養殖カゴの検討を陸上水槽での養殖試験で行った。その結果、容積が小さい沈下型の試験区で飼育 4 か月目の GSI が 8.29~9.62 と高くなる傾向があり、飼育開始から 3 か月の時点で商品化の目安となる GSI=7 に概ね到達した。一方、容積が大きい開口型の GSI は 3.65~6.96 と、沈下型に比べ総じて低い。このうち、内部が仕切られている⑦開口・仕切り・フタ区は飼育 4

か月後の GSI が 6.96 と、商品化の目安を概ね達成した。これは、容積の小さい沈下型の方で、ウニが餌料と接触して摂餌しやすくなったためと考えられた。さらに、養殖カゴは大型であっても内部を小さく仕切ってそれぞれの容積を小さくすることで、同様の効果が期待できると考えられる。また、沈下型のコンテナ(①沈下・コンテナ区, ②沈下・改良コンテナ区)を用いた海上養殖試験では、同じカゴであっても、陸上水槽で飼育したものに対して海上で飼育したものは総じて GSI が低く、特に①沈下・コンテナ区は陸上水槽飼育では GSI が最も大きくなった一方、海上飼育での GSI 増加は 4 か月で+2.87 と低位であった。海上では、浮泥、付着生物、波浪による揺れ、降水による低塩分といった、様々な外的要因が考えられ、環境が安定していないことがウニへのストレスとなり、GSI の増加に影響した可能性が考えられた。陸上試験の結果では、飼育期間は 3 か月程度が適当であると考えられたが、海上において十分な身量を得るためには、ウニをより長期間飼育する必要があると考えられる。また、沈下型の養殖カゴ(③沈下・円筒型区, ④沈下・角型区)についても、陸上水槽で検討した際には、GSI は 8 を超えるまで増加した。これらの試験区は軽量で目が大きく、海中に沈めて行う海上養殖においては、作業負担の軽減に有効である一方で、波浪の影響を受けやすくなる。今後、初期投資や維持コストが低い海上筏での養殖を推進していくためには、これらのカゴについても海上での飼育試験を行い、GSI の増加に影響する外的要因について精査して検討する必要がある。

本研究では、様々なウニの飽食飼育試験による GSI の変化から、養殖適期、地元廃棄野菜の餌料としての有効性、適正な養殖カゴについて検討を行った。その

結果、十分量の餌料を与えれば、水温の低い冬季を除いて養殖が開始可能であり、期間は 3 か月程度が適当であること、餌料として、地先周辺で入手できる廃棄野菜の大根葉とブロッコリー葉が活用できる可能性があること、収容容積が小さい養殖カゴで GSI の増加量が高いことが明らかになった。今後、ウニ養殖を実用化するためには、今回の試験で得られた知見に基づき、飼育密度、適正給餌量、GSI に影響を与える外的要因等のさらなる検討が必要である。また、商品として出荷するためには、生殖腺の重量だけでなく、食味も重要な要素となる。臼井ら⁴⁾はキャベツで育てたムラサキウニは、全体的には甘みが強く苦みがない果物のような味わいが特徴であると報告している。今後、養殖ウニの販路を拡大していくために、呈味成分分析などを行い出荷時期別の食味の変化についても検討していく必要がある。

文 献

- 1) 日高研人, 森慎也, 梨木大輔, 後川龍男, 内藤剛. 筑前海における藻場の現状および藻場造成に関する研究. 福岡水産海洋技術センター研究報告 2016 ; 26 : 47-51.
- 2) 堀井貴司. ムラサキウニの生殖年周期と産卵月齢周期性. 日本水産学会誌 1997 ; 63(1) : 17-22.
- 3) 川原逸朗, 後藤政則, 真崎邦彦. 種苗生産過程にみられるアカウニ稚ウニの大量へい死を防ぐ飼育方法の検討-I-各種条件下における感染実験-I. 佐賀県栽培漁業センター研究報告書 1993 ; 2 : 45-50.
- 4) 臼井一茂, 田村怜子, 原日出夫. 野菜残渣を餌としたムラサキウニ養殖について. 神奈川県水産技術センター研究報告 2018 ; 9 : 9-15.

豊前海における水平垂下式カキ養殖の導入に関する研究

田中 慎也¹・永松 公明²・黒川 皓平^{1a}・野副 滉^{1b}・後川 龍男¹・鹿島 祥平¹
(¹ 豊前海研究所・² 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産大学校)

カキ養殖の生産効率向上を目的として、豊前海で通常行われている鉛直垂下方式と比較して高密度で養殖可能な水平垂下方式での成長試験や餌料環境の調査を実施した。その結果、水平垂下では高密度で育成しても成長が良好であり、収穫量が増加することが明らかになった。鉛直垂下と比べて水平垂下のコレクター周辺の潮通しが良くなることで、養殖筏内で餌料環境の指標であるクロロフィルフラックスが高くなり、これが良好な成長に繋がったものと推察された。

キーワード：マガキ、水平垂下、養殖手法、成長、クロロフィルフラックス

福岡県豊前海区でのマガキ養殖は、1983年に恒見漁協（現豊前海北部漁協恒見支所）で試験養殖が開始されてから急速に発展し、現在では「豊前海一粒かき」というブランド名で年間1,500トンを超える生産を揚げる冬季の主幹漁業に成長している。

現在、カキ養殖は豊前海全域に拡大しており、安定した生産を継続している。しかしながら、漁船漁業との漁場の競合があり、利用可能な漁場が沿岸に限られていることから、漁場の大幅な拡大は困難な状況である。

今後、生産量を維持・増大させるためには、養殖手法の改良により、養殖密度を高め、単位収量を増やす対策が必要である。

現在、豊前海ではコレクター（カキ種苗が付着したホタテ殻）を垂下ロープに対し鉛直方向に挟み込む鉛直垂下方式（以下鉛直垂下と記述）による養殖が行われている。一方、広島県や三重県では、塩ビ管等のスペーサーを用いてコレクターを水平方向に配置するいわゆる「水平垂下方式」（以下水平垂下と記述）が一般的である¹⁾。

この水平垂下は、コレクターを水平に配置するため、潮流に対する抵抗が小さいことが期待される。さらに、垂下ロープには、コレクターの幅の分、間隔を狭く配置できることから、垂下ロープあたりのコレクター枚数を増やすことが可能となる。

そこで、当海区において水平垂下がカキの養殖密度を高め、単位収量を増やす対策となりうるか検証を行った。

方 法

1. 室内水槽実験

(1) 流れの可視化による観察

本実験では、コレクターの配置の違いによる流れの差異を把握するため、小型可視化水槽にコレクターを配置し、トレーサー法²⁾により流れの観察を行った。

トレーサー法とは流れの場に流体と同じ動きをするトレーサー（アルミ粉）を懸濁させて、トレーサーが描く線および模様により流れの状況をレーザー光の照射で可視化する方法である。図1に流れの可視化実験の概要、図2に実験に使用した小型可視化水槽を示す。

実験では、小型可視化水槽（PT-130：西日本流体技研）の観測部中央にコレクターを固定、流速5cm/sでトレーサーを流し、上方からグリーン・レーザー光をコレクター中央部に向けて照射した。

コレクターは、実際の水平垂下および鉛直垂下を想定し、水平垂下については凸面あるいは凹面が上方を向くように、鉛直垂下については凸面が上流側を向くよう

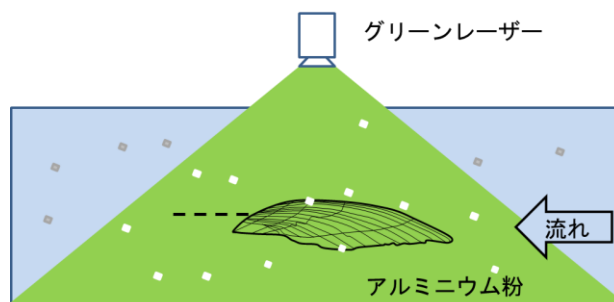


図1 流れの可視化（トレーサー法）の概要



図2 小型可視化水槽

にそれぞれ固定した。トレーサー法による流れの状況は、静止画および動画に記録した。また、画像解析ソフト imageJ を用いて、得られた静止画から垂下方式別に下流側に出来る乱流域の面積を算出した。

2. 海上試験

(1) 適切なコレクター間隔の検討

水平垂下の適切なコレクター間隔を検討するため、2019年に、図3に示す人工島周辺漁場の養殖筏において成長試験を実施した。試験区として水平垂下のコレク

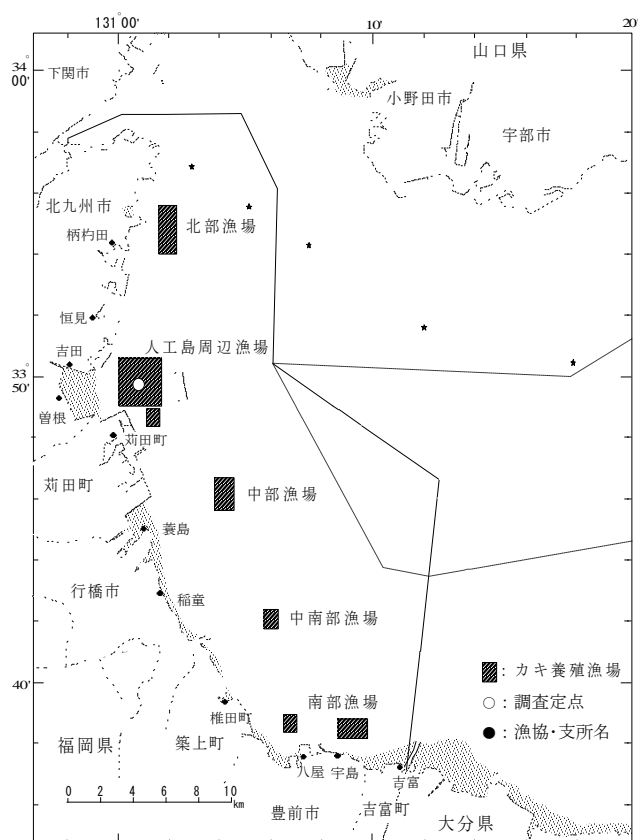


図3 調査地点

ター間隔を 15cm, 20cm, 30cm としたものと、対照区として鉛直垂下（間隔 30cm）の垂下連を各区 20 本ずつ 4 月に垂下した。コレクターの間隔は図4に示すように、コレクターの中心間の距離として設定した。マガキのサンプリングは、2019年6月から翌年1月まで月1回行い、各試験区からコレクターを数枚採取、その中から無作為に 20 個体選別し、20 個体選別できない試験区は全数を用いた。測定項目は、殻高及び殻付き重量とし、その差を検討するため、Tukey-Kramer 法による多重比較（有意水準 5%）を行った。

(2) 垂下方式別の収穫量の比較

垂下方式別の収穫量を比較するため、2021年に図3に示す人工島周辺漁場の上記(1)と同じ養殖筏にて、成長試験を実施した。試験区として、鉛直垂下のコレクター間隔を豊前海で一般的である 22.5cm（研究所調べ）としたものと、水平垂下の間隔を 21cm（規格品の塩ビ管使用）としたものを4月に各 20 本ずつ垂下した。翌年1月に垂下ロープ 2 本ずつ収穫、その中から無作為に 60 個サンプリングし、平均殻付き重量を測定した。平均殻付き重量、コレクター 1 枚あたり付着数及びコレクター間隔から収穫量を算出した。

(3) 養殖筏の餌料環境の測定

2021年9月24日12時から10月1日0時にかけて、図3に示す人工島周辺漁場の隣り合う鉛直垂下及び水平垂下のみの養殖筏中央部に、図5に示すように流向流速計（AEM-USB：JFEアドバンテック社）とクロロフィル濁度計（ACLW-USB：JFEアドバンテック社）を設置し、筏内の流速及びクロロフィルa濃度を測定した。流向流速計及びクロロフィル濁度計の測定間隔は10分に設定し、流速については、2方向の流速を合成して算出された合成流速を使用した。さらにクロロフィルa濃度と流速の積で求められるクロロフィルフラックスを用い

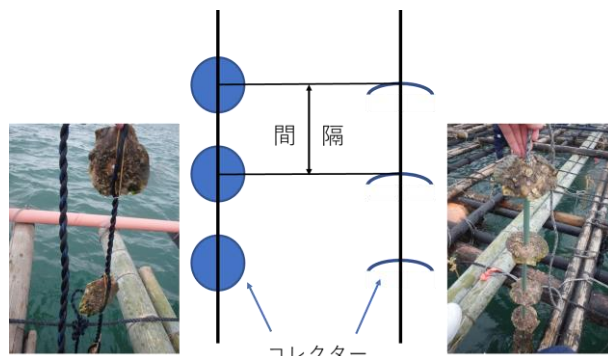


図4 鉛直垂下（左）と水平垂下（右）の概略図

養殖筏概略図

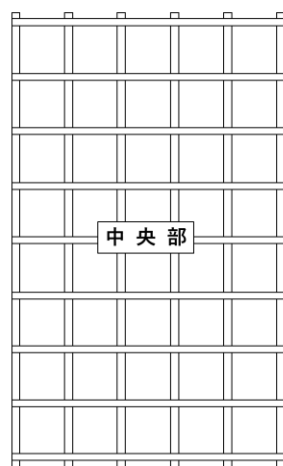


図5 測定機器の設置箇所及び方法

機器設置方法

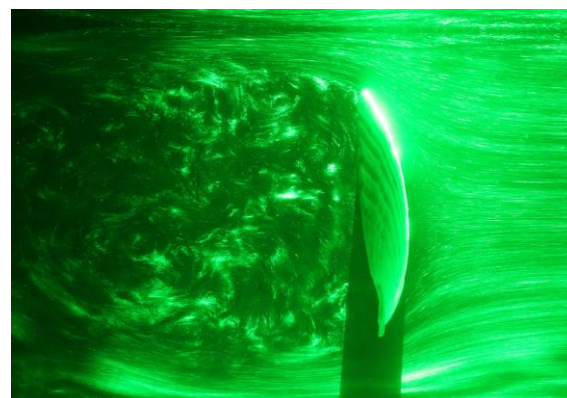
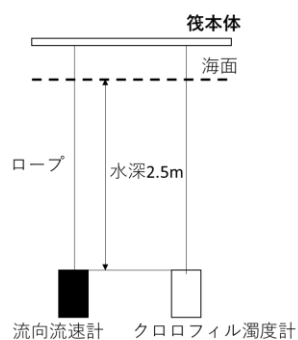


図6 鉛直垂下を想定した流れの可視化 (5cm/s)

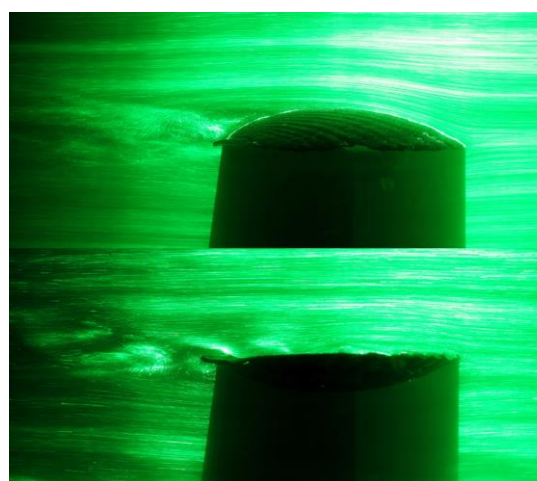


図7 水平垂下を想定した流れの可視化
(上：凸面が上，下：凹面が上，5cm/s)

て筏内の餌料環境を評価した。

各項目の値についてはt検定(有意水準5%)による2試験区間での統計処理を実施した。

結 果

1. 室内水槽実験

(1) 流れの可視化による観察

流速 5cm/s の定常流中における鉛直垂下及び水平垂下を想定した場合のコレクター周りの流れの可視化写真をそれぞれ図6, 7に示した。写真の右側が流れの上流側であり、コレクターの下方に見られる黒い部分はレーザー光がコレクターに遮られることによって発生した影である。

鉛直垂下の場合、コレクターの左側(下流側)には逆流を伴う広範囲に及ぶ乱流域が確認された。一方、水平垂下では下流側に一部小規模な乱流域のみみられるものの、凸面及び凹面側においても、流れはコレクター表面に沿ってスムーズに流れる様子が確認された。

下流側に確認された乱流域の面積は、水平垂下で 24.9cm²、鉛直垂下で 226.3cm²と算出された。

2. 海上試験

(1) 適切なコレクター間隔の検討

試験期間中の各試験区の殻高を図8に、殻付き重量を図9に示した。

試験が終了した1月時点での殻高は、水平区(20cm)の方が鉛直区(30cm)よりも有意に大きかった(Tukey-Kramer法: P<0.05)。殻高の大きさ順では、水平区(間隔20cm)>水平区(15cm)>水平区(30cm)>鉛直区(30cm)

となった。

殻付き重量は、水平区(間隔20cm)>水平区(15cm)>水平区(30cm)>鉛直区(30cm)の順となったが、各水平区とも、鉛直区との有意な差は見られなかった。

(2) 垂下方式別の収穫量の比較

垂下方式別の収穫量を表1に示した。1月時点での垂下ロープ1本分の収穫量比は1.21倍と、水平垂下の方が収穫量が多い結果となった。

(3) 養殖筏の餌料環境の測定

試験期間中の流速、クロロフィル濃度及びクロロフィ

表1 垂下方式別のカキ収穫量比

	* コレクターあたり 殻付きカキ総重量 (g)	** 重量比(a)	コレクター間隔(cm)	コレクター間隔比 (b)	収穫量比 (a)×(b)
鉛直垂下	208.2	1	22.5	1	1.0
水平垂下	236.2	1.13	21	1.07	1.21

*収穫時点(1月)の付着数×平均重量で試算

**鉛直区のコレクターあたりの殻付きカキの総重量を1とした場合の水平区の重量比を算出。

ルフラックスの値を 1 時間平均し、その推移をそれぞれ図 10, 11, 12 に示した。

流速は、鉛直区 3.65cm/s, 水平区 4.00cm/s と水平区の方が有意に速い結果となった (t 検定: $p < 0.05$)。

クロロフィル a 濃度は、鉛直区 1.45 $\mu\text{g/L}$, 水平区 1.59 $\mu\text{g/L}$ で水平区の方が有意に高く (t 検定: $p < 0.05$) , クロロフィルフラックスも鉛直区 5.31 $\mu\text{g/L}\cdot\text{cm/s}$, 水平区 6.33 $\mu\text{g/L}\cdot\text{cm/s}$ と水平区の方が有意に高い結果となった (t 検定: $p < 0.05$)。

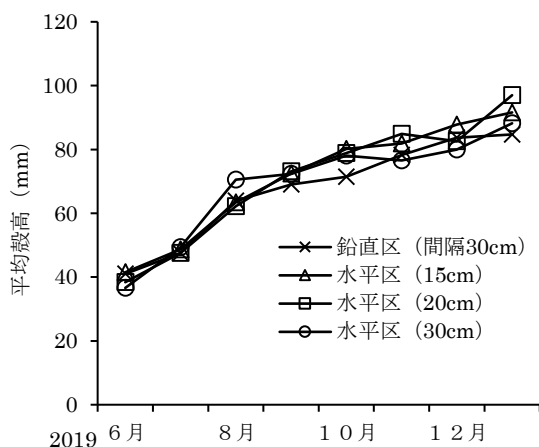


図 8 コレクター間隔別の平均殻高

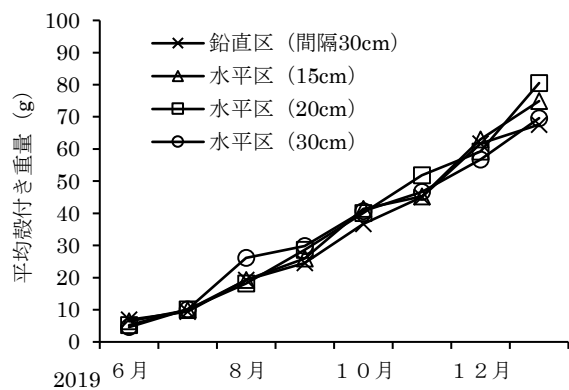


図 9 コレクター間隔別の平均殻付き重量

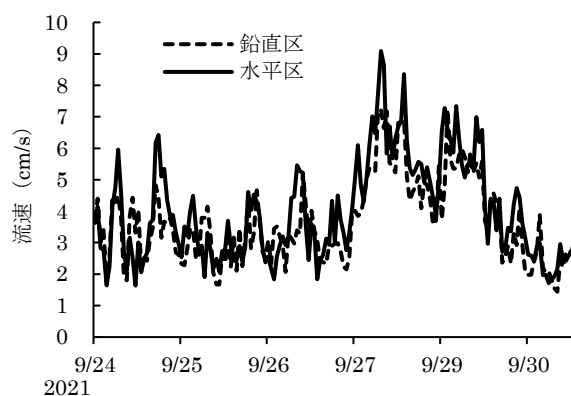


図 10 垂下方式別筏内の流速の推移

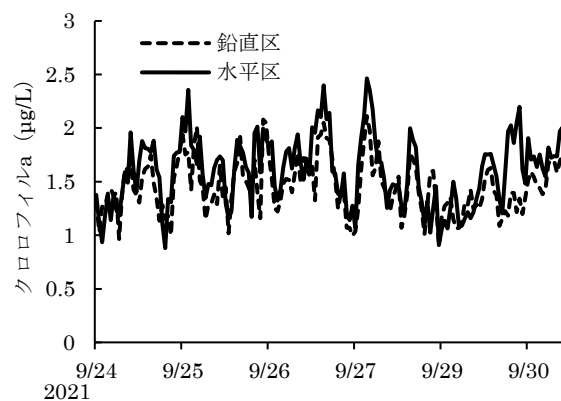


図 11 垂下方式別筏内のクロロフィルの推移

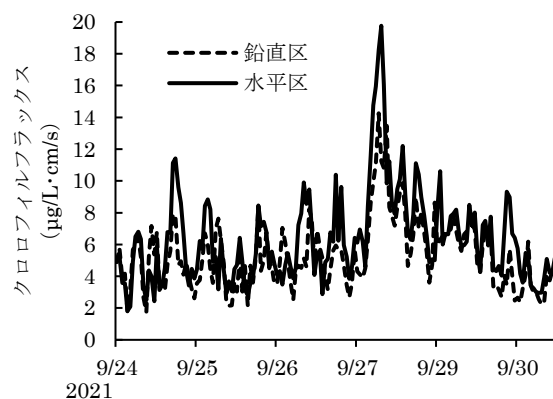


図 12 クロロフィルフラックスの推移

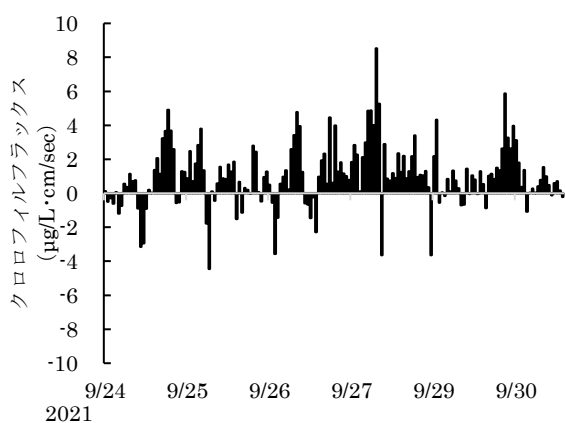


図 13 水平区から鉛直区を引いた差の推移

考 察

今回の結果では、鉛直垂下よりもコレクター間隔 20cm に設定した水平垂下で、カキの成長が良好であったが、間隔 30 及び 15cm では鉛直垂下と差がみられなかった。間隔 30cm では垂下ロープあたりのコレクター枚数が他の試験区より少なく、ロープ自体が筏の揺れによって振動しやすかったため、その振動の影響によりカキの成長が阻害され³⁾、鉛直垂下との差がみられなかったものと考えられた。一方、間隔 15cm では、上下のコレクターから成長したカキ同士が重なり合い、成長が抑制されたためと考えられた。これらのことより、水平垂下の養殖密度はコレクター間隔を狭めても成長が良好である間隔 20cm が適当であると考えられた。

次に、流れの可視化試験では水平に垂下すると、コレクター周辺には大きな滞留がみられず、潮通しが良い状況が確認された。鉛直垂下の場合、コレクターに流れが当たる面の高さが 12cm であったのに対して、水平垂下の場合には 2cm と 6 分の 1 しかなかった。そのため、下流側にできる乱流域も鉛直垂下の方が約 9 倍と広範囲に滞留が引き起こされていた。以上のことより、水平垂下では視覚的にも滞留が起きづらい状況が確認された。

養殖筏中央部における流速は、鉛直垂下よりも水平垂下の方が速い結果となった。これは、室内試験における流れの可視化試験の結果とも一致し、海上においても水平垂下の潮通しの良さが示された。ただ今回の試験時期が 9 月下旬とカキがある程度成長した状態であり、カキが上下のコレクター間の隙間を塞ぐことによる潮通しの悪化が考えられた。そのため、カキが成長する前の時期に同様の試験を実施すれば、より流速に差が出る可能性があると考えられた。

また、中央部のクロロフィル量は水平垂下の方が高い結果となったが、上妻らは筏縁部部のクロロフィル量は

中央部と比較して高いことを報告しており³⁾、水平垂下では潮通しが良いため縁部からの栄養が豊富な海水が中央部まで滞留せずに流入することで、鉛直垂下よりもクロロフィル量が多くなったと推察された。

流速が速く、クロロフィル量も多かったことから両者を掛け合わせたクロロフィルフラックスは、水平垂下の方が高い結果となった。マガキ 1 個の濾水量は約 10L/hr とも言われており⁴⁾、筏中央部に栄養が豊富な海水が行き届くことはカキの成育にとって重要である。これまで、カキ養殖においてクロロフィルフラックスを測定した事例はないが、アサリでは、良好な成長に必要なとされるクロロフィルフラックスは 10 以上が望ましいとされている⁵⁾。単純に比較できるものではないが、今回の結果では 10 を超える数値は両試験区でほとんど確認されなかった。豊前海におけるカキ養殖は種苗垂下から収穫まで半年以上かかるが、今回の試験期間は 1 週間と短期間であったため、長期的な傾向をつかめなかった可能性があり、今後、流速やクロロフィル量を長期間測定していく必要があると考えられた。

次に、クロロフィルフラックスについて水平区から鉛直区の値を引いた差の推移を図 13 に示した。これを見ると、流速が速い時にその差も大きくなり、餌料環境も改善されやすい傾向が示唆された。このことより、流速が速い時間帯が長い方が垂下方式によるクロロフィルフラックスの差も大きくなり、カキ成育状況も良くなると考えられた。

今回試験を実施した漁場は人工島周辺であるが、より流速の速い中部や南部漁場の方では水平垂下の効果が高くなる可能性があり、更に良好な成長に繋がる可能性があると思われる。そのため、今後は筏規模での長期的な検証を進めていく必要がある。

中川ら⁶⁾は豊前海において、夏季及び秋季を通じてクロロフィル a 濃度の減少がみられることを報告している。クロロフィル a 濃度はカキ成育の重要な要素であるため、このような状況が続けば、長期的には成長不良が起きる可能性がある。今回の結果より、筏内の餌料環境を改善できる水平垂下は、このようなクロロフィル a 濃度減少の影響を低減できると考えられる。豊前海では、出荷前育成中のある程度成長した段階で 1 度収穫して、附着物を除去した後にかごに入れて再垂下し、身入りを向上させる「かご垂下」を行う。鉛直垂下よりも成長が良好であれば、この「かご垂下」を早期に開始でき、従来よりも長期間かご養成が可能となることから、更なる身入り向上も期待できる。

今回の収穫試験では、垂下方式を鉛直から水平にすることで、成長が良好なうえ、養殖密度を高めることが可

能となり、その結果収穫量を 1.21 倍に増大できることが示された。ただし、今回の試験は筏の一部で実施したものであるため、今後は筏規模での実証試験を行うことで、より詳細な生産性・収益性を明らかにする必要がある。また、水平垂下に変えることによる経費の増減や作業性の違い等も明らかにすることで、現場に普及しやすい体制作りも必要であろう。

文 献

- 1) 尾定 誠. シリーズ<水産の科学> 3. カキ・ホタテガイの科学, 朝倉書店, 東京都, 2019, 96.
- 2) 流れの可視化学会編. 新版流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店, 東京都, 1987, 184-198
- 3) 上妻智行, 江崎恭志, 長本篤, 片山幸恵, 中川清. 豊前海における養殖カキの成長格差と環境要因. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2003 ; 13, 31-34.
- 4) 大島泰雄. 各論編かき. 浅海養殖, 第 1 版, 株式会社大成出版社, 東京都, 1986, 385.
- 5) 張成年, 山本敏博, 丹羽健太郎, 柴田玲奈, 日向野純也, 淡路雅彦, 松本才絵, 長谷川夏樹, 櫻井 泉, 秦安史, 鈴木秀和, 宮脇大, 村内嘉樹, 平井玲, 水野知巳, 羽生和弘, 程川和宏, 川崎信司, 内川純一, 梅本敬人, 生嶋登. 漁場生産力の有効活用によるアサリ母貝場造成および新規創出技術開発. 平成 24 年度水産基盤整備事業報告書 : http://www.mf21.or.jp/suisankiban_hokoku/data/pdf/z0000913.pdf, 令和 5 年 1 月 10 日閲覧
- 6) 中川浩一, 俵積田貴彦, 中村優太. 近年の「豊前海一粒かき」の成育状況と漁場環境との関係. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2003 ; 19 : 109-114.

福岡県水産海洋技術センター研究報告 第33号

編集委員

委員長	秋元 聡
委員	佐藤 博之
	篠原 満寿美
	的場 達人
	池浦 繁
	藤井 直幹
	尾田 成幸
	江藤 拓也
	中川 浩一
	宮内 正幸

発行 2023年3月

発行者 福岡県水産海洋技術センター
所長 濱田 弘之

福岡県水産海洋技術センター 〒819-0165 福岡市西区今津 1141-1
TEL 092-806-5251 FAX 092-806-5223

有明海研究所 〒832-0055 柳川市吉富町 728-5
TEL 0944-72-5338 FAX 0944-72-6170

豊前海研究所 〒828-0022 豊前市大字宇島 76-30
TEL 0979-82-2151 FAX 0979-82-5599

内水面研究所 〒838-1306 朝倉市山田 2449
TEL 0946-52-3218 FAX 0946-52-3324
