
福岡県水産海洋技術センター研究報告

第 3 2 号

BULLETIN
OF
FUKUOKA FISHERIES AND MARINE TECHNOLOGY RESEARCH CENTER
No. 32

福岡県水産海洋技術センター

2022年3月

目 次

[研究報告]

1. 筑前海におけるアカモク増殖手法に関する研究
梨木 大輔・後川 龍男・林田 宜之・日高 研人…………… 1
2. 豊前海におけるアカモク増殖手法に関する研究
黒川 皓平・後川 龍男・野副 滉・田中 慎也…………… 7
3. 矢部川におけるアユの由来別特性と漁場利用実態
中本 崇……………15
4. 矢部川河口漁場におけるアサリ稚貝の出現とその動向
山田 京平・長本 篤・合戸 賢利・佐野 二郎……………21
5. 魚群探知機による底質環境の把握
松島 伸代・笠井 昭範……………37
6. 豊前海の長期環境変動に関する研究
後川 龍男・黒川 皓平・田中 慎也・鹿島 祥平……………43
7. 福岡県有明海域において養殖ノリが二枚貝類から受ける効果
安河内 雄介・長本 篤……………51
8. 福岡県有明海における大規模ノリ養殖の技術体系と経営の調査
内藤 剛・中原 秀人・安河内 雄介・藤井 直幹……………57

筑前海におけるアカモク増殖手法に関する研究

梨木 大輔・後川 龍男^a・林田 宜之・日高 研人^b
(水産海洋技術センター)

福岡県筑前海域では、主に静穏域にアカモク群落が形成されており、複数の漁協や漁業者グループがアカモクの加工販売に取り組んでいる。磯根資源としてのアカモクの重要度が高まる中、産地では資源の減少が懸念されている。そこで本研究では、アカモクの増殖適地や母藻投入手法に関する試験を行い、効率的な増殖手法を検討した。まず、アカモクの生長は光条件の影響を受けることが確認され、相対光量子量が増殖適地の指標と成り得ることが示された。また、本県筑前海に生育するアカモクは2月頃に成熟する早期成熟群と3月以降に成熟する晩期成熟群があり、後者を用いた母藻投入が、魚類による食圧を低減でき、群落造成の効果を高めることができると示唆された。

キーワード：アカモク、増殖適地、母藻投入、光量子量、食害

アカモク *Sargassum horneri* は北海道東岸を除く日本列島のほか、朝鮮半島から香港まで広く分布する一年生の褐藻である^{1, 2)}。福岡県筑前海域では、主に波浪の影響が少ない静穏域にアカモク群落が形成されており、魚介類の産卵場や育成場といった様々な機能を担っている。秋本ら³⁾は本県に生育するアカモクの生長や成熟に関する基礎生態を調査しており、2月頃に成熟する早期成熟群と3月頃に成熟する晩期成熟群の2群が存在すると報告している。

アカモクは食用海藻として各地で利用されており^{4, 5)}、本県では糸島漁業協同組合福吉支所の婦人部で「あかもく部会」が組織され、2005年から組織的な生産に着手した。現在では、筑前海各地先の漁協で加工販売されるようになり、豊前海でも同様に組み込まれている。近年では健康食品としての需要も高まり、アカモク加工品は道の駅や直売所、スーパーなどで販売されて人気を博している。また、漁業者による加工販売のほか、加工業者への原藻販売の事例も増えてきている。

磯根資源としてのアカモクの重要度が高くなっている一方、資源量の年変動が大きな地先がみられており⁶⁾、その要因は過剰な漁獲、魚類やウニ類による食害等が考えられている。このように、産地における資源の減少が懸念されている中、アカモクを持続的に利用していくためには、群落の回復や新規造成といった増殖策が不可欠となっている。

アカモクの増殖策としては、漁場に幼胚を供給することを目的とした母藻投入が有効であり⁷⁾、漁業者が簡便に実施できることから、本県でも漁業者に普及指導している。

そこで今回、母藻投入をアカモク群落造成の基本的手法とし、増殖適地や効率的な増殖手法について検討を行い、若干の知見を得たので報告する。

方 法

1. 増殖適地の把握

アカモク増殖適地を把握するため、福岡県筑前海沿岸域の複数の地先にアカモク人工種苗を設置して生長を比較した。

種苗生産に用いた母藻は、2020年4月15日に宗像市大島地先で採取し、10本の全長と湿重量を測定した(図1)。採取したアカモクは、濾過海水をかけ流した陸上水槽に浮かべておき、水槽底面に落下した幼胚を5月3日まで複数回採集した。採集した幼胚は、濾過海水を注水した密閉容器に収容し、吉田ら⁸⁾の方法を参考にアルミ箔で遮光して4℃で冷蔵保存した後、京都府⁹⁾の立体攪拌培養技術により7月6日から種苗生産に取り組んだ。

生産した種苗は、1.6m×2mのノリ網に等間隔で50本を挟み込み(図2)、2021年1月13日～21日にかけて糸島市福吉地先の1ヶ所、糸島市野北地先の4ヶ所、大島地先の3ヶ所の計8ヶ所の海底に設置した(図1)。設置場所は砂地、または漁港施設の基礎ブロックであり、前者では土のうにより、後者では基礎ブロックに付属していた金属製のリングによりノリ網を固定した。

その後、多くの種苗で成熟を確認できた4月15日、16日に種苗を回収し、20本を上限として生残した種苗の全長と湿重量を測定した。

また、各調査点における生育環境を把握するため、水深と光量子量を測定した。光量子量は、各調査点で2021年1月と2月に1回ずつ、直読式総合水質計（JFEアドバンテック株式会社製、AAQ-RINKO）を使用して表層から底層まで10cm間隔で4回測定した。表層から表層+20cmまでの平均値を表層光量子量、底層から底層+20cmまでの平均値を底層光量子量と区分し、表層光量子量に対する底層光量子量の割合を相対光量子量とした。

増殖適地は、各調査点におけるアカモクの生長と水深、及び相対光量子量を比較することで検討した。

2. 増殖手法の検討

(1) 群ごとの特性の検証

本県筑前海で見られる早期成熟群（以下、早期群とする）と晚期成熟群（以下、晚期群とする）の2群は、遺伝的特性として固定されているかを検証するため、同じ環境条件下での生長や成熟を比較した。

まず、陸上で生産した2群の人工種苗を海底に設置することで、冬季における伸長期の生長を比較した。早期群の種苗は、2020年2月28日に大島地先で採取したアカモクを母藻として生産した。採取した母藻は濾過海水をかけ流した陸上水槽に浮かべておき、水槽底面に落下した幼胚を3月10日まで複数回採集した。採集した幼胚は、濾過海水を注水した密閉容器に収容し、吉田ら⁸⁾の方法を参考にアルミ箔で遮光して4℃で冷蔵保存した後、京都府⁹⁾の立体攪拌培養技術により2020年7月6日から種苗生産に取り組んだ。晚期群については、前述した増殖適地試験と同じ種苗を使用した。

生産した種苗は、直径5mmのロープに30cm間隔で30本挟み込み、2020年12月18日に野北地先において水深約2mの海底に設置した（図1）。設置場所は漁港施設の基礎ブロックであり、ロープは基礎ブロックに付属していた金属製のリングを使用して固定した。追跡調査は月に1~3回の頻度で2021年4月28日まで実施し、各群20本について全長を測定した。また、同時に生殖器床の有無も確認し、生殖器床の有る個体の割合を群成熟度とした。なお、人工種苗はそのまま枯死流出するまで設置した。

また、人工種苗を挟み込んだ各群のロープ直下の岩盤においては、2021年6月22日にアカモク幼体の着生が見られて再生産が確認された。そこで、各群の夏季における初期生長を把握するため、ロープ中央直下に生育する幼体の全長を定期的に測定した。追跡調査は、2021年9月15日まで月に1~2回の頻度で実施し、各群20本について全長を測定した。

(2) 母藻投入の間隔

効率的な母藻投入手法を検討するため、母藻投入による

アカモク幼胚の供給範囲を調査した。

母藻投入はスポアバッグ方式を用いた⁷⁾。成熟したアカモク約2kgを目合3mmの網袋に収容し、2021年4月27日に野北地先に設置した（図1）。スポアバッグは海底から+1.5mの水深に設置し、幼胚の着底基質として19cm×19cmのコンクリートブロックをスポアバッグ直下から1m間隔で6m地点まで、北西方向に設置した（図3）。

追跡調査は2021年6月14日に実施した。各コンクリートブロックでランダムに3cm×3cmの調査枠を6つ設定し、着生しているアカモク幼体の本数を計数した。各コンクリートブロックにおける着生状況を比較するため、計数結果は一元配置分散分析の後、Tukey-Kramer法により多重比較検定を行った。

また、試験場所の流況を把握するため、2021年4月27日から5月12日にかけて小型メモリー流速計（JFEアドバンテック株式会社製、INFINITY-EM）をスポアバッグ近隣に設置して15昼夜連続観測した。流況は15分間隔で1秒あたり1回の測定を20秒間行い、その20秒間の平均値を測定時の流況データとした。

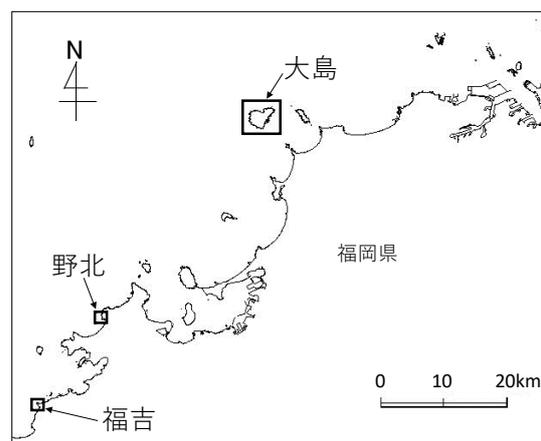


図1 母藻採取地点、各試験の実施場所



図2 アカモク種苗を挟み込んだノリ網

3. 晩期群を活用して有用性を検証

アカモクが消失した漁場において、中層網方式⁷⁾での母藻投入による漁場回復試験を野北地先で実施した(図1)。試験場所は、2018年まで早期群が繁茂していたが、2019年10月に魚類による食害が確認され、アカモクが消失してしまった漁場を選定した。

投入用母藻は野北地先で確保することが困難であったため、大島地先の晩期群のアカモクを使用した。母藻は2019年12月11日に採取し、1.6m×2mのノリ網に80本を挟み込み、12月18日に野北地先に設置した。ノリ網はアカモクが成熟し、周辺漁場に幼胚を放出して枯死流出するまで設置し続けた。

また、母藻投入の効果を確認するため、2021年4月9日に、ノリ網設置地点を中心として10m×1mの範囲に生育するアカモクを計数した。

結 果

1. 増殖適地の把握

各調査点で回収したアカモク人工種苗の全長と最低水面(D.L.)からの水深(以下、水深とする)、相対光量子量の関係を図4に示した。全長は41.1~192cmであり、調査点によって異なる生長であった。水深は0.9~6.7m、相対光量子量は30.3~65.8%であった。水深が浅い地点や、相対光量子量が高い地点で全長の長い地点がみられたが、全長と水深、または相対光量子量との間に顕著な関係性は見られなかった。

湿重量については、人工種苗生産に使用した天然アカモクと比較するため、1cmあたり湿重量を計算した。図5に湿重量/cmと水深、相対光量子量の関係を示した。湿重量は、0.24~2.18g/cmであり、調査点によって大きく異なった。また、人工種苗生産に使用した母藻の天然アカモクの

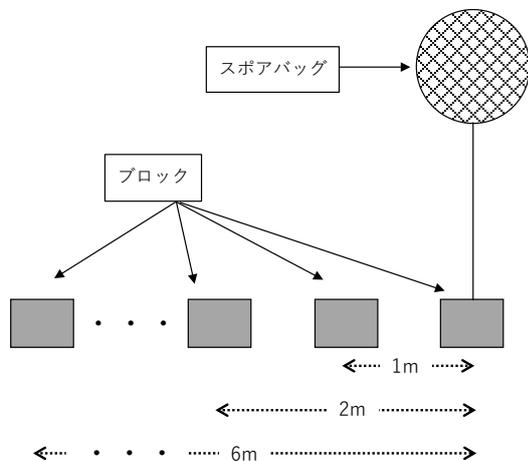


図3 幼胚供給範囲の調査イメージ図

湿重量は1.70g/cmであった。水深が浅い1m前後で天然アカモクと同程度の湿重量となった地点があったが、同じ水深帯において湿重量が小さい地点も確認された。一方、相対光量子量が高くなると湿重量も高くなる傾向が見られ、相対光量子量が60%以上の全地点が天然アカモクと同程度以上の湿重量であった。

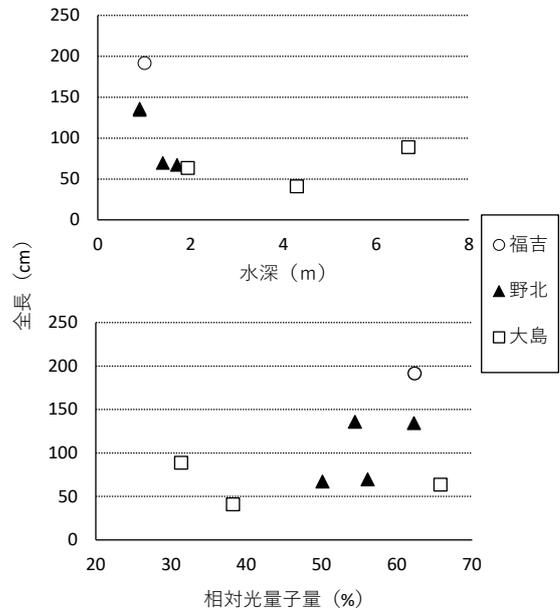


図4 各調査地点におけるアカモクの全長 (上: 水深別, 下: 相対光量子量別)

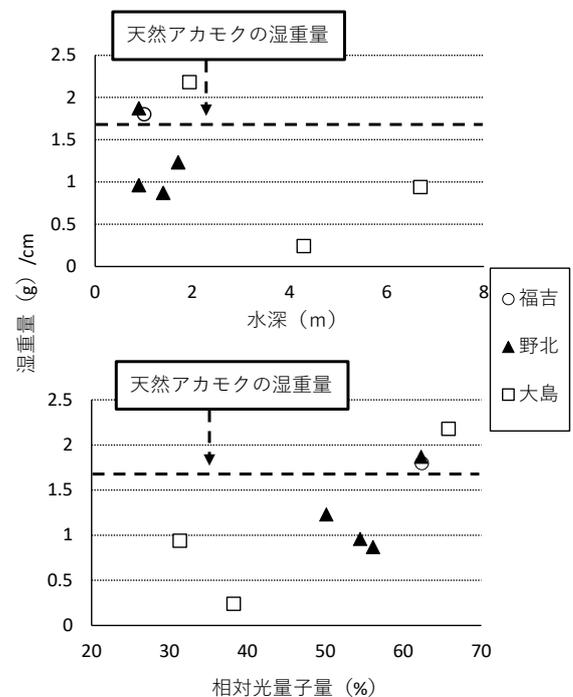


図5 各調査地点におけるアカモクの湿重量/cm (上: 水深別, 下: 相対光量子量別)

2. 増殖手法の検討

(1) 群ごとの特性の検証

早期群及び晩期群種苗の全長の推移を図6に示した。早期群の平均全長について、沖出し時の12月18日は10.9cmであり、約1ヶ月後の1月19日には62.0cmまで生長した。3月12日に最大値の291cmとなった後、3月下旬から枯死流出し始めた。晩期群の平均全長について、沖出し時は8.3cmであり、その後は早期群と異なる生長を示し、約1ヶ月後の1月19日は13.2cmとあまり生長していなかったが、2月26日には77.1cmと生長を始め、4月23日に最大値の243cmとなった後、枯死流出し始めた。

人工種苗の群成熟度を図7に示した。早期群の群成熟度について、1月19日は0%であったが、2月26日には100%となった。晩期群の群成熟度について、2月26日は0%であったが、3月12日に52.6%と成熟個体が確認され始め、3月26日は100%となった。

次に、両群の人工種苗から再生産した幼体の初期生長を図8に示した。早期群の平均全長は6月22日の6.1cmから9月15日には18.3cmに生長した。晩期群も順調に生長し、平均全長は6月22日に2.6cm、9月15日には8.8cmであった。全ての調査時において、平均全長は早期群の方が長かった。

(2) 母藻投入の間隔

各コンクリートブロックに着生した3cm×3cm枠内のアカモク幼体の平均本数を図9に示した。平均本数は0~6.3本であり、母藻投入場所周辺で多く、離れるほど減少する傾向が見られた。投入場所直下の0m、及び1mの2点の幼体本数は、2mより離れた地点よりも有意に多く($p<0.01$)、この2点で全体の75%の幼体が着生していた。また、幼体は4m地点まで確認されたが、5mより離れた地点では見られなかった。

母藻投入場所における流向を図10に示す。北、北東、東、南東、南、南西、西、北西方向への流向の割合は各々0、0、0.4、16.1、67、15.8、0.7及び0%、平均流速は0、0、9.4、11.9、11.0、9.6、7.9及び0cm/秒であった。投入場所では、南方向の流れが卓越して全体の67%を占め、次に南東方向、南西方向の順となり、全体的に南側への流向であった。また、西方向の流れが僅かにあったものの、ブロックを設置した北西方向の流れは見られなかった。

3. 晩期群を活用して有用性を検証

母藻としてノリ網に挟み込んだアカモクは順調に生長し、2020年4月下旬には成熟して幼胚を放出していることが確認された。また、ノリ網設置場所の周辺を目視観察したところ、天然アカモクは見られなかった。

幼胚が供給されてから1年後の調査では、ノリ網周辺の

岩盤でアカモクが3.1本/m²の密度で生育し、成熟していることも確認された(図11)。

考 察

アカモクの増殖適地を把握するため、まずは水深が適地の指標と成り得るか検討した。福岡県筑前海におけるアカモク群落は、水深1~5m程度で見られている³⁾。本研究では水深約1~7mの海底に人工種苗を設置したところ、回収時の全長や湿重量は大きく異なり、水深1~2m程度の浅場で良好な生長となった地点が見られた。しかしながら、母藻として利用した天然アカモクと湿重量を比較した場合、浅場でも生長不良となった地点が確認された。生長不良の

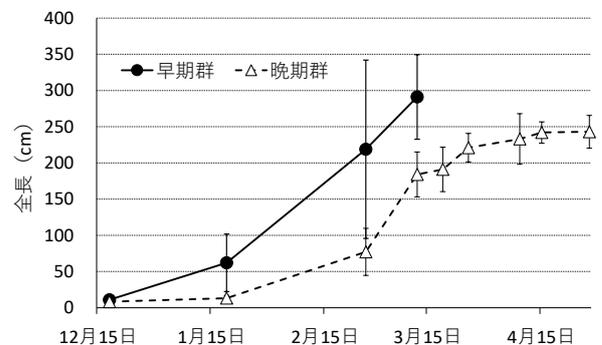


図6 早期群及び晩期群種苗の全長の推移

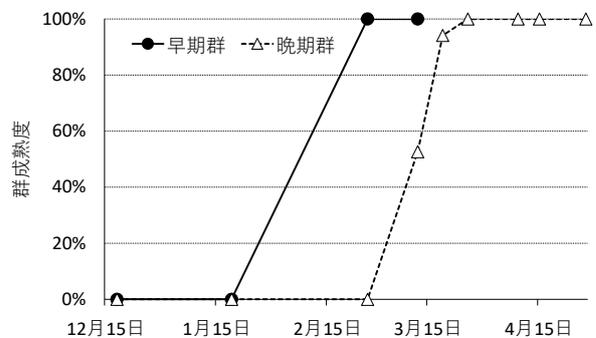


図7 早期群及び晩期群種苗の群成熟度の推移

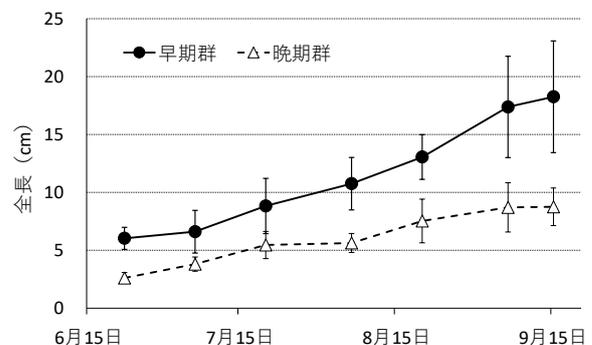


図8 再生産した早期群及び晩期群の初期生長

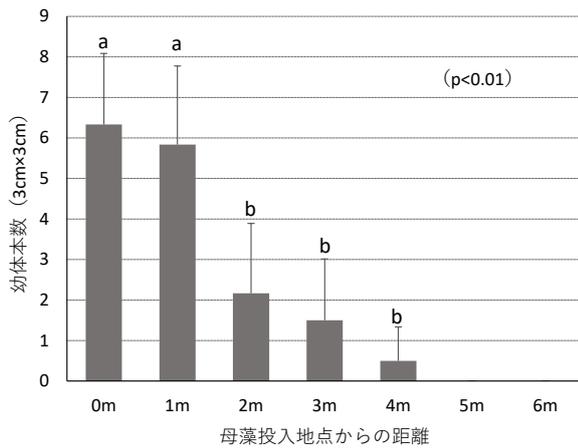


図9 母藻投入地点からの距離別アカモク幼体着生本数

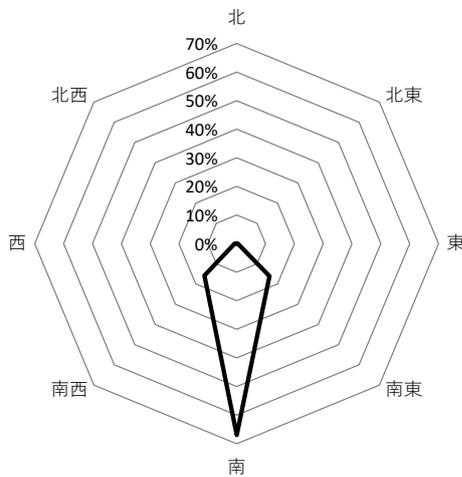


図10 15 昼夜連続観測における流向の割合

アカモクは主枝が細くて側枝も短く、加工用原藻としては利用できない状態であった。そのため、アカモクの収穫を見据えた場合、同じ水深帯でも生長差があるため、水深は増殖適地の指標として最適ではないと考えられた。

次に、適地の指標として相対光量子量を検討した。人工種苗が良好に生長した地点は、相対光量子量も高い結果となり、アカモクの生長における光環境の重要性が認められた。特に、相対光量子量が60%以上であった3調査点の全ては、母藻として利用した天然アカモクと同程度以上の湿重量となり、加工用に利用できる程に生長していた。また、新村らは¹⁰⁾、広島湾におけるアカモク群落外縁部の相対光量子量は60.2%と報告しており、本研究結果と同程度であった。これらのことから、アカモクが健全に生長する指標として、相対光量子量が有効であり、その値は60%と示唆された。

アカモク幼胚の供給範囲について、母藻投入後の調査では投入地点から4mまでで、1m以内に多くの幼体が着生し



図11 母藻投入により増殖したアカモク

ていた。狭い範囲で幼体が多かった理由としては、最初にホンダワラ類の幼胚の特徴があげられる。ホンダワラ類の幼胚は卵形が大きく、沈降速度が0.1~0.5cm/秒と速いため¹¹⁾、水平方向に広がりづらく、その拡散範囲は10m程度とされている⁷⁾。特にアカモクの幼胚の沈降速度は約0.5cm/秒であり、他のホンダワラ類と比較して速いため、母藻から1m範囲内に幼胚が多く落下したと推察された。

現場海域における幼胚の拡散は、流況も影響することが報告されている¹²⁾。今回の調査地点では、母藻から北西方向への供給を調べたが、調査地点における流況は、西方向へのわずかな流れが確認されたものの、南東から南西方向の流れが卓越していた。そのため、受精卵は北西方向へ拡散されづらく、母藻直下に幼体が集中した結果となったとも考えられる。

母藻投入を実施する際は、現場海域における流況を事前調査し、幼胚の拡散範囲を想定することが効果的である。しかしながら、漁業者への普及を考えた場合、流況調査や解析は煩雑な作業になってしまう。今回の調査では、幼胚は卓越した流れがない方向にも拡散し、その多くは1m以内に着生していた。これらのことから、弱い潮流の地先においても、幼胚は少なくとも半径1m以内には落下すると捉えることもできる。そのため、アカモク増殖を図る漁場に確実に幼胚を供給するためには、半径1mを確保する2m間隔での母藻投入が有効だと考えられた。

次に、福岡県筑前海のアカモクは、2月に成熟する早期群と3月以降に成熟する晚期群が生育している³⁾。瀬戸内海¹³⁾や若狭湾¹⁴⁾においても成熟期の異なる個体群が存在し、これらは遺伝的に固定されていると結論づけられている。今回、筑前海地先の同一環境下に設置した早期群と晚期群の人工種苗は、それぞれ異なる生長を示し、天然と同様に早期群は2月に、晚期群は3月に成熟して枯死流出した。このことから、両群の成熟時期は生育環境の影響を受

けず、遺伝的特性として固定していると示唆された。

秋本ら⁶⁾は、早期群のアカモク資源は晩期群と比較して不安定であり、この要因の一つとして、アイゴ稚魚活性の高い夏季に両群の生長差があるためだと報告している。具体的には、夏季におけるアイゴによるアカモクへの食圧は、同時期の藻体が小型である晩期群で低く、より大型の早期群で高いためだと示唆されている。しかし、夏季における両群の生長差についての知見はこれまで無かった。本報告では、同一環境下における両群の夏季の生長を比較したところ、同一調査日において常に晩期群の方が短い結果であり、秋本らが述べていた夏季の生長の差異⁶⁾を実証することができた。

なお、発芽時期の異なる両群について、天然海域下で生長速度を比較検証することは非常に困難である。しかし、発芽時期に差はあるものの、両群は同一環境下で健全に生長していることから、両群の夏季における大きさの違いは、単純に発芽時期が異なることに由来すると考えられる。

上述したとおり、早期群と晩期群は遺伝的に異なり、後者は夏季に小型で過ごすことが明らかとなった。つまり、母藻投入する場合、晩期群を利用する方がアイゴによる食圧を低減でき、アカモク増殖の成功率が高くなると考えられる。事実、本報告における漁場回復試験では、早期群が消失した漁場に晩期群を母藻投入したところ、幼胚が供給されてから1年後にアカモク群落を再生することができた。また、近年では、糸島市福吉地先などこれまでアカモクの生えていなかった漁場に晩期群が自然に形成された事例が複数確認されている。

以上のように、本研究では効率的な増殖技術開発を目的に、アカモク増殖適地や母藻投入手法を検討した。アカモクの生長には、今回検証した項目以外にも藻食性動物や浮泥の堆積¹⁵⁾、塩分¹⁶⁾など多様な要因が影響する。そのため、今後も筑前海におけるアカモク群落の形成、または阻害要因を詳細に調査することで、より効果的な増殖手法の開発が期待される。

文 献

- 1) 吉田忠生. 新日本海藻誌日本産海藻類総覧 内田老鶴圃, 東京. 1998 ; 367-402.
- 2) 寺脇利信. 海藻類の生活史集成第2巻褐藻・紅藻類(堀輝三編) 内田老鶴圃, 東京. 1993 ; 160-161.
- 3) 秋本恒基, 後川龍男, 深川敦平. 宗像市大島地先のアカモクにおけるアカモクの生長と成熟. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; 19 : 103-107.
- 4) 池原宏二. 日本海における食用としてのホンダワラとアカモク. 藻類 1987 ; 35(3) : 233-235
- 5) 西垣友和, 篠原義昭, 道家章生. アカモク養殖における種苗沖出し水深, 時期および固定間隔の成長, 生残および生産量への影響. 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告 2016 ; 38 : 7-12 .
- 6) 秋本恒基, 松井繁明, 中本崇, 濱田弘之. アカモク *Sargassum horneri* の増殖試験. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2010 ; 20 : 67-72.
- 7) 水産庁. 第3版磯焼け対策ガイドライン第7章磯焼け対策手法事例 2021 ; 85-190.
- 8) 吉田吾郎, 吉川浩二, 寺脇利信. 低温保存したアカモク幼胚の発芽率と成長. 日本水産学会誌 2000 ; 66(4) : 739-740.
- 9) 京都府. 褐藻類幼体の剥離攪拌法による培養養成法. 特開 2004-187574. 2004.
- 10) 新村陽子, 吉田吾郎, 玉置仁, 寺脇利信. 広島湾に生育する大型褐藻群落の内部における光環境の違い. 水産工学 2004 ; 41(2) : 133-138.
- 11) 奥田武男. ホンダワラ類の着生機構. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究. 昭和57年 I-6 課題研究成績報告書 1983 ; 129-136.
- 12) 杜多哲, 飯倉敏弘, 北村章二. ホンダワラ類幼胚の着生数の分布と波の影響. 日本水産学会誌 1989 ; 55(7) : 1161-1172.
- 13) Yoshida G, Arima S, Terawaki T. Growth and maturation of the 'autumn-fruiting type' of *Sargassum horneri* (Fucales, Phaeophyta) and comparisons with the 'spring-fruiting type'. *Phycological Research* 1998 ; 46(3) : 183-189.
- 14) 西垣友和, 道家章生. 若狭湾西部海域におけるアカモク2個体群の生長および成熟. 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告 2014 ; 36 : 1-5.
- 15) 吉田吾郎, 寺脇利信, 吉川浩二, 有馬郷司. 広島湾大野瀬戸における秋に成熟するアカモクの初期成長と減耗. 南西海区水産研究所研究報告 1997 ; 30 : 125-135.
- 16) 西垣友和, 山本圭吾, 遠藤光, 竹野攻璽. 阿蘇海で養殖されたホンダワラ科褐藻アカモクの生長と生残. 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告 2010 ; 32 : 23-27.

豊前海におけるアカモク増殖手法に関する研究

黒川 皓平・後川 龍男・野副 滉・田中 慎也

(豊前海研究所)

福岡県豊前海域では未利用資源であったアカモクについて、近年、複数の漁協や漁業者グループが加工販売に取り組み始めている。しかし、豊前海ではその分布状況や生息環境、増殖技術が明らかでないことから、アカモク資源の増大と持続的利用を目的として、分布状況の把握及び増殖技術の開発を行った。豊前海のアカモクは、最干潮時の水深が1-2mの静穏な浅海域に分布していたが、海域全体では、生育に適する浅場の岩礁域がほとんどないことが明らかとなった。また、延縄式の増殖試験においても、天然海域と同様に水深1-2mの静穏な浅海域で最も良好な生育が確認された。次に漁場造成試験では、漁港内外の水深1mに造成した投石試験区においてアカモクの良好な生育が確認されたが、水深4mの試験区では光量不足により着生した種苗が消失した。資源が枯渇した海域での再生試験では、母藻投入により資源が回復し、資源は翌年も維持されていた。また、豊前海におけるアカモク資源の適正利用を目的として行った収穫試験では、藻体の上部3割のみを収穫すれば、資源の持続的利用が可能である事が明らかとなった。

キーワード：アカモク、分布、増殖、漁場造成、適正収穫

アカモク *Sargassum horneri* は北海道東部を除く日本列島のほか、朝鮮半島から香港まで広く分布する一年生の褐藻である^{1, 2)}。近年、アカモクに含まれるフコイダンやフコキサンチンといった機能性成分についての報告があり^{3, 4)}、健康志向の高まりと共にその需要が拡大している。

本県では、筑前海に次いで豊前海において2010年からアカモクの漁獲と加工販売が開始され、道の駅や直販所などで人気を博している。また、当海域では主幹漁業である小型底びき網漁の漁閑期である3-4月に生産のピークを迎えることに加え、メバル、カサゴといった根魚の隠れ家や稚魚の生育場として機能が期待されており、増殖の要望が非常に強い海藻である。

アカモク増養殖の取り組みは、全国的な需要拡大と共に各地で行われており⁵⁾、本県筑前海においても天然アカモクの生長・成熟⁶⁾や延縄やコンクリートブロックに種苗を活着させた増殖施設によるアカモク増殖⁷⁾に関する知見が得られている。

しかし、豊前海では、アカモクの分布状況や生息環境、増殖技術に関する調査を行った報告は無く、資源の増殖には、天然アカモクの生息環境等の基礎的知見を

収集し、当該海域特性に応じた増殖手法を取り入れる必要がある。また、アカモクは収穫状況により翌年の資源量が大きく変動するため、資源の持続的利用においては、管理手法の確立と普及が必要である。

そこで本研究では、豊前海における天然アカモクの分布状況および生息環境を調査し、当海域に適したアカモク増殖技術と資源の持続的利用が可能な収穫方法を検討した。

方 法

1. 分布・生息環境調査

アカモクが生長し水面から確認できるようになる2019年2-3月に、SCUBA潜水によりアカモクの分布と周辺海域の水深、底質、その他大型藻類についての目視調査を実施した。さらに、海域北部、中部、南部の代表的なアカモク藻場と、アカモクの分布しない投石漁場(人工礁)において、海面直上及び直下と底層の光量子量を apogee instruments 社製の MQ-200X を用いて測定し、海面直上及び直下に対する底層の相対光量子量を算出した。

2. 増殖技術開発

(1) 延縄式増殖試験

試験は水深、波浪等の環境が異なる豊前市宇島周辺の3箇所(宇島漁港内、宇島漁港外、八屋)で実施した。試験区の位置及び最干潮時における水深(以後、水深とする)を図1に示した。各試験区では、北九州市柄杓田地先で採取した天然のアカモク種苗を20cm間隔でロープに挟み込み、海底から20cmの高さに固定した延縄方式で沖出しを行った。沖出しは、2018年10月11日、11月14日、12月20日の3回に分けて行い、沖出し種苗は、沖出し時点での全長別に大小2群を設定した(以下、大種苗・小種苗)。ただし、12月20日に沖出した種苗については、十分な数の種苗が確保できず、最も良好な生育が見込まれた宇島漁港内のみで試験を行った。

沖出しした各群については、月1回3-5株を採取し、研究所に持ち帰って全長を測定し、沖出し時期とその時点での種苗の大きさ別に全長を比較した。また、 $\mu = (\ln L_{i+t} - \ln L_i) / t$ の式から相対生長率を算出し、生長速度を比較した。この式で、 t は調査間隔日数、 L_i はある調査日の全長、 L_{i+t} はその次の調査日の全長を表すものとした。

(2) 漁場造成試験

漁場造成試験区の位置を図2に示した。

1) 漁港内

2019年12月に、宇島漁港内の水深1-2m域に幅1.5m、全長150mの投石試験区を造成し、敷設した石材上に成熟した母藻をスポアバック方式で設置した。また、母藻投入の適正密度を把握するため、2m及び4m間隔で1.2kgを投入する試験区を設け、翌漁期(2021年3月)にアカモク資源密度を算出することで、漁港をはじめとする閉鎖海域における必要な母藻投入量を検討した。

資源密度は、試験区内で50cm×50cmの正方枠による坪刈りを行い、研究所に持ち帰ってアカモク藻体1株あたりの平均湿重量を測定したものと、対象海域内の3

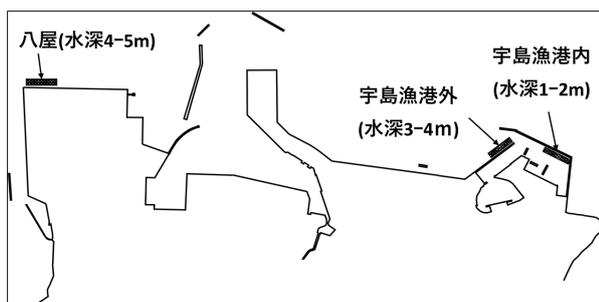


図1 延縄式増殖試験区

カ所で正方枠内の藻体数を計数した平均値との積により算出した。

2) 漁港外

2019年11月に、宇島地先の漁港外の水深1m及び4mの地点に石材及び石材の埋没防止のための砂を用いて、投石試験区(図2)を造成した。さらに2020年3月に成熟したアカモク母藻をスポアバック方式で設置し、翌漁期(2021年3月)にアカモク資源密度を算出することで、水深別の増殖効果を検討した。

(3) 漁場の再生試験

資源が枯渇した既存の転石帯600m²(図3)において、2019年3月に成熟した母藻を2m間隔で1.2kgのスポアバック方式で設置し、1年後及び2年後の資源密度を算出することで、天然漁場に対する母藻投入の有効性及び再生漁場の持続性を検討した。なお、試験区内での収穫は行わなかった。

3. 持続可能な収穫手法試験

2019年3月に、恒見地先の天然アカモク漁場において、藻体上部からの収穫割合を変えた試験区(全収穫区、3割収穫区、非収穫区:各25m²)を設定した。試験収穫はSCUBA潜水により行い、各試験区における翌漁期の資源密度を比較することで、適切な収穫割合を検討した。試験結果の解析は、Tukey-Kramer法を用い、有意水準5%として検定を行った。

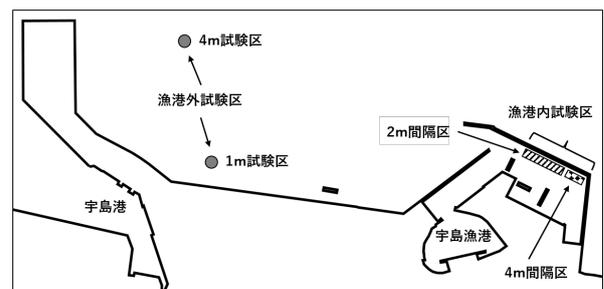


図2 漁場造成試験区

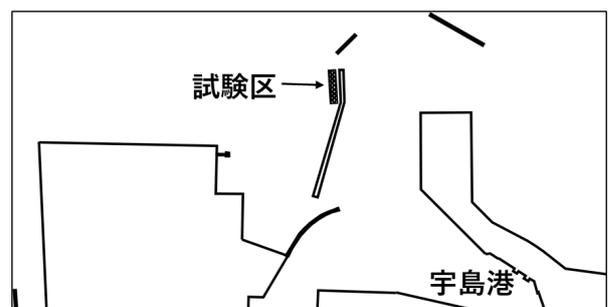


図3 漁場再生試験区

結 果

1. 分布・生息環境調査

アカモクの分布状況を図4に示した。豊前海北部（北九州市）では柄杓田地先において海岸線に沿って広範囲に天然の転石帯が存在し、水深1-2mの水深帯にアカモクが分布していた。また、恒見地先の防波堤に沿って続く消波ブロック及び、北九州空港の岸壁沿いの人工岩礁上に分布を確認した。豊前海中部（苅田町-行橋市）では、苅田町の神島周辺の人工の転石帯及び、行橋市沓尾周辺の消波ブロック上にアカモクの分布を確認された。豊前海南部（築上町-吉富町）では、豊前市八屋周辺の人工の転石と消波ブロック

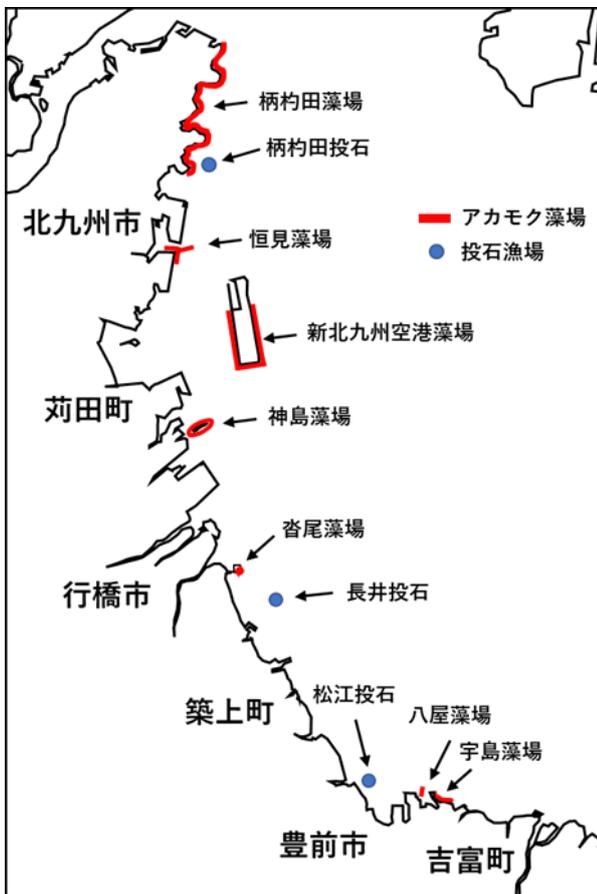


図4 アカモクの分布状況及び光量子量測定地点

表1 アカモク藻場及び投石漁場における相対光量子量

観測地点		調査時水深 m	相対光量子量		
地点名	基質		(底層/海面直上)	(底層/海面直下)	
柄杓田藻場	自然岩礁	1.5	3.7	17.4%	35.7%
柄杓田投石	人工礁	4.1	6.9	6.2%	12.6%
沓尾藻場	人工礁	0.7	2.0	12.6%	41.3%
長井投石	人工礁	3.6	6.0	3.7%	9.6%
宇島藻場	自然岩礁	1.0	3.5	25.0%	52.2%
八屋藻場	人工礁	1.0	3.0	11.6%	27.7%
松江投石	人工礁	3.0	7.0	2.3%	6.1%

上及び宇島周辺の天然の転石上に分布が確認された。

総じて、豊前海では、水深1-2mの静穏な海域の基質上にアカモクが多く分布しており、それ以深では、アカモクの着生可能な基質が存在しない海域がほとんどであった。水深3-5mに投石により造成された人工礁は点在するが、それらには大型藻類は確認されなかった。北部、中部、南部の代表的なアカモク藻場及び投石漁場（人工礁）における底層の相対光量子量を表1に示した。当海域では、底層における相対光量子量が海面直上に対して11.6-25.0%、海面直下に対して27.7-52.2%の着生基質がある海域においてアカモク群落が形成されていた。

2. 増殖技術開発

(1) 延縄式増殖試験

各試験区における藻体全長の推移を図5-7に、相対生長率の推移を表2に示した。

1) 10月沖出し種苗

沖出し時の全長は、大種苗24±1cm、小種苗11±0.2cmであった。宇島漁港内に沖出した種苗は、10-12月に急激に生長し、大種苗の平均全長は最大となる1月15日に191±21cm、小種苗も最大となる12月20日に175±12cmと、3試

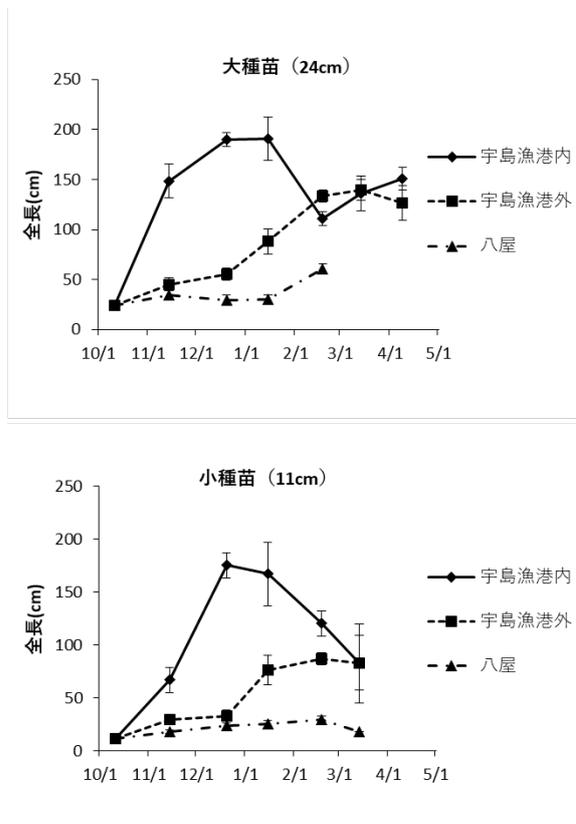


図5 10月沖出し種苗の全長の推移

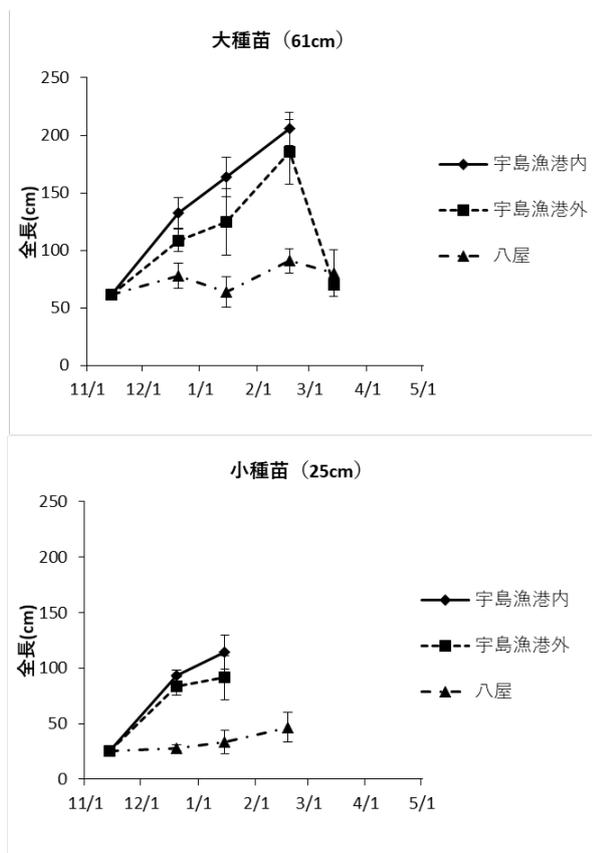


図6 11月沖出し種苗の全長の推移

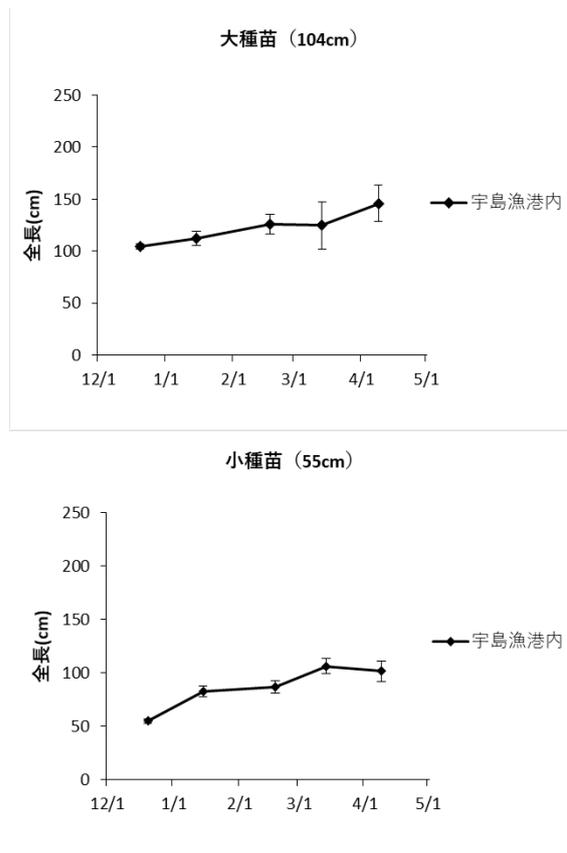


図7 12月沖出し種苗の全長の推移

験区の中で最も生育が良好であった。しかし、2月の調査時点で、時化等による藻体上部の流出がみられ、その後、大種苗は回復傾向にあったものの、小種苗は全長が短くなる傾向がみられた。宇島漁港外に沖出した大種苗は、初期の生長率が小さいものの、少しずつ生長し、平均全長は最大となる3月14日で139±11cmとなったが、小種苗は最大となる2月18日で87±6cmにとどまった。また、八屋に沖出した種苗は、大小種苗ともに沖出し直後からほとんど生長がみられず、成熟前に全て枯死した。

2) 11月沖出し種苗

沖出し時の全長は、大種苗 61±1cm、小種苗 25±1cm であった。宇島漁港内に沖出した種苗は、沖出し初期は順調に生長し、大種苗の平均全長は最大となる2月18日で206±15cmとなった。宇島漁港外に沖出した種苗は、漁港内と比べると生長率は低いものの、大種苗の平均全長は最大となる2月18日に185±28cmとなった。八屋に沖出した種苗は、大小種苗ともに沖出し直後からほとんど生長がみられなかった。また、いずれの試験区においても、大小種苗共に2月の調査時点で脱落流出が疑われ、この症状は小種苗において特に顕著であった。これは、延縄によりの強いロープを使用したため、ロープの締め付けと時化による

仮根部のちぎれが原因であると考えられた。

3) 12月沖出し種苗

沖出し時の全長は、大種苗 104±3cm、小種苗 55±2cm であった。12月沖出し種苗は宇島漁港内のみで試験を行った。大種苗の平均全長は、4月9日時点で146±17cm、小種苗は102±10cmであり、10、11月沖出し種苗と比べ、相対生長率は低い結果となった。

(2) 漁場造成試験

1) 漁港内

投石直後及び母藻投入1年後の状況を図8、9に示した。225m²の投石試験区全域において、資源密度約4kg/m²のアカモクの増殖を確認した。なお、母藻投入間隔については、2m及び4mの試験区間で翌漁期の資源密度に有意な差はみられなかった(図10)。

2) 漁港外

水深1mの試験区では、6.7kg/m²のアカモクの増殖が確認された。一方で、水深4mの試験区では、種苗の着生は確認されたものの、成熟前に全ての藻体が消失した。

(3) 漁場の再生試験

試験区における資源の経年変化を図11に示した。母藻投入を行った2019年3月時点では試験区内にアカモクはみ

表2 延縄増殖試験における相対生長率の推移

- : 「沖出し前」若しくは「藻体流出後」

沖出し月	沖出し時点での 種苗の大きさ	試験区	調査月					
			11月	12月	1月	2月	3月	4月
10月	大 (24cm)	宇島漁港内	0.054	0.007	0.000	-0.016	0.009	0.004
		宇島漁港外	0.019	0.006	0.018	0.012	0.002	-
		八屋	0.011	-0.005	0.000	0.021	-	-
	小 (11cm)	宇島漁港内	0.053	0.027	-0.002	-0.010	-0.015	-
		宇島漁港外	0.029	0.003	0.032	0.004	-0.002	-
		八屋	0.014	0.007	0.003	0.005	-0.020	-
11月	大 (61cm)	宇島漁港内	-	0.022	0.008	0.007	-	-
		宇島漁港外	-	0.016	0.005	0.012	-0.041	-
		八屋	-	0.007	-0.008	0.010	-0.005	-
	小 (25cm)	宇島漁港内	-	0.036	0.008	-	-	-
		宇島漁港外	-	0.033	0.004	-	-	-
		八屋	-	0.003	0.007	0.010	-	-
12月	大 (104cm)	宇島漁港内	-	-	0.003	0.003	-0.001	0.006
	小 (55cm)	宇島漁港内	-	-	0.016	0.001	0.008	-0.002



図8 投石直後の状況（漁港内投石試験区）



図9 母藻投入の翌漁期の状況（漁港内投石試験区）

られなかったが、母藻投入の翌漁期となる2020年3月には、6.3kg/m²のアカモクが再生した。さらに、2021年3月の資源量調査時には6.1kg/m²の資源の再生産が確認された。

3. 持続可能な収穫手法試験

試験収穫した翌年の資源量を図12に示した。3割収穫区と非収穫区の資源密度間には有意な差 ($P < 0.05$) はなかったが、全収穫区の資源密度は、3割収穫区及び非収穫区に対して有意に低い値を示した。

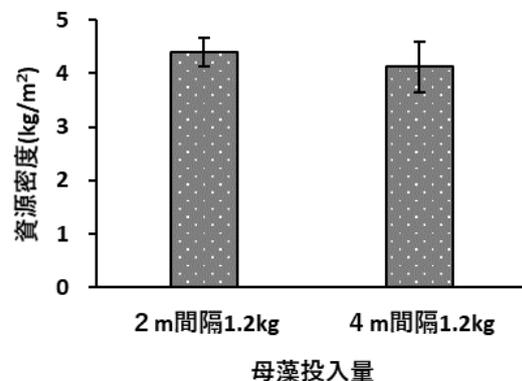


図10 漁港内における母藻投入量別の資源密度

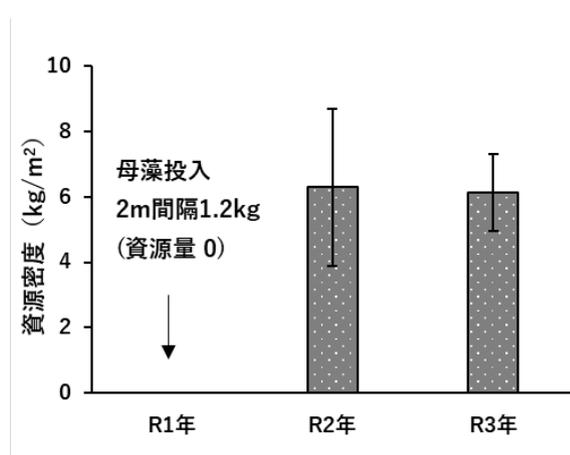


図11 漁場の再生試験における資源密度

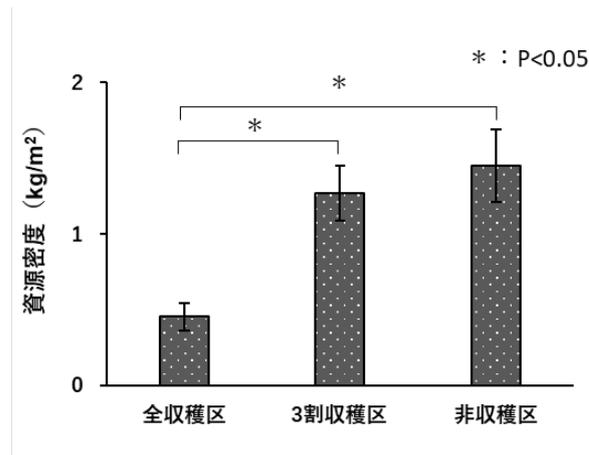


図12 試験収穫翌漁期の資源密度

考 察

アカモクの生育には、水温、照度、波浪、漂砂などが影響するとされており^{8, 9)}、瀬戸内海の岩礁域藻場においてアカモクは、潮下帯の最も上部の水深帯に優先する種の1つである¹⁰⁾。豊前海においてアカモク藻場は、水深1-2mの静穏な海域に集中しており、底層における海面直上に対する相対光量子量が10%を下回る海域ではその分布を確認できなかった。京都府で実施されたアカモク養殖試験においては、海面直上に対する相対光量子量が10%程度あれば、生育が保障される⁵⁾と報告されているが、当海域におけるアカモク藻場も、相対光量子量が概ね10%以上の水深帯に形成されていると考えられた。また、広島湾の藻場においては、海面直下に対する相対光量子量が11.6-60.3%の地点においてアカモクの生育が確認されており¹¹⁾、当海域のアカモク藻場における同基準の相対光量子量は27.7-52.2%であったことから、豊前海でも既報と類似した光環境においてアカモク群落が形成されているものと考えられた。一方で、豊前海北部では海岸線に沿った転石帯上にアカモク藻場が形成されているものの、中部以南の海岸線においては、干潟や護岸が多く、潮間帯直下の岩礁域や転石帯がほとんどみられなかった。このため中部以南で確認できたアカモク群落のほとんどが、防波堤脇の被覆石や消波ブロック上に形成されていた。また、北部を中心に点在する天然の岩礁や転石帯も、その沖側10-20m先は砂泥質や泥質となっており、海域全体としては、豊前海はアカモクの生育に適した着生基質が非常に少ない海域であると考えられた。

アカモクは1年生の海藻であるが故に資源変動が大きい

ため、延縄やコンクリートブロックを用いた増養殖技術に関する研究が各地で行われており、延縄式養殖施設の沖出時期を検討した事例においては、京都府¹²⁾で10月、新潟県¹³⁾で11月が沖出しの適期であると報告されている。本研究においても同様に、沖出し時期及びその時点での種苗の大きさを比較した結果、10月及び11月に沖出しした種苗の生育が最も良好との結果が得られ、12月沖出し種苗の生長率は低調であった。試験区別にみると、水深1-2mと最も浅く静穏な宇島漁港内に沖出しした種苗が最も良好な生長を示し、次いで宇島漁港外の生長が良好であった。一方、水深4-5mと最も深く、試験期間中、東風が直接あたり波浪の影響が大きいと考えられる八屋ではほとんど生長がみられなかった。このことから、豊前海におけるアカモク増殖は、水深1-2mの静穏な海域が適することが示唆された。但し、事業化を考えた場合、延縄増殖に用いる種苗の確保の問題や、施設の設置に潜水作業を伴うこと、施設のメンテナンス、挟み込み等の作業が繁雑であることなどから、延縄式の増殖は当海域に最適な手段とは言い難く、資源が衰退した場合において有効な手段ではあるが、天然母藻が確保できる状況下では人為的な管理をなるべく必要としない手法が望ましいと考えられた。

既存の漁場面積が狭い海域での資源増殖を考えた場合、永続的に資源の再生産が可能な漁場の造成は必要不可欠であり、本研究では、好適な環境への着生基質投入の有効性を検討した結果、延縄試験での生育が良好であった漁港内の試験区及び漁港外の水深1mの試験区において、良好な生育が確認された。したがって、付着基質の無い水深1-2mの海域においては、石材をはじめとする付着基質の投入と幼胚の供給により、アカモク藻場の造成が可能であることが示唆された。一方、漁港外の水深4mの試験区では光量不足

により着生した種苗が消失した。つまり、豊前海においてアカモク藻場の造成が可能な水深は 1-4m の間に閾値が存在するものと考えられるが、その解明には試験深度を更に細分化して検証する必要があると考えられた。また、漁港内の新規投石漁場においては、4m 間隔に 1.2kg の母藻を投入することで十分な増殖効果が得られた。この投入量は既往知見¹⁴⁾ と比べるとかなり少ない量ではあるが、検証した海域は漁港内という閉鎖的な環境であるため、外海域での漁場造成においては、再度母藻投入量の検討が必要と考えられた。

藻類の増殖手法としては、母藻投入による幼胚供給や藻食生物の除去あるいはその両方を実施するのが一般的である¹⁵⁾ が、本研究では、資源の枯渇した既存の転石帯を対象に、母藻投入のみを実施した結果、持続的な藻場の回復に至った。当海域には、大型褐藻類に大きな被害をもたらすアイゴ、ブダイ、イスズミといった藻食性魚類¹⁶⁾ の生息が確認されておらず、着生した種苗が食害を受けずに生長できるため、母藻投入のみでアカモク藻場の回復が可能であると考えられた。

アカモク資源の持続的利用には、幼胚を放出する生殖器床を一定程度残して収穫する必要がある。秋本らは、生殖器床の数を 5 割残すためには、先端から 4 割程度を収穫し、6 割程度を残す必要があると報告している⁶⁾。しかしながら本研究の対象海域は、秋本らが調査対象とした海域よりも補償深度が浅く、藻体が小型であることにより生殖器床の総量が少ないと推測されたため、藻体の上部 3 割の収穫を目安として検証を行った。その結果、藻体の上部 3 割の収穫により現存量を維持しながら資源の利用が可能であることが示唆された。最大持続生産量の検討は、アカモクの増産において重要な課題であるが、収穫割合の閾値については、今後より詳細な検証が必要である。

最後に、豊前海におけるアカモク増殖の方向性について述べる。海藻の生育・分布を制限する要因は光や付着基質などの物理的要因、塩分や栄養塩などの化学的要因、潮流や干出などの力学的要因、藻食動物などの生物学的要因に大別され、資源増殖を考えた場合、増殖を制限する主要因を選定し、その影響を緩和することが肝要である¹⁷⁾。ここで、分布調査、増殖試験の結果から、本海域のアカモク増殖を制限する主要因は、低い透明度による補償深度の浅さと付着基質の少なさといった物理的要因であると考えられた。したがって、当海域のアカモク増殖においては、補償深度の確保できる浅海域への着生基質の投入や、沖合域では、石材やブロッ

クを積み重ねるマウンド造成による生息可能面積の拡大等が有効な手法であると考えられる。加えて、本研究において開発した手法を用いた藻体の獲り残しや、衰退した藻場への母藻移植などを併用することにより、アカモク資源の持続的な利用が可能となろう。

文 献

- 1) 吉田忠生. 新日本海藻誌日本産海藻類総覧 内田老鶴圃, 東京. 1998 ; 367-402.
- 2) 寺脇利信. 海藻類の生活史集成第 2 巻褐藻・紅藻類 (堀輝三編) 内田老鶴圃, 東京. 1993 ; 160-161.
- 3) 酒井武, 加藤郁之進. コンブ由来フコイダンのオリゴ糖は経口投与で血栓形成抑制作用を示す. 化学と工業 2005 ; 58 : 580-582.
- 4) 前田隼人. 海藻由来フコキサンチンの抗肥満作用. オレオサイエンス 2012 ; 12 (10) : 23-28.
- 5) 西垣友和, 山本圭吾, 遠藤光, 竹野功壘. 阿蘇海で養殖されたホンダワラ科褐藻アカモクの生長と生残. 京都府農林水産技術センター-海洋センター-研究報告 2010 ; 32 : 23-27.
- 6) 秋本恒基, 後川龍夫, 深川敦平. 宗像市大島地先のアカモクにおけるアカモクの生長と成熟. 福岡県水産海洋技術センター-研究報告 2009 ; 19 : 103-107.
- 7) 秋本恒基, 松井繁明, 中本崇, 濱田弘之. アカモク *Sargassum horneri* の増殖試験. 福岡県水産海洋技術センター-研究報告 2010 ; 20 : 67-72.
- 8) 吉田吾郎, 吉川浩二, 新井章吾, 寺脇利信. アカモク群落内に設置した実験基質上の海藻植生. 水産工学 2006 ; 42 (3) : 267-273.
- 9) 谷口和也, 山田秀秋. 松島湾におけるアカモク群落の周年変化と生産力. 東北区水産研究所研究報告 1988 ; 50 : 59-65.
- 10) 吉田吾郎, 島袋寛盛, 森口朗彦, 堀正和, 濱岡秀樹, 高田茂弘, 田井中剛, 加藤亜記. 瀬戸内海西部の屋代島, 平郡島における海藻藻場の特性-特にホンダワラ類とクロメの垂直分布について-. 生物圏科学 2014 ; 53 : 1-22.
- 11) 新村陽子, 吉田吾郎, 玉置仁, 寺脇利信. 広島湾に生育する大型褐藻群落の内部における光環境の違い. 水産工学 2004 ; 41 (2) : 133-138.
- 12) 西垣友和, 篠原義昭, 道家章生. アカモク養殖における種苗沖出し水深, 時期および固定間隔の成長, 生残

および生産量への影響. 京都府農林水産技術センター-海洋センター-研究報告 2016 ; 38 : 7-12 .

- 13) 岡地恵介. アカモク養殖試験について. 平成 23 年度日本海ブロック水産業関係研究開発推進会議 日本海資源生産研究部会 増養殖研究会講演要旨集 2012 ; 16-17.
- 14) 福岡県水産海洋技術センター, 佐賀県玄海水産振興センター, 長崎県総合水産試験場・大瀬戸町漁業協同組合, 熊本県水産研究センター, 宮崎県水産試験場鹿児島県水産技術開発センター, 笠沙町漁業協同組合, 長崎大学水産学部, 鹿児島大学水産学部, 株式会社水棲生物研究所, 西海区水産研究所, 瀬戸内海区水産研究所, 水産工学研究所. 藻場を再建する手法と技術. 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業 本邦南西水域

の環境変化に対応した藻場の回復・拡大技術の高度化研究成果報告書, 水産総合研究センター西海区水産研究所, 長崎市. 2010 ; 91-116.

- 15) 水産庁. 第 3 版磯焼け対策ガイドライン第 8 章磯焼け対策事例 2021 ; 191-222.
- 16) 水産総合研究センター, 西海区水産研究所, 静岡県, 大分県, 長崎県. 平成 13-16 年度水産業関係特定研究開発促進事業 藻食性魚類の大型褐藻類に対する食害の実態解明総括報告書. 水産総合研究センター西海区水産研究所, 長崎市. 2005.
- 17) 寺脇利信, 新井章吾川, 川崎保夫. 藻場の分布の制限要因を考慮した造成方法. 水産工学 1995 ; 32 (2) : 145-154.

矢部川におけるアユの由来別特性と漁場利用実態

中本 崇
(内水面研究所)

矢部川では、有明海から遡上してきた天然アユと種苗生産され放流した人工アユが漁獲対象となっている。しかし、天然アユ遡上量の減少とともに移植放流量は減少し、2007年以降は極めて低い水準で推移し、近年では人工種苗放流アユの比率が高くなっている。本研究では、今後の天然アユ資源の回復を図るための基礎資料とするため、天然アユと人工アユの特性を漁場別に把握することを目的とした。天然アユと人工アユの判別は、側線上方横列鱗数と下顎側線孔の状況により可能であった。漁獲物調査の結果から、アユ漁解禁時の全長は、天然アユの方が人工アユよりも大きくなる傾向が見られた。また、矢部川の漁場別の成長を比較した結果、中流の成長が良いことが明らかとなった。さらに天然アユと人工アユの産卵期のGSIは、どちらも同様のバラツキを示し、10～11月に産卵していることが示唆された。天然資源が減少している近年では、人工アユの漁獲割合は高く、漁獲に大きく貢献していることが明らかとなった。

キーワード：アユ、由来判別、側線上方横列鱗数、下顎側線孔、肥満度、GSI

矢部川には河口から上流部の間に28箇所の可動堰を含む多くの堰が存在し、両側回遊型魚類であるアユの遡上の妨げになっている。そのため、矢部川漁協では河川全域でアユ資源を有効に利用できるよう、最下流部にある河口堰で稚アユを採捕し、上流部の各漁場へ移植放流を行っている。

また、福岡県豊かな海づくり協会で種苗生産され、福岡県内水面漁業協同組合連合会で中間育成された人工アユも同様に各漁場へ放流している。

天然アユの移植放流量は2004年頃から大きく減少し、2007年以降は低位のまま推移している(図1)。今後の天然アユ資源の回復を図るためには、天然アユと人工アユの

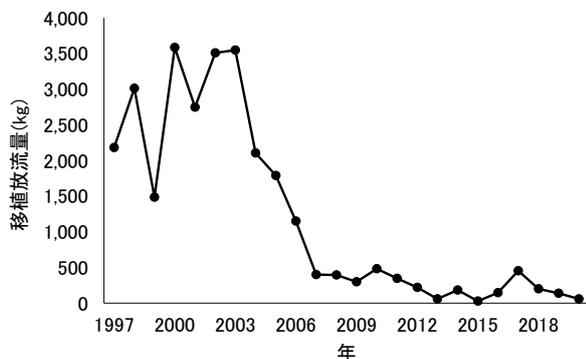


図1 天然アユ移植放流量の推移

現状を把握する必要がある。

そこで本研究では、天然アユと人工アユの判別手法を検討し、その結果を基に漁場で漁獲されたアユを天然と人工に判別し、成長、成熟および漁獲割合を漁場別に比較することで天然アユと人工アユの特性を把握し、今後の天然アユ資源の回復を図るための基礎資料とした。

方 法

1. 天然アユと人工アユの判別

天然アユは、矢部川河口堰に遡上してきた天然稚アユを採捕し、内水面研究所に搬入して地下水で飼育したものをを用いた。人工アユは、福岡豊かな海づくり協会で種苗生産された稚アユを内水面研究所に搬入して地下水で飼育したものをを用いた。天然アユと人工アユの判別には側線上方横列鱗数と下顎側線孔を用いた。側線上方横列鱗数は背鰭第5条基底部から斜め下に側線上まで実態顕微鏡下で計数し、側線上に鱗が無い場合はあると見なして1枚プラスした¹⁾。下顎側線孔は4対8個が左右対称に並んでいる個体を正常、欠損や明らかに左右対称でない個体を異常とした。

2. 漁獲物調査



図2 矢部川漁場区域図

矢部川のアユ漁場を、日向神ダムより上流を上流域、ダムより下流から花宗堰までを中流域、花宗堰より下流を下流域、最も大きな支流の星野川の4つに区分し(図2)、それぞれの漁場において漁業者にさし網で30~60個体を採捕してもらった。採捕は6、8、10月の3回行った。サンプルは「1. 天然アユと人工アユの判別」の結果により判別し、全長、体長、体重、生殖腺重量を計測した。

(1) 天然アユと人工アユの成長

漁場別に漁獲された天然アユと人工アユの全長を測定し、成長の比較を行った。矢部川では、3~4月に天然アユと人工アユの稚魚が漁場に放流されている。そこで、成長の比較はアユ漁解禁の6月のサンプルを用い、約2か月間の成長を比較した。

(2) 漁場別の成長

漁場別の成長の比較は全長と肥満度で行った。全長のサンプルは6、8、10月の天然アユを用いた。肥満度のサンプルは6、8月の天然アユを用いた。肥満度は(体重/標準体長³)×1000で求めた。10月の肥満度はアユの成熟状況により著しく異なるため比較対象から除外した。

(3) 天然アユと人工アユの成熟

天然アユと人工アユの成熟の比較はアユが成熟する10月のサンプルを用いた。成熟はGSI(生殖腺重量/体重×100)で比較した。

(4) アユの漁獲割合

漁獲割合の比較は、漁場および月別でサンプルにおける人工アユの占める割合を求めた。

結 果

1. 天然アユと人工アユの判別

2018 および 2019 年の天然アユの側線上方横列鱗数は、両年とも 17~24 枚で、モードは両年とも 19~20 枚であった。一方、人工アユのそれは、それぞれ 12~18

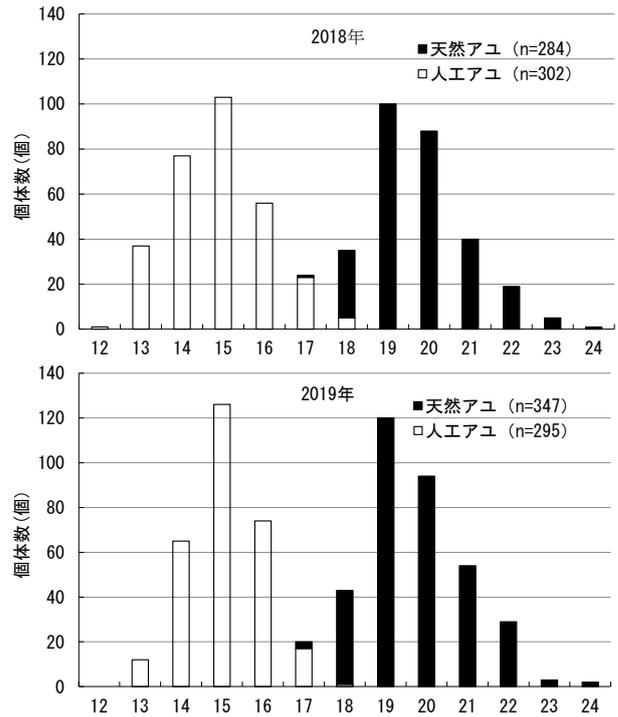


図3 側線上方横列鱗数毎の個体数

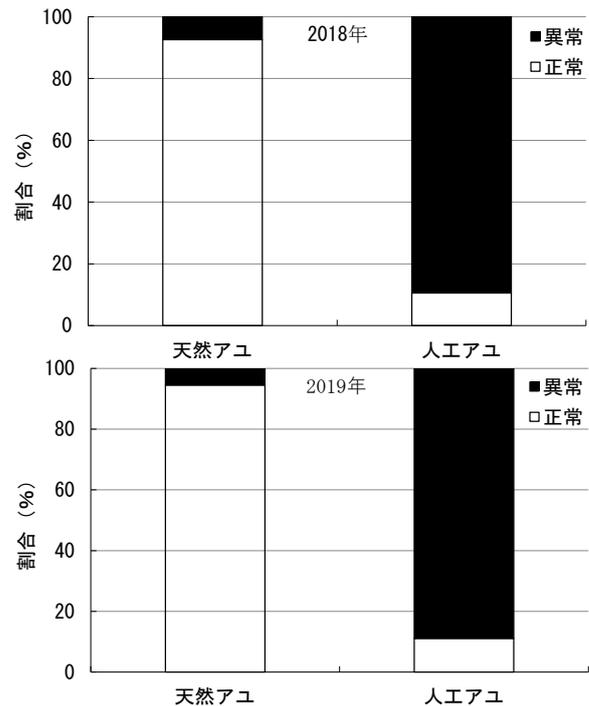


図4 下顎側線孔の状態

枚および 13~18 枚で、モードは両年とも 14~16 枚であった(図3)。

2018 および 2019 年の天然アユの下顎測線孔の正常率は、それぞれで 92.6%および 94.5%であった。一方、人工アユのそれは、2018 および 2019 年で、それぞれ 10.6%および 11.1%であった(図4)。

側線上方横列鱗数の 17, 18 枚は、天然および人工ア

ユの両方に出現した。そのため、19枚以上を天然アユ、16枚以下を人工アユとし、17、18枚の個体は下顎側線孔が正常な個体を天然アユ、異常な個体を人工アユとすることでほぼ正確に天然アユと人工アユに判別できた。

2. 漁獲物調査

(1) 天然アユと人工アユの成長

2018年の天然と人工アユの平均全長は、上流では天然アユの移植放流がなかったため、比較できなかった。中流ではそれぞれ 18.1 ± 1.0 cm および 16.4 ± 1.5 cm であった。下流ではそれぞれ 19.2 ± 1.5 cm および 18.5 ± 1.2 cm であった。星野川ではそれぞれ 18.1 ± 1.4 cm および 17.9 ± 1.3 cm であった(図5)。

2019年のそれは、上流ではそれぞれ 16.5 ± 1.1 cm および 15.8 ± 1.0 cm であった。中流ではそれぞれ 18.5 ± 1.2 cm および 17.2 ± 1.2 cm であった。下流ではそれぞれ 18.5 ± 1.0 cm および 17.5 ± 0.9 cm であった。星野川ではそれぞれ 18.3 ± 0.8 cm および 17.8 ± 1.0 cm であった(図5)。

天然アユと人工アユの成長は、2018年の中流の1漁場、2019年の上流、中流、下流の3漁場において天然アユが有意に大きかった。(t-test, $p < 0.05$)

(2) 漁場別の成長

天然アユの全長は、2018年8月の中流、下流および星野川でそれぞれ 23.6 ± 1.0 cm, 21.6 ± 1.2 cm および 22.4 ± 1.1 cm であった。10月の中流、下流および星野川でそれぞれ 26.0 ± 2.2 cm, 23.2 ± 1.6 cm および 24.6 ± 2.4 cm で

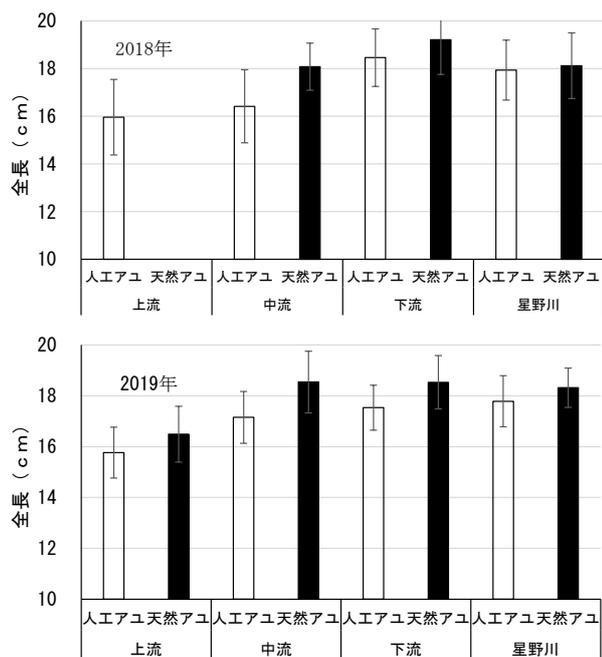


図5 種苗および漁場別平均全長の比較(6月)

あった。2019年8月の上流、中流、下流および星野川でそれぞれ 21.7 ± 1.1 cm, 23.5 ± 1.3 cm, 23.5 ± 1.4 cm および 21.8 ± 1.1 cm であった。10月の上流、中流、下流および星野川でそれぞれ 21.8 ± 1.4 cm, 26.5 ± 1.9 cm, 25.2 ± 1.4 cm および 22.7 ± 0.8 cm であった(図6)。2018、2019年ともに中流が大きくなる傾向が見られた。

天然アユの肥満度は、2018年6月の中流、下流および

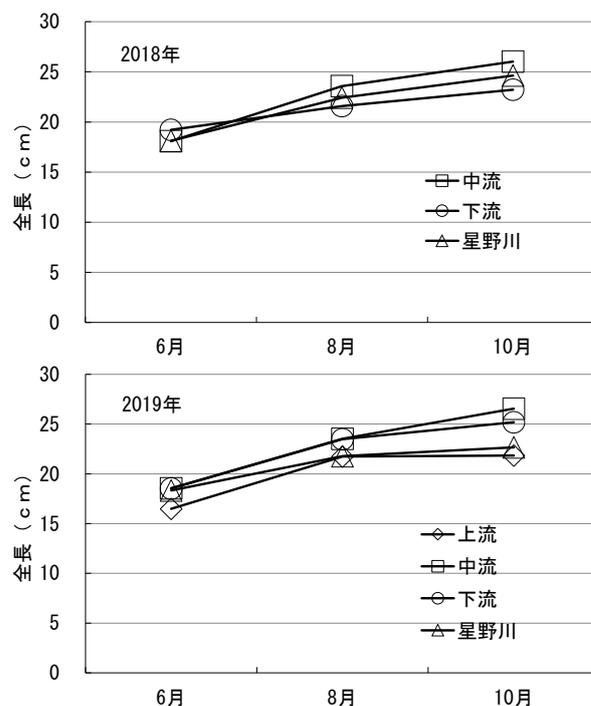


図6 漁場別の天然アユ平均全長の推移

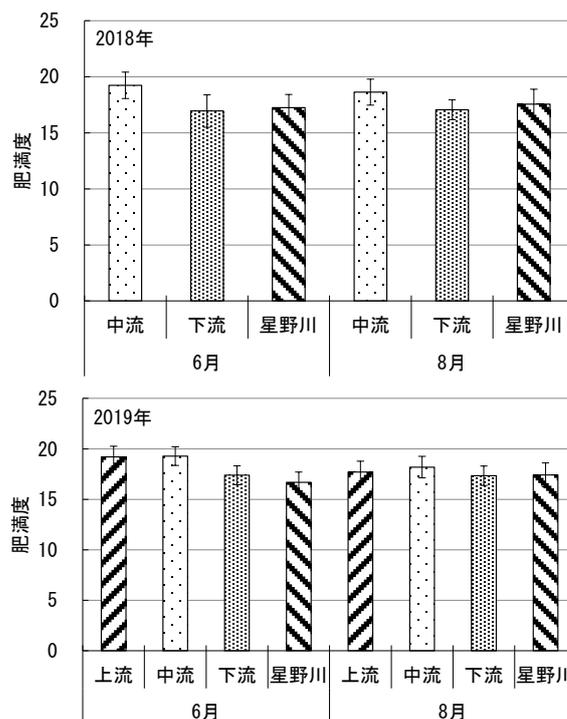


図7 月および漁場別の肥満度

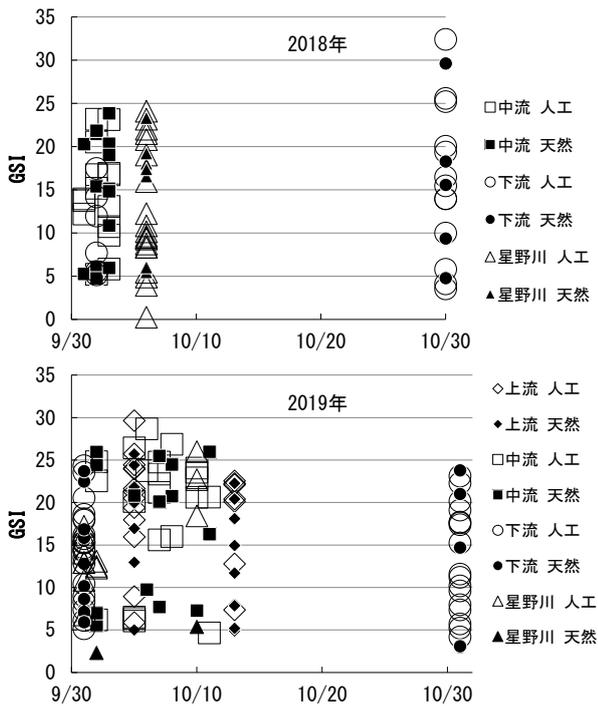


図8 種苗および漁場別のGSI (10月：雌)

星野川でそれぞれ 19.2 ± 1.2 , 16.9 ± 1.4 および 17.2 ± 1.2 であった。8月の中流, 下流および星野川でそれぞれ 18.6 ± 1.2 , 17.1 ± 0.9 および 17.6 ± 1.3 であった。2019年は6月の上流, 中流, 下流および星野川でそれぞれ 19.2 ± 1.0 , 19.3 ± 0.9 , 17.4 ± 0.9 および 16.7 ± 1.0 であった。8月の上流, 中流, 下流および星野川でそれぞれ 17.7 ± 1.1 , 18.2 ± 1.1 , 17.3 ± 1.0 および 17.4 ± 1.2 であった(図7)。漁場別の肥満度は, 2018年6, 8月の中流と2019年6月の上流, 中流で有意に大きかった(t -test, $p < 0.05$)。

(3) 天然アユと人工アユの成熟

2018年10月の雌の平均GSIは中流, 下流および星野川の天然と人工アユでそれぞれ14.7と14.5, 15.5と14.3および15.2と12.3であった。2019年のそれは, 上流, 中流, 下流および星野川の天然と人工アユでそれぞれ15.9と19.3, 17.3と18.9, 13.2と13.9および3.8と15.1であった(図8)。2018年10月の雄の平均GSIは中流, 下流および星野川の天然と人工アユでそれぞれ8.2と8.6, 6.1と6.1および8.3と9.0であった。2019年のそれは, 上流, 中流, 下流および星野川の天然と人工アユでそれぞれ7.5と8.8, 9.9と9.6, 7.0と7.4および6.8と8.1であった(図9)。全般的に各漁場の天然アユと人工アユともにバラツキが大きく, 成熟度合いに明瞭な傾向は見られなかった。

(4) アユの漁獲割合

人工アユの漁獲割合は2018年中流の6, 8および10月でそれぞれ11, 60, および48%, 下流でそれぞれ57, 46

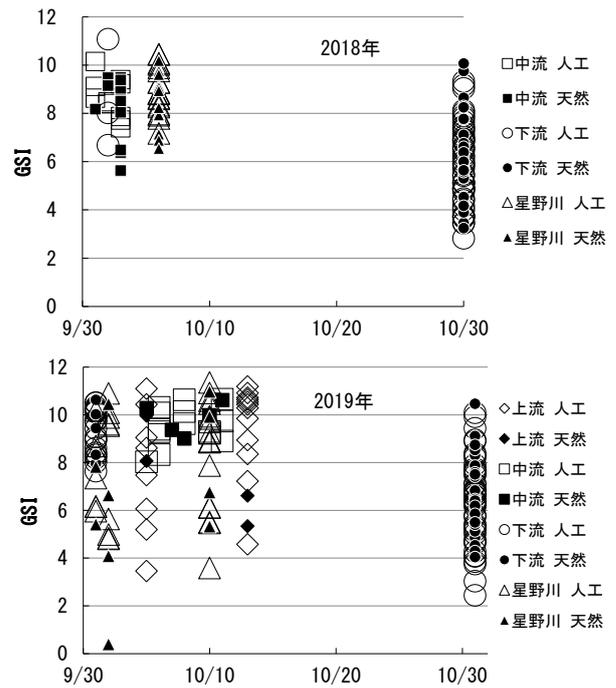


図9 種苗および漁場別のGSI (10月：雄)

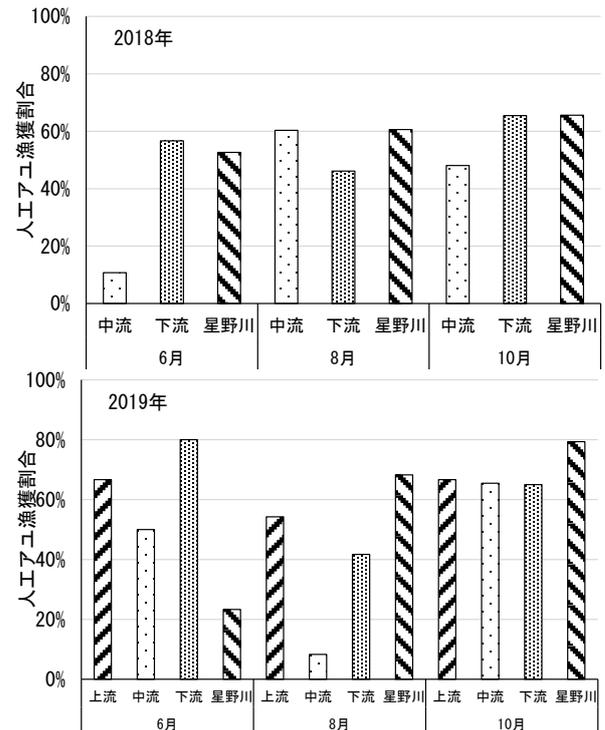


図10 月および漁場別の人工アユ漁獲割合

および65%, 星野川でそれぞれ53, 61および66%であった。2019年上流の6, 8および10月では67, 54および67%。中流でそれぞれ50, 8および65%, 下流で80, 42および65%, 星野川で23, 68および79%であった(図10)。6, 8月は人工アユの漁獲割合が非常に小さい漁場があったが, 10月は各漁場とも概ね高い傾向であった。

考 察

漁獲されたアユの天然アユと人工アユの由来判別手法としては遺伝子マーカーや耳石 Sr:Ca 比分析等が知られているが、本研究では、簡便で低コストな側線上方横列鱗数と下顎側線孔数を用いた。側線上方横列鱗数は、人工アユ、天然アユ（海産）、天然アユ（琵琶湖産）の順に多くなることが知られているが、その要因は明らかになっていない²⁾。占部ら³⁾は、全国から天然アユ7系統と人工アユ7系統のサンプルを収集し、側線上方横列鱗数や下顎側線数等を調べている。その結果、側線上方横列鱗数のモードは、天然アユで17～20枚、人工アユは14～15枚となっており、本県の天然アユおよび人工アユのそれとほぼ一致した。また、下顎側線孔数については、天然アユは孔数が4対8個の個体が大多数を占め、人工アユは生産施設により欠損率が30～80%で差があると報告している。本県人工アユの下顎側線孔数の異常率は、欠損個体に加え明らかに左右対称でない個体も含めて90%となり、異常率が高い施設で生産されたと言える。これらのことから、矢部川において漁獲されたアユの由来は側線上方横列鱗数と下顎側線孔数を調べることでほぼ正確に判別することができると判断された。

本研究では、2018、2019年に矢部川で漁獲されたアユを側線上方横列鱗数と下顎側線孔数により天然アユと人工アユに識別し、成長、成熟および漁獲割合を漁場別に比較した。天然アユと人工アユの成長については、多くの河川での調査報告があるが、報告により結果は異なっている⁴⁻⁶⁾。アユの成長は、放流の時期、サイズおよび種苗性により「なわばり」を獲得するか否かで大きく影響を受けると指摘されている。矢部川では、アユ漁解禁直後の6月のサンプルで比較した結果、天然アユの方が大きい傾向が見られ、2018年より2019年の方がより顕著であった。この原因として漁場に放流された時期の違いが考えられた。矢部川漁協による天然アユの移植放流と人工アユの稚魚放流の状況（2018、2019年）を表1に示した。人工アユは両年ともに3月下旬から4月上旬に放流されているが、天然アユの移植放流のピークは2018年では3月下旬、2019年は遡上が早く3月上旬から下旬であり、人工アユより早く漁場に入っている。2019年の天然アユは、2018年の天然アユより遡上が早く、人工アユよりも漁場に入る日数が早く

なり、より顕著に成長差が現れたと推察された。

漁場別の成長については、天然アユと比較した。天然アユの全長は、どの漁場でも順調に大きくなったが、中流が大きくなる傾向がみられた。また、同様に肥満度も中流が高くなった。一般的にアユの肥満度は、15、16で18を超えると、かなり肉厚のある体型となり、「肩が盛り上がった」と表現されるようなアユの肥満度は20前後とも言われている。このため、平均肥満度が18を超える矢部川の中流はアユの成長にとって良好な漁場と言える。中流のアユの成長が良好であった要因は、餌料環境やアユの適正な生息密度が考えられたが、今後詳細に調査する必要がある。

成熟については、主産卵期である10月のサンプルのGSIで比較した。成熟した雌アユのGSIは26前後で雄アユのそれは10前後と言われている。恵崎ら⁷⁾は、2003～2005年の流下仔魚調査により矢部川のアユの産卵は9月下旬から10月が盛期と報告している。本研究においても10月上旬、下旬に成熟した天然アユと人工アユの雌雄が漁獲されていることから天然アユ、人工アユともに産卵していると考えられる。白石ら⁸⁾は、矢部川の近隣河川である筑後川の天然遡上アユは、耳石解析の結果から10月下旬から11月中旬に産卵された個体であると報告している。矢部川においても10月下旬に天然アユと人工アユの雌雄ともにGSIの高い個体から低い個体まで漁獲されていることから、11月以降も産卵が継続していると推察される。矢部川も筑後川同様に親魚が10月下旬以降に産卵し、ふ化した仔魚が翌年の天然遡上資源に貢献しているとすれば、その時期ともにGSIが高かった天然アユと人工アユも再生産に貢献していると考えられる。また、矢部川の主産卵場は下流の船小屋の瀬と言われているが、中流と星野川で漁獲された天然アユと人工アユにおいてもGSIの高い個体がいることから、中流と星野川で産卵していることが推察された。しかし、アユのふ化仔魚は卵黄が吸収される前に汽水域に流下し、摂餌しなければならぬとされている^{8,9)}ため、中流や星野川でふ化した仔アユが卵黄を保持したまま汽水域に到達しているかは、今後詳細に調査する必要がある。

人工アユの漁獲割合については、2018年の上流は天然アユが移植放流されておらず、漁獲されたサンプルは人工アユのみであった。上流では、過去に日向神ダムで再生産

表1 天然アユと人工アユの放流状況

	天然アユ(遡上のピーク)	人工アユ
2018年	3月14日～4月5日（3月下旬）	3月26日～4月9日
2019年	2月27日～4月5日（3月上旬～下旬）	3月27日～4月15日

表2 天然アユと人工アユの推定放流尾数（尾）

	天然アユ	人工アユ	合計
2018年	95,750	254,515	350,265
2019年	68,600	251,815	320,415

した陸封アユが遡上したとの情報もあったが、今回調査した個体の中には、側線上方横列鱗数と下顎側線孔の違いにより天然アユと判断した個体は確認されなかった。

天然アユ、人工アユの両者が放流された漁場では、2018年6月の中流域、及び2019年6月の星野川、8月の中流域で低いことを除き、いずれの漁場、時期においても42～80%と高い値を示した。天然アユの移植放流量と人工アユの放流量を矢部川漁業協同組合に聞き取りを行った結果を表2に示した。天然アユと人工アユの放流量は重量の記録しかないため、天然アユは1尾2g（河口堰での平均体重は1.75～2.75g/尾）、人工アユは1尾4g（平均4g/尾以上で放流）で換算した。アユ放流マニュアル¹⁰によると人工アユの歩留まりは60～80%とされている。仮に人工アユの歩留まりを70%として計算すると2018年の人工アユの占める割合は65%、2019年のそれは72%となる。これは10月の人工アユの漁獲割合と近い値となり、10月では天然および人工アユが漁場で混ざり合い均等に漁獲されていることが示唆された。これらのことから、天然アユが減少している近年では、人工アユが漁獲に大きく貢献していることが明らかとなった。

最後に、今後の天然アユ資源を回復させるためには、産卵量を増やし、流下仔魚をより多く海域に流下させることが重要である。特に重要なことは、産卵親魚は遺伝的多様性を考慮して可能な限り天然アユが良く、産卵場所としてはふ化仔魚の卵黄が吸収される前に確実に汽水域に到達できる下流が良い、さらに産卵時期としては流下仔アユが海域で高水温に晒されない遅い時期が良いと考えられる。仮に河口から離れた中流や星野川で生まれた仔魚が再生産に寄与しておらず、下流で生まれた仔魚のみが寄与しているとしたら、下流域に集中して天然アユを放流することが望ましい。今後は再生産に寄与できる産卵時期、産卵場所を精査し、本研究で把握した天然アユと人工アユの特性を基に有効な放流サイズ、割合、時期の再検討をする必要がある。

謝 辞

調査サンプルの採捕および貴重な情報の提供等に多大なご協力を頂いた矢部川漁業協同組合代表理事組合長 甲木康裕氏、および理事の方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) アユの側線上方横列鱗数の計数マニュアル Ver. 1. 岐阜県河川環境研究所；2011；3-10.
- 2) 石田力三：アユその生態と釣り. 釣り人社，東京. 1988；120-121.
- 3) 占部敦史，海野徹也：人工および天然アユにおける計数形質の比較. 日本水産学会. 2018；84(1)：70-80.
- 4) 間野静雄，淀 太我，石崎大介，吉岡 基：長良川におけるアユの由来別の成長特性. 水産増殖. 2014；62(1)：89-97.
- 5) 南本健成：熊本県産人工アユ種苗の放流効果試験. 熊本県水産試験場研究報告，1988；5：59-67.
- 6) 鈴木惇悦，本多信行，網田健次郎：人工アユの放流効果に関する研究(1). 新潟県内水面水産試験場調査研究報告，1974；3：1-14.
- 7) 恵崎 撰，中本 崇，浜崎稔洋：矢部川流程の堰がアユの遡上と降河および仔魚の流下に及ぼす影響. 福岡県水産海洋技術センター研究報告. 2007；17：37-44.
- 8) 白石日出人，松本昌大，池田佳嗣，浜崎稔洋：内水面環境保全活動事業(1) 在来減少種(アユ) 増殖技術開発事業. 福岡県水産海洋センター平成 26 年度事業報告. 2014；421-422.
- 8) 塚本勝巳：長良川・木曾川・利根川を流下する仔アユの日齢. 日本水産学会誌. 1991；57(11)：2013-2022.
- 9) 井口恵一朗，坂野博之，武島弘彦：異なる塩水条件下におけるアユ孵化仔魚の飢餓プロセス. 水産増殖. 2010；58(4)：459-463.
- 10) 全国湖沼河川養殖研究会アユ放流研究部会. 「アユ種苗の放流マニュアル」(石田力三監修) 全国内水面漁業協同組合連合会，東京. 1994.

矢部川河口漁場におけるアサリ稚貝の出現とその動向

山田 京平・長本 篤^a・合戸 賢利・佐野 二郎
(有明海研究所)

有明海福岡県地先に流入する矢部川の河口漁場は、かつて地先のアサリ資源量の多くを占める重要な漁場であったが、近年底質の悪化等により、資源量が激減している。2015年に底質改善を目的として、覆砂を行ったところ、2015年秋以降稚貝が大量発生し、資源の増大が確認された。そこで本研究では、矢部川河口漁場におけるアサリの分布状況の推移を把握することを目的として、2016年6月～2021年7月にかけて定点調査を行った。その結果、殻長1mm以上の分布密度は、2016年～2017年にかけて緩やかに増加したものの、2018年以降は7月に大きな減耗がみられ、3～4月頃大きく増加する傾向が見られた。7月の大きな減耗要因としては、梅雨末期の大雨による泥の堆積や長期的な塩分低下によるものと考えられた。殻長1mm未満の初期稚貝は、春発生群、秋発生群とも安定して出現が確認される一方で、春発生群は2016年を除き、1mm以上への加入がほとんど見られず、2018年以降は秋発生群の加入が主体となる傾向が見られた。その要因として、7月の大雨で、着底後間もない春発生群が成長する前に逸散、あるいは斃死している可能性が示唆された。

キーワード：有明海、矢部川、アサリ、低塩分、初期稚貝、春発生群、秋発生群

有明海福岡県地先に流入する一級河川である矢部川の河口漁場は、かつてアサリ *Ruditapes philippinarum* の主要な生産漁場であり、特に2007～2008年頃は有明海福岡県地先のアサリ資源量の多くを占める非常に重要な漁場であった¹⁾。しかし、2012年の九州北部豪雨による泥の堆積等で漁場の底質が悪化し、資源量は激減した²⁾。

一方で、有明海福岡県地先では漁場の底質改善および二枚貝の増産を目的として、底質の悪化した漁場に砂をまく覆砂事業を実施している。特に2001年からは年間約100ha規模で覆砂事業を実施しており、覆砂を行った場所では底質改善効果が維持され、アサリが多数確認されるなど、一定の効果が得られている³⁾。

2014年7月に底質改善を目的として、矢部川河口漁場で覆砂による漁場造成を行ったところ、2015年秋以降に稚貝が大量発生し、資源の増大が見られている。

そこで、本報告では覆砂による底質改善後の矢部川河口漁場におけるアサリ稚貝の発生状況を継続して調査し、その出現傾向や成長を把握し、アサリ資源の動向と環境要因等の因果関係を把握することを目的とした。

方 法

1. アサリ分布調査 (1mm 以上)

有区20号の2014年に覆砂した場所において、アサリの着底稚貝の分布調査を行った。調査は2016年6月～2021年7月の間、概ね1～2月に1回の頻度で行った。試料は図1に示す5地点において塩ビパイプ(内径10cm、長さ10cm)を用いて表層10cmの底泥を2回、あるいは15cmの方形枠で1回採取し、目合い1mmの篩で選別した後、研究室に持ち帰り、生貝の計数、殻長の測定及び調査点毎のアサリ総重量の計量を行った。

2. 初期稚貝調査 (1mm 未満)

殻長1mm未満の稚貝(以下、初期稚貝)の分布状況を把握するため、アサリ分布調査時と同じ5地点で初期稚貝調査を行った。試料は、アクリルパイプ(内径34mm、長さ10cm)を用いて表層1cmの底泥を4回採取、混合したものを1試料とし、-30℃の冷凍庫で保存後、アサリ稚貝の同定、個体数の計数及び殻長の測定を行った。

^a現所属：水産海洋技術センター

3. 肥満度・成熟度調査

図1に示す有区20号の1地点において、成貝の肥満度調査を行った。調査はアサリ分布調査、初期稚貝調査時に行い、殻長20mm以上のアサリを20個体程度採取し、研究室に持ち帰り各部位を測定後、以下の式で肥満度⁴⁾を算出した。

$$\text{肥満度} = [\text{軟体部湿重量 } g / (\text{殻長 } cm \times \text{殻高 } cm \times \text{殻幅 } cm) \times 100]$$

また、2017年4月から肥満度の測定に併せて、群成熟度の測定を行った。群成熟度は安田⁵⁾の方法に従い、熟度を目視で3段階(1, 0.5, 0)に分け、その平均値を群成熟度として示した。

4. 環境調査

(1) 底質調査

上記調査に併せて底質調査を実施した。底質調査はアサリ分布調査、初期稚貝調査と同じ5地点で行い、アクリルパイプ(内径36mm、長さ30cm)を用いて、各調査点の任意の3点で表層5cmの底泥を採取し分析に供した。分析項目は中央粒径(MdΦ)、全硫化物、強熱減量、泥分率とした。

(2) 水質調査

漁場の水温、塩分を把握するために、水質調査を実施した。調査は図1に示す大牟田市地先において2016年6月～2021年7月まで毎日、満潮時に表層の海水を採取し、水温、比重を測定し、比重から換算式により塩分を求めた。なお、水質調査点は矢部川河口漁場から少し離れた大牟田地先にあるが、2016年6月～2021年7月に月1回実施した浅海定線調査で得られた矢部川沖水質調査点の底層の水温、塩分と大牟田地先の表層の水温、塩分をピアソンの相関検定を行ったところ、図2のように水温で $r=0.992$ 、塩分で $r=0.894$ と高い正の相関が見られ($p<0.01$)、両者の水温、塩分は同様の傾向を示すと考えられたことから、今回、大牟田地先の水温、塩分の連続データを用いた。

(3) 降水量

降水量については、気象庁ホームページより、柳川観測点の月別日最大降水量および月合計降水量のデータを用いた⁶⁾。

結 果

1. アサリ分布調査(1mm以上)

殻長1mm以上のアサリ分布密度について、各調査点の平均値の推移を図3に示した。調査期間中の分布密度は9～28,307個/m²の範囲で推移した。調査開始時の2016年6月には4,752個/m²と非常に多くのアサリの分布が見られ、

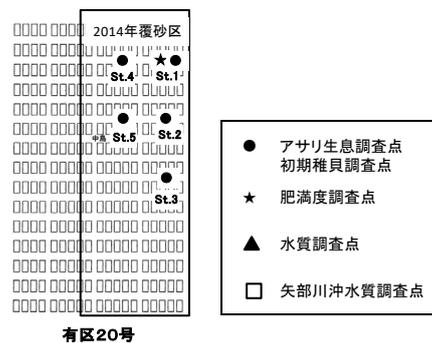
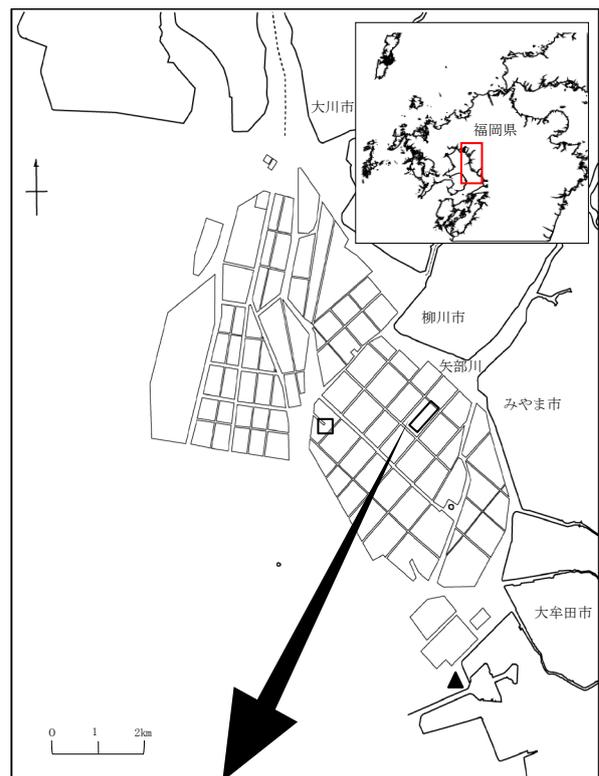


図1 調査地点図

8月には7,062個/m²に増加した。その後緩やかに減少したものの、2018年6月までは2,314個/m²と高い密度の分布が見られた。しかし、2018年7月に375個/m²と大きく減少し、その後も、緩やかに減少し、2020年2月には35個/m²となった。一方で、2020年4月に多くの稚貝の加入が見られ、28,307個/m²の最大値となり、6月時点で15,956個/m²と高密度な状態で推移したが、7月には3,084個/m²と大きく減少し、8月には284個/m²となった。その後も緩やかに減少し、2021年1月には9個/m²まで落ち込み、最小値となった。しかし、2021年3月から稚貝の加入が再び見られ、4月には5,529個/m²まで回復し、その後、7月時点で2,151個/m²と多くの分布が見られた。

全体の傾向としては、2016年～2017年は緩やかに推移し、2018年以降は7月に大きく減少、3～4月頃大きく増加する傾向が見られた。

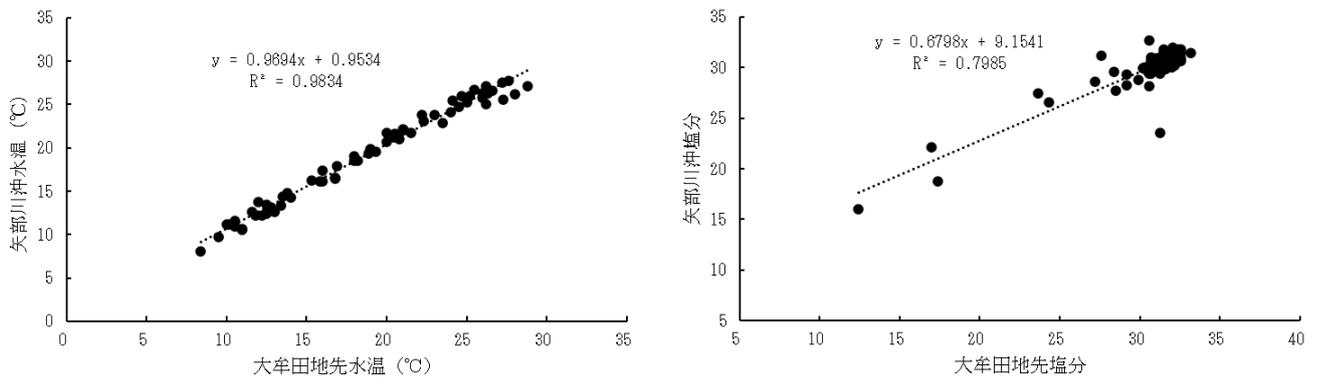


図2 大傘田地先と矢部川沖の水温及び塩分の関係

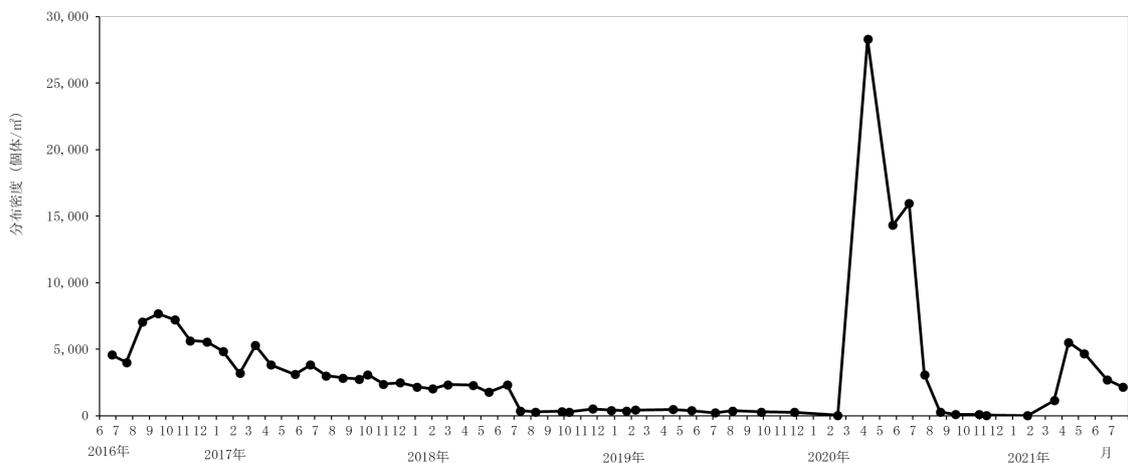


図3 アサリ分布密度の推移 (1mm以上)

各調査点のアサリ分布状況の推移を図4～6に示した。2016年6月～2018年6月の間は、いずれの調査点も概ね1,000個/㎡以上のアサリの分布が見られたが、2018年7月に大きく減少し、st.1を除くと分布密度が1,000個/㎡未満になり、特にst.5では10個/㎡未満と著しく減少した。2020年2月にはst.3を除き、100個/㎡未満となった。一方で、2020年4月にはst.1, 3で10,000個/㎡以上、st.4, 5で1,000～10,000個/㎡のアサリが出現し、2020年7月まで10,000個/㎡以上の高密度の分布域が確認された。しかし、2020年7～8月にかけて大きく減少し、8月には全地点とも1,000個/㎡未満となった。そして、2021年1月にはst.3を除き10個/㎡未満とほとんどアサリが確認されなくなった。その後、2021年4月にst.1で10,000個/㎡以上、st.2, 4で1,000～10,000個/㎡のアサリが再び確認されるようになり、2021年7月にはst.1, 2で1,000～10,000個/㎡の分布が確認された。

図7～8に全地点で確認されたアサリの殻長別分布密度を示した。調査開始時の2016年6月には18～20mmにモードが確認されたが、2016年8月には新たに4～6mmの春発生群が確認された。2017年6月には24～26mmと12～14mm

のモードへと成長が見られた。2017年8月には4～6mmの春発生群がわずかに確認されたがやがて消失した。2018年6月には、26～28mm、22～24mmへと順調な成長が見られ、12%が漁獲サイズ(30mm<)へと成長した。しかし、2018年7月にはアサリの大きな減耗が見られ、モードが見られた26～28mmの分布密度は143個/㎡まで低下した。その後、春発生群の加入もなく推移し、2019年4月には34～36mmのモードへと成長し、漁獲サイズを中心とした組成となった。その後、秋発生群や春発生群の大きな加入もなく推移し、2020年2月には残存したアサリは30～38mmまで成長した。

一方で、2020年4月に2～6mmをモードとする秋発生群の大量の加入が見られ、2～4mmで11,125個/㎡、4～6mmで14,437個/㎡になった。これらの稚貝は6月には8～14mmのモードに順調に成長し、8～10mmで3,484個/㎡、10～12mmで3,853個/㎡、12～14mmで3,279個/㎡になった。しかし、7月には大きな減少が見られ、10～12mmで854個/㎡、12～14mmで688個/㎡、14～16mmで409個/㎡となり8月には10～12mmで71個/㎡、12～14mmで71個/㎡、14～16mmで27個/㎡まで減少し、2021年1月には、22～24mm

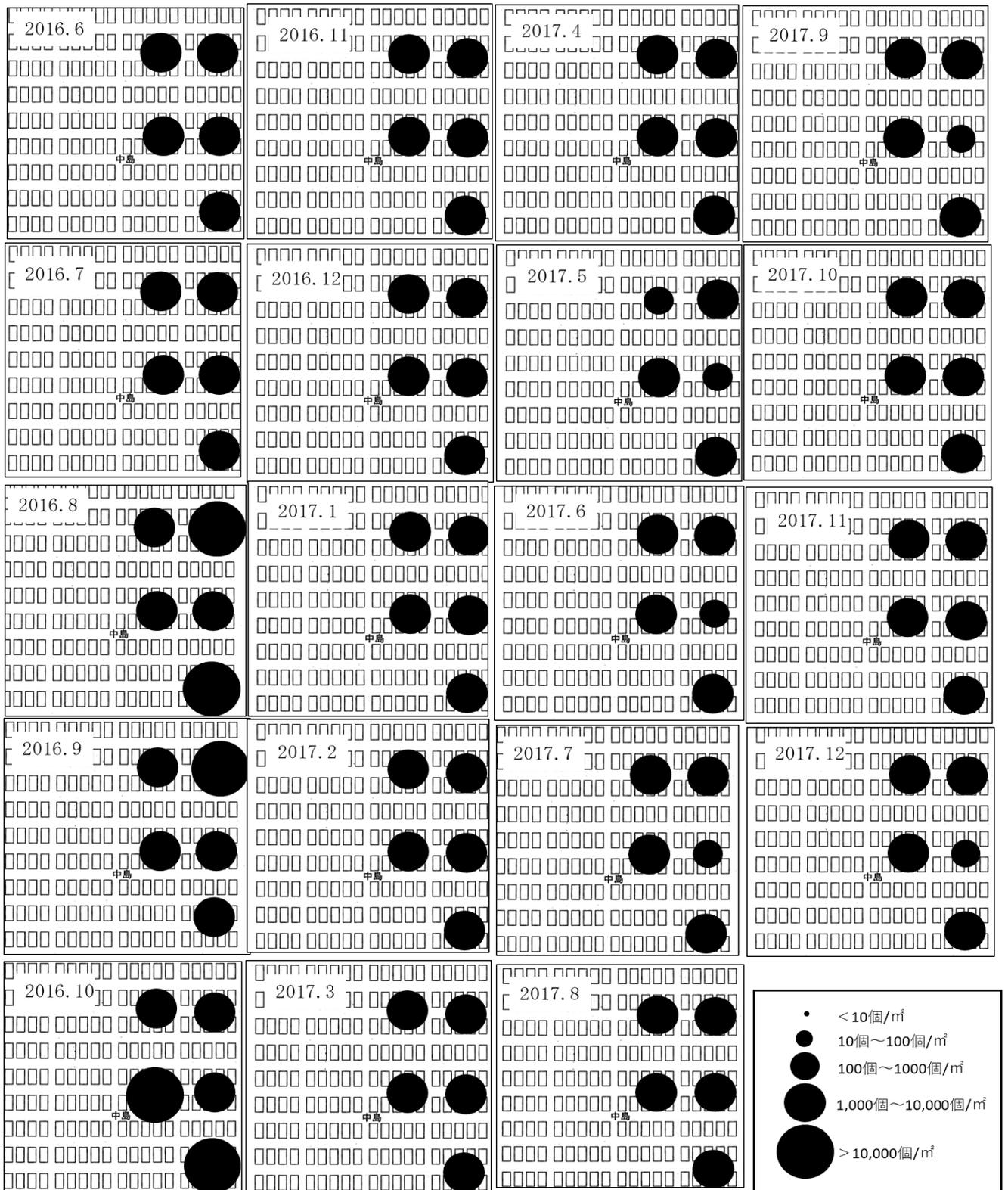


図4 2016年6月～2017年12月のアサリ分布図 (1mm以上)

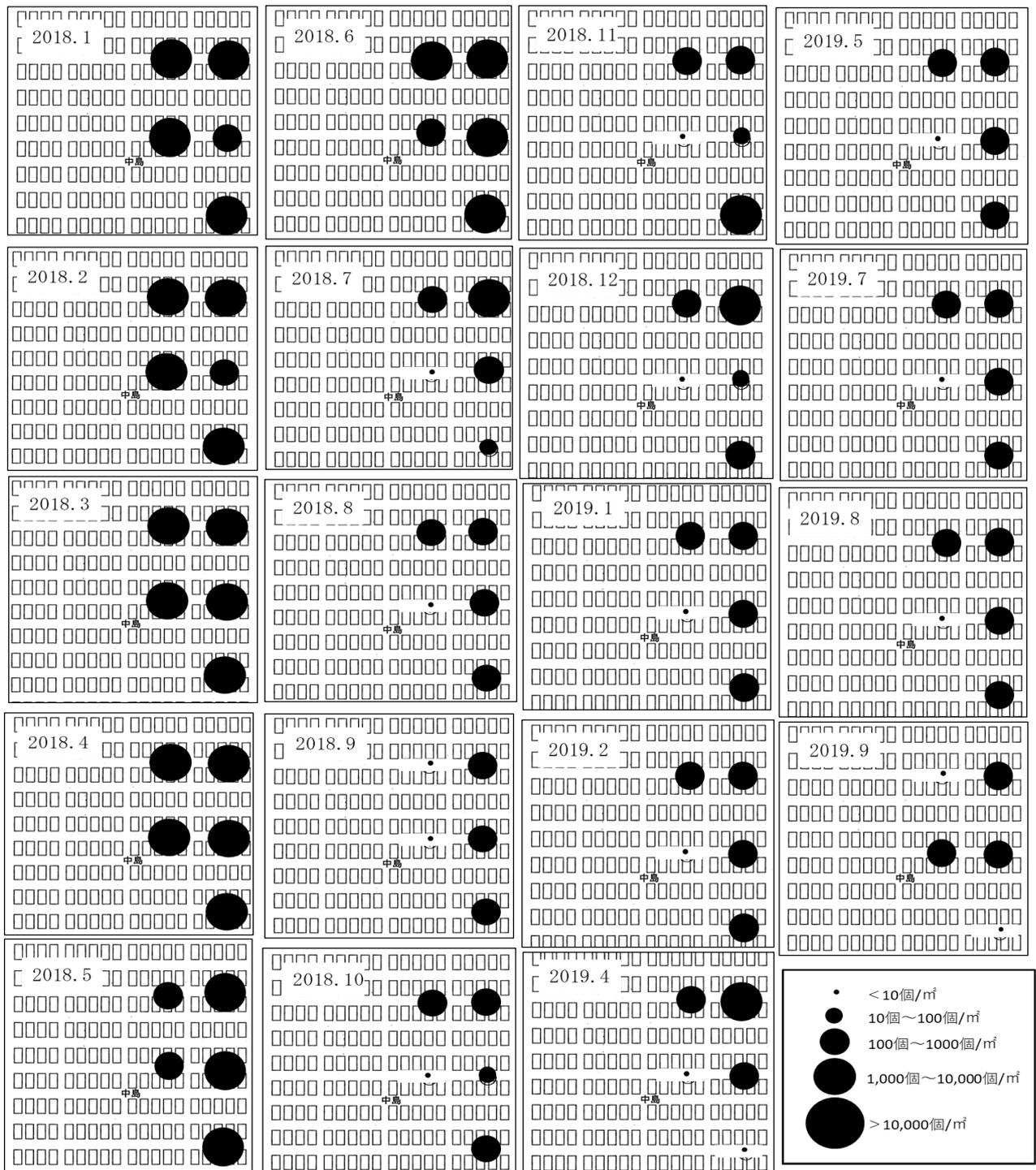


図5 2018年1月～2019年9月のアサリ分布図（1mm以上）

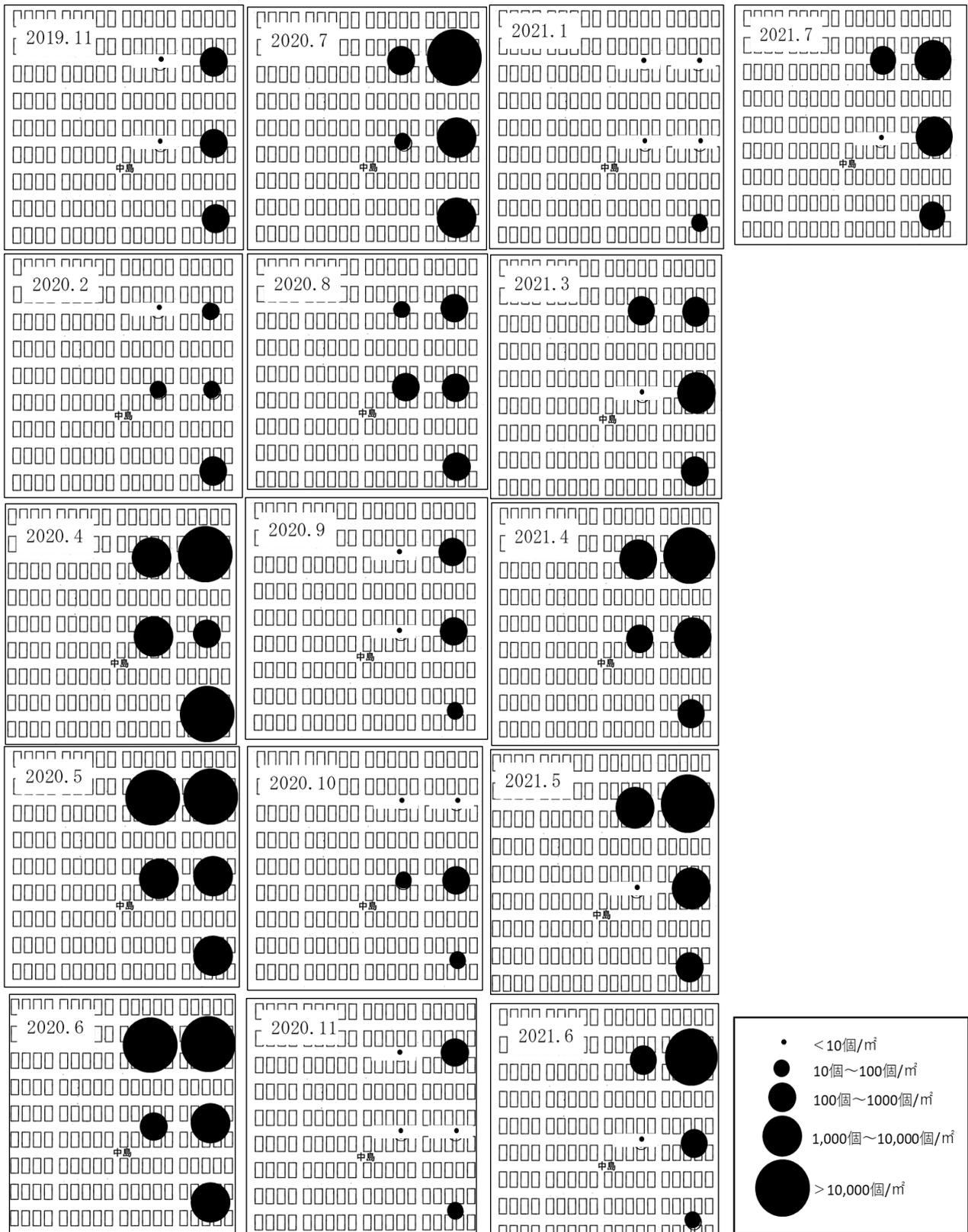


図6 2019年11月～2021年7月のアサリ分布図（1mm以上）

のアサリが9個/m²確認されたのみであった。一方で、2021年3月には4~6mmをモードとする秋発生群の加入が見られはじめ、4月には2~4mmで1,776個/m²、4~6mmで2,617個/m²と高密度に出現し、7月には12~16mmのモードに成長した。

2. 初期稚貝調査 (1mm未満)

初期稚貝の分布密度について、各調査点の平均値の推移を図9に示した。初期稚貝の分布密度は0~251,967個/m²の範囲で推移し、2019年11月に最大の251,967個/m²となった。10,000個/m²以上の初期稚貝が確認されたのは、2016年6月の33,280個/m²、2017年5月の10,965個/m²、6月の37,963個/m²、7月の12,507個/m²、2018年6月の16,915個/m²、2018年11月の40,718個/m²、12月の57,303個/m²、2019年11月の251,967個/m²、2020年2月の52,840個/m²、6月の18,844個/m²、2021年1月の14,546個/m²、3月の10,138個/m²であり、概ね春季は4~7月に出現し、特に6月に多く、秋季は10~1月に出現し、特に11月、12月に多い傾向が見られた。

3. 肥満度・成熟度調査

肥満度の推移を図10に示した。肥満度は概ね3~5月の春季に高く、冬季に低下する傾向が見られた。資源が減耗する可能性があると考えられる肥満度12以下⁴⁾になったのは、2016年11月~2017年1月、2017年12月~2018年2月、2019年12月であった。

次に、群成熟度の推移を図11に示した。群成熟度は概ね4~5月の春季および9~10月の秋季に高く、春期は6~7月、秋季は11~12月にかけて低下した。

4. 環境調査

(1) 底質調査

底質調査の結果を図12に示した。

中央粒径値(MdΦ)は調査開始時から2018年6月まで0.6~1.7とアサリの生息に適した2以下⁷⁾の基準値を維持していた。しかし、2018年7月に発生した西日本豪雨により、漁場に泥の堆積が見られ(図13)、MdΦが3.9とアサリの生息に不適とされる3を上回った⁷⁾。その後、2019年5月まで2.6~3.6の範囲で推移したものの、泥の堆積は徐々に減少し、1年後の2019年7月にはMdΦ1.7と基準値以下に回復し、その後良好な底質環境を維持した。

強熱減量も同様の傾向を示し、2018年6月まで2.0~4.9で推移していたが、西日本豪雨後の2018年7月

に5.5になり、その後2019年5月まで4.1~5.9の間で推移し、2019年7月には2.7まで低下し、2019年7月以降は1.4~4.0の間の低い値で推移した。

全硫化物も同様の傾向を示し、2018年6月まで0.01~0.13mg/g乾泥で推移し、西日本豪雨後の2018年7月に0.14mg/g乾泥と上昇し、2019年5月まで0.14~0.42mg/g乾泥の範囲で推移し、特に2018年8月~2019年5月はアサリの生息に適した0.2mg/g乾泥の基準値を上回った⁷⁾。2019年7月には0.16mg/g乾泥まで回復し、その後0.00~0.16mg/g乾泥と低い値で推移した。

泥分率も同様の傾向を示し、2018年6月まで5.9%~19.7%で推移していたが、西日本豪雨後の2018年7月に51.0%と上昇し、その後2019年5月まで28.1~51.7%の範囲で推移し、2月を除きアサリの生息に適した30%の基準値を上回った⁸⁾。2019年7月には12.5%まで回復し、その後3.5~20.6%とアサリの生息に適した30%以下で推移した。

(2) 水質調査

水質調査の結果を図14,15に示した。

水温については2016年(6月~)は11.0~31.2°C、2017年は7.0~31.5°C、2018年は6.0~31.5°C、2019年は9.5~31.0°C、2020年は8.2~30.0°C、2021年(7月)は7.4~29.0°Cで推移した。

塩分については2016年は10.7~33.1で推移し、7月15日に10.7の最低値となった。2017年は16.1~33.2で推移し、九州北部豪雨後の7月9日に16.1の最低値となった。2018年は6.9~33.2で推移し、西日本豪雨後の7月8日に6.9の最低値となった。2019年は16.5~33.6で推移し、7月24日に16.5の最低値となった。2020年は3.7~32.8で推移し、7月12,13日に3.7と最低値となった。2021年は23.7~34.4で推移し、6月5日に23.7と最低値となった。塩分10を下回ったのは、2018年7月8日~9日、2020年7月8日、9日、11~17日、29日であった。

(3) 降水量

調査期間中の柳川観測点の月合計降水量を図16に示した。降水量は11.5~1,145mmの範囲で推移し、2020年7月に1,145mmの最大値となった。図17に柳川観測点の月別の日最大降水量を示した。日最大降水量は6~292mmの範囲で推移し、2020年7月6日に292mmの最大値となった。

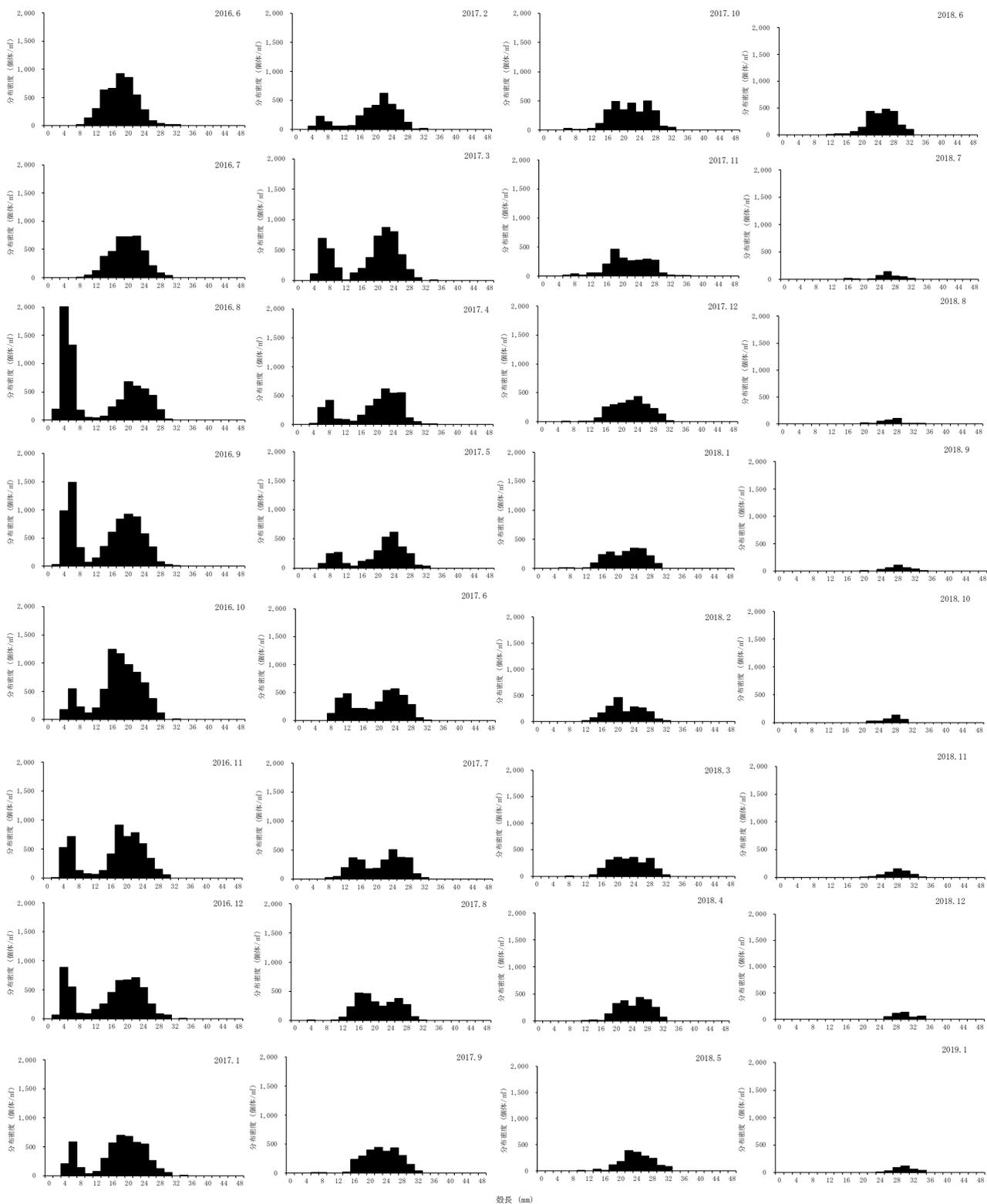


図7 殻長別分布密度 (2016年6月~2019年1月)

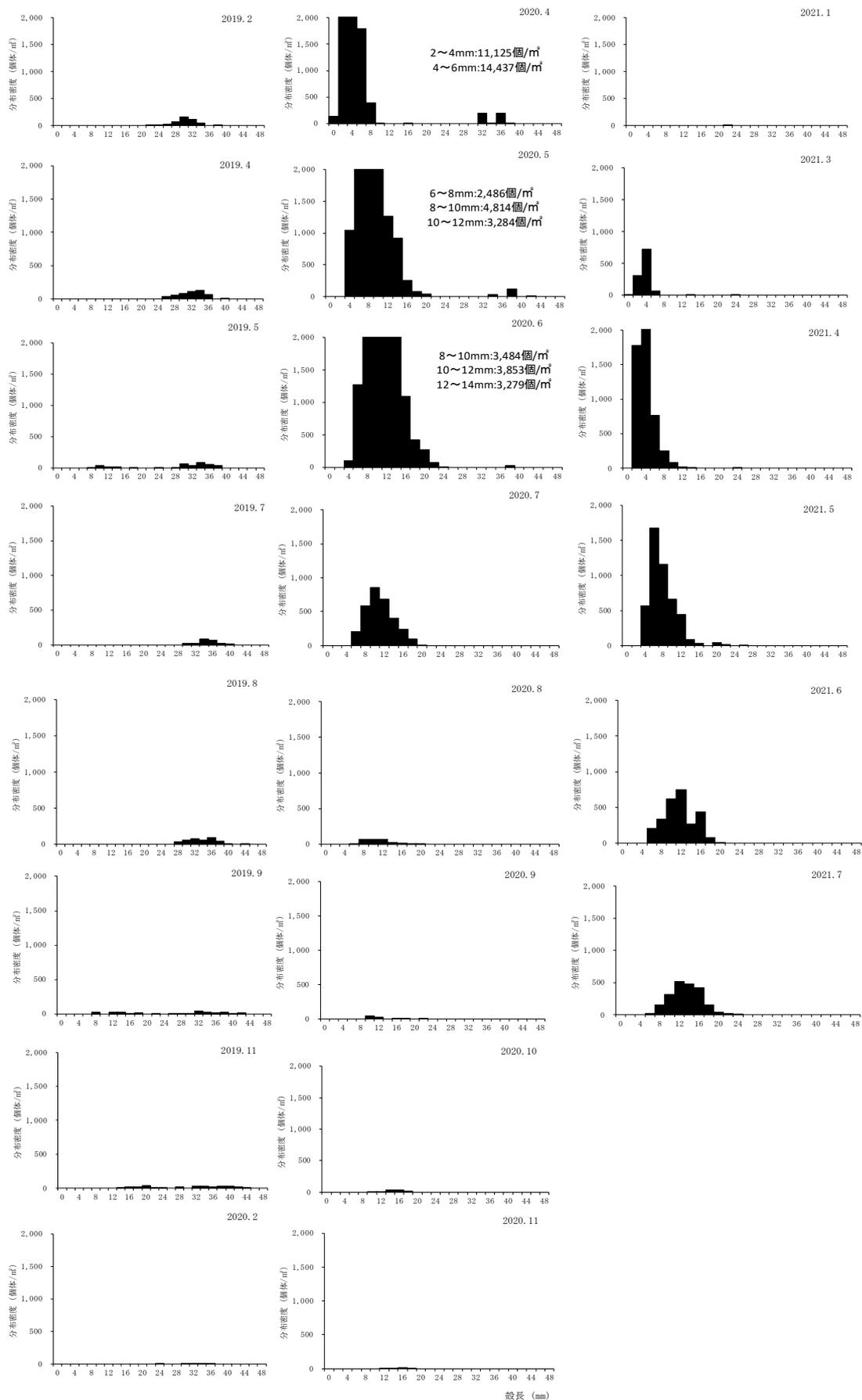


図8 殻長別分布密度 (2019年2月~2021年7月)

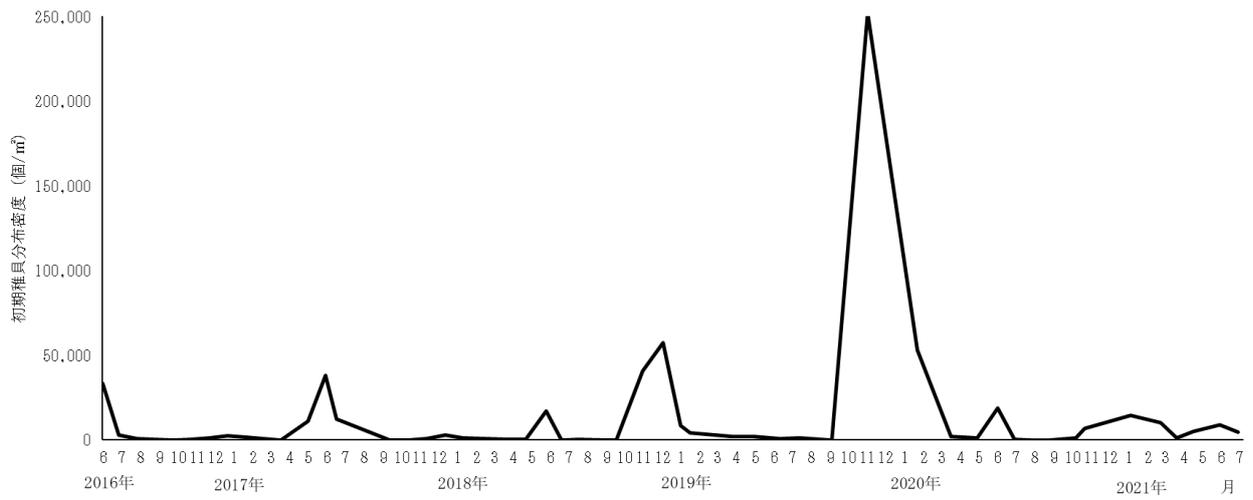


図9 初期稚魚（1mm未満）分布密度の推移

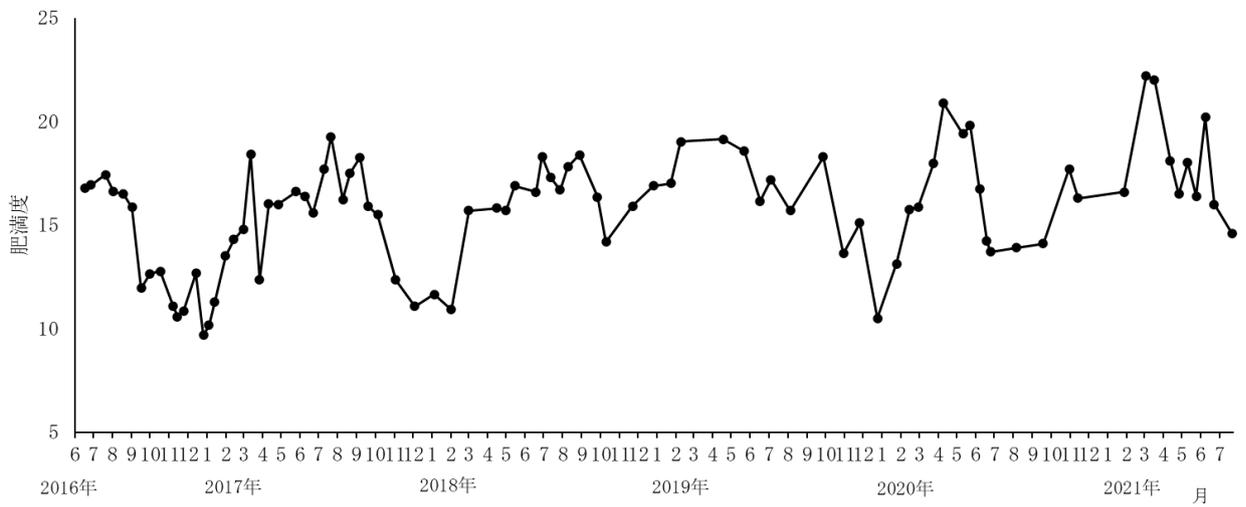


図10 肥満度の推移

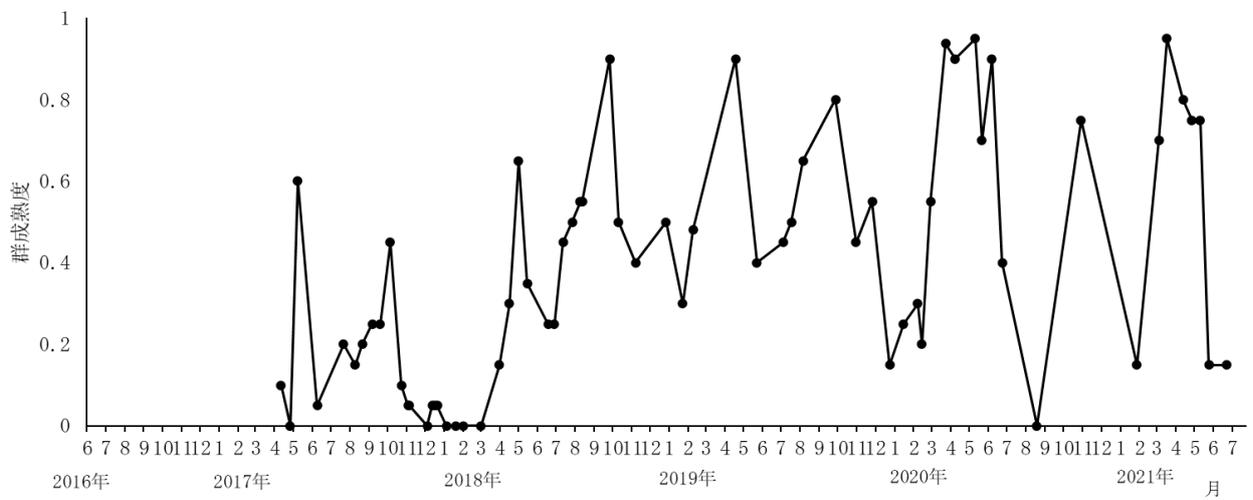
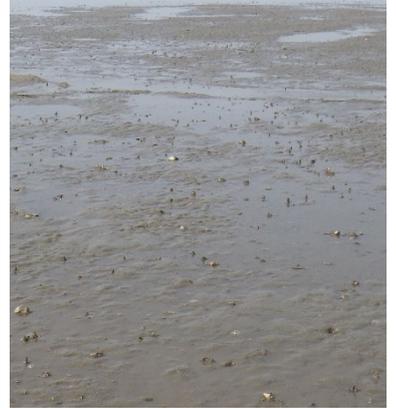
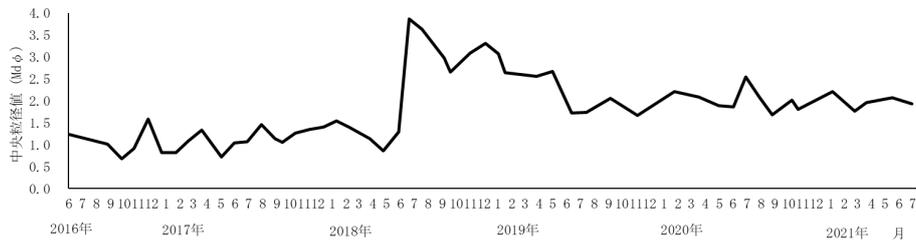


図11 群成熟度の推移



豪雨前 (2018年6月)



豪雨後 (2018年7月)

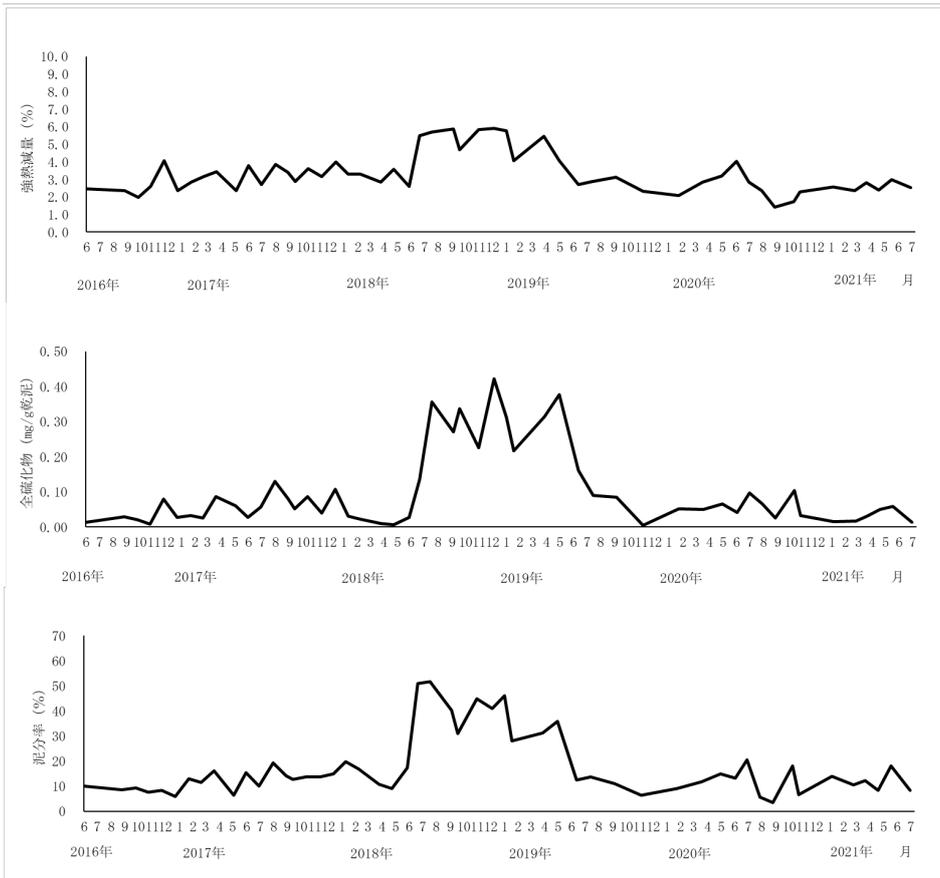


図 12 底質調査結果 (中央粒径値・強熱減量・全硫化物・泥分率)

図 13 西日本豪雨後漁場に堆積した泥

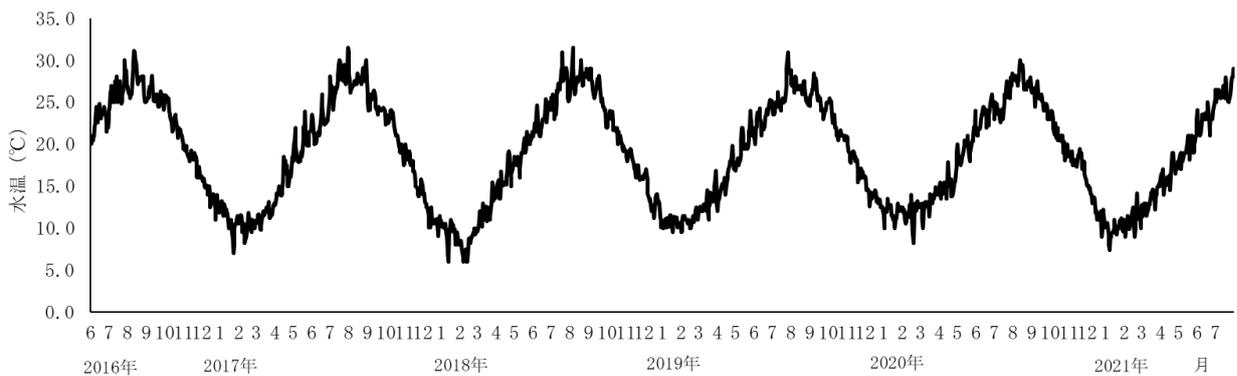


図 14 漁場の水温の推移

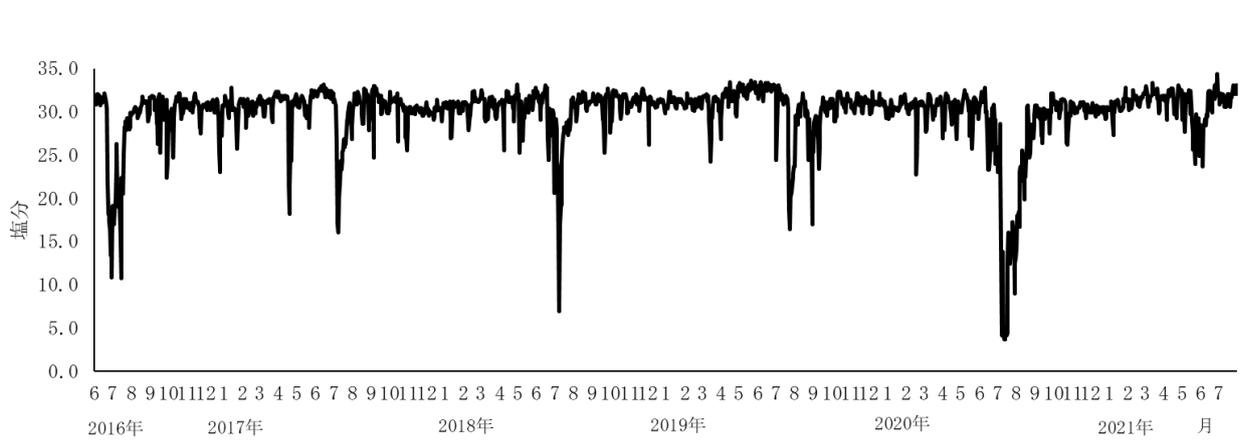


図 15 漁場の塩分の推移

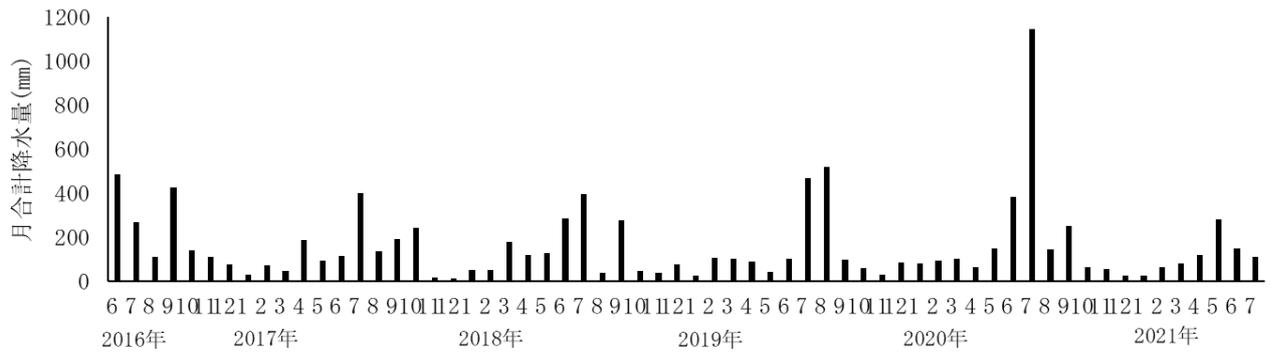


図 16 調査期間中の月合計降水量

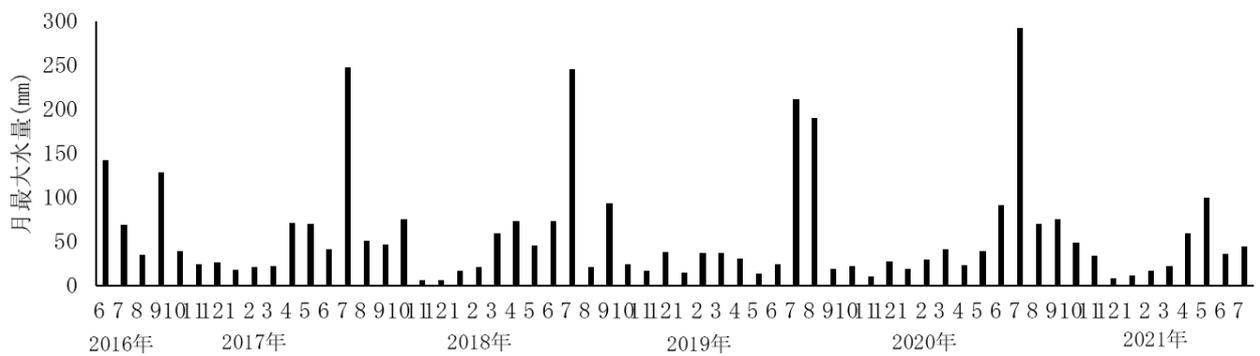


図 17 調査期間中の7月の日最大降水量

考 察

調査期間中、矢部川河口域の1mm以上のアサリの分布は、9~28,307個/m²の範囲で大きく変動した。

大きな減耗が見られたのは、主に2018年7月と2020年7~8月であった。2018年7月の減耗要因としては、2018年7月に発生した西日本豪雨により、漁場に泥が堆積し、中央粒径値が3を超えるなど、底質が一時的にアサリの生息に不適な環境になったことが考えられた⁷⁾。

一方で、2020年の梅雨末期の大雨時には、西日本豪雨時のような、泥の堆積は確認されず底質は良好な状態であったが、連日続いた大雨により、漁場の塩分が満潮時でも3.7まで低下した。さらに、低塩分状態は長期にわたって継続し、満潮時に10を下回る状態が7月11~17日の約1週間程度、20を下回る状態が7月8日~8月6日の約1ヶ月程度継続した。松田らは、塩分10の飼育水で36時間暴露したところ、48時間後に約4割が斃死したと報告したように⁹⁾、2020年7月の生息密度の減少は低塩分状態に長期間さらされることでアサリが大量斃死したことにより生じたものと考えられる。

1mm以上のアサリ分布密度の大きな増加は2016年8月、2020年4月、2021年4月に見られた。殻長組成をみると2016年8月には4~6mmをモードとする2016年春発生群、2020年4月には2~6mmをモードとする2019年秋発生群、2021年4月に

は2~4mmをモードとする2020年秋発生群の加入が見られた。春発生群については、2016年以降ほとんど加入が見られず、2019年以降は秋発生群の加入が主体となっている傾向が見られた。

一方で、1mm未満の初期稚貝で見ると、10,000個/m²以上の発生は、2016年6月、2017年5月、6月、7月、2018年6月、11月、12月、2019年11月、2020年2月、6月、2021年1月、3月であり、1mm以上の稚貝の加入につながっていない年についても1mm未満の初期稚貝が発生していた。そこで初期稚貝とその後の稚貝の加入状況をわかりやすく示すために、図18に着底後間もない初期稚貝の分布密度と過去の報告より着底後1~5ヶ月頃と想定される¹⁰⁾殻長1~6mmの稚貝の分布密度を同一グラフに示した。

春発生群については、2016年春には6月に33,280個/m²の初期稚貝の発生が見られた2ヶ月後の8月に2,303個/m²の1~6mm稚貝が確認されており、着底直後の初期稚貝が成長し1mm以上の稚貝へ加入したと推察された。一方で、2017年春、2018年春、2020年春にはいずれも5月あるいは6月に10,000個/m²以上の初期稚貝が見られたものの、その後の1~6mm稚貝の出現は確認されておらず、1mm以上に成長する前に減耗したことが推察された。

秋発生群については、漁場に泥の堆積が見られた2018年秋には、初期稚貝の発生が見られたものの、その後1~6mm稚貝の出現は確認されなかった。一方で、2019年秋には11月に251,987個/m²の高密度の初期稚貝が発生し、5ヶ月後の2020年4月には25,701個/m²の高密度の1~6mm稚貝が確認された。さらに2020

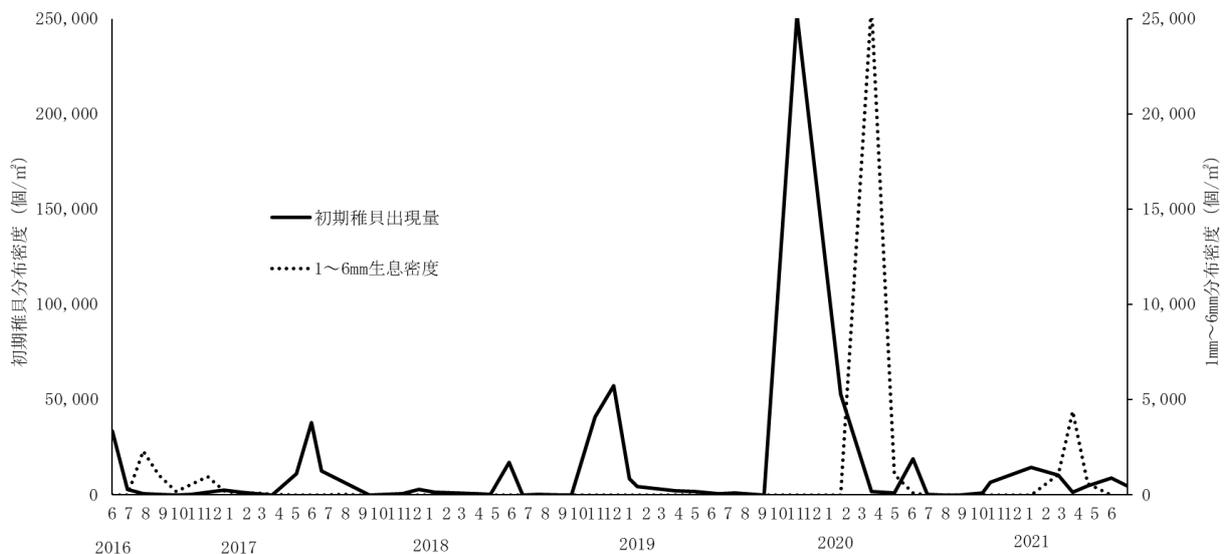


図18 初期稚貝（1mm未満）と1~6mm稚貝の分布密度

年秋には 2021 年 1 月に 14,546 個/m² の高密度の初期稚貝が発生、3 ヶ月後の 4 月には 4,393 個/m² の稚貝の発生が確認されており、比較的順調に 1~6mm 稚貝へと加入していた。

以上のことから、秋発生群はアサリの生息に適した底質環境の条件下で着底すれば、大きく減耗することなく成長し、1mm 以上の稚貝の加入につながると推察された。

図 19 に漁場に泥の堆積が生じた 2018 年を除いた初期稚貝の分布密度とその後の 1~6mm 稚貝の分布密度の年変動を春秋別に比較したものを示した。2016~2020 年の 4 カ年の秋(10~翌年 1 月)の初期稚貝の分布密度とそれが 1~6mm に成長する翌年 3~5 月の分布密度を比較すると、初期稚貝の発生が多いときは 1~6mm 稚貝の分布密度も高くなる傾向が見られるが、春(4~7 月)の初期稚貝の分布密度とそれが 1~6mm に成長する 7~9 月の分布密度についてはその傾向は見られなかった。これはすなわち、秋発生群は比較的安定して初期稚貝から 1mm 以上の稚貝へ成長するが、春発生群は初期稚貝から 1mm 以上の稚貝へ成長する過程で何らかの要因で減耗していると考えられた。

この減耗要因として、春発生群は初期稚貝が 5~6 月に多く着底しているため、着底後間もないうちに近年頻発する大雨の影響を受けることが考えられた。特に、2017~2020 年は日最大降水量が 200mm を超えており、7 月に激しい降雨があることで、5~6 月に着底した春発生群の逸散、斃死が起こっている可能性が示唆された。アサリは初期稚貝期に強い付着能力を持つ足糸を形成させ、砂粒子に付着しているとされているが⁴⁾、まとまった雨が降ると河口域では流速が強まり、表面の砂粒子ごと流出してしまう可能性が考えられた。また、潜砂できるようになる数 mm 程度に成長した稚貝であっても、殻長の 2 倍程度と小型個体では深く潜れないため⁴⁾、稚貝が発生しやすい滞筋部であれば強い流速により洗掘され、沖へと流されてしまうことが考えられた。また、小型個体の方が低塩分の影響を受けやすく、殻長 0.3mm の初期稚貝が淡水に 6 時間冠水すると全滅したという報告もあるため^{7,11)}、大河川の河口域に位置する本漁場では、まとまった降水時には河川水が大量に流れ込むことで、著しく低塩分になり、初期稚貝の斃死が起こった可能性が示唆された。

稚貝の発生場所については、st.1 や st.2 などの滞側に多く発生しやすい傾向が見られた。西沢らは愛知県矢作川河口域において、アサリ浮遊幼生は下げ潮

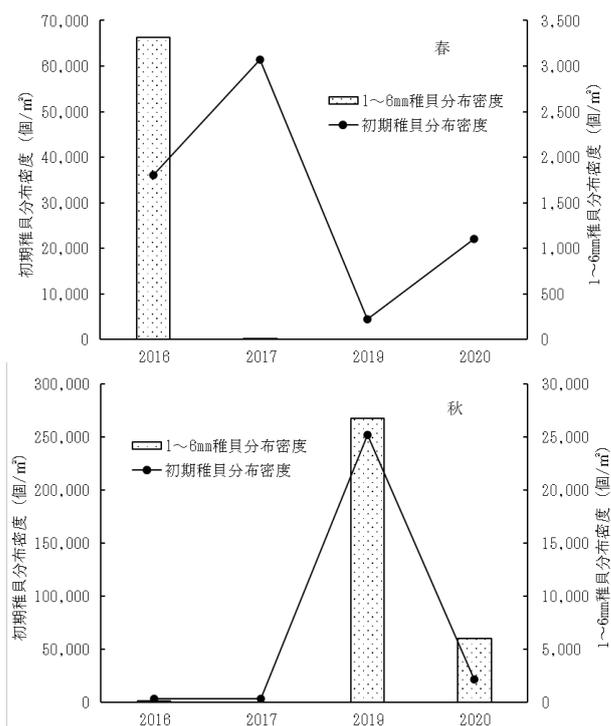


図 19 初期稚貝 (1mm 未満) と 1~6mm 稚貝の分布密度の関係

時でも塩分の高い底層に分布し、上流に向かう流れに乗ることで、河口部に滞留し着底する可能性を示唆したが¹²⁾、本調査を行った矢部川河口域でも同様のメカニズムで高い塩分を好む浮遊幼生が滞筋に滞留しており、滞筋に着底しやすくなることが考えられた。

このように、矢部川河口漁場はアサリ稚貝が発生しやすい漁場であるが、前述のように大雨時に減耗するリスクが非常に高い漁場でもある。この対策として、秋発生群については、7 月の大雨前の 6 月には大半が 10mm を超えることから、漁業者による 5mm 目合いのネットをつけたじょれんを使った移植により、安全な漁場への移植を行っている(図 20)。2020 年は 6 月に矢部川河口漁場から約 185t、2021 年は 6 月に約 100t の稚貝を大雨の影響を受けにくい、河口から離れた漁場に移植し、移植先の漁場では順調な成長が見られている。一方で、春期発生群は 6 月には 1mm 未満~数 mm であり、移植作業に用いている 5mm 目合いのネットを通過してしまうため、じょれんを用いた移植は不可能である。長本らが開発したアサリ稚貝育成装置は殻長 1mm の稚貝を比較的高い歩留まりで中間育成できるため¹³⁾、今後はこの装置を用いて着

底直後の稚貝を採取し、安全な漁場で中間育成した後、大雨の影響を受けにくい安全な漁場へ放流することも検討する必要がある。

肥満度・成熟度調査の結果では、2016年、2017年、2019年冬期に減耗が起きる可能性があるとしてされる肥満度12以下の値が見られた⁴⁾。しかしながら、1mm以上の分布密度を見ると、冬期に大きな減少は見られないことから、冬期の肥満度の低下はそれほど大きな減耗要因ではないと推察された。一方で、産卵期である春期や秋季に肥満度や成熟度が高く、その後低下していたことから、矢部川河口漁場に生息している母貝が産卵を行っている可能性が示唆された。特に、調査開始時の2016年6月から西日本豪雨が発生する前の2018年6月までは、20mm以上の母貝の分布密度が比較的高かったことから、海域全体としても非常に重要な母貝団地となっていた可能性があると考えられた。

以上のことから、矢部川河口域はアサリにとって非常に重要な着底場、かつ産卵場であると考えられる。移植放流をすることは、稚貝を安全な漁場へ退避することに加え、移植元に残された稚貝の密度調整にもつながり、移植元の生残や成長の向上も期待される。移植の目安とされる生息密度は一般に2g程度の稚貝で2,000個/m²とされているが¹⁴⁾、本調査ではそれを上回る生息密度もしばしば見られている。したがって、今後も豪雨前の退避に加え、移植元の生残・成長の向上のためにも、7月の豪雨前に安全な漁場へ移植放流を行い、海域全体としてアサリの母貝量を増やしていくことが重要であろう。

文 献

- 1) 中村光治, 杉野浩二郎, 吉田幹英. 福岡県有明海域におけるアサリ及びサルボウ資源量調査. 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2007: 244-247.
- 2) 長本篤, 金澤孝弘, 松本昌大, 廣瀬道宣, 秋元聡. 福岡県有明海域におけるアサリ及びサルボウ資源量調査. 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2012: 150-154.
- 3) 内藤剛, 筑紫康博: 有明海浅海域における覆砂効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2004; 14: 125-1.
- 4) 青木伸一ら. 改善のための具体的対策手法. 「干潟生産力改善のためのガイドライン」. 水産庁, 東京. 2008.



図20 移植(上)および放流(下)風景

- 5) 安田治三郎, 浜井生三, 堀田秀之. アサリの産卵期について. 内海区水産研究所研究報告 1945; 20: 277-279.
- 6) 国土交通省気象庁. 過去の気象データ検索. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2021年11月4日閲覧
- 7) 沿岸漁場整備開発事業 増殖場造成指針 ヒラメ・アサリ編(増殖場造成計画指針編集委員会編). 全国沿岸漁業振興開発協会, 東京, 1996; 123-304.
- 8) 阿久津孝夫, 山田俊郎, 佐藤仁, 明田定満, 谷野賢二. アサリの生息と底質の硬度, 粒度との関係について. 開発土木研究所月報 1995; 503: 22-30.
- 9) 松田正彦, 平野慶二. アサリの低塩分曝露後の影響について. 長崎県水産試験場研究報告 2019; 44: 7-13.
- 10) 林宗徳: 有明海におけるアサリの成長. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 1993; 1: 151-154.

- 11) 池末弥, 松本直:アサリの生態学的研究-I. 沈着初期アサリの低比重並びに高温に対する抵抗力. 有明海研究報告 1956 ; 3 : 16-23.
- 12) 西沢正, 日向野純也, 田口浩一, 伊藤寛. 三河湾におけるアサリ稚貝の分布量と底質および流れとの関係. 水産工学 1995 ; 32 (2) : 137-143.
- 13) 長本篤, 濱崎稔洋, 篠原直哉, 的場達人. 有明海におけるアサリ稚貝育成装置の開発. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2019 ; 29 : 1-7
- 14) 入江章, 相島昇, 岩渕光伸, 今給黎悟, 山下輝昌. アサリ資源有効利用のための分布量調査. 福岡県有明水産試験場研究業務報告 1988:49-53.

魚群探知機による底質環境の把握

松島 伸代¹・笠井 昭範²
 (1研究部・2古野電気株式会社)

福岡湾では底質環境を把握するため、定期的に採泥による底質調査を行っている。しかし、従来の底質調査方法では採泥と分析に多大な労力と時間がかかるとともに、限られた調査地点のみの情報しか得られないという問題がある。そこで本研究では、魚群探知機を用いた高精度で簡易な底質環境の判別技術を開発するため、福岡湾において魚群探知機による調査と採泥による調査を行い、魚群探知機の海底エコーから得られた海底後方散乱強度と採泥によって得られた底質データを比較検討した。この結果、海底後方散乱強度と泥分率および $Md\phi$ には強い負の相関があり、魚群探知機から得られた海底後方散乱強度から底質を判別できることが明らかとなった。

キーワード：魚群探知機，底質，福岡湾，海底後方散乱強度

かつて、半閉鎖的な海域である福岡湾では富栄養化が進行し、夏期を中心に赤潮が形成されていた¹⁾。これに伴い有機物の負荷による底質への影響を調べるため、定期的に採泥による底質調査を行っている²⁻⁴⁾。しかし、従来の採泥による調査方法では、試料採取や分析に多大な労力と時間がかかるとともに、限られた調査地点のみの情報しか得られないという問題がある。そこで本研究では、従来の方法より簡易で精度の高い底質調査を行うため、魚群探知機（以下魚探とする）を用いた底質判別技術の開発を目的とした。研究は魚探の研究、開発に精通している古野電気株式会社と共同で行った。

方 法

調査は2020年6月から2021年8月にかけて県漁業調査取締船げんかいで行った。調査地点は福岡湾内とし、魚探はFURUNO社製の漁労用シングルビーム魚探FCV-1900の周波数88kHzを用いた。

1. 魚探海底エコーの最適取得条件

魚探海底エコーを取得するにあたり、最適な調査方法を検討するため2020年6月15日、8月17日、10月20日に調査を行った。調査地点はStn.1~5とし、船速0, 5, 10, 15 kt, 魚探の送信出力4, 10を組み合わせた条件で調査地点上を往復航行し、魚探海底エコーを取得した（表1, 図1）。なお、2020年10月20日の調査は送信出力4のみで行った。

表1 2020年6月15日、8月17日、10月20日の調査概要

調査地点	緯度	経度	2020/6/15		2020/8/17		2020/10/20	
			魚探	採泥	魚探	採泥	魚探	採泥
Stn. 1	33°38.408'	130°22.788'	○	○	○	○	○	○
Stn. 2	33°39.191'	130°15.652'	○	○	○	○	○	○
Stn. 3	33°38.270'	130°14.830'	○	○	○	○	○	○
Stn. 4	33°35.899'	130°17.591'	○	○	○	○	○	○
Stn. 5	33°36.336'	130°20.928'	○	○	○	○	○	○
Stn. 6	33°38.880'	130°17.700'	-	-	-	-	○	○
Stn. 7	33°37.070'	130°16.800'	-	-	-	-	○	○

表 2 2020 年 12 月 21 日, 2021 年 6 月 10 日, 8 月 26 日の調査概要

調査地点	緯度	経度	2020/12/21		2021/6/10		2021/8/26	
			魚探	採泥	魚探	採泥	魚探	採泥
Stn. 10	33°40.306'	130°16.694'	○	○	○	○	○	○
Stn. 11	33°37.997'	130°20.808'	○	○	○	○	○	○
Stn. 12	33°37.600'	130°19.503'	○	○	○	○	○	○
Stn. 13	33°37.500'	130°23.500'	○	○	-	-	-	-
Stn. 14	33°37.430'	130°23.660'	○	○	○	○	○	○
Stn. 15	33°37.034'	130°16.297'	-	-	-	-	-	-
Stn. 16	33°37.307'	130°17.372'	-	-	-	-	○	○
Stn. 17	33°36.139'	130°19.209'	-	-	○	○	○	○
Stn. 18	33°42.000'	130°15.900'	-	-	-	-	○	○

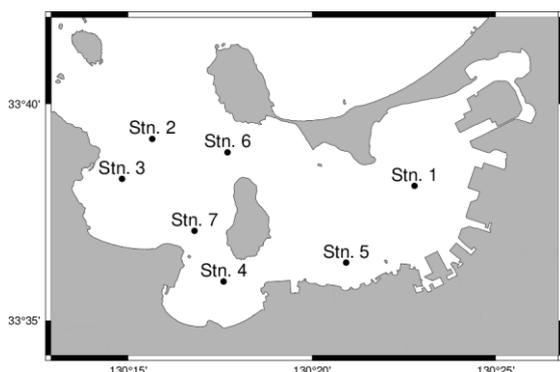


図 1 調査地点

得られた魚探海底エコーからエコーレベルと海底後方散乱強度 (Bottom Surface Backscattering Strength) を算出した。海底後方散乱強度 (以下 SS とする) は海水中を音波が伝搬していく過程で減衰する音響エネルギーや水深差によるビームの反射範囲等を補正した値で以下の式から得られる。

$$SS = EL + 30 \log(r) + 2\alpha r - KTR + SsOffset - 120$$

$$SsOffset = 10 \log(r/A)$$

$$A = \pi \times r^2 \times \tan(\pi \times fai/180)^2 \dots r < R$$

$$A = \pi \times c \times t (r + c \times t/4) \dots r \geq R$$

$$R = ((c \times t/2) \times \cos(\pi \times fai/180)) / (1 - \cos(\pi \times fai/180))$$

EL : 収録データの digit 値×機種固有係数[dBV]

KTR : 送受信係数[dBV]

r : 水深[m]

α : 吸収係数[dB/m]

c : 音速[m/s]

t : パルス幅[s]

fai : 送受波器指向角[°]

2つの送信出力を用いた2020年6月15日と8月17日の調査時の魚探海底エコーについて、魚探機器が受信できるエコーレベルの最大値を超えた異常値の割合を送信出力ごとに求めた。次に、2020年6月15日、8月17日、10月20日の送信出力4の魚探海底エコーを用い、調査地点ごとに船速別のSSを算出した。

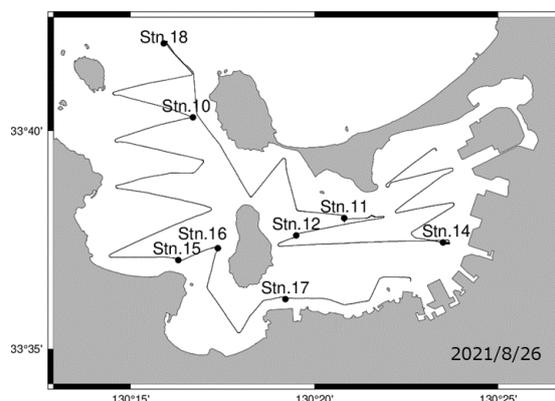
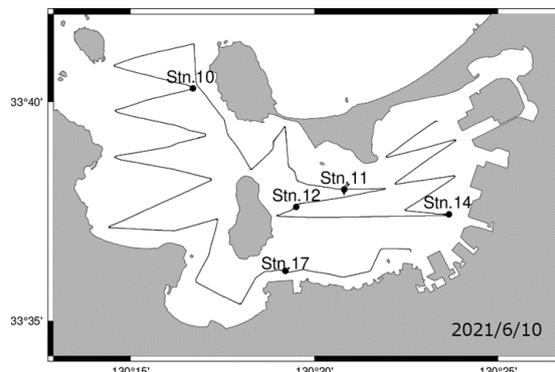
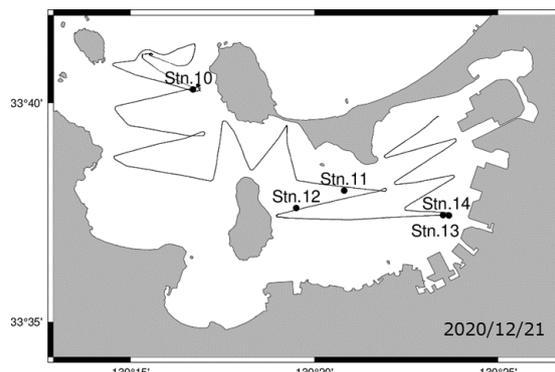


図 2 魚探調査の航跡と採泥地点

2. 魚探調査および採泥調査

魚探海底エコーと底質の粒度組成を比較するため下記の調査を行った。方法1に示した魚探調査時に、同調査地点において、スミス・マッキンタイヤ採泥器

を用いて、底泥の0~5cm層を採取混合して持ち帰り、フルイ法・比重法により泥分率と M_{dφ} を求めた。なお、泥分率は粒径 75μm 以下の泥の割合とした。また、2020年10月20日の魚探調査時には、Stn.1~5に加えてStn.6, 7でも魚探・採泥調査を行った(表1, 図1)。

次に、2020年12月21日、2021年6月10日、8月26日に船速12~13kt, 送信出力4で福岡湾内を航行し、魚探海底エコーを収集するとともに、魚探海底エコーに特徴的な反応が見られた地点において、魚探・採泥調査を行った(表2, 図2)。

魚探調査の結果から各調査地点の SS を算出し、採泥調査の結果から得られた泥分率、M_{dφ} との相関を調べた。

結 果

1. 魚探海底エコーの最適取得条件

2020年6月15日、8月17日の送信出力4の魚探海底エコーでは、エコーレベルが最大値を超えている異常値の割合はそれぞれ全体の0.2%, 1%であったが、送信出力10のデータではそれぞれ34%, 47%であった(表3)。

また、異常値が少なかった送信出力4の船速別の SS を比較すると、2020年6月15日の Stn.1 では0ktの SS は他の船速よりも高くなり、Stn.3, 5では低くなった。一方、2020年8月17日ではすべての船速で近い値となった。また、2020年10月20日の Stn.3, 5の0ktの SS は他の船速よりも低くなった(図3)。

表3 送信出力別の異常値の割合 (%)

送信出力	2020年	
	6月15日	8月17日
4	0.2	1
10	34	47

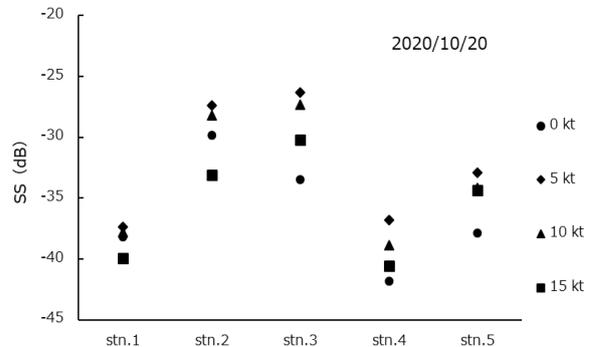
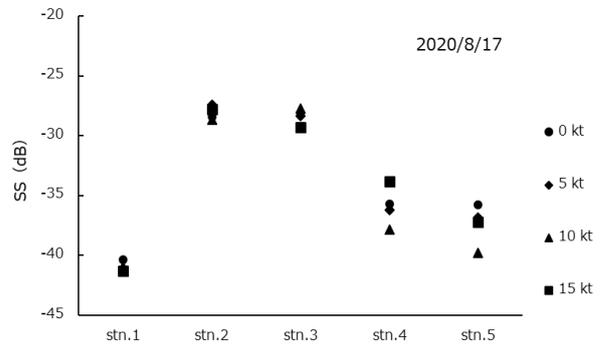
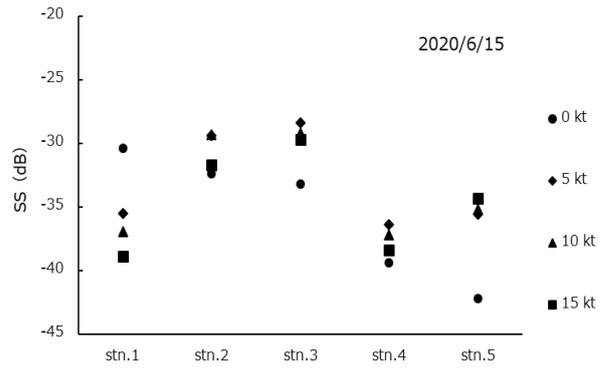


図3 各調査地点における船速別の SS

表4 各調査地点の泥分率、M_{dφ} および SS

調査地点	泥分率 (%)								M _{dφ}				SS (dB)												
	2020				2021				2020				2021				2020				2021				
	6/9	8/17	10/20	12/21	6/10	8/26	6/9	8/17	10/20	12/21	6/10	8/26	6/9	8/17	10/20	12/21	6/10	8/26	6/9	8/17	10/20	12/21	6/10	8/26	
Stn. 1	93.5	96	95.7	-	-	-	-	4.8	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 2	42.5	46.1	31.9	-	-	-	3.3	3.4	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 3	4	29.3	5.2	-	-	-	2.3	2.6	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 4	73.6	72.1	77.1	-	-	-	-	4.1	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 5	87.7	88.9	91.6	-	-	-	-	4.5	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 6	-	-	63.9	-	-	-	-	-	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 7	-	-	70.5	-	-	-	-	-	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 10	-	-	-	1.9	0.2	1.7	-	-	-	0.8	0.4	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 11	-	-	-	28.6	79	81.8	-	-	-	2.3	6.1	6.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 12	-	-	-	96.1	98.3	97.9	-	-	-	4.3	6.8	6.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 13	-	-	-	78.4	-	-	-	-	-	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 14	-	-	-	32.2	36.1	26	-	-	-	1.4	2.1	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 15	-	-	-	-	-	65.8	-	-	-	-	-	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 16	-	-	-	-	-	41.7	-	-	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 17	-	-	-	-	90.1	89.5	-	-	-	-	6.3	6.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stn. 18	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2. 魚探調査および採泥調査

各調査地点の泥分率, $Md\phi$, SS について, 湾口付近の Stn.10, 18 では泥分率 0.2~1.9%, $Md\phi$ 0.3~0.8 と低く, SS は-28.5~-26.9dB と高かった(表 4)。一方, 湾奥の Stn.1, 5, 17 では泥分率 87.7~96%, $Md\phi$ 4.2~6.4 と高く, SS は-41.1~33.8dB と低かった。また, Stn.11 では, 2020 年 12 月 21 日と 2021 年 8 月 26 日の泥分率はそれぞれ 28.6%, 81.8%, SS はそれぞれ -29.4dB, -41.1dB であり, 時期による変化がみられた。さらに, 2020 年 12 月 21 日の St.13 は泥分率 78.4%, $Md\phi$ 4.0 であったのに対し, 近くの Stn.14 では泥分率 32.2%, $Md\phi$ 1.4 と差があった。このとき Stn.14 の SS は Stn.13 と比較して 4.3dB 高く, 局所的な変化に対応していた。

各調査地点における SS と泥分率および $Md\phi$ の相関を調べたところ, 強い負の相関が見られ, 相関係数はそれぞれ -0.8903, -0.8018, 近似式が $Y=-0.12X-26.767$, $Y=-1.9541X-26.61$ であった(図 4, 5)。

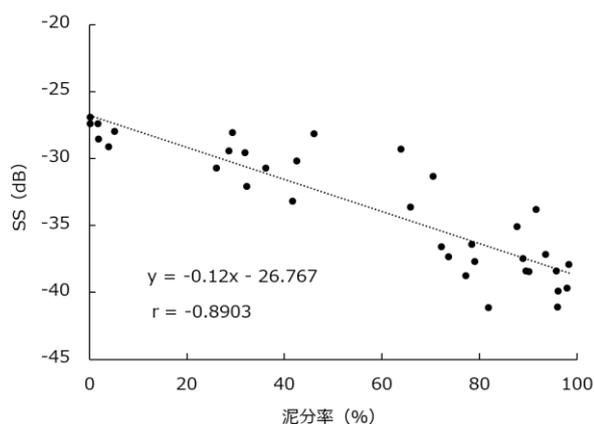


図 4 SS と泥分率の相関

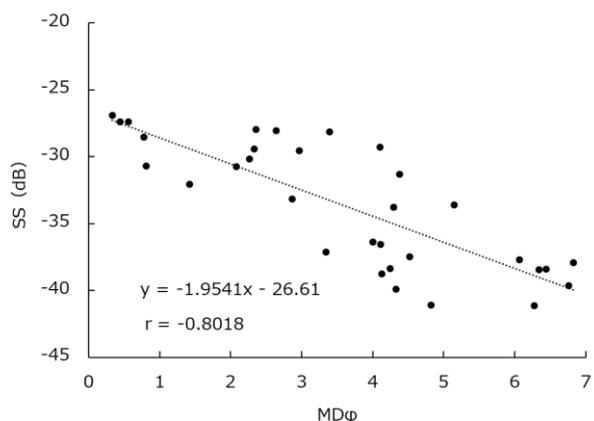


図 5 SS と $Md\phi$ の相関

考 察

福岡湾での魚探海底エコーの取得条件について, 送信出力 10 では送信出力 4 より異常値の割合が高かった。これは本研究の調査海域の水深が浅く, 送信出力 10 の強い音波では, 機器の受信できる最大値を超えたためと考えられる。海底のエコーレベルが最大値を超えた場合, SS を過小評価するため正常なデータが得られないことから本研究では送信出力 4 のデータを用いた。また, 船速 0 kt 時の SS は他の船速と大きく異なる傾向となった。これは自船によって引き起こされた気泡により, 魚探の送受波器が感度不良となったためと示唆される。このことから魚探調査は 5~15kt の船速が望ましいと考えられた。さらに, 短時間でより広い範囲を調査するため, 魚探音波発射の間隔が 10m 毎に 1 回となる船速 12~13kt を魚探調査時の船速と定めた。東京湾における音響装置を用いた底質調査でも同様に, 気泡による影響と解析データの間隔を 10m 毎に 1 回とすることを考慮してデータ取得時の船速を定めている⁵⁾。以上のことから, 浅海域での魚探海底エコーの取得条件は送信出力 4, 船速 12~13kt が最適と考えられる。

底質調査はこれまで各地で行われてきたが²⁻⁴⁾, それらは限られた調査地点で採泥・分析する方法であり, 広域の底質を把握する場合その精度は低いものとなる。本研究は SS と泥分率および $Md\phi$ の間に負の相関があることを明らかにし, 魚探海底エコーから底質を判別することが可能であることを示した。さらに本研究の手法では 10m 間隔で魚探海底エコーが得られるため, これまでの限定的な調査地点から判別された底質と比較すると広域的かつ高精度に底質を判別可能と考えられる。

音響機器を用いたこのような海底調査は各地で行われており, インドネシアのセリブ諸島では, 音響測深機から得られたデータと採泥結果から SS は砂の含有率に比例し, シルトと粘土の含有率に反比例することが示されている⁶⁾。また, 有明海やスマトラ島・ジャワ島で行われた計量魚探を用いた調査でも, SS は砂の含有率と比例することが報告されている^{7, 8)}。しかし, これらの研究は音響装置や計量魚探を用いており, 本研究で使用している一般的な調査船や漁船などで使用される漁労用魚探で行った報告はない。

魚探海底エコーから底質を判別することが可能となったことから, 2020 年 12 月 21 日, 2021 年 6 月 10 日, 8 月 26 日の調査で得られた福岡湾内の魚探海底エコーを底質の指標(泥分率, $Md\phi$)に変換し, 福岡湾

の底質マップを作成した（図 6, 7）。

2020年12月21日は湾奥で泥分率50~90%, $Md\phi 3 \sim 6$ となり, 特に海岸線付近で硬い底質が局所的にみられた。2021年6月10日は2020年12月21日と比較して湾口付近の底質が泥分率10~80%, $Md\phi 0 \sim 5$ と変化が顕著となった。2021年8月26日は2021年6月10日と比較して湾口, 湾奥ともに泥化傾向が見られた。このように底質の時期による変化や, 局所的な変化を捉える高精度な底質マップの作成が可能となった。次に, 本研究の底質マップと過去の底質調査の比較を行った。1974年9月には湾内のほぼ全域で泥分率40~60%の底質が広がっていたが²⁾, 2007年9月には湾奥の泥分率が65~90%と泥化し, 反対に湾口付近の

泥分率は1~20%と砂化した。さらに, 能古島南部では泥分率は61%であった⁴⁾。

本研究から得られた底質マップのうち, 過去の調査と最も近い時期の2021年8月26日の泥分率マップでは, 湾奥は泥分率80~100%, 湾口付近では泥分率30~80%であり2007年9月と比較すると湾奥, 湾口ともに泥化が進んでいることが示唆された。

特に能古島北西部から湾口にかけて泥化の傾向は顕著で2007年9月ではみられなかった泥分率80%以上の底質が一部広がっていた。さらに, 能古島南部では2007年9月の泥分率61%と比較して, 泥分率80~90%と高くなっていった。このことから, 泥分率80%以上の底質が福岡湾東部から西部にかけて広がっていることが示唆された。

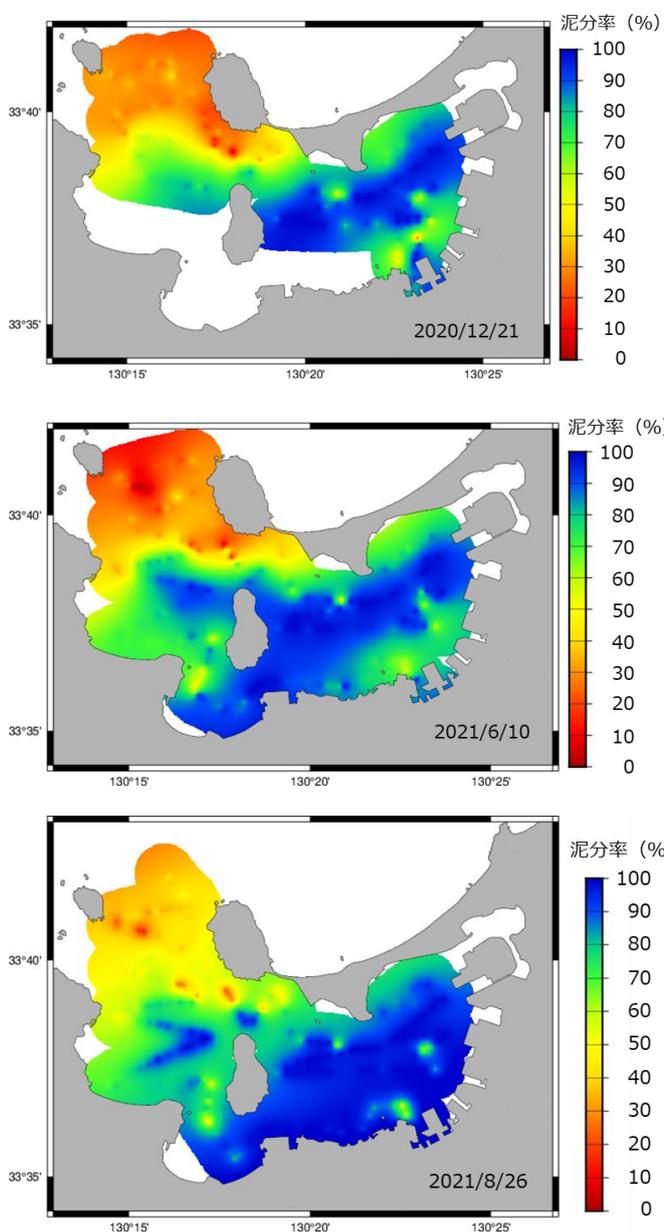


図 6 泥分率マップ

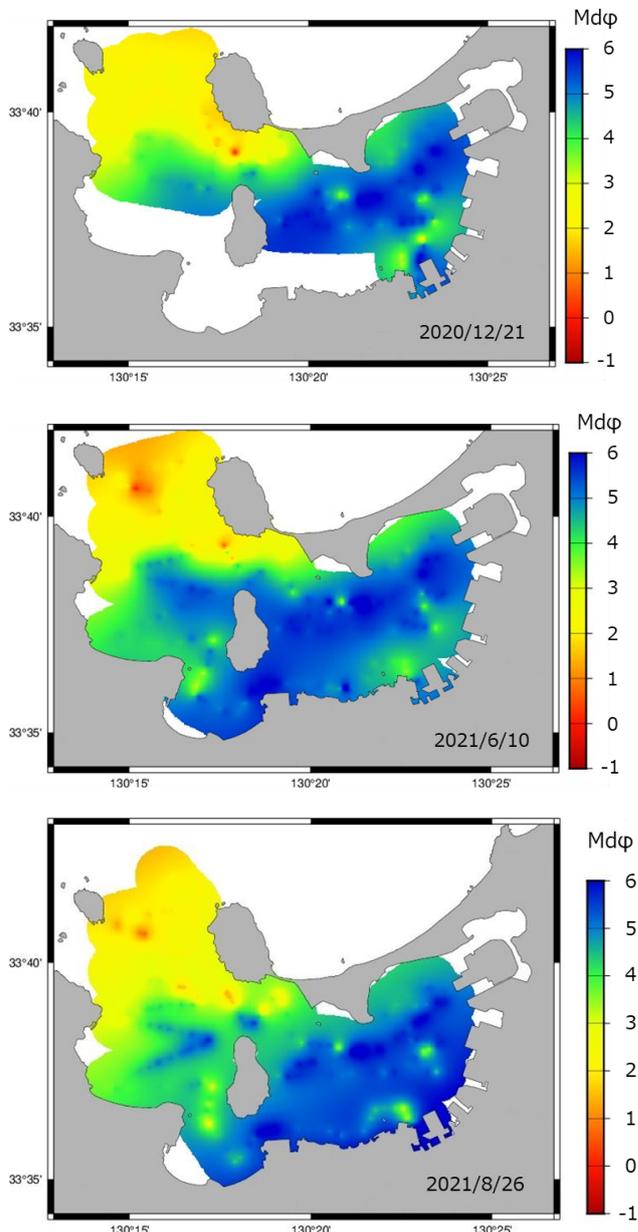


図 7 $Md\phi$ マップ

本研究において漁労用魚群探知機を用いた底質調査方法が示され、従来の底質調査よりも高精度で簡易な調査が可能となった。今後、他の海域や他の船で底質調査を行う場合、本研究と同様の手順で調査を行い SS と粒度組成の近似式を出すことにより調査が可能になると考えられる。また、他の船で調査を行う場合、同じ調査地点をそれぞれの船で測定し、その調査地点の SS を比較することで船間の較正が可能とされており⁹⁾、本研究の調査地点を別の船で航行し、SS を比較することで採泥調査を行わずに底質調査が可能であることが示唆される。今後は本研究の技術を用いて定期的に福岡湾の底質マップの作成を行い、漁場環境の把握や迅速性が求められる豪雨災害の影響調査等に活用したい。

文 献

- 1) 篠原満寿美, 杉野浩二郎, 佐藤利幸, 池内仁, 吉田幹英, 本田清一郎, 神菌真人. 福岡湾における植物プランクトン群集の季節変動. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 1999 ; **9** : 33-38.
- 2) 河辺克己, 北森良之助, 本城凡夫, 川上大和, 田中義興. 博多湾の底生動物と底質. 福岡県福岡水産試験場研究業務報告 1976 : 208-230.
- 3) 田中義興, 川上大和, 河辺克己, 本田輝雄, 兵頭秀樹. 博多湾とその周辺海域における底生動物について. 福岡県福岡水産試験場研究業務報告 1979 : 152-170.
- 4) 恵崎撰. 底質環境から見た福岡湾の現状. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; **19** : 171-175.
- 5) 岡田智也, 古川恵太. 音響底質識別装置を用いた東京湾沿岸域の底質分布図の作成. 海洋開発論文集 2005 ; **21** : 749-754.
- 6) Manik HM. Acoustic Characterization of Fish and Seabed Using Underwater Acoustic Technology in Seribu Island Indonesia. *Journal of Marine Science: Research & Development* 2015 ; **5** : 1-9.
- 7) 青山千春, 滝川清, 秋元和實, 園田吉弘. 魚群探知機を利用した海底・海中環境特性把握のための音響的観測手法確立に関する研究. 海洋開発論文集 2007 ; **23** : 549-554.
- 8) Fauziyah, Priatna A, Prakoso WF, Hidayat T, Surbakti H, Nurjuliasti E. Measurement and analysis of acoustic backscattering strength for characteristics of seafloor sediment in Indian Ocean WPP 572-573 . *Earth and Environmental Science* 2018 ; **162** : 1-10.
- 9) 青山千春, 濱田悦之, 古澤昌彦. 海底反射を利用した計量魚群探知機の総合的検証. 日本水産学会誌 1999 ; **65** : 78-85.

豊前海の長期環境変動に関する研究

後川 龍男・黒川 皓平・田中 慎也・鹿島 祥平
(豊前海研究所)

地球温暖化について世界的に議論される中、日本近海でも長期的な水温上昇傾向が報告されていることから、豊前海における長期水温変動について 48 年分の浅海定線調査データを元に解析した。また同データを用いて長期栄養塩濃度の変動についても解析した。その結果、豊前海の水温は長期上昇傾向、DIN 濃度は長期減少傾向にあることが確認され、48 年間の年平均全層平均値では、水温が 0.89℃ 上昇、DIN 濃度が 2.38μM 減少したと試算された。水温に関しては夏季以外の上昇傾向が顕著であった。DIN 濃度に関しては夏季を除いて減少傾向にあり、特に秋季と冬季の減少傾向が顕著であった。

キーワード：豊前海，水温，DIN

地球温暖化の議論は近年世界的に盛んとなっており、海水温の上昇についても同様である。日本近海でも長期的な海水温の上昇傾向が報告されており、瀬戸内海の周辺海域でも、直近の報告では四国・東海沖で +1.24℃/100 年、東シナ海で +1.25℃/100 年¹⁾ の長期的な水温上昇傾向が報告されている。瀬戸内海西部の周防灘の一部である豊前海でも過去に佐藤、神菌²⁾ が長期的な水温上昇傾向を報告しており、その要因としてレジームシフトが示唆されているが、それ以降の観測データによる検討は未実施である。

また、瀬戸内海の水質汚濁防止対策として 1973 年に瀬戸内海環境保全特別措置法（以下、特措法）が制定され、海域への窒素やリンの排出が強力に規制された結果、栄養塩不足による養殖ノリの色落ちや基礎生産力の低下による漁獲量の減少など、瀬戸内海の栄養塩濃度が低下し水質が大幅に改善した一方で当初想定されていなかった負の影響も指摘されるようになった³⁾。これに対応するため 2021 年に特措法が改正され、これまでの栄養塩削減のみを進める対策だけではなく、関係府県知事が策定した計画に基づき、特定の海域への栄養塩供給も可能となった。

こうした状況の中、今後の水産施策に活用する基礎データとして、温暖化に関連する水温と、特措法改正に係る栄養塩（DIN および DIP）濃度について、豊前海における長期変動をとりまとめたので報告する。

方 法

豊前海では昭和 20 年代から月 1 回の定期海洋観測調査

が行われている。初期の調査定点は 3~5 点で位置も度々変更されてきたものの、1971（昭和 46）年 4 月以降は、現在と同一地点で浅海定線調査が行われている⁴⁾（図 1）。これを踏まえて使用可能なデータを精査した結果、1972 年 1 月から 2019 年 12 月までの 48 年間の水温および DIN、DIP 濃度について、観測データの抽出、取りまとめおよび解析を行った。

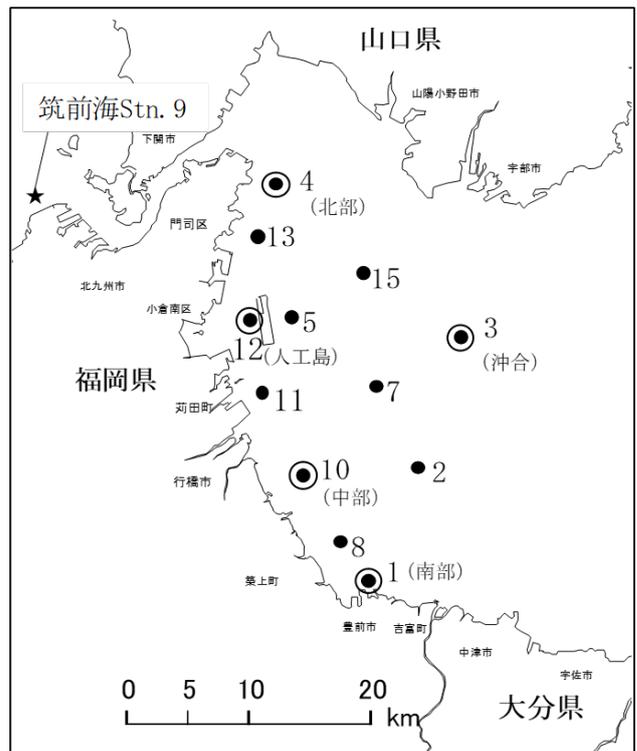


図 1 調査定点（数字は Stn 番号，○囲みは代表点）

浅海定線調査は月1回、原則として月上旬に行われている。今回使用したデータの調査点は図1に示した12定点、観測層は0m層（表層）、5m層、B-1m層の3層とし、抽出した観測項目は水温及びDIN、DIP（リン酸態リン）濃度とし、DINについては、アンモニア態窒素および硝酸態窒素、亜硝酸態窒素の合計とした。観測項目ごとの観測方法を表1に示した⁴⁾。使用期間等については事業報告書等に記録のない場合もあったため、一部は機器の購入履歴等から推定し記載した。

解析にあたっては、観測値の平均値を算出してデータを取りまとめた。豊前海全体の層別月平均値は同月の12調査点の同一観測層における観測値の単純平均、全層月平均値は層別月平均値の単純平均、層別年平均値および全層年平均値はそれぞれ層別月平均値および全層月平均値の単純平均とした。これらを48年分取りまとめて解析した。

水温については更に、海域別の特徴を検討するため図1に示した沖合1点（Stn.3：沖合）と沿岸4点（Stn.4：北部、Stn.12：人工島、Stn.10：中部、Stn.1：南部）の計5点を代表点として解析した。代表点別の層別月観測値はそれぞれの生観測値を使用し、全層月平均値は層別月観測値（0m、5m、B-1mの3層）の単純平均、層別年平均値および全層年平均値はそれぞれ層別月平均値および全層月平均値の単純平均とした。これらを48年分取りまとめて解析した。

データの解析は、各データを48年分並べて最小二乗法による線形回帰分析を行い、P値から有意水準95%で回帰直線の有意性を判断した。有意と判定されたデータ項目のみ上昇（あるいは下降）傾向があると評価し、回帰直線の傾きから48年間での上昇（下降）幅を試算した。

なお欠測値についてはこれを含めずに回帰分析を行

った。すなわち豊前海全体の月別平均値については、観測自体の中止による全点欠測のみ欠測値とし、一部定点の欠測や、一部定点の一部観測層における欠測の場合は、これを無視して層別平均値および全層平均値を算出した。代表点別の月平均値については、調査水深3層の中に欠測値がある定点では全層平均値を算出せず、欠測値とした。また豊前海全体、代表点別とも、欠測月がある年の年平均値は欠測値とした。

結 果

豊前海の水温の解析結果を表2、3に、DIN、DIP濃度の解析結果を表4にそれぞれ示した。表には回帰直線の傾きを「変化率」、回帰直線のR2乗値から算出された「P値」、 $P < 0.05$ となり回帰直線の有意性が5%水準で確認された項目について変化率から試算した48年間の上昇（下降）幅を「変化量」として数値を記載した。なお $P \geq 0.05$ となり5%水準で有意性が確認されなかった項目の変化量は「-」で記載した。

豊前海全体の全層平均水温は、年平均値および2～4月、10～12月の月平均値で上昇傾向を示し、全層年平均水温は48年間で0.89℃上昇したと試算された（図2）。層別月平均水温は2月の0m層を除き2～4月、10～12月に各層で上昇傾向を示した。

代表点別の全層平均水温は、年平均値及び3～4月、10～12月の全点、1～2月の北部、2月の中部、南部、5月の人工島で上昇傾向を示した。層別月平均水温は3月、11月、12月に全点の各層で上昇傾向を示した。また、1月に北部の各層、2月に北部の5m、B-1m層および中部、南部の各層、4月に沖合と中部の0m層を除く全点の各層、5月に北部のB-1mと人工島の5m層、10月に人工島の0m層を除く全点の各層で上昇傾向を示した。

表1 観測項目別の主な観測機器、分析方法、使用期間（一部重複期間あり）

観測項目	水温	栄養塩			
		DIN	DIP		
		NH4-N	NO2-N	NO3-N	P04-P
使用期間 観測機器・手法 (メーカー)	1972-1976 電気温度計 (電気化学計器 K.K.製)	1972-1983 インドフェノール法	1972-1974 グリース・ロミン法	1972-1980 銅還元法	1972-1974 ドンゼ法
	1976-1982 棒状水銀温度計		1974-1983	1980-1983	1974-1983
	1982-1985 電気温度計 (東邦電探 ET-5D)		ストリ克蘭ド法	Cu-Cdカラム 還元法	ストリ克蘭ド法
	1985-1989 CSTD (アレック電子 ADR-500)			1984-	
	1989-2001 STD (アレック電子 AST-1000M)		テクニコンオートアナライザーII (1984-1998) オートアナライザートラックス800 (1998-)		
	2000-2015 クロロテック (アレック電子 ACL-208)	インドフェノール青 吸光度法	ナフチルエチレンジアミン 吸光度法	Cu-Cdカラム 還元法	モリブデン青-アスコルビン酸還元 吸光度法
	2015- クロロテック (JFEアドバンテック ASTD-102)				

表2 豊前海における水温の長期変動解析結果（豊前海全体（全点平均），沖合（Stn.3），北部（Stn.4））

水深	時期	豊前海全体 (全点平均)			沖合 (Stn. 3)			沿岸 北部 (Stn. 4)		
		変化率 (°C/年)	P値	変化量 (°C/48年)	変化率 (°C/年)	P値	変化量 (°C/48年)	変化率 (°C/年)	P値	変化量 (°C/48年)
0m	1月	0.0213	0.1446	-	0.0228	0.1413	-	0.0373	0.0151	1.791
5m		0.0237	0.1051	-	0.0230	0.1368	-	0.0440	0.0042	2.114
B-1m		0.0243	0.0950	-	0.0164	0.3288	-	0.0394	0.0075	1.892
全層		0.0231	0.1129	-	0.0207	0.1886	-	0.0403	0.0070	1.933
0m	2月	0.0201	0.0581	-	0.0140	0.1390	-	0.0231	0.0946	-
5m		0.0212	0.0446	1.016	0.0149	0.1186	-	0.0270	0.0470	1.296
B-1m		0.0223	0.0353	1.070	0.0154	0.1396	-	0.0290	0.0250	1.393
全層		0.0212	0.0448	1.017	0.0148	0.1256	-	0.0264	0.0472	1.265
0m	3月	0.0258	0.0252	1.238	0.0238	0.0190	1.141	0.0330	0.0015	1.584
5m		0.0298	0.0083	1.430	0.0300	0.0024	1.438	0.0368	0.0004	1.767
B-1m		0.0290	0.0088	1.392	0.0270	0.0039	1.297	0.0355	0.0007	1.702
全層		0.0282	0.0121	1.354	0.0269	0.0045	1.292	0.0352	0.0007	1.690
0m	4月	0.0244	0.0140	1.170	0.0157	0.0784	-	0.0295	0.0011	1.415
5m		0.0285	0.0012	1.370	0.0265	0.0017	1.274	0.0354	0.0001	1.702
B-1m		0.0268	0.0021	1.286	0.0203	0.0128	0.977	0.0384	0.0001	1.842
全層		0.0266	0.0029	1.275	0.0209	0.0072	1.001	0.0344	0.0002	1.653
0m	5月	0.0041	0.7368	-	-0.0116	0.3801	-	0.0085	0.4480	-
5m		0.0123	0.2802	-	0.0020	0.8748	-	0.0137	0.1877	-
B-1m		0.0161	0.1201	-	0.0039	0.6734	-	0.0242	0.0141	1.162
全層		0.0108	0.3208	-	-0.0019	0.8430	-	0.0154	0.1268	-
0m	6月	-0.0106	0.3519	-	-0.0121	0.7579	-	-0.0048	0.6803	-
5m		0.0022	0.8325	-	0.0010	0.8288	-	0.0026	0.8164	-
B-1m		-0.0006	0.9543	-	-0.0176	0.3061	-	-0.0068	0.5626	-
全層		-0.0030	0.7645	-	-0.0096	0.3980	-	-0.0030	0.7834	-
0m	7月	-0.0049	0.7274	-	-0.0006	0.9652	-	-0.0067	0.6267	-
5m		0.0042	0.7069	-	0.0104	0.4195	-	0.0011	0.8246	-
B-1m		0.0018	0.8813	-	-0.0114	0.5053	-	0.0127	0.4725	-
全層		0.0004	0.9744	-	0.0013	0.9062	-	0.0035	0.7717	-
0m	8月	0.0139	0.3068	-	0.0141	0.3280	-	0.0149	0.2884	-
5m		0.0077	0.5450	-	0.0122	0.3930	-	0.0129	0.3340	-
B-1m		0.0109	0.4604	-	0.0114	0.5326	-	0.0237	0.2757	-
全層		0.0108	0.3648	-	0.0125	0.2252	-	0.0172	0.2353	-
0m	9月	-0.0018	0.8791	-	0.0041	0.7424	-	-0.0019	0.8657	-
5m		0.0070	0.5462	-	0.0047	0.6978	-	0.0053	0.6252	-
B-1m		0.0081	0.5044	-	-0.0108	0.4797	-	0.0084	0.5641	-
全層		0.0044	0.6987	-	-0.0007	0.9519	-	0.0039	0.7359	-
0m	10月	0.0266	0.0126	1.278	0.0292	0.0024	1.403	0.0282	0.0071	1.355
5m		0.0325	0.0017	1.559	0.0346	0.0003	1.663	0.0318	0.0021	1.528
B-1m		0.0336	0.0008	1.615	0.0339	0.0003	1.625	0.0340	0.0011	1.631
全層		0.0309	0.0027	1.484	0.0326	0.0005	1.564	0.0314	0.0025	1.505
0m	11月	0.0293	0.0074	1.407	0.0365	0.0005	1.752	0.0377	0.0011	1.812
5m		0.0312	0.0039	1.496	0.0374	0.0004	1.796	0.0391	0.0006	1.876
B-1m		0.0319	0.0016	1.530	0.0382	0.0008	1.834	0.0396	0.0006	1.898
全層		0.0308	0.0036	1.478	0.0374	0.0005	1.794	0.0388	0.0007	1.862
0m	12月	0.0434	0.0009	2.083	0.0477	0.0001	2.288	0.0434	0.0002	2.082
5m		0.0444	0.0006	2.130	0.0477	0.0001	2.288	0.0423	0.0003	2.030
B-1m		0.0445	0.0006	2.136	0.0528	0.0003	2.535	0.0398	0.0003	1.911
全層		0.0441	0.0007	2.115	0.0494	0.0002	2.371	0.0418	0.0003	2.008
0m	年平均	0.0149	0.0040	0.717	0.0149	0.0094	0.714	0.0187	0.0005	0.896
5m		0.0197	0.0002	0.944	0.0197	0.0008	0.947	0.0230	0.0000	1.105
B-1m		0.0209	0.0003	1.001	0.0163	0.0234	0.783	0.0255	0.0001	1.223
全層		0.0185	0.0005	0.887	0.0172	0.0042	0.824	0.0223	0.0001	1.069

表3 豊前海における水温の長期変動解析結果（人工島（Stn.12），中部（Stn.10），南部（Stn.12））

水深	時期	沿岸								
		人工島（Stn.12）			中部（Stn.10）			南部（Stn.1）		
		変化率 （℃/年）	P値	変化量 （℃/48年）	変化率 （℃/年）	P値	変化量 （℃/48年）	変化率 （℃/年）	P値	変化量 （℃/48年）
0m	1月	0.0172	0.3280	-	0.0156	0.3263	-	0.0222	0.1479	-
5m		0.0197	0.2646	-	0.0206	0.1957	-	0.0216	0.1344	-
B-1m		0.0180	0.2812	-	0.0205	0.1905	-	0.0265	0.0588	-
全層		0.0196	0.8560	-	0.0189	0.2301	-	0.0214	0.1395	-
0m	2月	0.0210	0.1114	-	0.0263	0.0365	1.264	0.0253	0.0262	1.216
5m		0.0254	0.0560	-	0.0267	0.0279	1.280	0.0233	0.0438	1.119
B-1m		0.0234	0.0888	-	0.0278	0.0191	1.334	0.0249	0.0223	1.197
全層		0.0233	0.0812	-	0.0269	0.0263	1.292	0.0238	0.0350	1.140
0m	3月	0.0274	0.0467	1.316	0.0273	0.0304	1.310	0.0327	0.0128	1.569
5m		0.0319	0.0492	1.532	0.0340	0.0097	1.630	0.0321	0.0134	1.542
B-1m		0.0308	0.0177	1.479	0.0302	0.0137	1.449	0.0335	0.0070	1.610
全層		0.0323	0.0173	1.548	0.0317	0.0128	1.522	0.0328	0.0110	1.573
0m	4月	0.0268	0.0075	1.287	0.0222	0.0837	-	0.0290	0.0120	1.393
5m		0.0309	0.0045	1.484	0.0287	0.0037	1.378	0.0296	0.0026	1.420
B-1m		0.0271	0.0054	1.300	0.0260	0.0045	1.247	0.0270	0.0041	1.295
全層		0.0325	0.0030	1.558	0.0260	0.0112	1.250	0.0274	0.0050	1.317
0m	5月	0.0064	0.6057	-	0.0110	0.4008	-	0.0168	0.2234	-
5m		0.0270	0.0247	1.295	0.0174	0.1682	-	0.0183	0.1620	-
B-1m		0.0225	0.0581	-	0.0134	0.2652	-	0.0198	0.1359	-
全層		0.0261	0.0275	1.253	0.0207	0.0787	-	0.0183	0.1539	-
0m	6月	-0.0048	0.6803	-	-0.0048	0.6803	-	-0.0048	0.6803	-
5m		0.0219	0.0740	-	-0.0012	0.9180	-	-0.0110	0.3902	-
B-1m		0.0081	0.4552	-	-0.0034	0.7788	-	-0.0058	0.6289	-
全層		0.0188	0.1190	-	-0.0001	0.9887	-	-0.0108	0.3638	-
0m	7月	-0.0034	0.8004	-	-0.0058	0.7158	-	-0.0093	0.6038	-
5m		0.0142	0.2973	-	0.0021	0.8878	-	0.0020	0.8987	-
B-1m		0.0222	0.2693	-	-0.0119	0.9310	-	-0.0016	0.8965	-
全層		0.0212	0.0960	-	0.0032	0.8057	-	-0.0009	0.9489	-
0m	8月	0.0140	0.3151	-	0.0171	0.2416	-	0.0250	0.1320	-
5m		0.0132	0.3883	-	0.0017	0.9156	-	0.0054	0.7627	-
B-1m		0.0176	0.2670	-	0.0025	0.8841	-	0.0097	0.5509	-
全層		0.0242	0.0859	-	0.0070	0.6221	-	0.0129	0.4244	-
0m	9月	-0.0031	0.8108	-	-0.0057	0.6547	-	0.0002	0.9880	-
5m		0.0092	0.4623	-	0.0109	0.3964	-	0.0020	0.8642	-
B-1m		0.0114	0.4016	-	0.0119	0.3776	-	0.0097	0.4202	-
全層		0.0087	0.5122	-	0.0080	0.5163	-	0.0002	0.9865	-
0m	10月	0.0208	0.0620	-	0.0243	0.0375	1.168	0.0295	0.0254	1.418
5m		0.0294	0.0059	1.413	0.0369	0.0008	1.771	0.0391	0.0018	1.877
B-1m		0.0300	0.0044	1.442	0.0351	0.0009	1.685	0.0368	0.0010	1.768
全層		0.0285	0.0073	1.367	0.0350	0.0013	1.679	0.0354	0.0051	1.700
0m	11月	0.0248	0.0435	1.192	0.0294	0.0120	1.410	0.0351	0.0018	1.686
5m		0.0268	0.0355	1.288	0.0295	0.0123	1.414	0.0352	0.0031	1.692
B-1m		0.0289	0.0138	1.389	0.0331	0.0052	1.588	0.0331	0.0043	1.587
全層		0.0256	0.0401	1.231	0.0293	0.0138	1.407	0.0348	0.0030	1.669
0m	12月	0.0361	0.0101	1.734	0.0451	0.0015	2.167	0.0466	0.0035	2.237
5m		0.0336	0.0130	1.613	0.0474	0.0009	2.274	0.0486	0.0004	2.332
B-1m		0.0434	0.0021	2.082	0.0471	0.0008	2.259	0.0413	0.0020	1.983
全層		0.0341	0.0179	1.636	0.0465	0.0009	2.233	0.0492	0.0004	2.363
0m	年平均	0.0145	0.0120	0.697	0.0157	0.0043	0.754	0.0187	0.0005	0.896
5m		0.0282	0.0001	1.355	0.0181	0.0148	0.867	0.0210	0.0019	1.006
B-1m		0.0229	0.0002	1.099	0.0194	0.0011	0.931	0.0204	0.0004	0.980
全層		0.0187	0.0035	0.898	0.0210	0.0015	1.007	0.0219	0.0008	1.053

表4 豊前海における栄養塩類の長期変動解析結果

水深	時期	DIN			DIP		
		変化率 ($\mu\text{M}/\text{年}$)	P値	変化量 ($\mu\text{M}/48\text{年}$)	変化率 ($\mu\text{M}/\text{年}$)	P値	変化量 ($\mu\text{M}/48\text{年}$)
0m	1月	-0.0708	0.0013	-3.399	-0.0028	0.1252	-
5m		-0.0699	0.0015	-3.357	-0.0006	0.6096	-
B-1m		-0.0743	0.0008	-3.567	-0.0015	0.2329	-
全層		-0.0717	0.0011	-3.441	-0.0016	0.2383	-
0m	2月	-0.0313	0.0164	-1.500	-0.0034	0.2300	-
5m		-0.0323	0.0157	-1.549	-0.0015	0.4491	-
B-1m		-0.0350	0.0108	-1.682	-0.0051	0.1678	-
全層		-0.0328	0.0134	-1.577	-0.0033	0.2331	-
0m	3月	-0.0651	0.0006	-3.125	-0.0007	0.5370	-
5m		-0.0578	0.0012	-2.774	-0.0005	0.5987	-
B-1m		-0.0618	0.0012	-2.967	-0.0008	0.4958	-
全層		-0.0546	0.0033	-2.623	-0.0007	0.5357	-
0m	4月	-0.0476	0.0005	-2.285	0.0003	0.7165	-
5m		-0.0326	0.0077	-1.565	0.0001	0.8513	-
B-1m		-0.0380	0.0029	-1.822	0.0002	0.7645	-
全層		-0.0394	0.0019	-1.891	0.0002	0.7660	-
0m	5月	-0.0250	0.0041	-1.1982	-0.0006	0.4418	-
5m		-0.0282	0.0040	-1.3516	-0.0006	0.5522	-
B-1m		-0.0393	0.0001	-1.8847	-0.0013	0.1494	-
全層		-0.0308	0.0011	-1.4782	-0.0008	0.3284	-
0m	6月	-0.0048	0.6803	-	-0.0048	0.6803	-
5m		-0.0114	0.1589	-	-0.0001	0.9208	-
B-1m		-0.0227	0.0228	-1.0893	-0.0004	0.5232	-
全層		-0.0151	0.0712	-	-0.0003	0.6254	-
0m	7月	-0.0055	0.7929	-	0.0000	0.9802	-
5m		-0.0091	0.4938	-	-0.0001	0.9698	-
B-1m		-0.0545	0.0154	-2.6166	-0.0003	0.9226	-
全層		-0.0230	0.1571	-	-0.0001	0.9462	-
0m	8月	-0.0032	0.7253	-	-0.0021	0.0692	-
5m		-0.0081	0.3584	-	-0.0020	0.0689	-
B-1m		-0.0514	0.0006	-2.4654	-0.0049	0.0010	-0.2331
全層		-0.0209	0.0314	-1.0035	-0.0030	0.0076	-0.1442
0m	9月	-0.0177	0.3881	-	0.0018	0.1944	-
5m		-0.0297	0.1258	-	0.0011	0.4729	-
B-1m		-0.0610	0.0267	-2.927	-0.0010	0.6606	-
全層		-0.0361	0.0914	-	0.0006	0.7025	-
0m	10月	-0.0593	0.0396	-2.845	0.0018	0.1901	-
5m		-0.0661	0.0249	-3.171	0.0018	0.2048	-
B-1m		-0.0959	0.0068	-4.605	0.0007	0.6500	-
全層		-0.0738	0.0171	-3.541	0.0015	0.3141	-
0m	11月	-0.1005	0.0074	-4.824	0.0019	0.2356	-
5m		-0.1006	0.0053	-4.827	0.0012	0.5771	-
B-1m		-0.1311	0.0020	-6.292	0.0003	0.8468	-
全層		-0.1107	0.0040	-5.315	0.0011	0.5100	-
0m	12月	-0.0718	0.0383	-3.449	0.0009	0.5210	-
5m		-0.0740	0.0317	-3.551	0.0006	0.7029	-
B-1m		-0.0983	0.0067	-4.716	0.0003	0.8313	-
全層		-0.0814	0.0199	-3.905	0.0006	0.6702	-
0m	年平均	-0.0422	0.0001	-2.025	-0.0003	0.7139	-
5m		-0.0431	0.0000	-2.069	0.0000	0.9459	-
B-1m		-0.0635	0.0000	-3.050	-0.0011	0.2194	-
全層		-0.0496	0.0000	-2.382	-0.0005	0.5323	-

豊前海の全層平均 DIN 濃度は、年平均値および 6 月、7 月、9 月を除く月平均値で減少傾向を示し、全層年平均 DIN 濃度は 48 年間で 2.38 μM 減少したと試算された (図 3)。特に 10~1 月の減少幅は 3.44~5.32 μM と試算され、年平均値の減少幅よりも大きくなった。

層別でも、全層平均 DIN 濃度が減少傾向を示した月のほとんどで各層とも減少傾向を示したが、全層平均値では減少傾向が示されなかった 6 月、7 月、9 月でも、B-1m 層のみ減少傾向を示した。一方全層平均値で減少傾向を示した 8 月は、0m、5m 層で減少傾向が示されず、B-1m 層のみ減少傾向を示した。

豊前海の DIP 濃度については、年平均値では有意な変動傾向を示さず、増加あるいは減少の傾向は認められなかった (図 4)。全層月平均値では、8 月のみ減少傾向を示し、48 年間で 0.14 μM 減少したと試算された。層別月平均値でもほとんどの層、月で有意な変動傾向は示されなかったものの、8 月の B-1m 層のみ減少傾向を示した。

考 察

本研究により確認された豊前海の全層年平均水温の上昇幅は 48 年間で 0.89 $^{\circ}\text{C}$ であった。1973 年 1 月から 2003 年 12 月までの豊前海における浅海定線調査データを解析した佐藤、神菌²⁾によれば、解析期間の 28 年間で豊前海の水温は約 0.57 $^{\circ}\text{C}$ 上昇していると報告されており、本研究によればその後も現在まで上昇傾向が続いていることが確認された。また豊前海に隣接する山口県の周防灘海域でも 1972 年 4 月から 2003 年 3 月までの 30 年間で約 0.71 $^{\circ}\text{C}$ 上昇していることが報告されている⁵⁾。いずれも解析期間が異なるため今回得られた上昇幅との差については論じないが、豊前海を含む周防灘およびその周辺海域で水温が長期にわたって上昇傾向にあることは確実である。

この豊前海の水温上昇幅 0.89 $^{\circ}\text{C}/48$ 年は、同期間に換算して比較すると気象台から報告されている東シナ海北部や四国・東海沖の水温上昇幅 1.24~1.25 $^{\circ}\text{C}/100$ 年¹⁾ より

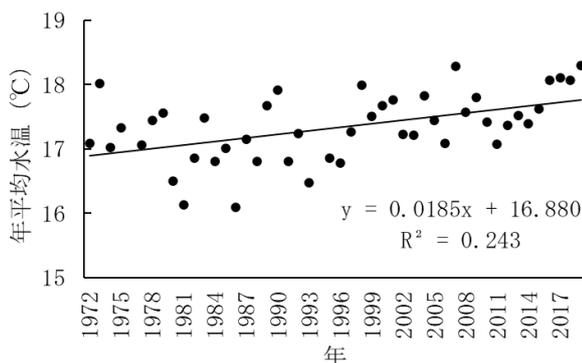


図 2 豊前海全体の全層年平均水温 (1972~2019)

り大きい。福岡の気温の上昇幅は 2.45 $^{\circ}\text{C}/100$ 年¹⁾ で先述の水温上昇幅より大きいことが報告されており、水深が浅い豊前海は気温の影響を受けやすいため、東シナ海北部や四国・東海沖より水温上昇幅が大きくなったと考えられる。逆に、4 月の Stn. 3 や Stn. 10 等、表層水温のみ上昇傾向を示さない事例は、直前の気象の影響を受けたために生じた可能性があり、豊前海のような浅海域において表層水温のみで変動傾向を評価する際には注意が必要である。

次に月別の水温上昇傾向を見ると、2~4 月および 10~12 月の水温が上昇しており、特に 12 月の水温上昇が顕著であった。福岡の気温は 3~5 月 (春季) と 9~11 月 (秋季) に、東シナ海北部や四国・東海沖の水温は 10~3 月に、それぞれ上昇幅が他の時季より大きいと報告されている¹⁾。すなわち豊前海の 12 月の水温上昇幅が特に大きい理由としては、もともと東シナ海北部や四国・東海沖の水温上昇幅が他の時季より大きいことに加え、9~11 月の気温上昇幅が大きいことため水温が以前より下がりにくくなっている可能性がある。

周辺海域の水塊が豊前海に及ぼす影響としては、1 月に北部のみで水温上昇傾向が確認されていることが挙げられる。北部 (Stn. 4)、沖合 (Stn. 3)、豊前海全体および福岡県の筑前海側で行われる浅海定線調査のうち豊前海に最も近い定点 (図 1 の筑前海 Stn. 9)⁶⁾ における 1999 年から 2019 年までの 1 月上旬の水温 (3 層平均水温) を図 5 に示した。これらを比較すると、1 月上旬の水温は概ね

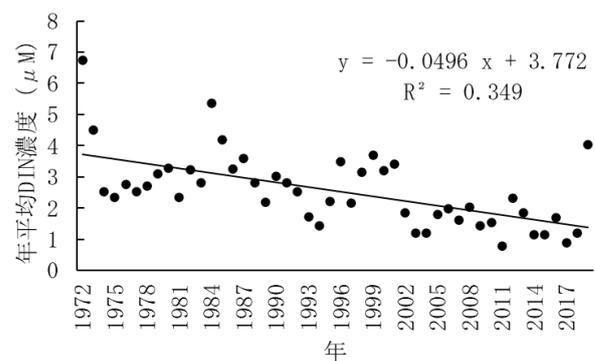


図 3 豊前海全体の全層年平均 DIN 濃度 (1972~2019)

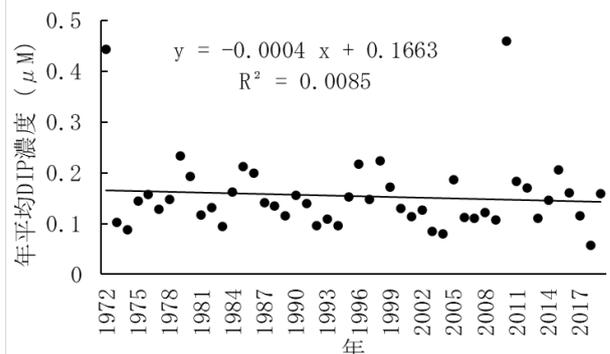


図 4 豊前海全体の全層年平均 DIP 濃度 (1972~2019)

豊前海平均<北部<筑前海 Stn.9 となっており、筑前海 Stn.9 の水温は豊前海平均よりも約3℃高く、北部の水温は豊前海平均よりも約1℃高かった。また伊予灘や豊後水道など南方由来の海水の影響を受けやすいと思われる沖合よりも北部のほうが高水温となる年が多く、1月の水温が北部>沖合となった年では両定点の水温差は2℃を超えることもあった。すなわち、豊前海全体の長期変動傾向とは異なり北部のみで1月に水温の上昇傾向が見られたのは、関門海峡から流入する筑前海由来の高水温の水塊による影響が北部で特に大きくなるのが要因と示唆された。

月別の水温上昇傾向から、豊前海の海況を過去と比較した場合、「秋の水温低下時期が遅れてきている」「冬が早く終わり春の水温上昇時期が早まっている」という傾向が認められた。こうした海況の変化は漁業にも影響を与えている可能性がある。例えばカキ養殖では高水温化に伴う秋季のカキの身入り遅れが示唆されており⁷⁾、実際過去には10月下旬頃であったカキの販売開始時期が、近年では11月中旬以降となっている。また豊前海におけるノリ養殖の採苗時期は、1970年代から2000年ごろまでは10月上旬だったが、2000年台半ばには10月中旬となり、近年では11月1日頃の採苗となっている⁶⁾。採苗方法の違いによる差はあるものの、ノリの採苗時期の変化は、秋の水温低下時期が遅れていることによる影響と考えられる。これらの他にも、水温が有意に上昇した季節に関連する代表的な魚種として、春のコウイカや、秋のガザミ、サワラ、冬のカレイ類などの来遊や漁獲にも影響が及んでいる可能性が考えられる。水温上昇と水産業との関連については今後、市場への魚種別水揚げ状況や、各漁業種の操業実態、特に操業位置が固定されている桁網に着目した魚種別の来遊状況を解析する等の方法で、より詳細に影響を検討する必要があるだろう。

栄養塩のうち、DIN 濃度については減少傾向が認められた一方、DIP 濃度については減少傾向が認められなかった。DIN 濃度については夏季を除いて減少傾向が認められ、特に底層では一年を通じて減少傾向が認められた。このこと

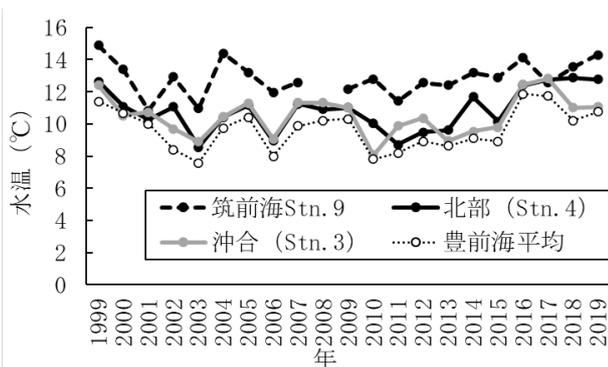


図5 1月の水温比較 (豊前海, 筑前海 Stn.9)

は特措法により水質改善が着実に進んできたことを示す一方、同じ瀬戸内海の播磨灘等で報告される DIN の減少によるノリ色落ち被害³⁾など、豊前海でもノリ養殖への影響が懸念されることを示している。豊前海区のノリ養殖経営体数は、1974年には700経営体を上回っていたが⁷⁾、現在は数経営体まで減少している。豊前海では特にノリ養殖の最盛期である10~1月にDIN濃度の減少幅が大きいことから、DINの減少が海区内のノリ養殖業の衰退につながった要因の一つである可能性がある。またDINが減少傾向にあることで、海域の基礎生産を担う珪藻類などの植物プランクトンも減少傾向にある可能性がある。カキの身入りとクロロフィル濃度との相関が中川ら⁸⁾によって示唆されているが、本研究でDIN濃度の減少幅が特に大きかった10~1月はカキの出荷時期と一致することから、DINの減少が植物プランクトンの減少につながれば、出荷時期のカキの身入りに悪影響を及ぼす可能性もある。今後この時期の植物プランクトン量の増減、あるいはクロロフィル濃度の長期変動傾向についても解析する必要がある。

一例として8月の底層DIN濃度を図6に示したとおり、本研究において6~9月のDIN濃度が底層のみで減少傾向を示した要因は次のとおりと考えられる。すなわち、夏季は成層が発達し海水の上下混合が起こりにくいため、夏季の底層DINの供給源は陸域由来よりも底質からの溶出が主体と考えられる。底質中の有機物量は過去と比較して減少しており底質が改善したことが報告されている³⁾ことから、夏季の底層DINの主供給源である底質が改善されたことにより底質からの溶出が減少傾向となり、6~9月の底層DIN濃度が減少したと考えられる。底質改善による栄養塩溶出量の減少は、8月の底層でDIP濃度も減少傾向を示したことから示唆される。一方で、覆砂によって窒素溶出速度が大きく低下することが実験的に確かめられていることから⁹⁻¹¹⁾、底質改善を目的として豊前海で行われてきた覆砂の効果により夏季の底質からの栄養塩溶出量が減少した可能性もある。

以上述べてきたように、豊前海の長期環境変動としては、

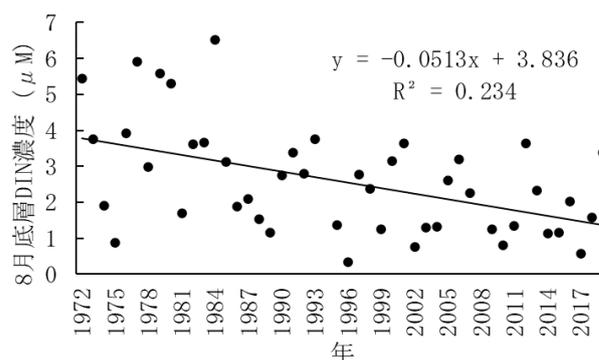


図6 8月の平均底層DIN濃度

水温の長期的な上昇傾向と、DIN 濃度の長期的な減少傾向が挙げられる。長期的な水温の上昇傾向については地球規模での気候変動と関連すると思われるため人為的な制御は難しいものの、昨今全国各地で導入され豊前海でも試験を開始した ICT プイのようなリアルタイムの海況観測システムを整備し、漁業関係者が水温などの海況情報にアクセスしやすい環境を整備することで、実際の海況に合わせて効率的な操業や養殖管理ができる体制をとることが有効と考えられる。また DIN 濃度の長期的な減少傾向については、現状を関係機関で共有するとともに、水産部局からは特措法の改正に伴い漁業生産の維持増大につながる提案を行っていく必要があると考えられる。提案の一例としては、赤潮発生リスクが少なく DIN 濃度の減少幅が大きい秋～冬季に、沿海下水処理場での栄養塩管理運転を行い海域に栄養塩を供給する試みなど¹²⁾が挙げられるだろう。

文 献

- 1) 福岡管区气象台. 九州・山口県の気候変動監視レポート2020.
- 2) 佐藤利幸, 神菌真人. 豊前海の水温・塩分変動と漁獲量の変動. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2006 ; 16 : 121-127.
- 3) 瀬戸内海における今後の環境保全の方策の在り方について (答申). 中央環境審議会, 東京, 2021.
- 4) 神菌真人. 周防灘西部の海洋観測について. 昭和58年度福岡県豊前水産試験場研究業務報告 1985 : 239-244.
- 5) 和西昭仁. 山口県周防灘海域における最近 30 年間の水温変動. 山口県水産研究センター研究報告 2004 ; 2 : 1-6.
- 6) 平成11年度～令和元年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. 福岡県水産海洋技術センター, 福岡. 2001-2021.
- 7) 第21次福岡農林水産統計年報水産編. 九州農政局福岡統計情報事務所, 福岡. 1974.
- 8) 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 2009 ; 19 : 109-114.
- 9) 神菌真人, 江藤拓也, 上妻智行. 覆砂による豊前海の底質改善効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 1994 ; 2 : 129-134.
- 10) 江藤拓也, 中川浩一, 佐藤博之. 豊前浅海域における覆砂による底質改善効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 1999 ; 9 : 61-65.
- 11) 江藤拓也, 佐藤利幸, 長本篤, 上妻智行. 豊前海沖合域における覆砂による底質改善効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2006 ; 16 : 115-120.
- 12) 水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所他. ノリ, ワカメ養殖場における栄養塩供給技術実証試験事例集. 国立研究開発法人水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所, 広島, 2018.

福岡県有明海域において養殖ノリが二枚貝類から受ける効果

安河内 雄介・長本 篤^a

(有明海研究所)

福岡県有明海域でノリ養殖期間中に発生する大量の珪藻プランクトンは、漁場の栄養塩類を低下させ、色落ちによるノリの品質低下や漁期の短縮による生産量減少の要因となっている。本試験では、二枚貝による珪藻プランクトンの除去効果や、その排泄物による栄養塩類の添加効果を検証するために、室内と漁場でアサリを使った試験を行った。アサリの飼育試験とアサリとノリ葉状体の混養試験では、アサリの排泄物による $\text{NH}_4\text{-N}$ を主とした栄養塩類の添加と、それに起因するノリ葉状体の色調回復が認められた。また、漁場で行った試験では、アサリを入れた試験区で、直上水のクロロフィル a の減少、無機三態窒素の増加が認められ、実際の漁場での、ろ水による珪藻プランクトン除去と、排泄物による栄養塩類の添加効果が示された。福岡県有明海域のノリ養殖漁場で、小潮時 1 日あたりの海水交流量をろ水するために必要なアサリ、サルボウ資源量は、2008 年でのアサリ、サルボウの推定資源量の割合で試算すると、外挿値で合計 25,739t であったが、福岡県有明海域にはその他の二枚貝類が多数生息していることから、これよりも少ない資源量でろ水できると試算された。

キーワード：二枚貝類，養殖ノリ，栄養塩類，ろ水

福岡県有明海区のノリ養殖は、2016 年度から 2020 年度の過去 5 年平均で生産枚数 12.7 億枚、生産金額 167 億円にのぼり、本県漁業生産金額の約 6 割を占める重要な基幹漁業である。当海区のノリ養殖は 10 月から開始され、1 月下旬以降に珪藻プランクトンの増殖による海水中の栄養塩類不足により養殖ノリは色落ちし、その後、生産は河口域に限定され、終漁となる。

一方、福岡県有明海地先は、広大な干潟を有し、採貝漁業も盛んで、アサリやサルボウ等の二枚貝は、覆砂や移植等積極的な増産の取り組みがなされ、全国でも有数の生産量を上げている。二枚貝類は、デトリタス等、底質中の有機物を取り込み、底質浄化するだけでなく、入水管等で海水中の珪藻プランクトン等を鰓でこし取ること¹⁾で、海水中の珪藻プランクトン濃度を減少させる。さらに、こうした二枚貝類の排泄物は、ノリに有用な窒素、リン等の栄養塩類を含んでいるため、栄養塩類の添加効果も期待できる¹⁾。このため、アサリ等の二枚貝類がノリ養殖漁場及びその周辺に多く生息していれば、珪藻プランクトン除去と栄養塩類添加の二つの効果からノリの色落ちの軽減が期待できる。

本研究では、アサリの排泄物による栄養塩類の添加効果で、色落ちしたノリ葉状体に与える影響を検討するとともに、実際に漁場で試験を行い、アサリのろ水によ

る珪藻プランクトン除去効果と排泄物による栄養塩類の添加効果を検証した。また、2008 年～2021 年の福岡県有明海域のノリ養殖漁場のアサリ、サルボウの推定資源量から二枚貝のろ水量を試算し、養殖ノリに効果を与えるために必要な二枚貝類の資源量を推定した。

方 法

1. アサリ飼育下の環境水中の栄養塩類の変化

アサリの排泄物による栄養塩類の添加量を測定するため、ノリ養殖漁期を想定した、水温 5℃、8℃、11℃、14℃、17℃の 5 試験区で、アサリ 3 個体ずつをフラスコ内で飼育し、3 日後と 6 日後にアサリ飼育下の環境水（以下、飼育水）を 10ml ずつ採水し、栄養塩類を測定した。

試験に供したアサリは、試験開始前日に、福岡県有明海柳川市沖で採集し、現場でバラツキの無いよう選別した。アサリの平均殻長は 32.2 ± 1.4 (標準偏差) mm、殻付重量は 6.7 ± 0.7 g で各試験区のアサリの殻長、殻付重量に有意な差はなかった ($p \geq 0.05$, t 検定)。

飼育水は人工海水 MARINE ART SF-1 (富田製薬株式会社製) (塩分 34, pH8.33, 無機三態窒素 $4.35 \mu\text{mol/L}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ $3.20 \mu\text{mol/L}$) を各試験区 1.2L 使用し、飼育水が均

一になるよう、試験期間を通じて弱く通気した。照度は1,000lux、明暗周期は11L13Dとし、試験期間中は無給餌とした。

栄養塩類は海水をシリンジフィルター（Millipore製、Millex-HA、φ25mm、孔径0.45μm）で適量濾過後、オートアナライザー（BLTEC製、swAAt又はQuAAtro39）で分析を行った。なお、NO₃-Nは銅カドミカラム還元法を、NO₂-Nはナフチルエチレンジアミン吸光光度法を、NH₄-Nはインドフェノール青吸光光度法を、PO₄-Pはモリブデン青-アスコルビン酸還元吸光光度法を用いた。

2. アサリ飼育下でのノリ葉状体の色調変化

水温5℃、8℃、11℃、14℃、17℃の5試験区で、アサリ3個体と色調が低下したノリ葉状体（L*値（明度）73以上）²⁾をフラスコ内で混養し、3日後と6日後にノリ葉状体のL*値を測定した。また、秋芽網生産期の水温である17℃で、ノリ葉状体のみを培養した対照区を設けた。

供試葉状体は、2016年度の冷凍網生産期に福岡県有明海地先で養殖された色調が低下したノリ葉状体を、直径1cmのパンチで打ち抜き、各試験区に5枚ずつ投入した。アサリは1と同様に採集し、試験に供したアサリの殻長は31.9±1.2mm、殻付重量は6.6±0.6gであり、各試験区のアサリの殻長、殻付重量に有意な差はなかった（ $p \geq 0.05$, t 検定）。

飼育水などの試験条件は1に準じて行った。L*値は、分光測色計（CM-700d、コニカミノルタジャパン株式会社製）を用いてL*a*b*表色系³⁾で測定し、ノリ葉状体5枚の平均値とした。

3. 漁場に垂下したアサリによるろ水効果と栄養塩類の添加効果

河川水の影響が少なく、海区内で比較的静穏な海域の三池港内（図1）の浮棧橋に、野菜カゴ（外寸495×355×167mm）に目合い526μmのナイロンメッシュを取り付け、5cmに砂を敷設し、アサリを6kg/m²の密度で潜砂させたアサリ収容区と、砂のみを入れた対照区を設定し、それぞれワイパー式メモリークロロフィル濁度計（INFINITY-CLW、JFEアドバンテック株式会社製）を固定してクロロフィルを連続測定した。両試験区は光がクロロフィルの計測に影響を与えないよう、遮光ネットを上部に取り付けた（図2）。また、換水など環境条件が出来るだけ同じになるように隣接させ、底層からの浮泥の巻き上がりや、波浪の影響を受けないよう水深2m（海底から約6m）に垂下した。試験期間は、2018年2月16日～19日の大潮時の珪藻プランクトンが多く発生

していた時期に実施した⁴⁾。ワイパー式メモリークロロフィル濁度計はバースト時間5分、測定インターバル1秒、10データ/バーストに設定した。

また、あらかじめ浮棧橋から垂下した採水チューブの先端を、野菜カゴ中央に、敷設した砂の表面から3cmになるよう固定しておき、試験開始3日後、定量型チューブポンプ（EASY LOAD、メルク株式会社）を用いて、アサリ収容区及び対照区それぞれの野菜カゴ内で、砂の直上水を採取し、1と同様に栄養塩類を分析した。

結 果

1. アサリ飼育下の環境水中の栄養塩類の変化

各試験区の試験開始前、3日後及び6日後の無機三態

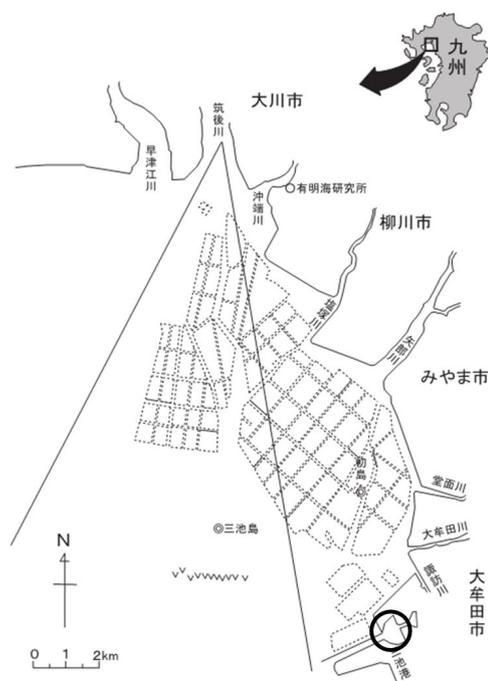


図1 試験漁場（黒丸部）



図2 試験施設

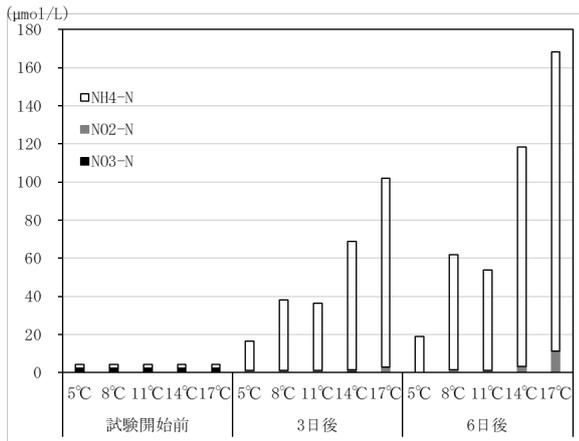


図3 培地中の無機三態窒素の推移

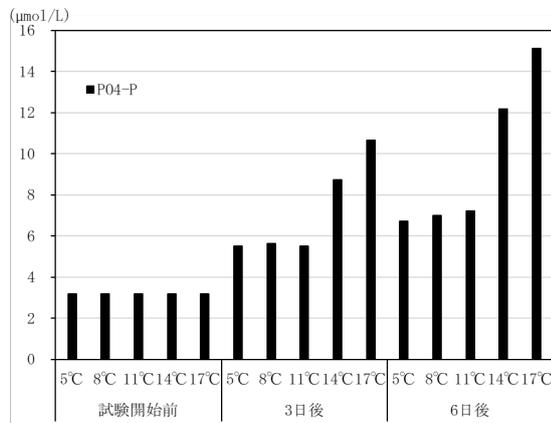


図4 培地中のPO₄-Pの推移

窒素の推移を図3に示す。

無機三態窒素は、試験開始前は4.35μmol/Lであったが、3日後は、5°C区、8°C区、11°C区、14°C区、17°C区の順に、16.56μmol/L、38.13μmol/L、36.40μmol/L、68.97μmol/L、101.91μmol/L、6日後は、19.14μmol/L、61.77μmol/L、53.73μmol/L、118.35μmol/L、168.36μmol/Lとなり、全ての試験区で試験開始前より増加した。

各試験区の試験開始前、3日後及び6日後のPO₄-Pの推移を図4に示す。PO₄-Pは、試験開始前は3.20μmol/Lであったが、3日後は、5°C区、8°C区、11°C区、14°C区、17°C区の順に、5.53μmol/L、5.64μmol/L、5.53μmol/L、8.73μmol/L、10.68μmol/L、6日後は、6.72μmol/L、7.02μmol/L、7.23μmol/L、12.18μmol/L、15.12μmol/Lとなり、全ての試験区で増加した。

飼育水温が高くなるほど、無機三態窒素及びPO₄-Pは多くなる傾向にあった。無機三態窒素では、NH₄-Nの割合が、試験開始前は51%であったが、3日後及び6日後は90%以上を占めた。

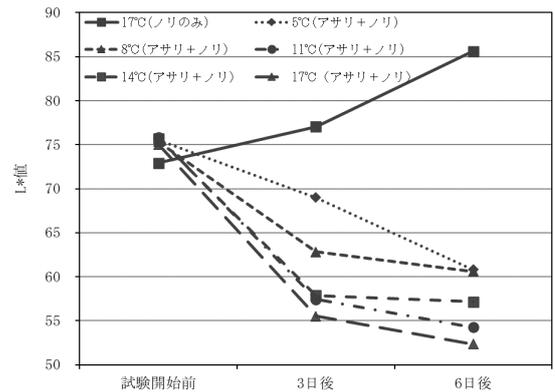


図5 ノリ葉状体のL*値の推移

2. アサリ飼育下でのノリ葉状体の色調変化

各試験区の試験開始前、3日後及び6日後のノリ葉状体のL*値の推移を図5に示す。

L*値は色の明度を示す値で、ノリ葉状体の色調が回復するに従い、小さくなる²⁾。試験開始前は、全ての試験区のノリ葉状体のL*値は、色落ちの判断基準である73以上²⁾であったが、アサリとノリを収容した試験区の3日後のL*値は、全ての試験区で小さくなり、11°C区、14°C区、17°C区で色落ちの初期的兆候であるL*値60²⁾を下回った。6日後のL*値は、色落ちの初期的兆候を下回るかそのレベルまでに小さくなり、色調改善がみられた。対照区のL*値は、3日後及び6日後とも大きくなり、色調低下が進行した。

3. 漁場に垂下したアサリによるろ水効果及び栄養塩類の添加効果

試験期間中の水温及びクロロフィルaの推移を図6に示す。試験期間中、水温は9°C台～12°C台で推移し、海域では*Skeletonema* spp.を主とした赤潮が発生し、クロロフィルaは15.6μg/Lと高かった。クロロフィルaは野菜カゴを設置した数分後にはアサリ収容区が対照区より低い値を示し、約2時間後にはアサリ収容区が対照区の半分以下の値を示した。その後もアサリ収容区は対照区よりも常に低い値を示した。

設置3日後の直上水の無機三態窒素及びPO₄-Pの濃度を図7,8に示す。アサリ収容区、対照区の無機三態窒素はそれぞれ0.81μmol/L、0.29μmol/L、アサリ収容区及び対照区のPO₄-Pは0.04μmol/Lであった。

考 察

飼育水中の栄養塩類は、3日後及び6日後にNH₄-Nと

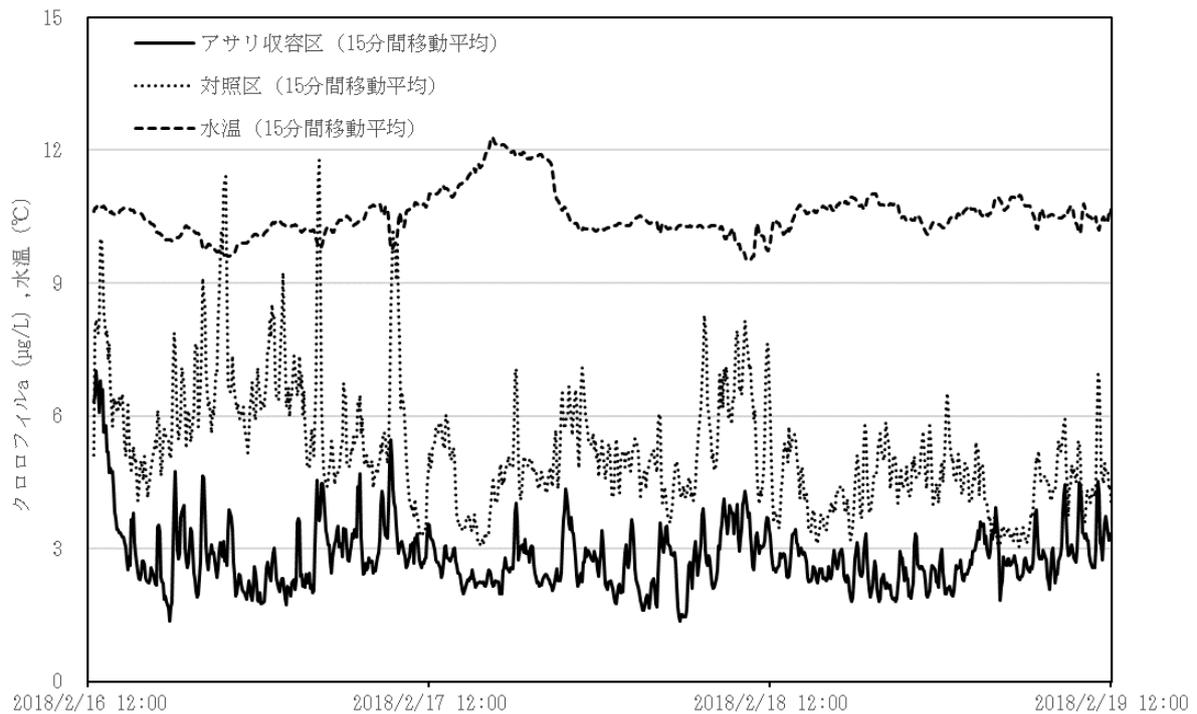


図6 クロロフィルaの推移

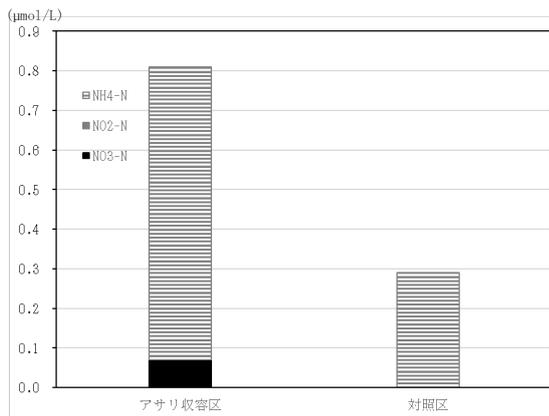


図7 直上水の無機三態窒素

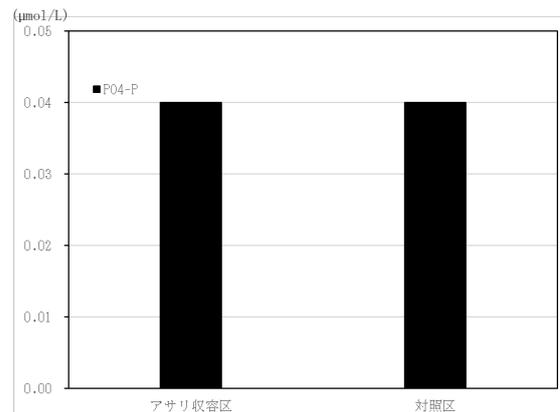


図8 直上水のPO₄-P

PO₄-P の増加が見られ、アサリの排泄物による栄養塩類の添加が示唆された。どの試験区も NH₄-N と PO₄-P の割合は、おおよそ 10:1 で、飼育水温が高いほど、栄養塩類が多くなる傾向にあった。一方、11℃区の3日後と6日後の無機三態窒素は、8℃区を下回り、11℃区の3日後の PO₄-P は、8℃区と差が認められなかった。これは、アサリのろ水率の個体によるバラツキや、アサリのろ水率が水温 10℃以下では著しく低下すること⁵⁾が要因と考えられた。また、わずかに NO₂-N の量が増えた理由は、試験期間中にアサリの排泄物によって添加された NH₄-N が硝化作用で NO₂-N に変化したものと推察された。

アサリとノリを混養した試験では、いずれの試験区もノリ葉状体の色調回復がみられ、アサリの排泄物によ

て添加された栄養塩類を利用したと考えられる。5℃区や8℃区の L*値の回復が遅かった要因は、アサリのろ水率が低下するため、5℃区や8℃区で1,2日目に、アサリの排泄物によって添加された NH₄-N が少なかったことに加えて、ノリ葉状体の NH₄-N の取り込み速度が、温度の低下に伴って減少し、4℃で最も低くなる性質があること⁶⁾が影響していると考えられる。白石⁷⁾が人工海水を基に NO₃-N を高濃度 (20µmol/L) に添加した培地で、色落ちしたノリ葉状体 (L*値 74) を培養した試験では、4日目に L*値が 62 となり、5日目に L*値が 58 に回復したと報告している。今回の試験では、3日後には 11℃区、14℃区、17℃区で L*値が 60 を下回り、白石の報告より回復が早い結果となった。これは、山本ら⁶⁾が報告し

ているように、ノリの $\text{NH}_4\text{-N}$ 取り込み速度が $\text{NO}_3\text{-N}$ の 6 倍以上に当たり、今回の試験でアサリの排出物の $\text{NH}_4\text{-N}$ を直接取り込んだためと推察された。

漁場でアサリを垂下し、ろ水効果及び排泄物による栄養塩類の添加効果を検証した試験では、試験を行った海域で 2 月 15 日に *Skeletonema* spp の赤潮が発生しており、プランクトン沈殿量が $10.7\text{mL}/100\text{L}^{4)}$ と非常に多かったこともあり、試験期間中は大潮時で干満による水塊の移動が激しいにもかかわらず、アサリ収容区では対照区と比較して、クロロフィル a 値が半分以下の期間が継続し、アサリによるろ水効果が認められた。

直上水の栄養塩類は、無機三態窒素は、差が認められたが、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、有意な差が認められなかった。要因として、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と比較して、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度が極少量であることから、排出された $\text{PO}_4\text{-P}$ が水塊の移動により拡散したため明確な差が観察されなかったと考えられた。

今回の試験で示唆されるように、二枚貝類による養殖ノリの色落ち軽減効果は、ろ水による珪藻プランクトンを減少させる効果と、排泄物による栄養塩類添加効果の 2 つが挙げられる。

アサリ、サルボウの資源量が、珪藻プランクトンの発生に及ぼす影響をみるために、2008 年～2021 年までのアサリ、サルボウの推定資源量（以下、資源量）⁸⁾ とノリ色落ち発生状況について検討する。赤潮が発生し、ノリ色落ち発生の指標としてのプランクトン沈殿量 $1.0\text{mL}/100\text{L}$ が報告されている⁹⁾が、ここでは、ノリ色落ちに影響を与えない沈殿量を $0.5\text{mL}/100\text{L}$ 未満と仮定して、ノリ養殖漁期中の 10 月 21 日～2 月 28 日（12 月は除く）の $0.5\text{mL}/100\text{L}$ 未満の日数¹⁰⁾ と、資源量の相関を求めた（図 9）。プランクトン沈殿量は、週 1～3 回実施している海況調査の結果を用い、プランクトン沈殿量が $0.5\text{mL}/100\text{L}$ 以上の場合であっても、その日の主なプランクトンが珪藻プランクトンでない場合は $0.5\text{mL}/100\text{L}$ 未満としてカウントした。資源量が多くなるにつれ、プランクトン沈殿量が $0.5\text{mL}/100\text{L}$ 未満である日が多くなり、資源量とプランクトン沈殿量 $0.5\text{mL}/100\text{L}$ 未満の日数に正の相関関係が認められた ($r=0.64, p<0.05$)。アサリ、サルボウが珪藻プランクトンの増殖を妨げていることが示唆された。これに加えて、今回の試験結果からアサリ、サルボウ等の二枚貝は、栄養塩類の環境水への添加効果も期待できることから、二枚貝資源を増殖させることは、ノリ色落ち発生を軽減する効果があると考えられた。

二枚貝のろ水効果に着目し、珪藻プランクトンの増殖が促進されやすい¹¹⁾小潮時の 1 日あたりの海水交換量とアサリ、サルボウによるろ水量を試算し比較検討した。

ろ水量は、ノリ色落ち対策に寄与する二枚貝増養殖技術ガイドライン¹⁾からアサリ、サルボウの 1 個体 1 時間あたりのろ水速度のアロメトリー式（表 1）を用いて 2008 年～2021 年までの資源量から試算した。アロメトリー式は、珪藻プランクトンが増殖しやすい 1 月下旬以降の水温に近い 10°C （アサリ）、 12°C （サルボウ）の式を使い、この時のアサリ 1 個体の殻付重量は 10g 、乾燥軟体部重量(W)は 0.28g 、サルボウの殻付重量は 10g 、乾燥軟体部重量(W)は 0.5g であった。

試算ではあるが、ノリ養殖漁場への海水交換量は、福岡県有明海域のノリ養殖漁場が 39.3km^2 であり¹²⁾、三池港の小潮時の潮差が $1.80\text{m}^{13)}$ であることから日向野¹⁴⁾ が用いた式を元に計算すると $6,791 \times 10^4\text{kL}$ と算定された。

小潮時の海水交換量と 2008 年～2021 年の資源量から試算したろ水量との比を図 10 に示す。

2008 年～2021 年の資源量は $459\text{t} \sim 23,222\text{t}$ と大きく

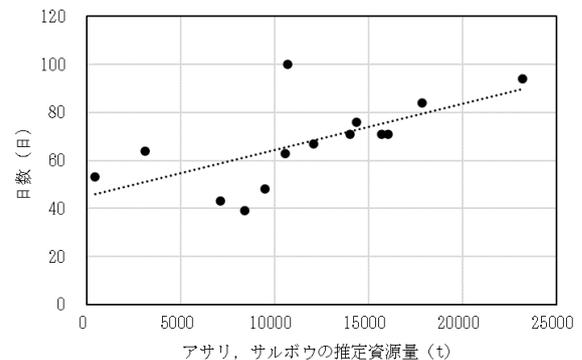


図9 アサリ、サルボウの推定資源量とプランクトン沈殿量 $0.5\text{mL}/100\text{L}$ 未満の日数の関係

表1 アサリ、サルボウのろ水速度

	ろ水速度	単位
アサリ (10°C)	$R_c = 1490.3W^{0.7472}$	ml/ind/hr
サルボウ (12°C)	$R_c = 1886.9W^{0.5957}$	ml/ind/hr

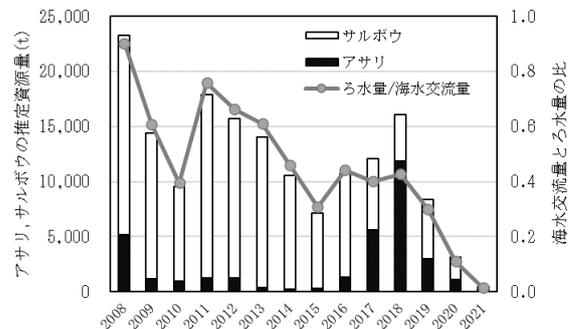


図10 海水交換量とろ水量の比

変化し、1日あたりのろ水量は $98 \times 10^4 \text{kl} \sim 6,127 \times 10^4 \text{kl}$ で推移した。資源量が最も多い2008年のアサリ、サルボウによるろ水量は小潮時の海水交流量の約90%の割合であったが、2021年は約1%程度と低く落ち込んでいた。外挿値になるが、小潮時の1日あたりの海水交流量を全てろすために必要な資源量を試算すると、2008年の資源量の割合では、25,739tとなり、2008年以降の最大値である23,222tを上回る値になる。しかし、福岡県有明海地先には、山田（未発表、2021年）が調査したところ、シオフキの資源量が13,000t存在することや伊藤¹⁵⁾の報告によると、マガキ、シカメガキ、スミノエガキが生息していることが確認されており、アサリ・サルボウ以外の二枚貝類のろ水も考えられることから、それよりも低く見積もることができる。珪藻プランクトンの発生は気象や海況によって大きく左右されるが、ノリ養殖の生産安定と採貝漁業者の所得安定のために、漁業権管理者である福岡有明海漁業協同組合連合会は、上記の資源量を一つの目標として、資源管理に取り組んでいく必要がある。

文 献

- 1) 独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所.
ノリ色落ち対策に寄与する二枚貝増養殖技術ガイドライン平成24年3月:13.
- 2) 小谷正幸. ノリ葉体の色落ちの数値化. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2000;10:49-50.
- 3) 色を読む話; コニカミノルタ株式会社
- 4) 小谷正幸, 井手浩美ら. 有明海漁場再生対策事業
(6)ノリ漁場利用高度化開発試験2017;201-209.
- 5) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会, 沿岸漁場整備開発事業増殖場造成計画指針ヒラメ・アサリ編平成8年度版
- 6) 山本民次, 高尾允英. スサビノリ *Porphyra yezoensis* 葉体のアンモニア態および硝酸態窒素の取り込みに及ぼす温度の影響, 藻類;36:37-42.
- 7) 白石 日出人. ノリ葉体の色調変化に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2010;20:131-134.
- 8) 平成19年度~令和2年度福岡県水産海洋技術センター事業報告:アサリおよびサルボウ資源量調査(2007~2020)
- 9) 熊谷香, 内藤剛. 有明海福岡県地先への栄養塩供給量の動向. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2007;17:73-80.
- 10) 平成19年度~令和2年度福岡県水産海洋技術センター事業報告:ノリ養殖の高度化に関する調査(2007~2020)
- 11) 田中勝久, 児玉真史ら. 有明海筑後川河口域における冬季のクロロフィル蛍光と濁度変動. 海の研究;13(2):163-172.
- 12) 福岡県水産海洋技術センター有明海研究所要覧
- 13) 気象庁. 有明海・八代海海象調査報告書1974.
- 14) 日向野純也, 徳田雅治. 有明海における二枚貝漁獲量の変化と二枚貝による海水濾過量の推定. 2002年度日本水産工学会学術講演会論文集
- 15) 伊藤輝昭, 松本昌大. 有明海における有用カキ3種の分布と採苗に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2013;23:47-52.

福岡県有明海における大規模ノリ養殖の技術体系と経営の調査

内藤 剛¹・中原 秀人²・安河内 雄介¹・藤井 直幹¹

(¹有明海研究所・²水産海洋技術センター)

有明海における大規模ノリ養殖の技術体系と経営について、法人経営体と家族経営体に区分して調査を行った。漁場規模は法人経営体が家族経営体よりも大きかった。法人経営体の労働力は半数以上が雇用従事者で、家族経営体は家族労働の割合が高く、女性の割合も高かった。労力について、支柱建てに要する日数が法人経営体で特に多かった。生産盛期の作業体系について法人経営体と家族経営体で数字上大きな差は認められないが、家族経営体では分業が進んでおらず、複数の作業を兼務する従事者に負担が集中していた。今後の計画において労働力の確保と養殖規模の動向は対応しており、産地として生産を維持するためには労働力の確保が最重要課題と考えられた。

キーワード：福岡県有明海，ノリ養殖，大規模経営，法人化

有明海のノリ養殖業の経営体数は減少しており、各経営体が養殖規模を拡大することにより海区の生産を維持している^{1,2)}。経営の大規模化に際しては、近年、従来の家族経営を核とする経営体から、法人に移行する事例が見られ、現在のところ4経営体が確認されている。本研究では、大規模経営体のうち法人経営体（以下「法人」）と家族経営体（以下「家族経営」）の技術体系と経営について調査を行い、大規模経営化の課題等を抽出した。

方 法

有明海におけるノリ養殖単位である小間数を基準として、中原ら¹⁾の報告に基づき、50小間以上を行使する経営体を「大規模経営体」と定義、大規模経営体の中から現在確認している法人4、家族経営4を抽出、ノリ養殖の技術体系と経営状況について聞き取りと整理を行った。調査項目は経営の概況、経営の変遷、作業の組み立て、現在抱えている課題、法人化のメリットとデメリット（法人のみ）、今後の事業計画とし、1経営体ずつ対面式で聞き取り、調査票に記入して集計を行った。調査は、新型コロナウイルス感染症対策を行った上で2021年5月から6月にかけて実施した³⁾。

結 果

法人と家族経営の、2020年度漁期に行使した漁場規模を表1に示す。法人は家族経営と比較して行使する小間数が12多いが、福岡県有明海では小間当た

りの網数が地区や時期により異なるため¹⁾、秋芽網生産期の網数に換算すると、差は55.5枚（8枚張り約7小間相当）に圧縮される。また法人が法人化前に行使していた小間数は48.0小間で、法人化に伴い規模を拡大していた。

法人と家族経営の労働力の内訳について表2に示す。法人は労働力に占める家族の割合が低く、全ての経営体で従業員1人以上を周年雇用している。家族

表1 2020年度漁期の行使漁場規模

	法人	家族経営	差
行使小間数	68.8 (50~81)	56.8 (50~64)	12.0
*法人化前	*48.0		
秋芽網換算枚数	604 (500~666)	548.5 (500~598)	55.5

表2 労働力の内訳（人）

	法人	家族経営
周年	1.5 (1~2)	3.5 (3~4)
家族 *うち女性	*0.0	*1.5
臨時・補助	1.0 (0~2)	0.8 (0~2)
周年雇用	1.8 (1~3)	0.0 (0)
雇用 *うち女性	*0.0	*0.0
季節雇用	0.8 (0~1)	1.0 (0~2)

経営の労働力は家族主体であり、周年雇用を行っている経営体はない。また法人には周年従事する女性は少ないが、家族経営では1.5人で、周年就労者の4割以上を占めていた。補助的な家族労働と季節雇用の人数については大きな差は認められなかった。雇用について、家族経営では、ほぼ全てが親族や地元の

表3 主な資本装備

	法人	家族経営
本船の隻数	1.8 (1~2)	1.3 (1~2)
全自動乾燥機連数	12.0 (9~20)	10.0 (10)
*20連を除く	*9.3	

表4 主な海上作業量

	法人	家族経営	
支柱建て	作業日数(日)	11.3 (6~17)	6.5 (6~8)
	作業人数(人)	3.9 (3~4)	3.8 (3~5)
摘採	作業時間 (分/小間)	28.8	22.5
	作業人数	2.9	2.9
	摘採小間数 (小間/日)	10.5	9.1
高さ調節	作業時間 (分/小間)	15.0	11.3
	作業人数	2.1	2.5
活性処理	作業時間 (分/小間)	20.0	23.8
	作業人数	2.1	2.5

漁業関係者からの雇用であった。法人では地元からの採用が主体ではあるが、ハローワークや漁業者求人サイトの活用などにより、周年雇用労働者について1法人で3名中1名が福岡地区から、1法人で2名中1名が北九州地区からなど、地元以外からの採用も認められた。

主な資本装備として、本船と全自動乾燥機の規模を表3に示す。本船は法人1.8隻、家族経営1.3隻で、法人の方が多い傾向にあった。全自動乾燥機の規模の目安となる連数は法人12連、家族経営10連で法人の方が大きな傾向にあるが、法人のうち1経営体は協業体の20連乾燥機を承継しているため、当該経営体を除いて法人の平均値を求めると9.3連となり、家族経営と大きな差は認められなかった。

主な海上作業として、支柱建て、摘採、網の高さ調節、活性処理の作業量を表4に示す。生産前に行われる支柱建ては、法人では11.3日×3.9人、家族経営では6.5日×3.8人で、作業人数は同程度であるが、法人で作業日数が多くなっている。生産期に行われる摘採と高さ調節の作業時間は法人で多く、活性処理の作業時間は家族経営で多かった。摘採の作業人数は法人と家族経営でほぼ同数、高さ調節と活性処理の作業人数は家族経営で多かった。1日当たりの摘採小間数は法人で多かった。

生産期には、摘採、高さ調節、活性処理、乾燥は一連の作業として実施されることから、生産期における基幹従事者(周年従事及び季節従事)の経営体毎の作業体系を表5に示す。法人の網管理は3経営体で高さ調節と活性処理を並行実施、1経営体で摘採と高さ調節を並行実施しており、加工担当者は3経営体で専従、1経営体で摘採と兼務していた。家族経営の網管理は全ての経営体で高さ調節と活性処理を並行実施しており、加工担当者は1経営体で専従、1経営

表5 生産期における作業体系

	法人				家族経営			
	A	C	D	E	F	G	H	I
摘採	3人×1隻	2人×1隻*	3人×1隻	2人×2隻	2人×2隻	2人×1隻	2人×2隻	2人×2隻
高さ調節	1人×1隻*	1人×1隻*	1人×1隻*	2人×2隻*	2人×1隻*	2人×1隻*	2人×2隻*	2人×1隻*
活性処理	2人×1隻*	2人×1隻	2人×1隻*	2人×2隻*	2人×1隻*	2人×1隻*	2人×2隻*	2人×1隻*
加工	1人 (専従)	1人 (摘採 兼務)	1人 (専従)	1人 (専従)	2人 (摘採 兼務)	3人 (2専従、1摘採・ 網管理兼務)	3人 (2専従、1摘採・ 網管理兼務)	3人 (専従)

※は作業を並行して実施することを示す。

体で摘採と兼務，2経営体で摘採，高さ調節，活性処理と兼務していた。

法人独自の調査項目として，法人化の目的，きっかけ，メリットとデメリットについて表6に示す。目的としては「安定雇用の確保」と「税対策」が多く，次いで「経営規模の拡大」を複数の法人が挙げていた。独自の回答としては，「販売上の信用確保」と「設備投資」があった。法人化のきっかけとしては，「税理士からのアドバイス」を複数の法人が挙げており，独自の回答としては，「参加していた協業体の解散」，「バラ干しノリ事業の拡充」があった。メリットとしては，労働に関するものとして「安定雇用の確保」，「求人作業の軽減」，「女性の海上労働軽減」，雇用条件に関するものとして「周年雇用」，「健康保険，厚生年金，労災，雇用保険の整備」，「ピーク時の休日確保」，「漁閑期の休日2日制」，事業内容に関するものとして「養殖規模の拡大」，「新規事業」，管理・作業体制に関するものとして「作業体制の確立」，「分業と協業の進展」，「専門家の育成」，「指揮伝達の明確化」，その他の項目として，「後継者確保の不安解消」と，多岐にわたる回答があった。デメリットとしては，「法人名義での系統団体の事業が利用しにくい」，「経理の負担増」，「労務費の増加」が挙げられた。

今後の計画について表7に示す。3法人は労働力を雇用により増やし養殖規模を拡大，1法人は現状維持であるが独自事業のバラ干しノリに力を入れる計画である。家族経営は1経営体で後継者が着業する予定で，それに伴い規模の拡大を計画している。2経営体は現状維持であるが1経営体で過重労働を感じており，1経営体は労働力が減少するため規模を縮小する計画である。

考 察

法人と家族経営の労働力について，総数では大きな差は認められないが，法人では家族労働の割合が低下し，女性の割合も低くなっている。以前から福岡県有明海区のノリ養殖業は女性就業者が多いことが指摘されており⁴⁾，2018年漁業センサスの結果からも⁵⁾，福岡県有明海区の海面漁業（ノリ養殖業以外も含む。以下同じ。）の海上作業従事者のうち女性が占める割合は，全国平均12.6%，福岡県平均19.1%に対して，福岡県有明海区では29.2%と高くなっている（図1）。法人化が進むと女性の割合が低下することについて，女性の社会進出の面からどのように評価するか検討の余地は残るが，少なくとも今回の調

表6 法人化の目的等

法人化の目的	<ul style="list-style-type: none"> 安定雇用の確保 経営規模拡大 	<ul style="list-style-type: none"> 税対策 販売（信用） 設備投資 	
法人化のきっかけ	<ul style="list-style-type: none"> 税理士のアドバイス 	<ul style="list-style-type: none"> 協業体の解散 	<ul style="list-style-type: none"> バラ干しノリ事業の拡充
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 安定雇用の確保 女性の海上労働軽減 周年雇用（6～8月は片づけ、準備作業） 健康保険、厚生年金、労災、雇用保険の整備 ピーク時の休日確保（交代制） 規模の増加 作業体制の確立 専門家の育成 		
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 法人名義での系統団体の事業が利用しにくい 経理の負担増 		
	<ul style="list-style-type: none"> 求人作業の軽減（継続雇用、求人サイトへの登録） 漁閑期の休日2日制 新規事業（加工受託） 分業と協業の進展 指揮伝達の明確化 労務費の増加（社会保障等） 		

表7 今後の計画

	法人		家族経営		
労働力	増加3	現状維持1	増加1	現状維持2	減少1
養殖規模	拡大3	現状維持1	拡大1	現状維持2	縮小1

※ 矢印は対応した経営体であることを示す。

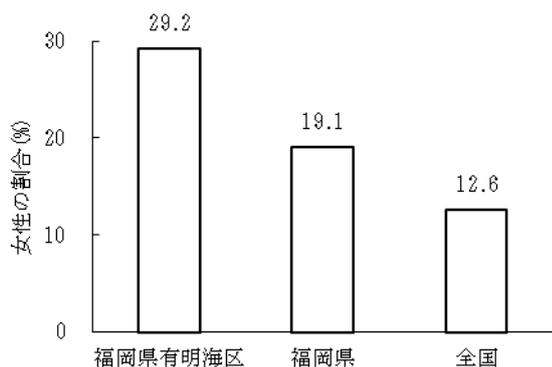


図1 海面漁業の海上作業従事者に対する女性の割合
(2018漁業センサス，雇われは男女別データがないため除く。)

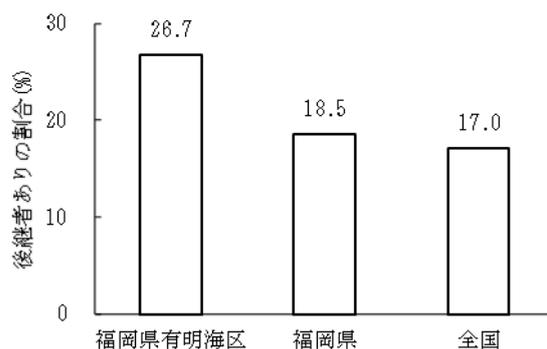


図2 自家漁業経営体において後継者がいる経営体の割合
(2018漁業センサス)

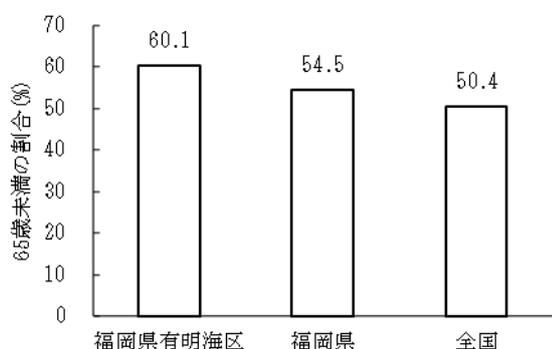


図3 個人経営体の漁業従事世帯員における65歳未満の割合
(2018漁業センサス)

査では、重労働である海上作業への女性の従事が軽減されることをメリットと捉えている法人が多い。

作業量において法人と家族経営で最も大きな差が認められたのは支柱建ての労働時間である。本調査でその要因を明らかにすることはできなかったが、法人は急激に小間数を増加させていることから、漁場が分散しているなど、必要な小間数を確保するため作業上で不利な状況に置かれていることが原因であると推測される。

摘採、網の高さ調節、活性処理、加工の作業体系について、法人と家族経営で個々の作業に要する労働力に大きな差は認められないが、法人は分業化されており、海上作業（摘採、高さ調節、活性処理）と陸上作業（加工）を兼務するのは1経営体の1人だけであるのに対し、家族経営では3経営体で兼務が行われており、うち2経営体の各1名は程度の差はあるが4種の作業全てに関わっている。これら両名はそれぞれの経営体における最年長の漁業就労者であり、うち1経営体で過重労働を感じているという回答もあったことから、兼務する従事者に負担が集中していることが推測される。

法人化によるメリットとデメリットに関する回答は概ね想定される内容であったが、当海区特有の課題であると思われる「法人名義での系統団体の事業利用がしにくい」について補足する。乾海苔については、原則として全量漁協を通じて福岡有明海漁連に出荷される。このとき、生産者からの出荷が個人名義に限定されている漁協があり、当該漁協の生産者は法人化していても経営主の個人名義で乾海苔を出荷、代金は個人名義の口座に振り込まれ、法人の口座に送金するという処理を行わざるを得ない。一方、同じ漁協でも協業体名義での出荷は認められているケースもあり、取り扱いは一貫していない。このような場合、漁協の柔軟な対応により、法人の経理の事務負担が軽減されると考えられる。

今後の計画について、労働力の確保と養殖規模の動向は、拡大、縮小いずれの場合においても対応していたことから、今後産地として生産を維持するためには、労働力の確保が最重要課題になると考えられる。ノリ養殖業は重労働であり、経営を円滑に継続するためには、就業者の人間関係構築と労働の内容への理解を得ることが不可欠である。労働力を確保する場合、第一段階として親族、第二段階として地元からの雇用、第三段階としてハローワークなどを通じた地元外も含む求人、という方向で進んでいると推測され、このうち家族経営は第一段階から第二段階に留まっており、法人は第一段階から第二段階を主体にしつつ一部第三段階に差し掛かっている状態であると考えられる。労働力が親族を基本とした経営の場合、重労働に対する理解が、親族であるがゆえの過剰な忍耐に依存するものとなる恐れがあり、一部の家族経営で見られた海上作業と陸上作業を特定の従事者が兼務する負担集中はその現れであると推測される。

2018年漁業センサス⁵⁾の結果から、福岡県有明海区の海面漁業において後継者がいる自家漁業経営体の割合は26.7%で、県平均及び全国平均を上回ってはいるが、7割以上の経営体で後継者がいない(図2)。また個人経営体の漁業従事世帯員における65歳未満の割合は60.1%で、県平均及び全国平均を上回ってはいるが、ほぼ4割を高齢者が占めていることになる(図3)。これらのことから、親族の就業や地元からの雇用に依存した経営規模拡大には限界があることが予想されるが、家族経営のまま前述の第三段階に移行しようとしても、労働条件や社会保障が法人ほど整備されておらず、期待どおりの人材を確保することは難しいと考えられる。

今後も現在の産地規模を維持していくためには、法人化を推進し、多少のコスト増大を伴っても、労働条件の整備や社会保障の充実を図ることで地元外も含めて労働力を確保し、経営の大規模化を進める必要がある。

そのため本調査で明らかになった系統団体の事業利用や小間の配分方法など、法人化の支障となる制度について早急な見直しが求められる。

文 献

- 1) 中原秀人・篠原満寿美. 福岡県有明海におけるノリ養殖の個人経営体と協業の生産効率. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2021 ; 31 : 55-61.
- 2) 篠原満寿美・中原秀人. 福岡県有明海におけるノリ養殖の協業動向と展開方向－協業の動向と共同乾燥組織形成の課題－. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2019 ; 29 : 49-56.
- 3) 内閣官房. 新型コロナウイルス(COVID-19)感染症の対応について. <https://corona.go.jp/proposal/>. 2021年10月1日閲覧
- 4) 宮本博和. 有明海区における漁業労働災害. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 1995 ; 4 : 91-100.
- 5) 農林水産省. 2018年漁業センサス第3巻 海面漁業に関する統計(市区町村編) 2020. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datatable&lid=000001245138>. 2021年10月1日閲覧

福岡県水産海洋技術センター研究報告 第32号

編集委員

委員長	深川 敦平
委員	佐藤 博之
	松井 繁明
	的場 達人
	池浦 繁
	藤井 直幹
	佐野 二郎
	江藤 拓也
	中川 浩一
	宮内 正幸

発行 2022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
