

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、豊前海でも同様に取り組まれている。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。

a 現所属：豊前海研究所
b 現所属：水産振興課

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。

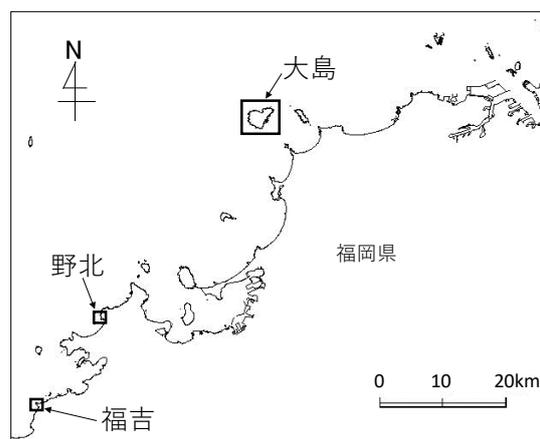


図1 母藻採取地点、各試験の実施場所



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

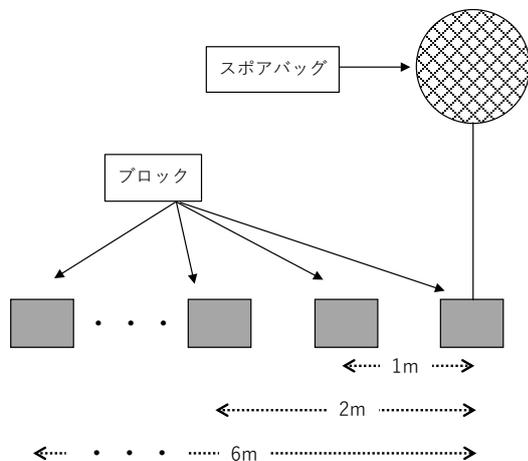


図3 幼胚供給範囲の調査イメージ図

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。

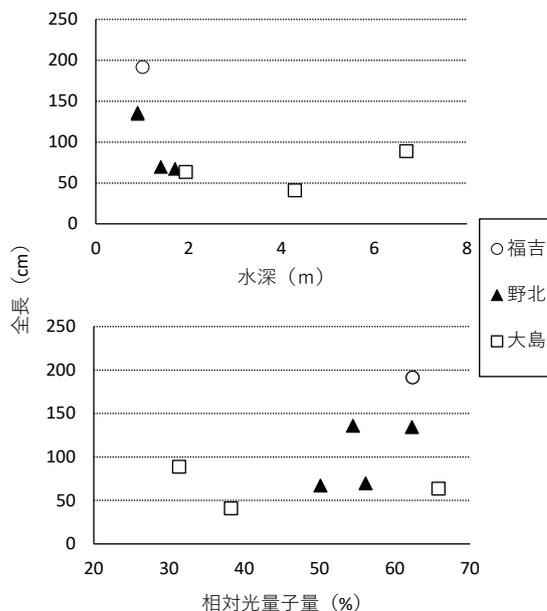


図4 各調査地点におけるアカモクの全長 (上：水深別，下：相対光量子量別)

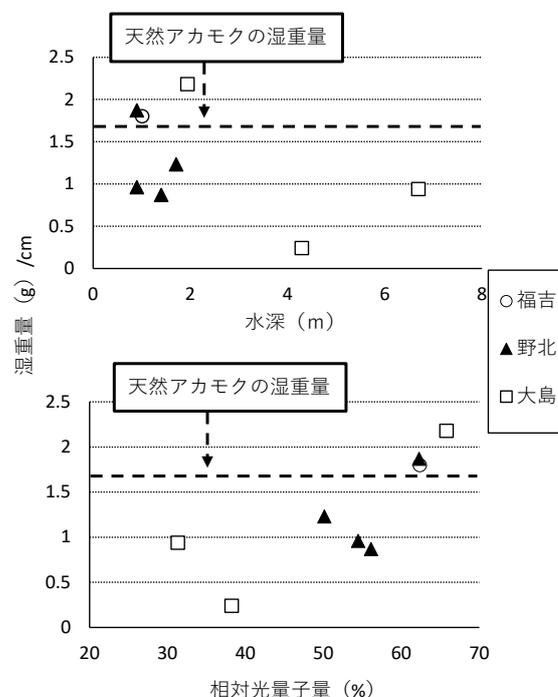


図5 各調査地点におけるアカモクの湿重量/cm (上：水深別，下：相対光量子量別)

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

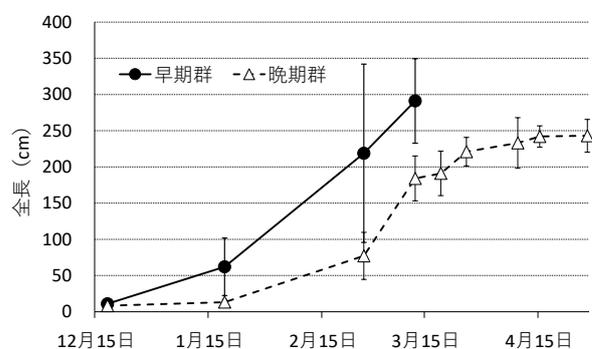


図6 早期群及び晩期群種苗の全長の推移

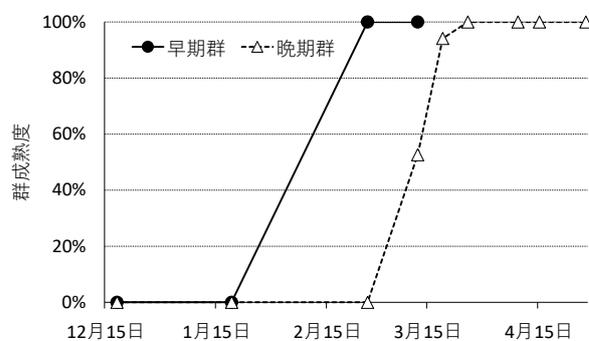


図7 早期群及び晩期群種苗の群成熟度の推移

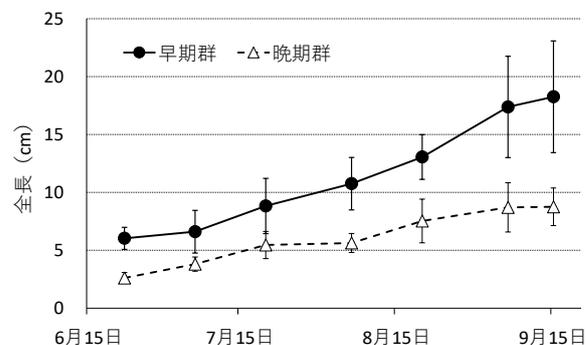


図8 再生産した早期群及び晩期群の初期生長

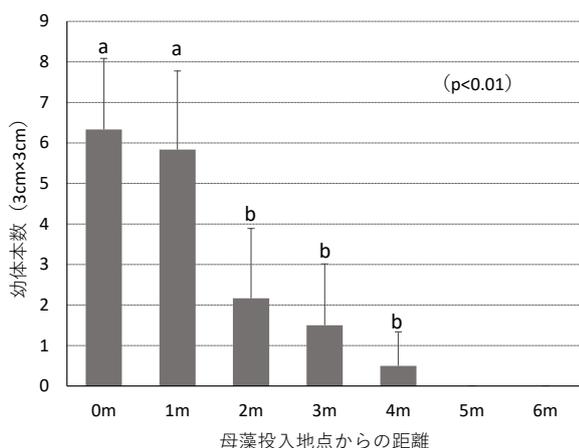


図9 母藻投入地点からの距離別アカモク幼体着生本数

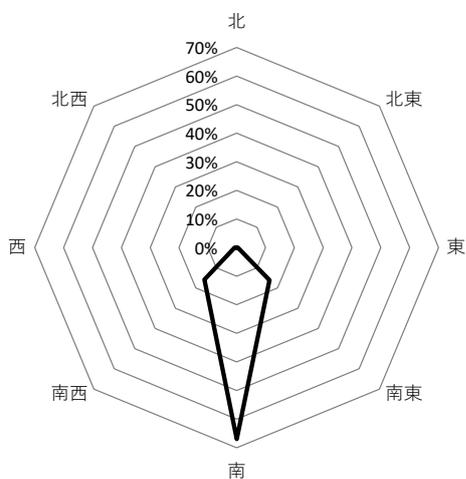


図10 15 昼夜連続観測における流向の割合

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.