

## 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<sup>1, 2)</sup>。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<sup>3, 4)</sup>、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<sup>5)</sup>、本県筑前海においても天然アカモクの生長・成熟<sup>6)</sup>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<sup>7)</sup>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

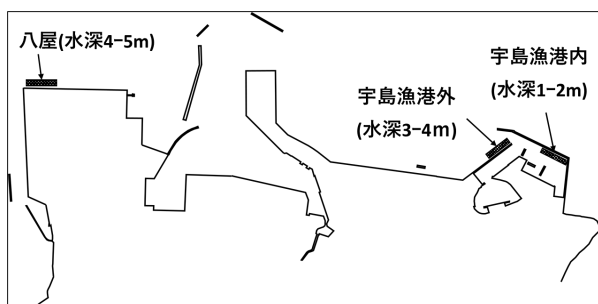


図1 延縄式増殖試験区

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600m<sup>2</sup>(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25m<sup>2</sup>)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。

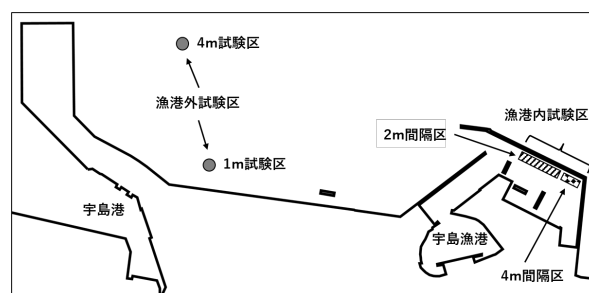


図2 漁場造成試験区

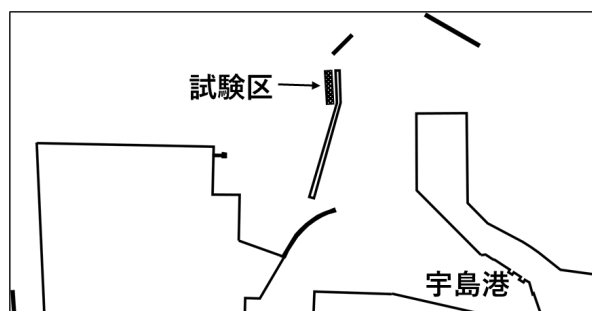


図3 漁場再生試験区

## 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が確認された。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

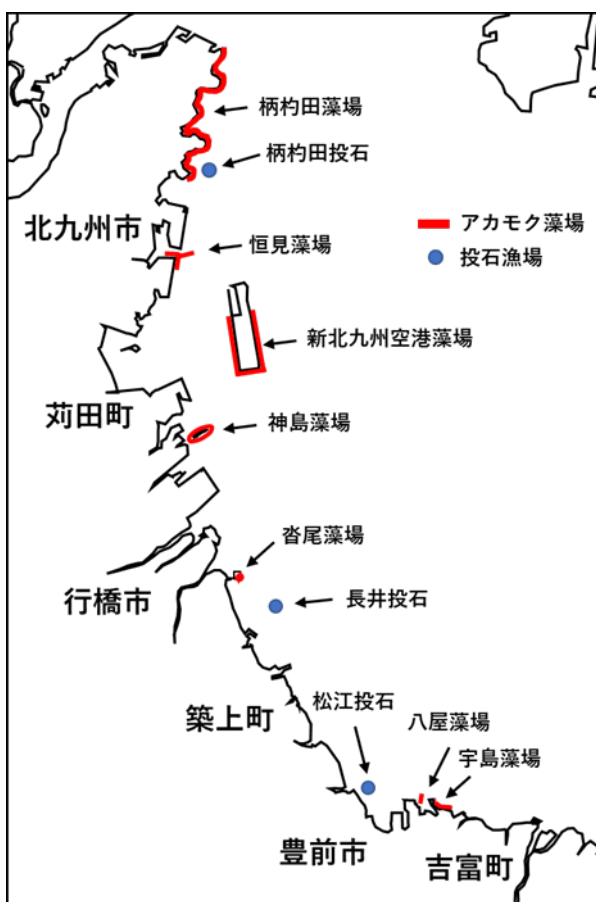


図4 アカモクの分布状況及び光量子量測定地点

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

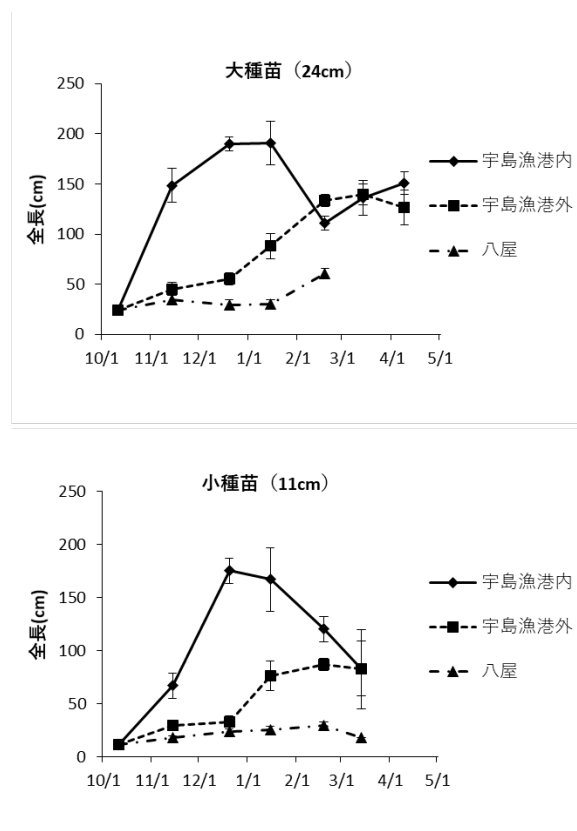


図5 10月沖出し種苗の全長の推移

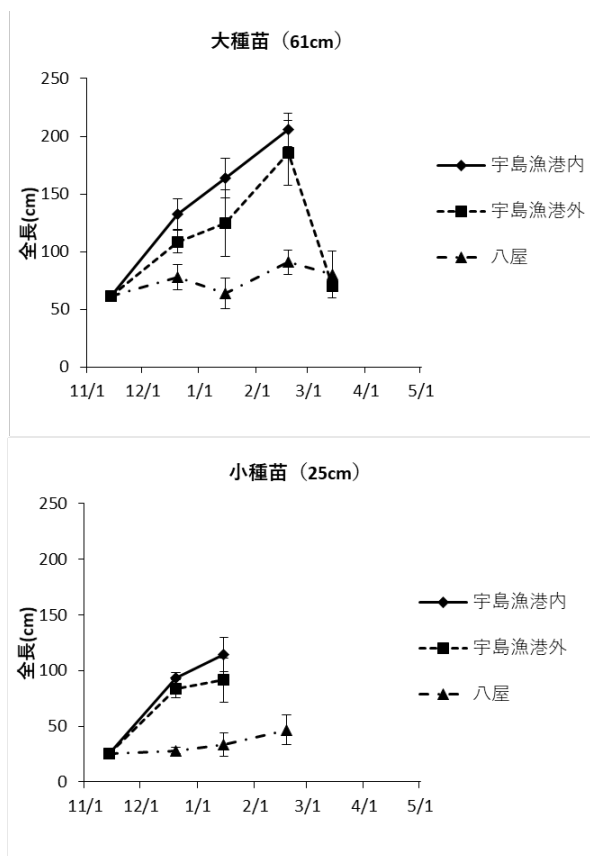


図6 11月沖出し種苗の全長の推移

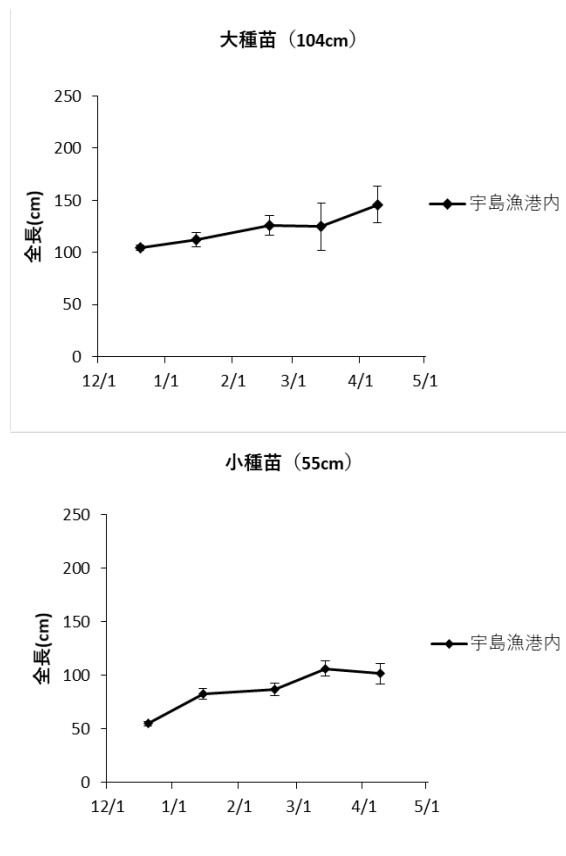


図7 12月沖出し種苗の全長の推移

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。225m<sup>2</sup>の投石試験区全域において、資源密度約4kg/m<sup>2</sup>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/m<sup>2</sup>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/m<sup>2</sup>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/m<sup>2</sup>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。

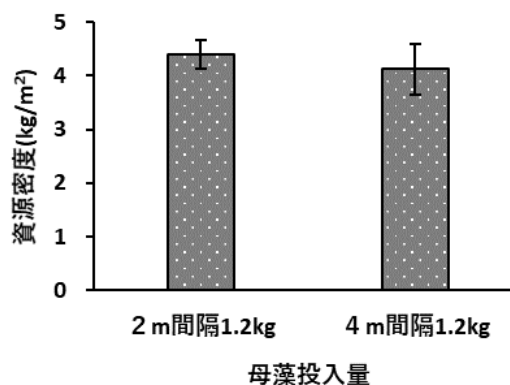


図10 漁港内における母藻投入量別の資源密度

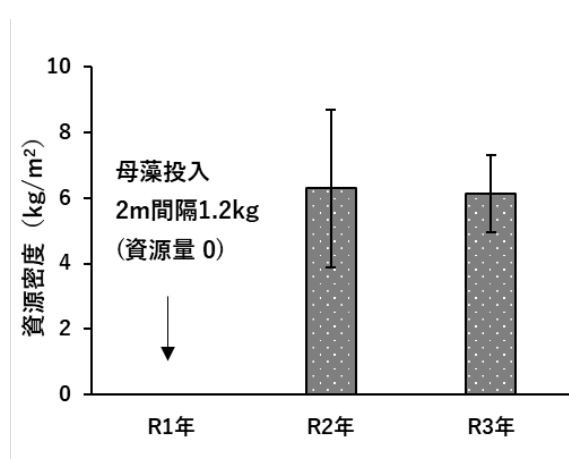


図11 漁場の再生試験における資源密度

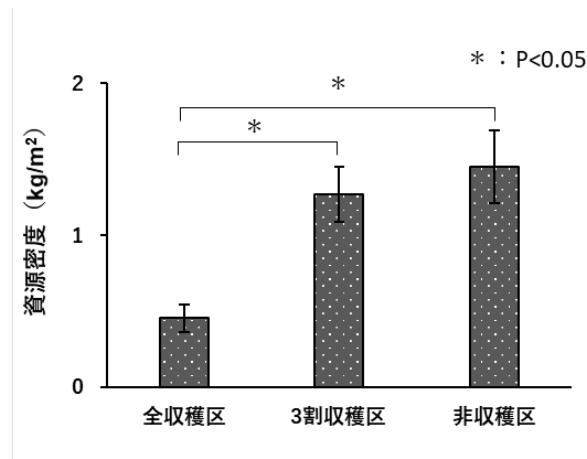


図12 試験収穫翌漁期の資源密度

## 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<sup>8, 9)</sup>、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<sup>10)</sup>。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<sup>5)</sup>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<sup>11)</sup>、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<sup>12)</sup>で10月、新潟県<sup>13)</sup>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<sup>14)</sup> 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<sup>15)</sup> 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<sup>16)</sup> の生息が確認されておらず、着生した種苗が被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<sup>6)</sup>。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、アカモクの増殖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<sup>17)</sup>。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.
- 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.