

投石によるアカモク漁場の拡大に向けた実証試験

日高 研人・鹿島 祥平・黒川 皓平^a・後川 龍男^a・田中 慎也^b
(豊前海研究所)

福岡県豊前海ではアカモクの生育に適した浅場の岩礁域がほとんどないことから、アカモク藻場の拡大を図るためには投石による漁場造成が必要である。そこで、豊前海で藻場造成を行う際の基礎知見とすることを目的として、投石と母藻投入によりアカモク藻場の造成と維持拡大が可能かを検証するとともに、アカモク増殖に適した光条件について整理した。その結果、投石と母藻投入により宇島漁港内および漁港外ともにアカモク藻場の形成が確認された。光条件の整理では、相対光量子量が10%以上でアカモクの継続した生育が確認された。また、自然光下において、海面および最干潮時の水深別に測定した光量子束密度と照度との関係に強い正の相関がみられ、アカモク増殖に適した水深の基準を2m以浅とすると、今回算出した相対照度2.8%以上についても藻場造成の指標になり得ることが示唆された。照度計は光量子計に比べ比較的安価で入手可能なため、アカモク藻場造成に適した海域を簡易に判断する際には有効であると考えられた。

キーワード：アカモク、投石、光条件、相対光量子量、相対照度、漁場造成

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)}。福岡県豊前海では、主に波浪の影響が少ない静穏域にアカモク群落形成されており、魚介類の隠れ処や産卵場、稚仔魚の育成場としての機能を担っている。

アカモクは、従来から日本海沿岸を中心に食用海藻として各地で利用されており³⁾、本県では筑前海に次いで豊前海でも2010年から加工品の生産が開始され、道の駅や直販所などで人気を博している。アカモクは、漁港近くに群落形成されるため、燃料費も少なく、大規模な設備投資が不要なことから、新規就業者をはじめ高齢者や女性でも利用可能な資源として現場から増殖の要望が強い海藻である。

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、本県筑前海においてもクレモナ基質やコンクリートブロックに種苗を付着させる増殖手法⁴⁾や母藻投入手法に関する試験により、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⁵⁾だとする知見が得られている。加えて、豊前海のアカモクについては、最干潮時の水深(以後、水深とする)1~2mの静穏な浅海域に分布

し、海域全体では、生育に適した浅場の岩礁域がほとんどないことが明らかとなっている。また、付着基質の無い水深1~2mの海域において、石材等の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ており、その水深は1~4mの間に閾値が存在すると考えられている⁶⁾。

そこで本研究では、これまで得られている知見をもとに今後、豊前海で藻場造成を行う際の基礎知見とすることを目的として、投石と母藻投入によりアカモク藻場の造成と維持拡大が可能かを検証するとともに、アカモクの増殖に適した光条件について整理した。

方 法

1. 漁場造成試験

福岡県豊前市宇島地先を試験区に設定し、2021年8~12月に、宇島漁港内の水深1~2m域に1.5m×150mの投石試験区を1カ所、宇島地先漁港外の水深1~2m域に5m×5mの投石試験区を4カ所造成した(図1)。石材は大栗石(径150~300mm)を使用し、投石後の高さが40cm程度となるように投入量を0.4t/m²に調整した(表1)。その後、2022年3月に、敷設した試験区上に成熟したアカモ

a 現所属：水産振興課

b 現所属：漁業管理課

クの母藻をスポアバック方式で設置した。なお、母藻投入は、2m 間隔で 1.2kg/袋とした。

投石試験区におけるアカモクの生育状況を調査するため、2022 年 10 月 3 日、11 月 9 日、2023 年 2 月 3 日、3 月 24 日、10 月 30 日、11 月 29 日、2024 年 2 月 6 日、3 月 25 日に、漁港内および漁港外の投石試験区と対照区としてそれに隣り合う宇島地先の天然礁において（以下、漁港内区、漁港外区、天然区とする）、アカモク藻体の全長測定を行った。試験区ごとのアカモク全長を比較するため、採取月毎に Mann-Whitney の U 検定を用いて検定した。また、2023 年 3 月 24 日および 2024 年 3 月 25 日に、1m×1m の正方枠での枠取り観察による海藻被度調査、50cm×50cm の正方枠による坪刈り調査を行い、研究所に持ち帰ってアカモクの湿重量を測定し、現存量を算出した。

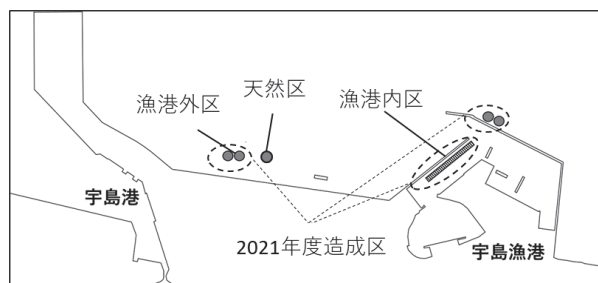


図 1 漁場造成試験区位置

表 1 漁場造成試験区

設置場所	石材	造成箇所	造成面積 (m ²)	投入量 (t/m ²)
漁港内	大栗石 (150~300mm)	1	225	0.4
漁港外	大栗石 (150~300mm)	4	100	0.4

2. アカモク藻場形成にかかる光条件

(1) 光子束密度および照度

2022 年 10 月 4 日～11 月 7 日に、アカモクの増殖に適した光条件を整理するため、2019 年度に水深 4m に設置した投石試験区および 2021 年度に造成した投石試験区の海面および水深 1m、2m、3m、4m (図 2) において、アドバンテック社製小型メモリー光子束密度計 (DEFI2-L) と Onset 社 HOB0 ペンダントロガー (UA-002-64) を用いて、光子束密度と照度の連続観測を行った。光子束密度とは、単位面積、単位時間当りの光子数の中で、1 m² 当り 1s 当りに、アボガドロ定数 (6.022×10²³) に等しい光子が通過した時の光子束密度が、1 mol / (m²・s) である⁷⁾。今回の測定における単位は μmol / (m²・s) で表す。次に照度とは、人間の眼に感じる明るさを数値化したもので、単位面積あたり

に入射する光束を示し、照度計のセンサーの波長感度特性は、眼の標準比視感度特性 (人間の目が波長ごとに光を感じ取る強さの度合を定量化したもの) に対応するように設定されているため、一般に照度は、同一の波長分布を有する放射源に対してのみ、光子束密度や放射束に比例する⁷⁾。今回の測定における単位は lx で表す。

今回、光子束密度計および照度計は、2021 年度造成区の海面および水深 1m、2m を、2019 年度造成区の水深 3m、4m を測定できるように設置した。なお、海面はフロートに添わせて取り付け、水深 1m、2m および 3m、4m はコンクリートブロックの中心部に 1m の鉄パイプを固定したものを作成し、底面に 2m および 4m、鉄パイプに添わせて 1m および 3m とセンサー部が各水深帯になるように取り付けた (図 3)。

また、これらの試験で得られたデータから各水深帯の相対光子束密度 (各水深帯の光子束密度) / (海面の光子束密度) および相対照度 (各水深帯の照度) / (海面の照度) を算出した。

(2) 潜水目視調査

光子束密度と照度の連続観測を行った水深 1m、2m、3m、4m において、アカモクの生育状況を確認するため、天然礁でアカモク種苗が着生した石を 2022 年 10 月に各水深帯に設置し、2022 年 10 月～2023 年 3 月にかけて、SCUBA 潜水による目視調査を行いアカモクの生育状況を観察した。

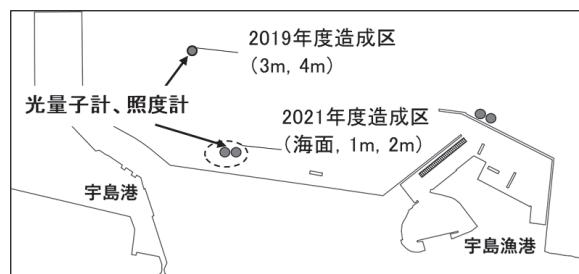


図 2 光子束密度計および照度計設置場所

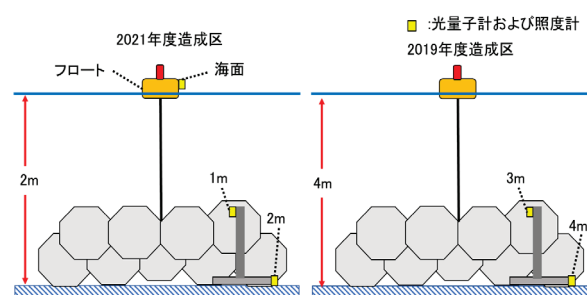


図 3 光子束密度計および照度計の設置状況

結 果

1. 漁場造成試験

各試験区におけるアカモク藻体の平均全長の推移について図4, 5に示した。2022年度は11月時点まで全地点で同様の生長を示していたが、2月に漁港内区 55.8cm, 漁港外区 99.6cm, 天然区 126.7cm, 3月に漁港内区 137.6cm, 漁港外区 202.1cm, 天然区 212.0cm と天然区>漁港外区>漁港内区の順に生長が良い結果となった。検定の結果から、漁港外区および天然区と漁港内区は2月および3月調査において、有意な差がみられた(2月 P<0.01, 3月 P<0.05)。2023年度も同様に11月時点まで全地点で同様の生長を示していたが、2月に漁港内区 69.5cm, 漁港外区 174.4cm, 天然区 178.0cm, 3月に漁港内区 136.7cm, 漁港外区 213.1cm, 天然区 224.7cm と天然区>漁港外区>漁港内区の順に生長が良い結果となった。検定の結果から、漁港外区および天然区と漁港内区は2月および3月調査において、有意な差がみられた(2月 P<0.01, 3月 P<0.05)。

各試験区における海藻被度およびアカモク現存量の結果を表2, 3, 図6, 7に示した。2023年3月24日調査では、大型海藻被度は漁港内区 30%, 漁港外区 30%, 天然区 60%, 大型海藻の種類はワカメ, アカモクが出現し、大半がアカモクであった。アカモク現存量は、漁港内区 1,120g/ m², 漁港外区 1,840g/ m², 天然区 3,156g/ m² と被度, 現存量ともに天然区で高かった。2024年3月25日調査では、大型海藻被度は漁港内区 40%, 漁港外区 50%, 天然区 50%, 大型海藻の種類はワカメ, アカモクが出現し、大半がアカモクであった。アカモク現存量は、漁港内区 1,185g/ m², 漁港外区 4,815g/ m², 天然区 3,501g/ m² と被度は漁港外区と天然区で同等, 現存量は漁港外区で高かった。

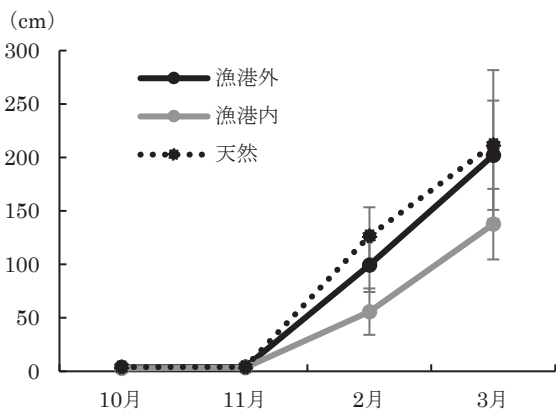


図4 2022年度アカモクの全長推移

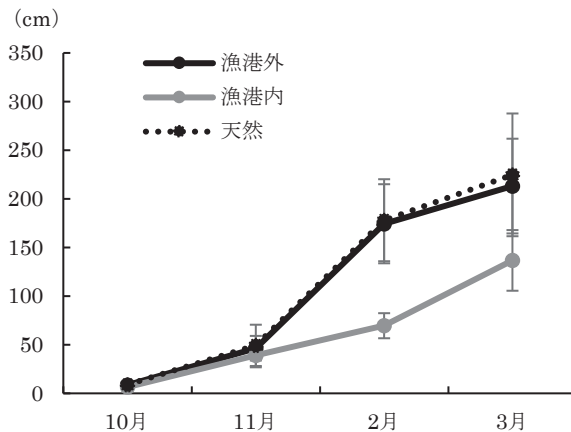


図5 2023年度アカモクの全長推移

表2 2022年度海藻被度

調査区		漁港内	漁港外	天然
水深(m)		2.0	2.0	2.0
底質被度	岩盤			10
	大礫(拳大≤)	100投石	100投石	80
	小礫(米粒大≤)			5
	砂(粒子確認)			5
景観被度	大型海藻	30	30	60
	小型海藻	40	40	30
	無節サンゴモ	—	—	—
	固着動物等	15	5	5
大型海藻被度	ワカメ		+	+
	アカモク	30	30	60

表3 2023年度海藻被度

調査区		漁港内	漁港外	天然
水深(m)		2.0	2.0	2.0
底質被度	大礫(拳大≤)	100投石	100投石	90
	小礫(米粒大≤)			5
	砂(粒子確認)			5
	大型海藻	40	50	50
景観被度	小型海藻	30	40	35
	無節サンゴモ	—	—	—
	固着動物等	10	5	10
	裸面・砂地	20	5	5
大型海藻被度	ワカメ		+	+
	アカモク	40	50	50

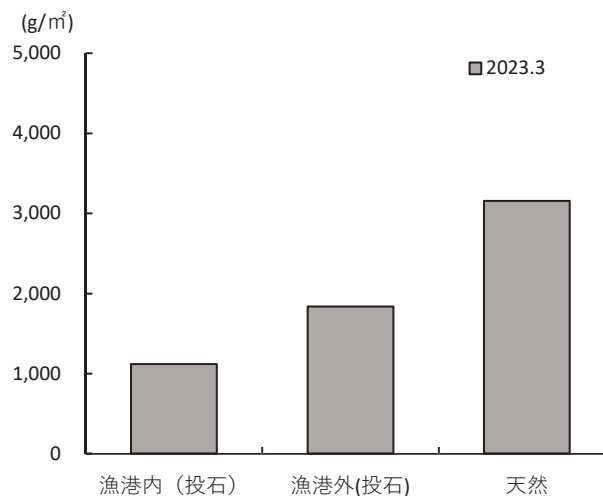


図6 2022年度アカモクの現存量

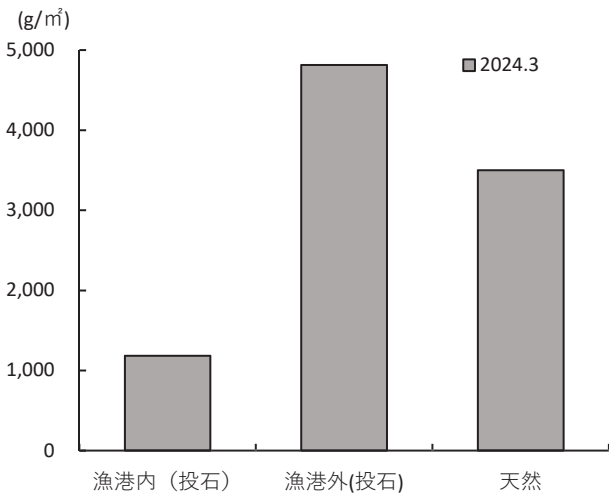


図7 2023年度アカモクの現存量

2. アカモク藻場形成にかかる光条件

(1) 光量子束密度および照度

海面および水深 1m, 2m, 3m, 4m 別の光量子束密度と照度との関係を図8に示した。その結果、両者の関係には強い正の相関が見られた ($R^2=0.66\sim0.99$)。

平均光量子束密度および照度, 相対光量子量, 相対照度について表4に示した。また, 水深別の相対光量子量および相対照度について図9に示した。いずれの値も海面に近いほど高く, 平均光量子束密度は $15\sim442\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 平均照度は $663\sim45,244\text{lx}$ であった。相対光量子量は $5.9\sim18.5\%$, 相対照度は $1.3\sim6.5\%$ であった。

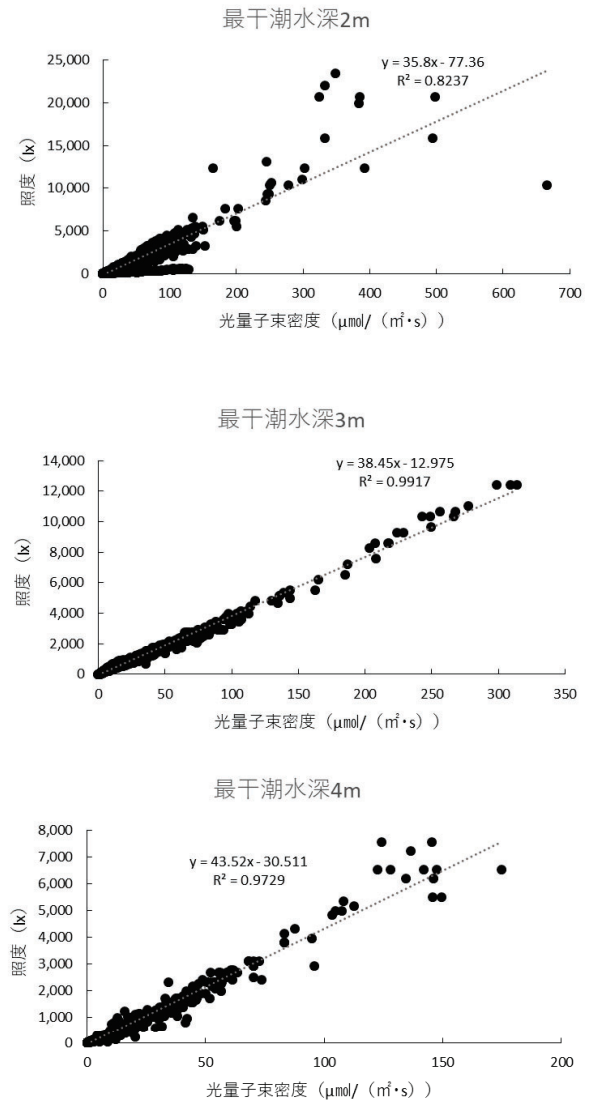
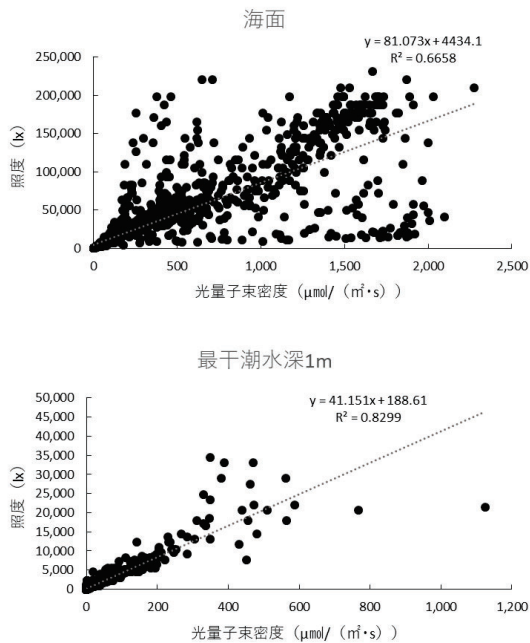


図8 水深別光量子束密度と照度との関係

表4 水深別平均光量子束密度と照度

	相対光量子量 (%)	平均光量子束密度 ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)	相対照度 (%)	平均照度 (lx)
海面	100.0%	442	100.0%	45,244
最干潮水深 1 m	18.5%	84	6.5%	3,235
2 m	11.4%	46	2.8%	1,508
3 m	9.1%	33	2.3%	1,203
4 m	5.9%	15	1.3%	663

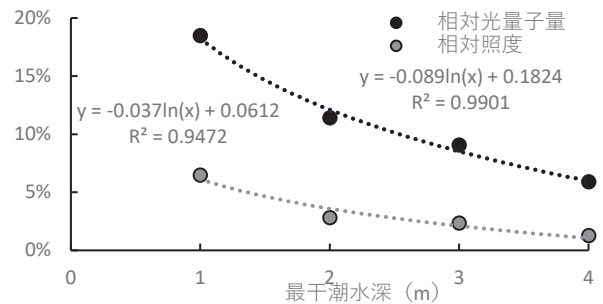


図9 水深別相対光量子量と相対照度

(2) 潜水目視調査

水深 1m および 2m ではアカモクの生長が継続して確認されたが、水深 3m および 4m ではアカモクは 11 月時点で消失していた (図 10, 11)。



図 10 11 月調査時最干潮水深 2m での観察状況

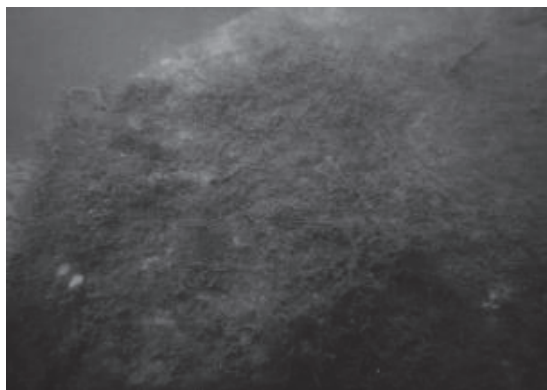


図 11 11 月調査時最干潮水深 3m での観察状況

考 察

伊藤ら⁸⁾によると、浅海域における藻場造成は、生態系全体の底上げの観点から重要であり、藻場造成を効果的に行うための研究・実証を行い、浅海域における生産力の底上げを図る必要があるとの報告がある。今回、投石と母藻投入によりアカモク藻場の造成と維持拡大が可能かを検証したところ、漁港内区および漁港外区ともにアカモク藻場の形成が確認された。しかし、漁港内区では漁港外区や天然区に比べて現存量が少なかったことから、アカモクの増殖に適していない要因があると考えられた。従来から海藻の生育には、水温、照度、波浪、漂砂などが影響すると考えられている⁹⁻¹¹⁾、今回潜水調査時に、アカモクの生育を確認したところ、漁港外区や天然区では、順調な生育が確認できたが、漁港内区では葉や茎に浮泥の

堆積が見られ、漁港外区や天然区に比べて 2 月、3 月のアカモクの全長が有意に小さかった (2 月 $P < 0.01$, 3 月 $P < 0.05$)。これらのことから、浮泥が堆積したことにより光量不足になり、アカモクの生長が阻害されている可能性が推察された。吉田ら¹²⁾によると、浮泥が幼胚の着生を阻害し、仮に着生できても成長、再生産が阻害されている可能性があるとのことから、今回調査時にも同様の事象が確認されたものと考えられた。また、吉田ら¹²⁾は適度な物理的攪乱のある場所では浮泥が刷新され、アカモクの入植も可能になりうることも報告していることから、今後、豊前海で藻場造成を行うのであれば、流速環境も調べたうえで漁港外の地先で行うのが得策と考えられた。また、筑前海において、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⁵⁾、豊前海でも、漁港内の新規投石漁場において、2m 間隔および 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⁶⁾との報告がある。今回、母藻投入の密度は、2m 間隔で 1.2kg としており、同様の結果が確認された。

黒川ら⁶⁾によると、豊前海のアカモクは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が確認されず、概ね 10% 以上の水深帯に分布していると報告している。また、京都府で実施されたアカモク養殖試験でも相対光量子量が 10% 以上であれば生育が保障される旨の報告がある¹³⁾。今回の結果でも、相対光量子量が 10% 以上であった水深 2m 以浅では、アカモクの継続した生長が確認されたが、10% 未満であった 3m 以深では、アカモクは消失していた。このことから、豊前海においてアカモク藻場を造成するためには、相対光量子量が 10% 以上であることが条件になると考えられた。また、10% をアカモク藻場造成の指標と考えたとき、水深別の相対光量子量から得られた近似式に代入すると、 $x=2.5$ となり、宇島地先では、最干潮水深 2.5m に閾値があると推察された。ただし、実際にアカモクの継続した生育が確認できたのは、水深 2m であるので、宇島地先で藻場造成する際には、水深 2m を基準とすることが望ましいと考えられた。

また、今回、自然光下において、同時に測定した光量子束密度と照度の関係に強い正の相関があることが明らかになり、今回、算出した相対照度もアカモク藻場造成の指標となり得ると考えられた。水深 2m を基準とすると相対照度は 2.8% であり、相対照度 2.8% 以上も指標として使用できることが示唆された。照度計は光量子計に比べ比較的

安価で入手可能なため、アカモク藻場造成に適正な海域を簡易に判断する際には有効であると考えられた。

本調査において宇島地先では、小型の大栗石（径 150～300mm）でも水深 2m 以浅であればアカモク藻場を造成することが可能であった。寺脇ら¹⁴⁾によると、事業が想定される特定の海域において、光、附着基質、水の動き（波浪、砂の移動など）、藻食動物、基質の競合などの局地的に藻場の分布を制限する要因を把握し、その影響を緩和することが特に重要となるとしている。このことから、宇島地先においては、光条件が制限要因になっていると考えられるため、水深 2m を基準とすると、宇島地先でアカモク藻場造成を目的に投石を実施する場合、水深 1～2m 域では小型の投石、水深 2～3m 域では大型の投石（1t 石以上）、水深 3～4m 域では従来から豊前海で行っている覆砂による嵩上げと大型の投石（1t 石以上）¹⁵⁾ 等によるアカモクの生育に必要な水深を確保する工法を実施することが望ましい。また、投石だけでなく、藻場礁等の着定基質を設置することも有効と考えられる。

最後に、今回の調査時に投石による効果として、アカモクだけでなくワカメの着生、カサゴやメバルなどの根魚やマナモコの蛸集が確認された。江藤ら¹⁵⁾によると、豊前海浅海域で投石を行えば、新しいナマコ漁場や建網漁場を形成するとともに、幼魚の保育場など豊前海全体の漁業生産に寄与すると報告している。今後、投石によりアカモク藻場の造成をする際には、複数の漁業種と調整しながら漁場を有効活用することが求められると考えられた。

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) 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) : 233-23
- 4) 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.
- 5) 梨木大輔, 後川龍男, 林田宜之, 日高研人. 筑前海におけるアカモク増殖手法に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター-研究報告 2022 ; 32 : 1-6.
- 6) 黒川皓平, 後川龍男, 野副滉, 田中慎也. 豊前海におけるアカモク増殖手法に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター-研究報告 2022 ; 32 : 7-14.
- 7) 古在豊樹. 植物組織培養研究における単位表記. 植物組織培養 1989 ; 6 (1) : 38-41.
- 8) 伊藤靖. 漁場整備・人工魚礁の歩みと現状. 水産工学 2011 ; 48 (2) : 157-160.
- 9) 吉田吾郎, 有馬郷司, 内田卓志. 褐藻アカモクの初期生長に及ぼす日長, 照度, 水温の影響. 南西海区水産研究所研究報告 1995 ; 28 : 21-32.
- 10) 中嶋泰. 藻場造成の適地選定手法について. 水産工学 2005 ; 42 (2) : 159-163.
- 11) 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.
- 12) 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 1995 ; 28 : 21-32.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 江藤拓也, 上妻智行, 佐藤利幸, 長本篤. 豊前海浅海域における投石による魚介類の蛸集効果. 福岡県水産海洋技術センター-研究報告 2005 ; 15 : 7-11.