

ハードとソフトの連携によるブルーカーボン 生態系の再生

ー藻場回復方法 Q & A と漁港を利用した 海藻バンクの開発状況の紹介ー

一般社団法人漁港漁場新技術研究会 沿岸域環境保全専門部会座長

株式会社アルファ水工コンサルタンツ

綿 貫

啓

目 次

1. はじめに	26	3. 海藻バンクの開発状況	29
2. 藻場回復方法の Q&A	27	3-1 事業の概要	29
2-1 概要	27	3-2 実証漁港の選定	29
2-2 藻場造成計画や設計について	27	3-3 プロジェクトの実施体制	30
2-3 施工、磯焼け対策の進め方	28	3-4 実施にあたっての課題と対応	31
		4. おわりに	31

1. はじめに

わが国では「2050年カーボンニュートラル」の実現を目標に、温室効果ガス排出量の削減の様々な研究開発が進められている。さらに温室効果ガスの吸収作用の保全および強化が求められている。沿岸域においては海藻・海草藻場がCO₂吸収に大きな役割を果たすことが注目され、わが国は2024年4月に国連へ提出した温室効果ガスのインベントリにおいて、世界で初めて、海草・海藻藻場によるCO₂吸収量を合わせて報告した（環境省、2024年6月）。CO₂を隔離し貯留する海洋生態系（海草・海藻藻場、マングローブ林、湿地・干潟）はブルーカーボン生態系と呼ばれ、これらは多くの生物の産卵場や稚魚期の生息場としての役割を果たし、沿岸漁業にも大きな恩恵をもたらしている。

一方、全国各地で藻場が衰退する磯焼けが発生しており、藻場の消失が漁業資源に大きな影響を及ぼしている。磯焼けが進行する海域では、海藻が根付かない状態が続き、藻場の再生が困難な状況が多く見受けられる。こ

のような状況に対して、水産庁ではソフト対策に主眼を置いた「磯焼け対策ガイドライン（現在は第3版）」を発行し、各地で藻場の回復例が増えつつある。ハード対策としては、海藻のタネの供給源として新たな藻場礁の設置や投石等が実施されているが、施設の計画・設計において、漁業者が実施するウニ除去や植食性魚類からの保護といったソフト対策への配慮が求められている。水産工学の技術者にとって、磯焼け対策ガイドラインは設計の参考となるが、生物学的な知見が十分でない場合、具体的にどのように適用すべきかが分かりにくいという課題がある。そこで、漁港漁場新技術研究会は、水産工学技術者が磯焼け対策を計画・設計・施工する際に知っておくべき事項をQ&A形式で整理して、初心者にも分かりやすい小冊子「水産土木技術者のための藻場回復方法Q&A」を作成し、2024年度よりホームページ上で公開したので、ここでその概要を紹介する。

さらに極度の磯焼けの継続により、母藻が消失し、タネ不足で藻場が再生できない海域が増えている。対応策として、海藻の種苗生

産や移植が実施されているが、現状では海藻の種苗生産は試験的に実施されている段階で十分な供給量とは言えず、今後の需要に対応するための基盤整備が急務である。このような背景から、漁港を利用して藻場を増やす基地づくりを目的に、漁港漁場新技術研究会の沿岸域環境保全専門部会の4社がコンソーシアムを結成した。このコンソーシアムは、経済産業省が所管するグリーンイノベーション基金事業として、2022年度から「海藻バンク」の開発に着手し、著者も参画している。本報告では、この海藻バンクの開発についても紹介する。これらの技術はブルーカーボン生態系の回復、磯根漁場再生のみならず、漁港・漁場のカーボンニュートラルにも応用可能である。

2. 藻場回復方法のQ&A

2-1 概要

2021年に公表された磯焼け対策ガイドライン（第3版、水産庁）は、全国の漁業者や水産土木技術者に活用されている。しかし、ハード対策やソフト対策との連携に関する課題に直面する設計担当者も多く、実務における疑

問を解消するための具体的な参考図書が求められている。そこで、漁港漁場新技術研究会の沿岸域環境保全専門部会では「水産土木技術者のための藻場の回復方法Q&A」（図－1）を作成した。

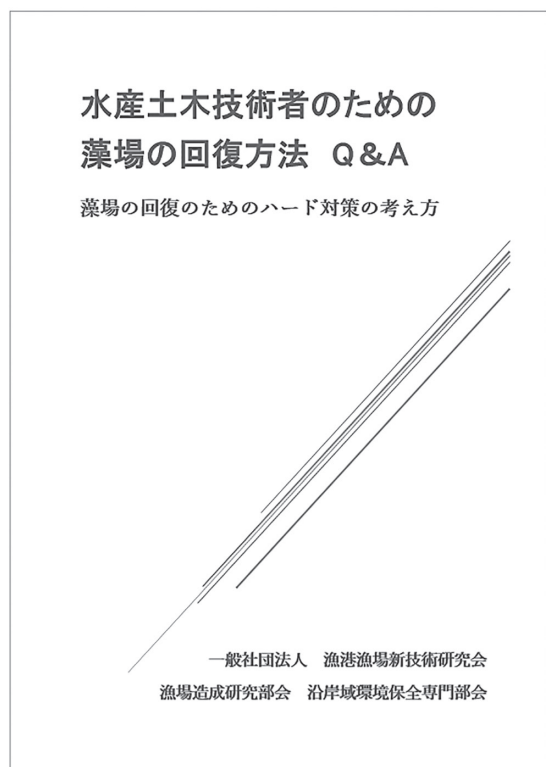
Q&Aの質問内容は磯焼け対策ガイドラインの改定にあたって、各自治体の漁場担当者を対象に実施した磯焼け対策に関するアンケートの自由意見として記載されたものを整理したものである。自由意見は藻場造成計画・施設計画、施設設計、施工、漁場利用、磯焼け対策の進め方、その他に分類し、合計40の質問にまとめた。

2-2 藻場造成計画や設計について

表－1に藻場造成計画・施設計画、施設設計に関する主な質問を示す。この範囲の質問では、藻場造成計画の方法、ウニや魚類の食害対策を考慮した藻場礁等の配置方法、藻場礁としてどのようなものを選定すれば良いかといった質問が多い。

表－1 施設計画や設計に関する主な質問

- | |
|---|
| <p>1. 藻場造成計画や施設計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・食害対策を実施しても、海藻が生長しない。 ・管理しやすい藻場礁の適地選定方法が知りたい。 ・母藻移植しても、海藻が周辺に拡がらない。 ・高水温や植食動物の食害等で海藻が枯れる。 ・ウニ除去しても、再加入しイタチごっこである。 <p>2. 施設設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・藻場礁はどれも同じで、投石でよいのでは。 ・藻場礁の設置間隔をどのように決めれば良いか。 ・ウニの食害対策としてハード対策があるか。 ・砂地盤に設置する藻場礁の埋没対策はあるか。 ・魚類の食害防止ネットを利用した対策方法。 ・食害防止ネットの付着物で目詰まり対策。 ・魚類による食害対策は、ネット以外にあるか。 |
|---|

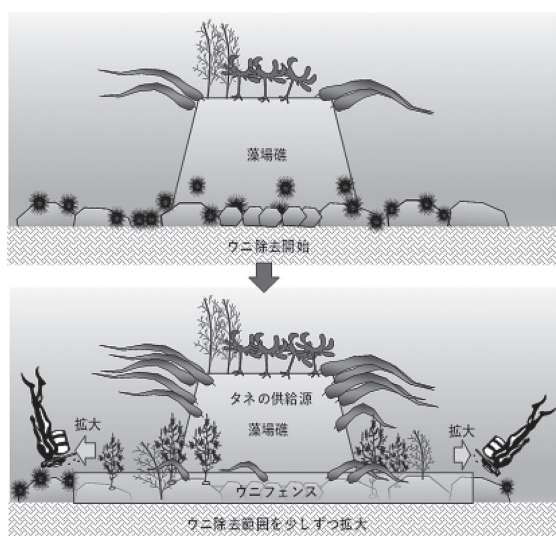


図－1 水産土木技術者のための藻場の回復方法Q&A

磯焼け対策ガイドラインの普及により、ウニ類の食害による藻場の衰退が注目されるようになった。しかし、表－1に示しているように、ウニ除去を実施しても再加入が起り、藻場が回復しないという質問がある。

ここではウニ除去により核藻場を造成し、これを中心に藻場を拡大・回復する方法を示

す（図－２）。ウニは波当たりが強く波動流速が0.4m/s以上となる浅場では海藻を摂食する頻度が少なく、ウニの食害による磯焼け海域でも浅場に海藻が分布していることが多い。このような海域で新たに基質を投入する場合、藻場礁の天端水深を天然岩礁に残存している海藻の生育水深帯に一致させ、藻場礁を囲むようにウニフェンスを配置し、ウニ生息密度の低減を継続すると核藻場が形成されやすい。この核藻場を複数箇所で作成し、これらを中心に藻場の回復範囲を広げることで、徐々に藻場が回復すると期待される。ウニ除去の効果が得られないという指摘は、広域の漁場を対象にウニ除去を実施しているケースで、作業に対してウニの生息密度が十分に低下していないことが原因と推測される。図－２のように、狭い範囲で確実にウニ除去を実施することで、藻場の回復の可能性が高まることを本書で解説している。



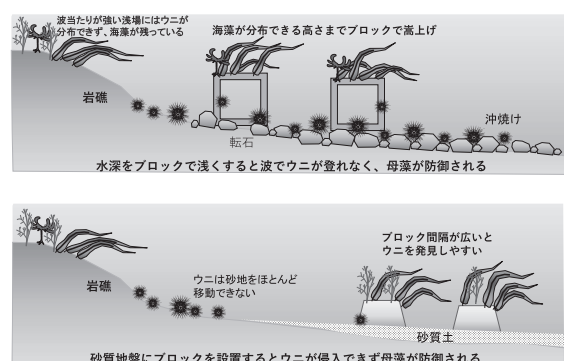
図－２ 藻場礁を中心にした核藻場づくり

表－１には、ウニの食害対策としてのハード対策に関する質問が含まれている。先に述べたように、浅場はウニが分布しにくく、海藻が繁茂しやすい可能性が高い。そのため、図－３の上図に示しているように、背の高い基質を設置すると、ウニが部材を登る頻度が少なくなり、核藻場が形成されやすくなる。ウニの生息密度を低く保つためには、ブロックの配置間隔を、漁業者がウニ除去などの作業をしやすいように決定することが重要である。

また、図－３の下図のように、岩礁付近に砂地が分布する地形では、砂質土上をウニが移動しにくいという特性を利用し、砂地に藻場礁を設置することで、ウニが藻場礁まで移動できず、核藻場が形成されやすくなる。ただし、砂層が厚い場合、藻場礁が埋没して機能を発揮できなくなるため、砂層が薄い場所を選択することが重要である。さらに、コンブ類ではタネの拡散範囲が約10m、ホンダワラ類では数m程度であるため、藻場礁は岩礁に近づけて設置することが望ましい。

図－３のいずれの場合でも、藻場礁等の基質の設置間隔が狭すぎると、ウニ除去などのソフト対策が実施しにくくなるため、2～3mの間隔を空けて設置することが推奨される。

なお、砂質土地盤の場合、投石によって核藻場を形成することも可能であるが、この場合も石材の間隔を空けて投石することが望ましい。間隔を空けた投石の効果については、磯焼け対策ガイドラインに詳述されている。



図－３ ウニが原因で磯焼けが続いている海域で母藻を防御するブロックの配置案（ハード対策）

2-3 施工、磯焼け対策の進め方

表－２に施工、漁場利用、磯焼け対策等に関する主な質問を示す。工期の設定においては、対象とする海藻の生活史を考慮する必要がある。一般的にはコンブ科の海藻は秋、ホンダワラ類の多くは初夏に成熟するが、新規の藻場礁の設置にあたっては、海藻の成熟前に設置が終了していることが望ましい。コンブ科とホンダワラ類の混成藻場を目標とする場合は、工事は年度をまたいで実施するか、海藻の種苗を移植することを検討する必要がある。

磯焼け対策に関する質問で、ウニ除去の頻度に関する設問があるが、頻度は各海域によって異なる。目標は0個体/㎡であるが、実用上は5個体/㎡以上の箇所を確認したらウニ除去を実施する必要がある。また、高齢化や担い手不足により、マンパワーや予算不足の問題もある。ウニ除去ではキャベツウニのように痩せウニを肥育して収入を得たり、磯焼け対策をブルーカーボンオフセットで購入してもらったりする例を本書で紹介している。

表ー2 施工や磯焼け対策に関する主な質問

3. 施工について
・工期の設定はどのように考えるべきか
4. 漁場利用について
・メンテナンスが容易なブロックはないか。
・藻場の回復後に稚アワビの生残率が低い。
5. 磯焼け対策の進め方
・ウニ除去の頻度はどのくらいが望ましいか。
・ハード整備後、ソフトはウニ除去以外に何をすべきか。
・ハードとソフト対策の組み合わせ例を知りたい。
・ソフト対策の指導や情報共有の方法は？
・高齢化・漁業者減少でマンパワー不足、予算も不足。
6. その他
・栄養塩不足で藻場が衰退するのか。
・藻場保全に関する行政の取り組み
・スポアバッグの効果で発芽するが消滅した。

以上、水産土木技術者のための藻場の回復方法の概要を示した。この小冊子は（一社）漁港漁場新技術研究会のホームページから入手できるため、ご覧にいただければ幸いである。

<https://aitef.or.jp/division62.html>

3. 海藻バンクの開発状況

3-1 事業の概要

2050年のカーボンニュートラル達成を目標に、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に創設されたグリーンイノベーション基金（GI基金）を活用し、関連技術を持つ企業4社がコンソーシアムを組み、漁港を活用した海藻バンクシステムの開発を実施している。このGI基金の執行は、農林水産省策定の「食料・農林水産業のCO₂

等削減・吸収技術の開発（2022年8月）」プロジェクトに関する社会実装計画に基づいている。

海藻バンクは、海水温の上昇などによる海藻の生育環境の悪化に対応するものである。具体的には、海域環境に適した海藻種を選定し、食害などの被害を受けにくい漁港で種苗を育成し、それを周辺海域に効率的に移植するために、海藻の着生を助ける基盤ブロックなどの技術を活用した「海藻育成システム」を構築することを目指している。当事業の目的は、藻場の拡大によって海域でのCO₂吸収量を増加させることである。事業期間は2022年度から2030年度までで、事業化を目指している。

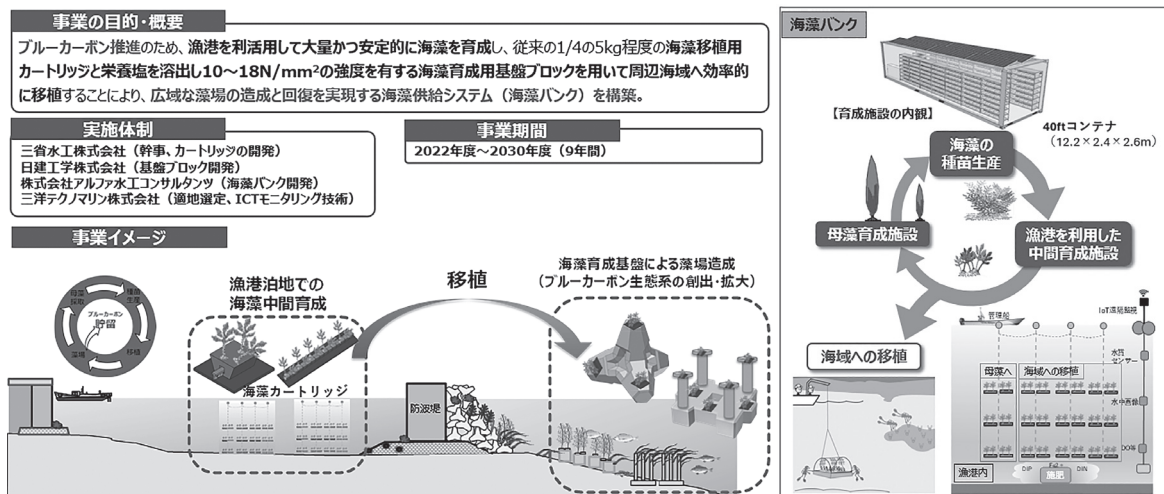
コンソーシアムがGI基金に提案したプロジェクト名は「漁港を利活用した海藻バンクによるブルーカーボン生態系拡大プロジェクト」である。本プロジェクトは、図ー4に示すように、漁港に簡易な種苗生産施設を設置し、そこで海藻の種苗を生産する。その後、海藻移植用カートリッジ（以下「海藻カートリッジ」）に種苗を着生させ、漁港水域で中間育成を行う。成長した海藻付きの海藻カートリッジを、天然岩礁、既設・新設の防波堤、および消波・根固めブロック等に移植することで藻場を拡大し、ブルーカーボン生態系の拡大を目指すものである。

これらの技術開発においては、全国各地で実証実験を行いながら、コンソーシアム各社が連携して技術開発を進め、ビジネスモデルの構築を目指すものである。

3-2 実証漁港の選定

実証実験を行う漁港は、農林水産省が策定した社会実装計画では全国5カ所とされているため、各地で作成された藻場干潟ビジョンや地元関係者の事業への関心の高さを考慮し、かつ多様な海藻種に対応し、以下に示す5漁港を選定した（図ー5）。また、地元関係者への事業概要の説明や漁港等の利用に関する諸手続き、各地域に適した海藻種の選定を行い、条件が整った漁港から種苗生産施設を建設し、2023年下半年までに完成させ、順次、種苗生産を開始した。

保戸島を除く4漁港では図ー4の右図に示



図ー４ 漁港を活用した海藻バンクによるブルーカーボン生態系拡大プロジェクト

すように輸送用コンテナを利用した種苗生産施設を設置した。大量の種苗生産を可能とするため、庫内に閉鎖系小型水槽約400基を設置できる。

定期的に各水槽の海水を交換し、栄養塩を添加して飼育している。一般的な掛け流し水槽ではないため、大がかりな取水や濾過施設が不要であり、非常にコンパクトな施設である。コンテナであるため、必要であれば移動が可能である。なお、漁港内には中間育成施設用に筏や延縄式施設を設置している。

以下に各地区の状況を示す。

1) 神恵内漁港（北海道神恵内村）

北海道日本海側に位置するこの地区は、ウニによる食害が磯焼けの継続要因となっている。対象種として、ホソメコンブ、フシスジモク、アカモクなどを選定し、2023年から種苗生産を開始した。

2) 小波渡漁港（山形県鶴岡市）

本州日本海側に位置するこの地区では、一部の海域でウニの食害が見られる。対象種としてホンダワラ類（アカモク）を選定し、母藻を確保して2024年春に種苗生産を開始した。

3) 只出漁港（岩手県陸前高田市）

太平洋北部に位置するこの地区では、ウニの食害が磯焼けの継続要因となっている。対象種として、アラメ・コンブおよびホンダワラ類（アカモク、フシスジモク）を選定し、2023年から種苗生産をしている。

4) 保戸島漁港（大分県津久見市）

九州東岸に位置する離島であり、植食性魚類による食害が磯焼けの持続要因とされている。

対象種としてクロメとヒジキを選定し、2023年から種苗を生産している。

5) 豊漁港（長崎県対馬市）

九州東シナ海側に位置するこの地区では、植食性魚類による食害が磯焼けの持続要因となっている。対象種として、アカモク、キレバモクとクロメを選定し、2024年から種苗生産を実施している。



図ー５ 実証地区

3-3 プロジェクトの実施体制

本事業は3年ごとに進捗を評価するため、カートリッジの生産枚数や海藻の着生被度な

ど、複数の目標を設定している。これらの目標を達成することで、最終的には実証海域に広範な藻場を造成し、数百トンのCO₂を吸収するという野心的な目標を掲げている。また、(一社)全国漁港漁場新技術研究会を事務局とし、藻場造成などに精通した有識者による委員会を設置し、研究開発を効率的かつ効果的に進める体制を整えている。

本プロジェクトでは、4社が共同して社会実装に向けて以下の技術開発を進めている。

1) 海藻カートリッジの開発

小型・軽量で大量生産が可能な海藻カートリッジに関する素材や脱着方法の開発を行う。

2) 基盤ブロックの開発

海藻が着生しやすく、藻場が持続しやすい構造を持つ基盤ブロック、および海藻カートリッジの取付けが容易な構造の開発を進める。

3) 海藻種苗生産技術・中間育成技術の開発

各年度の上半期はホンダワラ類（南方系ホンダワラ類を含む）、下半期はコンブ科の海藻など多様な海藻の種苗生産技術を開発する。なお、種苗生産技術を中心に人材育成も行っている。

4) 藻場造成適地選定技術

漁港周辺の海域環境に応じた、海藻カートリッジの取付け適地選定技術を開発する。

5) ICTを活用したモニタリング技術

音響測量機器やグリーンレーザー、ドローンを活用し、広範囲を効率的にモニタリングできる技術の開発を進める。

3-4 実施にあたっての課題と対応

本事業を円滑に実施するために以下の主な課題と対応が必要である。

1) 海藻カートリッジ

セメントを用いた供試体を製作したが、閉鎖系水槽ではpHの上昇などの影響が現れ、種苗育成に懸念が生じたことから、素材の再検討を実施している。

2) 母藻の確保

海水温上昇の影響で母藻の確保が困難な地域があり、特に、2023、2024年は海水温が異常に高く、海藻の成熟期が例年と大きく異なる傾向が見られる。周辺の海域で天然の母藻

がない場合、県内の他の施設から母藻を分けてもらう対応を行っている。

3) モニタリング

海藻移植を行う予定の海域で、水深が浅い場所では計測方法が限られている。そのため、複数の計測手法を用いて、浅場における藻場の計測方法の開発を進めている。

4. おわりに

水産土木技術者向けの藻場回復方法に関するQ&Aと漁港を利用した海藻バンクの開発状況について紹介した。このQ&Aは、磯焼け海域で藻場造成を行う際の参考にもなるものである。

沿岸域では、CO₂の吸収源としてブルーカーボン生態系が注目されている。しかし、海水温の上昇により磯焼けが深刻化している。これまで、磯焼け対策は主に行政や漁業者によって実施されてきた。効果を上げた地域もあるが、漁業者の高齢化や担い手不足、資金不足が原因で十分な効果が得られていない地域も存在する。

2050年のカーボンニュートラルを目標とする上で、沿岸域のCO₂吸収源としてブルーカーボン生態系の回復は重要である。この重要性を広く一般市民に理解してもらい、関心を持ってもらうことも必要である。今後、一般市民やCO₂排出企業の間でブルーカーボンクレジットへの関心が高まることが予想され、それに伴い磯焼け対策の技術が進展し、資金面でのサポートも増加することが期待される。

参考文献

環境省(2024)；ブルーカーボンの取組について、地球環境局総務課脱炭素社会移行推進室資料、<https://www.env.go.jp/content/000238613.pdf>
水産庁(2021)；第3版磯焼け対策ガイドライン、https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozoyo/g_guideline/index.html
農林水産省(2022)；グリーンイノベーション基金事業「食料・農林水産業のCO₂等削減・吸収技術の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画
<https://www.affrc.maff.go.jp/docs/gikikin/attach/pdf/gikikin-1.pdf>