

2章 海水温上昇に対応した藻場保全・造成手法

(1) 検討フロー

高水温が直接藻体に与える影響を踏まえて、この環境に対応するためには、「高水温下でも生育可能な海藻種を用いる方法」と「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」の2つが考えられる。これらに必要なに応じて、高水温により高まる食圧への対策を加えることとなる。

【解説】

既存の磯焼け対策手法と同様に、本手法を実施する場合においても、ガイドラインに記載のPDCAサイクルに沿って、個別の技術・手法を実施することが基本となる。

本手法における対策を検討する際には図 2-2 の検討フローを参考にできる。検討フローは、「高水温自体の影響への対策検討」と「高水温により高まる食圧への対策検討」の大きく2つの段階に分かれている。

「高水温自体の影響への対策検討」においては、まず、海水温等の現状把握を実施する。高水温自体が海藻の生育の阻害要因であると判断された場合は、「高水温下でも生育可能な海藻種を用いる方法」もしくは「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」の実施を検討する。また、高水温自体が藻場回復の阻害要因でないと判断された場合は、ガイドライン等を参考にして従来手法による対策を検討することになる。高水温自体が要因であると考えられた場合は、以前から対象海域に分布している（または分布していた）従来種を用いるか、より高水温耐性の高い（生育上限温度が高い）種を用いるか、をフロー図に沿って検討することになる。

従来種を用いる場合にポイントとなるのは、従来種にとっての藻場形成適地（生育可能な環境）があるかどうかである。従来種は生育上限温度が比較的低いものが多いため、夏期の海水温上昇を抑えられる場所を見つける必要がある。これらのポイントをクリアできる場合は「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」を採用できる。

高水温耐性の高い種を用いるには、対象とする海藻種が当該海域やその周辺で既に見られるか、加えてその母藻や種苗を対策が実施できるだけ入手できるか、がポイントとなる。周辺海域を含めて全く見られない海藻種を人為的に持ち込むのは生態系保全の観点から望ましくない。また、対象海域に分布していない海藻種を用いる場合には、必要量の母藻や種苗の入手に十分な準備が必要となることが多い。これらのポイントをクリアできる場合には「高水温下でも生育可能な海藻種を用いる方法」を採用できる。

これらの検討に加えて、ウニ・魚類等による食害が現状把握で確認されれば、高水温により高まる食圧への対策を検討することとなる。様々な植食動物の除去方法や、基質の形状を工夫して防御する方法（図 2-1）がガイドラインで紹介されているので参考にしていきたい。

以下に、検討フローのポイントごとに解説する。



図 2-1 基質の形状を工夫した食害防御の例（ガイドラインより）

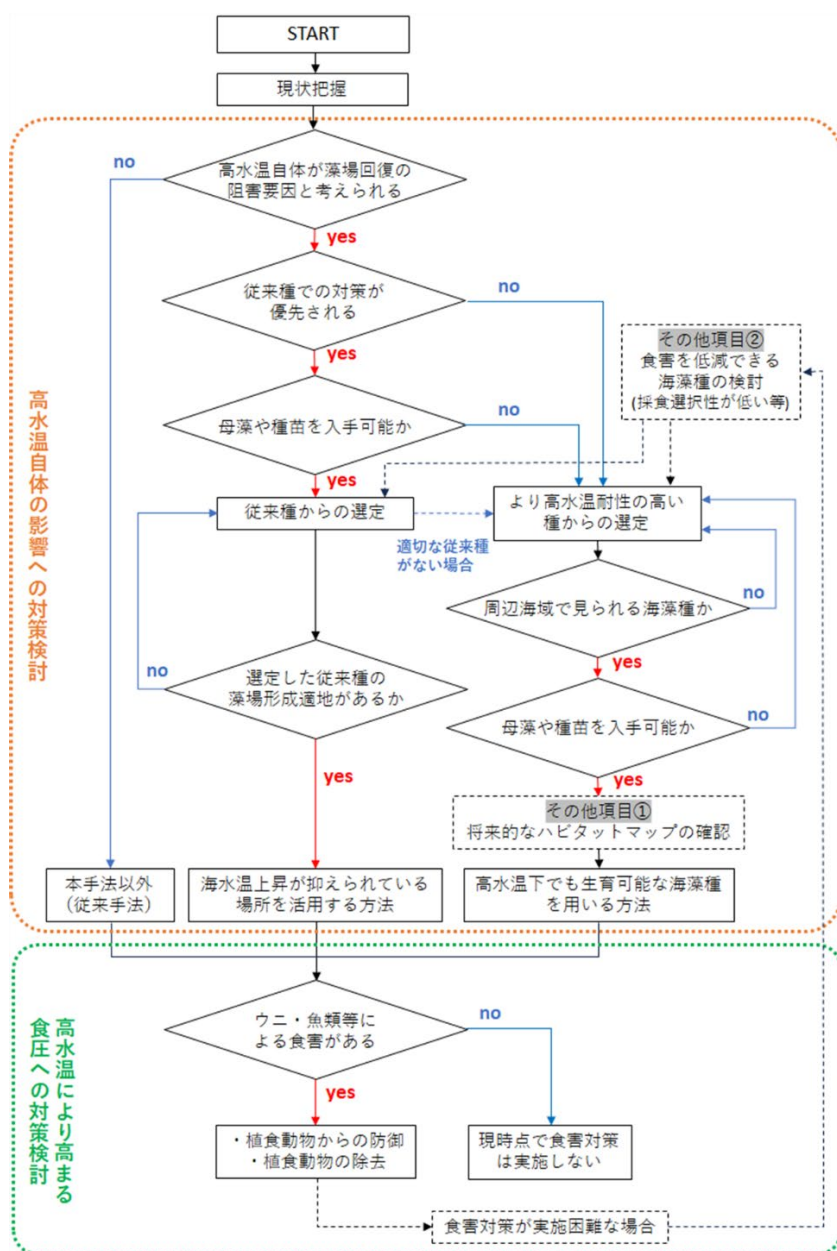


図 2-2 本手法を検討する際のフロー

(2) 現状把握

磯焼けの発生・継続の要因として、高水温自体の影響や食害が疑われる場合には、海水温情報の取得、藻体の異常の確認、植食動物の有無の確認等によって、海水温上昇に関連する影響を確認することができる。その結果は対策適地を選定する際に活用することが望ましい。

【解説】

海水温自体の影響を把握するには、「海水温情報の取得」や「藻体の異常の確認」が有効であり、加えて「植食動物の有無の確認」によって海水温上昇に関連する影響の現状を把握できる。「植食動物の有無」においては、潜水目視や設置式のカメラによるウニ・植食性魚類の把握と植食性魚類による食痕の確認が有効である。加えて、近年活用域が広がっている、環境 DNA による植食性魚類の分布把握も参考にできる。

これらの結果は、藻場保全・造成の適地の選定に活用できるだけでなく、植食性魚類の分布や食害が確認された場合には植食性魚類除去の適地選定にも活用できる。

①海水温情報の取得

海水温自体の影響による磯焼けの発生・継続を把握する手段の中でも、海水温情報の取得は直接的かつ定量的で確度が高いデータである。継続的に海水温（特に高水温期）データを蓄積することで、その変化から海水温変動の傾向を把握することが出来る。新たに海水温データを収集する場合には、独自に水温計を設置する方法と他の機関が取得した海水温データを利用する方法が考えられる。

i) 水温計を設置する

独自に水温計を設置する場合には、自分たちが知りたい場所・水深でのピンポイント情報が取れる点にメリットがあるが、水温計の購入（またはリース）や設置に相応の費用が掛かる。

近年、主流な水温計としてはペンダントロガータイプ（表 2-1、左）があげられる。小型で一定時間毎の水温データを数カ月～2 年程度（記録頻度による）記録する事が可能であるが、最大で 0.2～0.5℃程度の誤差が生じる可能性を考慮する必要がある。安い物ならば 1 個当たり 1 万数千円から購入できる。

ブイタイプの観測機器も選択できる。性能は製品により異なるが、表 2-1 に示す Spotter Buoy であれば標準で水温・波浪情報が取得でき、機能拡張により水温のみならず水質や流速等の観測も可能となる。また、ソーラーパネルによる給電と遠隔でのリアルタイム情報の収集が可能であるが、1 基で 150 万円程度の購入費用が掛かる（リースも可能）。

水温計を設置する際には年間を通して設置することが望ましく、難しい場合は高水温期（7～9 月）の水温だけでも把握したい。海水温上昇の傾向を把握するという観点では複数年に渡って継続的に設置できれば更に良い。また、1 日の水温変化が大きい場合もあ

るので、例えば1時間毎といった間隔で水温データを取得することが望ましい。

ペンダントロガータイプを設置する際には、潮流や波浪でも移動しないような人工物や天然基質に結束バンドや水中ボンド等で固定する。

ブイタイプの観測機器は水面に常在するので、漁業者らの関係者と調整を行う。届け出や申請が必要な場合があるので、関係機関に確認すること。

表 2-1 水温観測機器の一例

製品名	HOBO ペンダントロガー MX2202 (Onset 社)	Spotter Buoy (Sofar Ocean Technologies 社)
外観		
価格	1 万数千円～	約 150 万円
サイズ	W 33 × D16 × H 56 mm	W 420×H 310mm
計測項目	水温、照度	水温、波高等

ii) 他機関による海水温データを利用する

対象海域や近隣の海域において海水温データが継続的に取得されている場合は当該水温データが利用できる。基本的には「同海域である」「同水深帯である」「地形的に（岬や小湾によって）明確に隔てられていない」「直線距離で数キロ以内」といった条件を満たせば利用できるデータである可能性が高まる。ただし、上記の条件を満たしていても対象海域と同様の水温傾向とならないこともある。特に、河川水等の流入によって局所的に水温差が現れる場合もある。

周辺海域の利用可能な海水温データとしては、研究機関や水産試験場が記録・公開しているデータが良い。他にも定置網や養殖施設で記録している水温データを利用することも可能である。

表 2-2 海水温データの一例

名称	リアルタイム海洋情報収集解析システム	気象庁海面水温データ
発信機関	国立研究開発法人 水産研究・教育機構	気象庁
URL	https://buoy.nrifs.affrc.go.jp/top.php	https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/daily/sst_HQ.html
備考	取得データは水産資源調査・評価推進事業による	—

②藻体の異常の確認

高水温に晒された際には、ホンダワラ類では藻体が黒化する、カジメ等のコンブ科海藻においては藻体が溶けるように凋落する、同じくカジメ類において付着器付近の茎状部が弱くなり倒れる・流出する、といった状態が見られることがある（図 2-2）。

上記の異常を確認する場合は、高水温期に実施することが望ましい。また、生育上限温度の比較的低い海藻種（温帯性カジメ類等）が分布する場所の方が、藻体の異常を把握しやすいと考えられる。

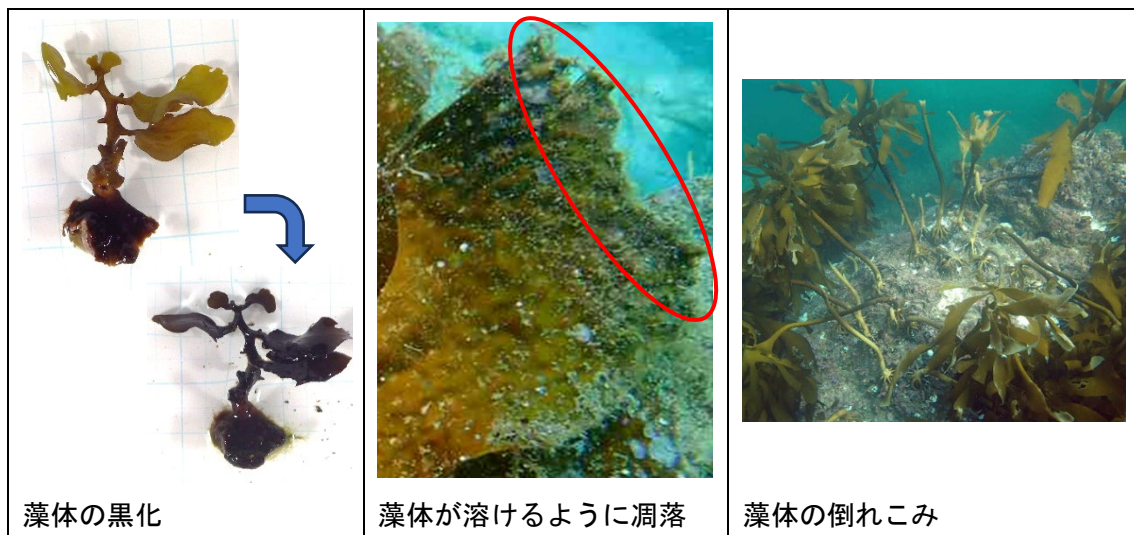


図 2-2 高水温による藻体の異常

③植食動物の有無の確認

高水温による高まる食圧の影響を把握するには植食動物の有無を確認する必要がある。その方法としては、最も一般的な潜水目視による確認、設置式カメラによる確認、植食性魚類の食痕による確認、があげられる。また、近年では環境 DNA を活用して植食性魚類を把握する技術も開発が進んでいる。

i) 潜水目視で確認する

最も一般的に実施されるスキューバ潜水による方法である。コドラート枠による調査やベルトトランセクト調査によって、ウニ密度を把握することが出来る。植食性魚類においてはダイバーから目視できた範囲内での確認となり、その分布や数を把握することは簡単ではなく、ダイバーの手間や熟練が必要となる。

ii) カメラを設置して確認する

海中に一定期間カメラを設置することで、植食性魚類の有無や出現頻度を把握し、種を特定することが可能である。ビデオカメラであれば動画を撮影することも可能であるが、数時間程度の撮影となることに留意が必要である。一方、タイムラプスカメラ

(図 2-3) では任意の間隔で静止画を撮影することが可能で、撮影間隔によっては1か月以上のデータが得られる。植食性魚類の摂餌傾向が時間帯によって異なる可能性を考慮すると、植食性魚類の有無や出現状況を把握するにはタイムラプスカメラが有効と考えられる。タイムラプスカメラの前に人為的に藻体を設置してより確実に確認することもできる。活用法についてはガイドライン第7章B項に更に詳しく記載されている。



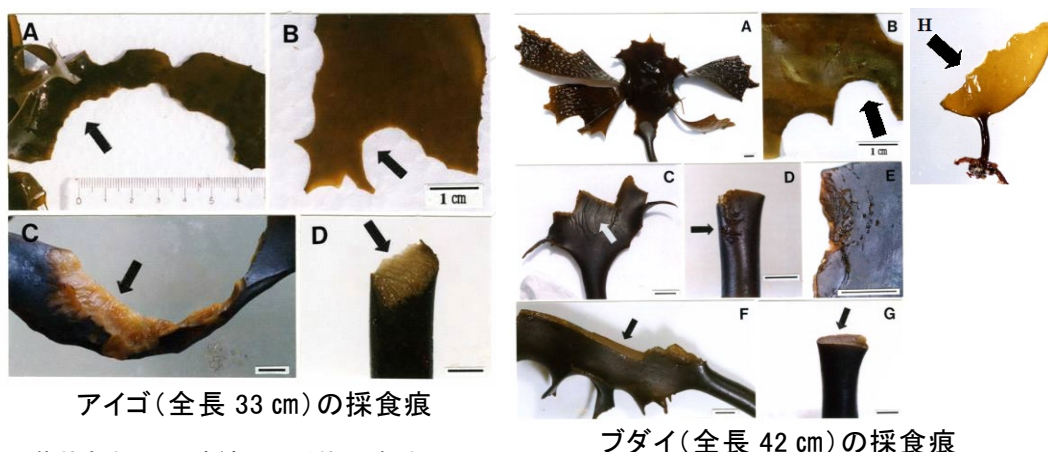
図 2-3 タイムラプスカメラの例
(ガイドラインより)

iii) 植食性魚類の食痕を確認する

海水温上昇によって、アイゴ、イスズミ類やブダイといった植食性魚類の個体数が増加すると予測され、分布域が広がる(北上する)可能性があるため、植食性魚類の食痕(図 2-4)が多数見られるようになった場合も海水温の上昇を示唆している。

植食性魚類の食痕を調査する場合は、ホンダワラ類よりもカジメ類やコンブ類の方が葉部を平面的に確認しやすい。また、水温変化や魚の成熟時期によって、食痕を確認しやすい時期があることにも留意が必要である。アイゴ、イスズミ類、ブダイともに低水温期を除く春～秋は恒常的に摂食活動を行っているが、成熟時期を過ぎた秋季に特に食圧が高まるため、食痕を確認しやすい。

また、海域で天然藻体の食痕を観察する方法以外に、採取した藻体を海域に設置し、引き上げてから食痕を確認する方法もあり、任意の場所とタイミングで食痕を確認することができる。



アイゴ(全長 33 cm)の採食痕
 A: 葉状部縁辺の連続した弧状の痕跡
 B: 葉状部縁辺の尖頭の弧
 C,D: 中央葉と茎に見られた筋状の痕跡
 ※矢印は主な採食痕
 スケールはいずれも 1 cm

ブダイ(全長 42 cm)の採食痕
 A: 側葉と中央葉を採食されたクロメ
 B: 深く湾入した楕円弧
 C,D: 葉・茎状部表面の筋状の痕跡
 E: 葉状部表面の菌形
 F,G: 中央葉の直線的な痕跡
 H: 葉状部縁辺の不規則な凹凸
 ※矢印は主な採食痕
 スケールはいずれも 1 cm

図 2-4 クロメの採食痕 (ガイドラインより)

参考情報：環境 DNA による植食性魚類の分布把握

植食性魚類の確認方法としては、一般的に食痕やカメラで確認する方法が選択されることが多いが、広範囲や多地点を調査するには時間がかかり、温帯域において透明度が低い夏季には魚類の観察自体が難しいこともある。

近年、水域生物のモニタリング技術として、淡水や海水を採水・ろ過し、その中に含まれる DNA を分析することで生物の在/不在や生物量を推定する環境 DNA 技術が開発・利用されている (図 2-5)。五島市崎山地区で植食性魚類のノトリスズミを対象とした環境 DNA 調査を実施したところ、ノトリスズミの消波ブロックへの蛸集とその出現時期を把握することができた (図 2-6)。

この技術は水中に残った対象生物 (植食性魚類) の DNA を PCR によって増幅することで、植食性魚類の在/不在や生物量を推定する手法であり、特定の機器や技術を要する。そのため、専門家・研究機関の協力体制を考慮したうえで、実施方針を決めることが望ましい。例えば、漁業者は採水とろ過までを実施し、検体を専門機関に送り解析を依頼することが考えられる (図 2-7)。

なお、環境 DNA による調査・解析を実施する際には、一般社団法人環境 DNA 学会が公表している「環境 DNA 調査・実験マニュアル」を参考にできる。

https://ednasociety.org/wp-content/uploads/2022/06/eDNA_manual_ver2_2.pdf



図 2-5 環境 DNA 分析のための 採水（左）と ろ過（右）の様子

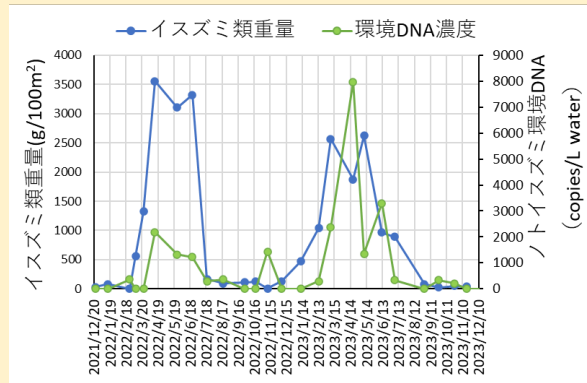
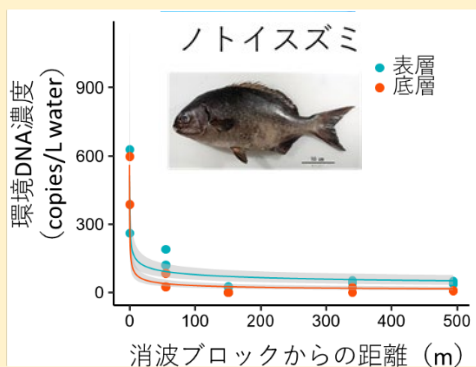


図 2-6 消波ブロックからの距離とノトリスズミの環境 DNA 濃度の関係（左）と消波ブロック周辺でのイスズミ類重量とノトリスズミの環境 DNA 濃度の時系列変化（右）

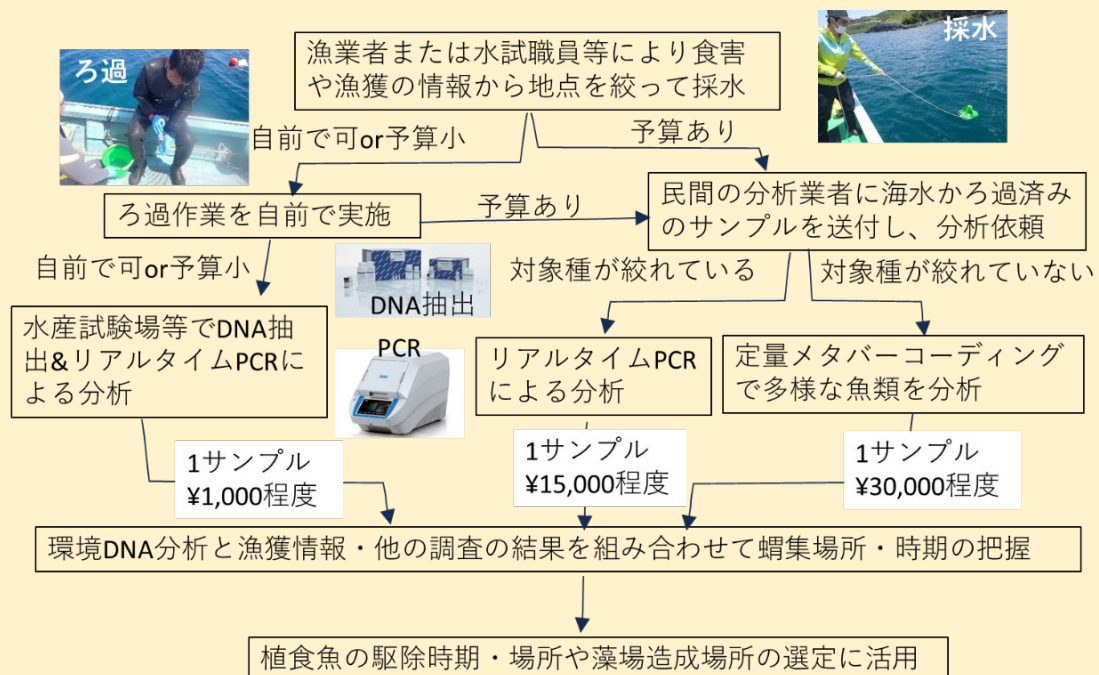


図 2-7 植食魚の分布把握のための環境 DNA 活用のフロー

(3) 海藻種の検討（従来種での対策を優先するかの検討）

海水温等の現状把握を実施した上で、海藻種の検討の際には漁業関係者等の意見を踏まえて、調整することが基本である。温帯性カジメ類に代表される従来種での対策を念頭に置く場合は、対策による効果が見込まれるか、藻場保全・造成にかかる負担等を考慮した上で検討する。

【解説】

従来種での対策を優先するかどうかは、藻場保全の活動主体や水産業への影響を踏まえて漁業関係者等から意見を聞き取り藻場保全・造成の目的を考えたいうで調整する。これまでであった藻場が海水温上昇により衰退している場合は、従来種での対策を優先するためには、海水温が低く抑えられている適地の探索・確保が必要になる。一般的には、有用水産資源の餌料効果が高い温帯性カジメ類が望まれることが多く、ホンダワラ類の場合でも、年間を通して藻場を形成できる種が多い温帯性ホンダワラ類が望まれやすい。ただし、こうした海藻が対象海域にほとんど残っていない、または既に見られない場合は、対策による効果が期待できるか、また継続的な藻場保全・造成対策を実施することによる負担等にも留意すること。

一方で、生育上限温度を踏まえ、高水温下でも生育可能な海藻種を利用する場合は、周辺で当該種が見られるかなど生態系への配慮と母藻・種苗の確保について合わせて検討する必要がある。

(4) 従来種を採用した場合の適地の探索

高水温自体が藻場回復の阻害要因と考えられる状況で、従来種を対象に対策を実施する場合、高水温期の海水温が抑えられる適地を探索する必要がある。そのような場所としては、深場や河口周辺の沿岸域、湧昇流による低温域が考えられる。

【解説】

温帯性海藻種などの従来種を採用した場合には、南方系種等に比べ生育上限温度の低いことが想定され、従来種が生育できる場所を探索する必要がある。すなわち、高水温期の海水温が抑えられる場所を見つける必要があるが、海水温の上昇が抑えられる可能性のある場所としては以下が考えられる。

- ① 深場
- ② 河口周辺の沿岸域
- ③ 湧昇流による低温域

①深場

一般的に水深が深いほど水温が低くなるので、高水温期の海水温を抑制できる深場を利用する。実際の活動やモニタリングを考慮して最大でも水深 15m 程度までの深さとするのが望ましい。ただし、場所によっては深場であっても浅場と海水温差がほとんどない場合もあるので、事前に海水温が抑制されるか水温データを取得する必要がある。第 3 章①の事例を参考にできる。

②河口周辺の沿岸域

河口から近い沿岸域では河川水や湧水によって水温が抑制されることがあり、実際に河口周辺の沿岸域で従来種が生残・増殖された知見（第 3 章②を参照）がある。

ただし河口周辺の沿岸域を利用する場合には海水温だけでなく、海藻の生育に影響を及ぼす可能性のある塩分濃度も事前に把握しておくが良い。

③湧昇流による低温域

過去の調査から、湧昇流によって深場の冷たい海水が沿岸域に運ばれ、海水温が抑制される場所があることが示されている（水産庁，2013）。このような場所も従来種を用いる場合に活用できる可能性がある。

（５）海藻種の選定と入手

高水温下でも生育可能な海藻種を利用するにあたっては、対象種の生育上限温度や将来的な分布予測を考慮した「海藻種の選定」や、タネの供給源となる「母藻または種苗を入手」する方法を事前に検討する。

【解説】

磯焼け対策において、対策の対象となる海藻種を適切に選定することが重要である。海水温などのその海域環境を踏まえた適切な種を選定するとともに、効率的に藻場を保全・造成するためには、「海藻のタネの供給」は重要で効果の高い技術であることから、その母藻や種苗を入手できるかどうかをよく検討する必要がある。実施するにあたって検討すべき以下の 3 点について解説する。

- ①海藻種の選定
- ②母藻の入手
- ③種苗の入手

①海藻種の選定

本手法において対象とする海藻種を選定する際は、対象海域の海水温において生育可能な海藻種を選定する点に留意する。第 1 章で示した海藻種毎の生育上限温度を参考にして、

高水温期の対象海域における水温よりも生育上限温度が高い海藻種を選定することが基本となる。例えば、高水温期に頻繁に 30℃に達することがあるような海域であるのならば、生育上限温度が 28～29℃とされている温帯性カジメ類による藻場の回復を計画することは適当ではない。また、生態系保全の観点から周辺海域に見られる種を利用することが望ましい。

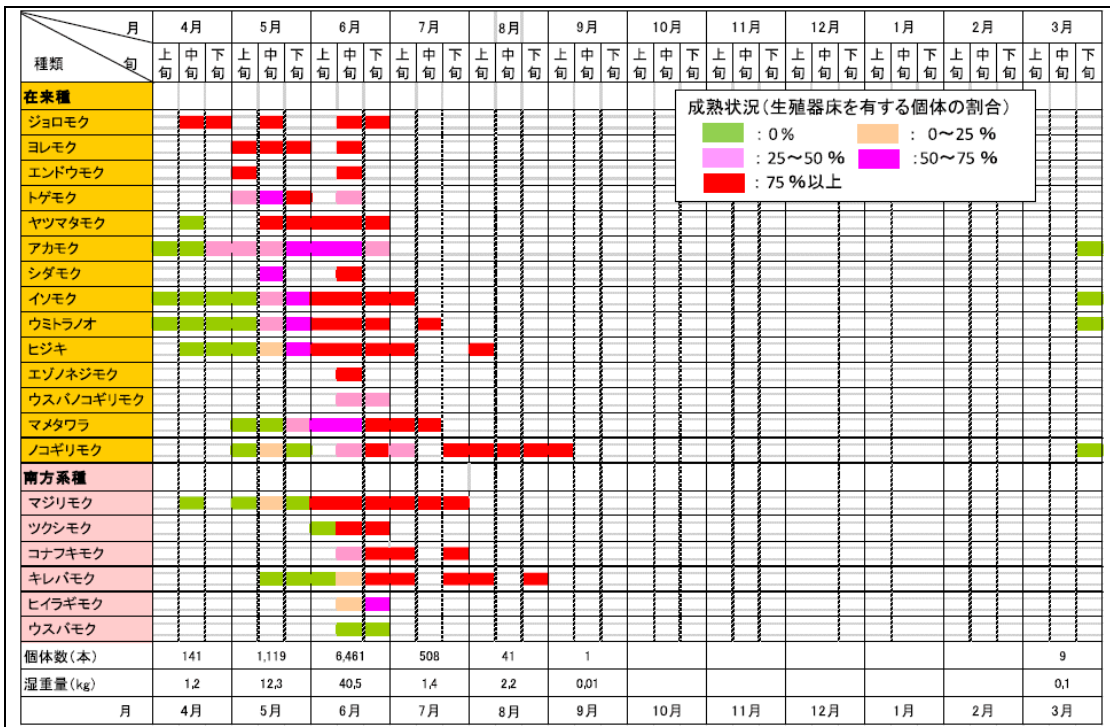
②母藻の入手

母藻利用によって海藻のタネを供給する場合には天然に繁茂する海藻や、流れ藻（基質から離れ海面を漂うホンダワラ類等）、寄り藻（基質から離れ海底を漂うカジメ類等）を活用することができる。この場合は対象海域や近隣海域において、一定量以上の母藻の入手が期待できる海藻種を対象として検討することになる。母藻の取得時期の例として表 2-3 に新長崎漁港内で採取された流れ藻の成熟状況を示す。

※母藻の採取に届け出や申請が必要な場合があるので行政の担当部署に確認すること

表 2-3 流れ藻獲得時期の一例：新長崎漁港内で採取した流れ藻の成熟状況

（長崎県における磯焼け対策ガイドライン 平成 30 年度改訂版 より）



③種苗の入手

種苗を入手する方法としては、天然採苗と栽培漁業振興公社等（以下、栽培公社）や民間企業からの購入がある。しかし、磯焼けが深刻な海域では天然採苗による大量の海藻種苗の入手が困難となっている。また、栽培公社や民間企業から購入する場合も、受注生産となり

生産規模も小さいため、地域性のある種や希望する種を、必ず入手できるとは限らない。

長崎県では、水産環境整備事業で扱う藻場礁に使用する種苗を、事前に県内の栽培公社等へ生産を依頼し、着定基質の据付時に間に合うように準備している。また、鳥取県栽培漁業協会では、水産多面的機能発揮対策事業の活動組織が必要とする移植用の種苗を、事前に生産して提供している（図 2-8）。



長崎県（壱岐栽培センター）



鳥取県（鳥取県栽培漁業協会）

図 2-8 県で行われている種苗生産

参考情報：海藻バンクプロジェクト

海藻種苗の供給体制の構築に関連して、漁港を利活用して大量かつ安定的に海藻を育成する「海藻バンクプロジェクト」の技術開発が始まっている（図 2-9）。このプロジェクトでは、地球温暖化に伴う海水温の上昇による海藻の育成環境の悪化に対処するため、漁港に簡易な種苗生産施設を設置し、そこで海藻類の大量種苗生産が行われる。海藻カートリッジに種苗を着生させた後は、漁港の泊地で海藻カートリッジを中間育成し、一定程度まで成長した海藻付きカートリッジを漁港周辺の天然岩礁、既設・新設の防波堤、消波・根固めブロックへ移植することで、藻場を拡大させてブルーカーボン生態系の拡大に貢献することを目指している。



図 2-9 海藻バンクシステム

※資料提供（海藻バンクコンソーシアム）

(6) 食害対策

対策の実施海域において、食害の影響が見られる場合は、合わせて対策を実施する必要がある。対策方針としては、植食動物からの防御と植食動物の除去が基本となる。防御・除去の手法・技術はガイドラインで詳しく紹介されているので、参考にできる。

【解説】

①植食動物からの防御

本手法を実施の際には、植食動物対策が重要となる。ユニフェンス、簡易型藻場礁、仕切網等の食害防御技術など（図 2-10）がガイドラインに記載されている。

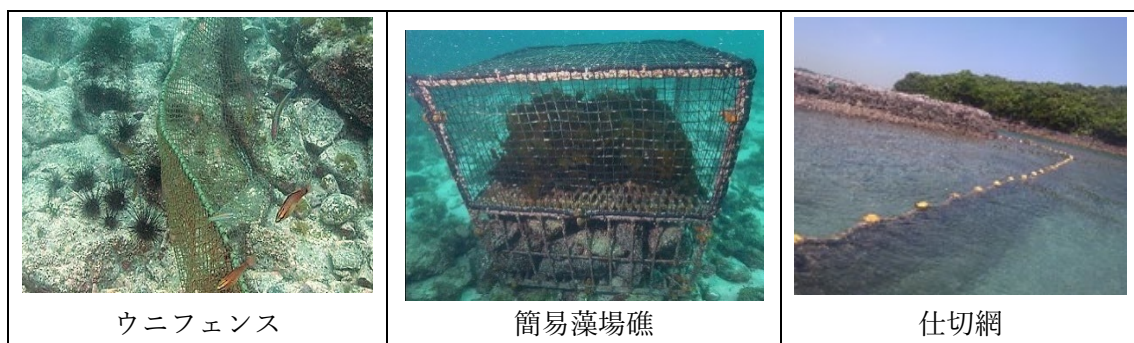


図 2-10 食害防御対策の例（ガイドラインより）

植食性魚類対策として、比較的容易に作成設置が可能で植食性魚類からの食害抑制に効果のある簡易食害防止ネットを加えて紹介する。

簡易食害防止ネット（図 2-11）は漁業者等によって作成・設置が可能で簡易な構造である点が特徴で、設置による食害防止効果が確認されている（図 2-12）。特に植食性魚類からの防御対策の一つとして利用が期待される。作成・設置におけるポイントは次の通りである。

- サイズは幅・奥行・高さとも約 1.5m で、上部ほどやや狭くなる台形型
- 浮ロープやブイを用いることで、水中で形状が安定する
- 高さ 50cm 程の塩ビ管の骨組みを入れることで、植食性魚類がネットを押し付けて内部の海藻を摂食することを防ぐ

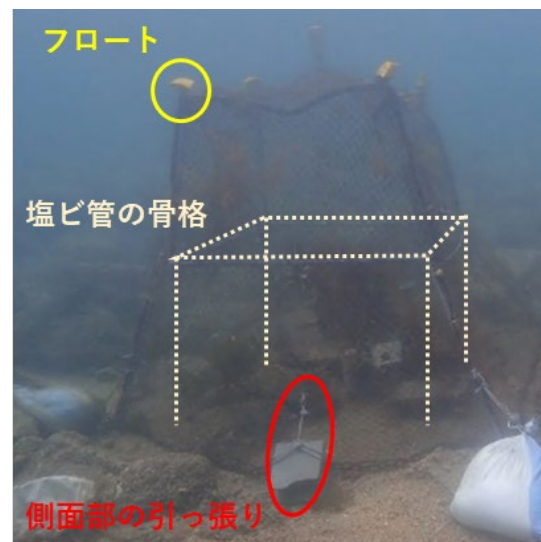


図 2-11 簡易食害防止ネット

- さらにネット側面部をロープと重石で張ることで、植食性魚類からの防御能力を高める
- 設置前にネットをシリコン液に浸漬してコーティングすることで、付着物（生物を含む）を低減している
- 底面縁辺は鋼製チェーンが重しとなっており、海底地形に沿ってウニ等が侵入する隙間が出来にくい
- 設置時はネットの形状が安定するよう、フロートや引っ張りを調整する。設置にかかる時間は、ダイバー2名で1基あたり1時間弱



図 2-12 クロメ移植 6 か月後の様子（左：ネット有り、右：ネット無し）

②植食動物の除去

本手法において、植食動物からの防御と同様に重要になるのが植食動物の除去である。ガイドラインにおいても、潜水によるウニ除去、刺し網や延縄やトラップによる植食性魚類の除去が紹介されている（図 2-13）。ウニは移動範囲が狭く対策の効果がある程度持続するため、ウニ除去によって藻場が回復した事例が多数報告されているのに対し、植食性魚類は移動範囲が広く、ウニ除去に比べて機器や人手が必要となることも多いため、地域一体となって取り組むことが重要である。なお、継続的かつ大規模な除去を実施して藻場が回復した壱岐市のような好事例（第3章③）もある。

海水温上昇によって植食性魚類による食圧がさらに高まることが予測される現状では、植食性魚類の除去技術の高度化が求められている。



図 2-13 植食動物除去の例（ガイドラインより）

（7）その他の検討項目

本手法を検討する上では、将来的なハビタットマップを海藻種選定における参考とすることが出来る。また、食害対策の実施が困難な場合には食害を低減できる海藻種を検討することで食害を軽減できる場合もある。

【解説】

①将来的なハビタットマップの確認

海水温上昇に対応できる海藻種を用いる場合には、現状だけでなく今後の海水温の上昇も加味することで、より中・長期的に有効な藻場保全・造成ができる可能性が高まる。その際には第1章で紹介した海藻種毎に予測した将来的なハビタットマップを参考にできる。ただし、ハビタットマップは表面海水温が一律に上昇すると仮定し、現状の分布を北上させることで予測しており、海水温以外の要素や局所的な海水温変化を考慮していない点に留意が必要である。そのため、高水温期の水温が抑制される環境（例えば深場や河口周辺の沿岸海域）を利用して磯焼け対策に取り組むことが基本的な方向性となる「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」においては、実際の海水温情報を判断基準とすることが望ましい。

②食害を低減できる海藻種の検討

本手法を検討する際には、食害対策が必要と判断されることが多いと思われるが、人手不足や高齢化によって十分な対策が実施できないことも考えられる。特に植食性魚類対策には労力を要することが多い。そういった場合には、海藻種によって植食動物からの食べられやすさ（採食選択性）に差があることから、採食選択性を参考に海藻種を選定する考え方もある。調査委託事業で使用した海藻種において、実証結果から推定された採食選択性を例として表2-4に示している。ただし、採食選択性が低くても、周辺に採用種以外の海藻が少ない、海藻自体が少ない場合にはその効果は薄れることに留意が必要である。

表 2-4 海藻種による採食選択性の違い（高いほど食べられやすい）

区分	海藻種	採食選択性
温帯性カジメ類	クロメ	高い
温帯性ホンダワラ類	ヨレモク	低い
	ノコギリモク	やや低い
	マメタワラ	高い
亜熱帯性ホンダワラ類	キレバモク	やや高い
	マジリモク	やや低い