

第7章 磯焼け対策手法

A. 磯焼けの感知

日頃から藻場やそれを取り巻く環境の変化に注意し、磯焼けを早めに感知する。

【解説】

海藻の生活史（第2章の2.4参照）で示したように、海藻は概ね冬から初夏にかけて繁茂して藻場を形成するが、夏を過ぎると先枯れや流失によって海藻の現存量は減少し、海域によっては藻場がすっかりなくなってしまうところもある。このような季節的消長による一時的な藻場の衰退を磯焼けと混同してはならない。また、藻場は、台風による海底の擾乱^{しょうらん}や降雨による河川からの大量の淡水流入などのイベントによっても衰退することがある。良好な海域環境が保たれていれば、これらのイベントが収束し影響が軽減されると1～2年で藻場は回復する。このような軽微な藻場の衰退も、磯焼けと区別すべきである。ただし、毎年ダムの排砂が行われるような海域では、磯焼けとなることもある。

藻場は、自然環境の影響を受けて絶えず変化していることから、磯焼けが発生してもいち早く察知し、対策を的確に実施すれば、容易に回復することが期待される。日頃から藻場やそれを取り巻く環境の変化に気が付くように、日常的にモニタリングを行うことが必要である（本章のE参照）。磯焼けは海底景観の観察を続けていれば感知できるが、磯根資源である漁獲物への影響（漁獲量、サイズ、身入りなどの変化）にも注目する。

1) 海底景観から見た磯焼けの感知

海底景観から磯焼けを感知することができる。ウニの食害による磯焼けでは、ウニが高密度に生息し大型海藻が見られない。小型巻貝の場合には葉に虫食いのように穴があき、植食性魚類の場合は、葉がなくなって茎だけになっていたりすることから感知できる。そのほか、海藻の表面に浮泥が積もっていたり、基質や付着器が埋没していたり、海藻が黄色く変色していたりするのも磯焼けの兆候と思われるが、もともと海藻の生えにくい場所、安定した藻場が成立しない場所（あるいは安定した藻場が生育しにくい場所）であることも考えられる。判別が難しい場合には、周辺海域の情報を集めたうえで、当該箇所の位置と海底景観の推移の写真を専門家（サポーター）に見せて相談するとよい。

図7-A-1は、藻場の海底景観を定期的に写真撮影することにより、磯焼けを感知した事例である。静岡県南伊豆町下流地区では2004年9月頃まで、カジメの側葉は残っていたが、12月には茎のみとなっていたことから、残された葉の摂餌痕から植食性魚類の食害であることがわかった。



2004年4月

静岡県南伊豆町下流地区には、カジメとノコギリモクが混生する藻場があった。カジメの側葉は発達し、ノコギリモクも良好な状態であった。



2004年9月

カジメは夏の先枯れのみならず、側葉が短くなり、ハタキのような形状に変わっていた。

この状態が要注意！



2004年12月

この頃になると成長帯の失われたカジメが目立ち、残った個体にはブダイの噛み跡が見られた。また、ノコギリモクも減少している。カジメは葉状部が残っている段階で保護すれば、一部は助かる。

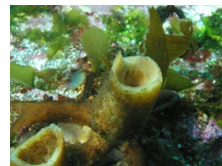


成長帯の食痕



2005年4月

成長帯の残ったカジメは全くなく、茎も短くかじりとられていた。ノコギリモクも消失した。カジメは12月以前に胞子を放出していたので、この時期に幼体は見られたが、早期の回復は難しい状況であった。

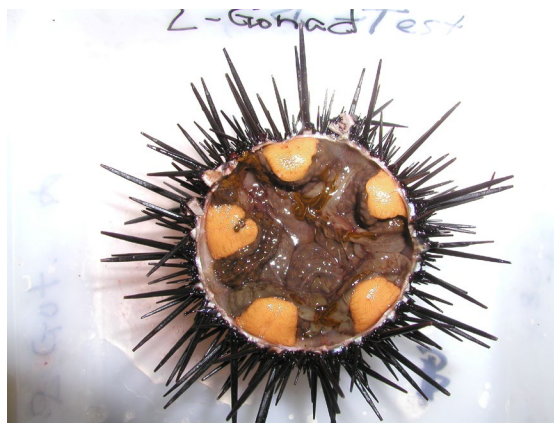


根元まで食べられた茎

図 7-A-1 定期モニタリングによる磯焼けの感知事例（静岡県南伊豆町下流地先）

2) 漁獲量・漁獲物から見た磯焼けの感知

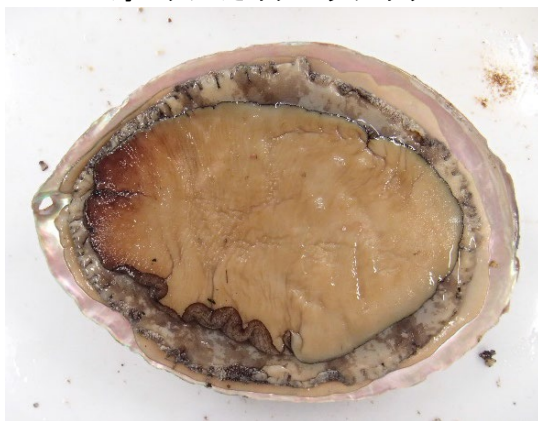
海底景観から感知した磯焼けは、漁獲統計や漁獲物の変化（身のないウニ、痩せアワビなど）で裏付けられる。磯焼けが発生すると、繁茂する海藻が減り、アワビ、サザエ、ウニ等の磯根動物の発見が容易となるため、漁獲量が一時的に増加する場合がある。しかし、その後は餌料不足の影響で次第に身入りが悪くなり（図 7-A-2）、過剰な漁獲の影響も表れ、磯焼け発生から 1~2 年ほどで資源状態は急速に悪化する。このため、磯根動物の漁獲量が急増した場合は注意を要する。特に、身入りの悪い個体の増加や漁獲量の急な低下が確認される場合は、すでに磯焼けが進行していると思われる。



身の入ったキタムラサキウニ



磯焼け海域のキタムラサキウニ



餌を与え続けたメガイアワビ



1年間絶食させたメガイアワビ

図 7-A-2 身のないウニと痩せアワビ

静岡県はいなの榛南区では、1985年頃からサガラメやカジメの減少が始まっていたが、1991年までアワビの漁獲量は増加していた（図 7-A-3）。しかし、1990年以降、磯焼けが深刻化し、1991年にサガラメの漁獲量が急激に減少した。1年後の1992年には、海藻を餌料とするアワビが減少しはじめ、その後もこの傾向は継続している。なお、地元の漁業者によると、アワビの漁獲量が減少する前にアワビが小型化したという。

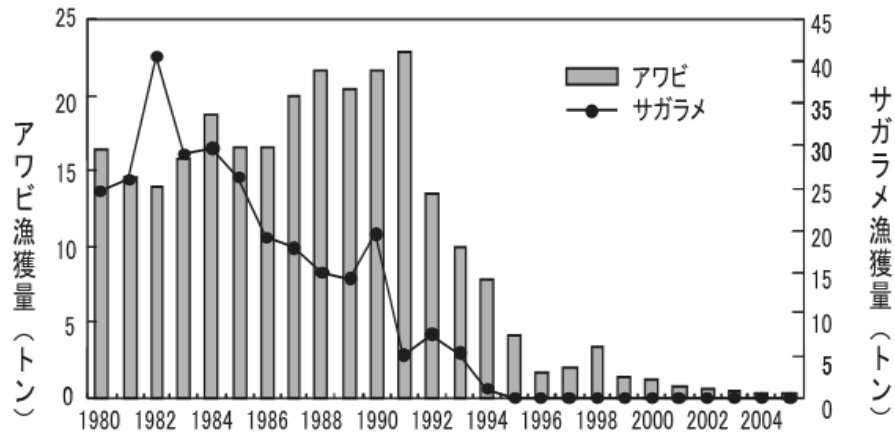


図 7-A-3 静岡県榛南地区におけるアワビとサガラメの漁獲量の推移

B. 現状把握

B 1. 現状把握調査とそれに基づく藻場形成阻害要因の特定

磯焼けが感知されたら、現状を把握する調査を実施し、藻場形成阻害要因を特定する。阻害要因が特定できた場合は「C. 計画づくり」へ進み、特定が困難な場合は、要因を特定するための現地実験等を行う。

【解説】

1) 調査前のインターネットを利用した情報収集

インターネット上には、藻場に関する有益な情報が存在する。例えば海上保安庁では、海洋関係機関が収集・保有している海洋情報を集約し、衛星情報や海上気象の情報などを地図上で重ね合わせて表示できる情報サービス「海洋状況表示システム（愛称：海しる）」もその1つである。このサイトでは、海洋に関連する様々な情報が集約されており、藻場については「自然環境保全基礎調査」（環境省）の第5回（1993～1999）の分布が表示できるようになっている。

- ◆ 海洋状況表示システム（海上保安庁）

<https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html>

また、「自然環境調査 Web-GIS」（環境省）では、「自然環境保全基礎調査」の第4回（1988～1993）と第5回（1993～1999）の藻場分布が公開されている。これらのデータは、KML・Shape形式でダウンロードして利用することが可能である。KML形式のデータは、Google社が無料で配布しているバーチャル地球儀ソフト「Google Earth Pro」を使えば、藻場の分布を表示することができる（図 7-B1-1）。「Google Earth Pro」（パソコン用）を利用するにあたっては、多少の操作技術の習得は必要であるが、専門的なGIS（地理情報システム）ソフトに比べて手軽でわかりやすい。衛星写真から把握したい場所の周辺の天然藻場や磯焼けが起きている位置を確認（図 7-B1-2）しながら、調査範囲や調査地点を検討するとよい。なお、「Google Earth Pro」の利用には、インターネット接続が必要条件である。

- ◆ 自然環境調査 Web-GIS（環境省）
<http://gis.biodic.go.jp/webgis/index.html>
- ◆ Google Earth Pro（Google 社）
<https://www.google.com/intl/ja/earth/versions/>

【補足】 Google Earth Pro の主な特徴

- ◇ 解像度が 4800 ピクセルと高解像度である。
- ◇ GIS データを読み込める。
- ◇ 距離と面積を計算できる。
- ◇ データレイヤーが活用できる。

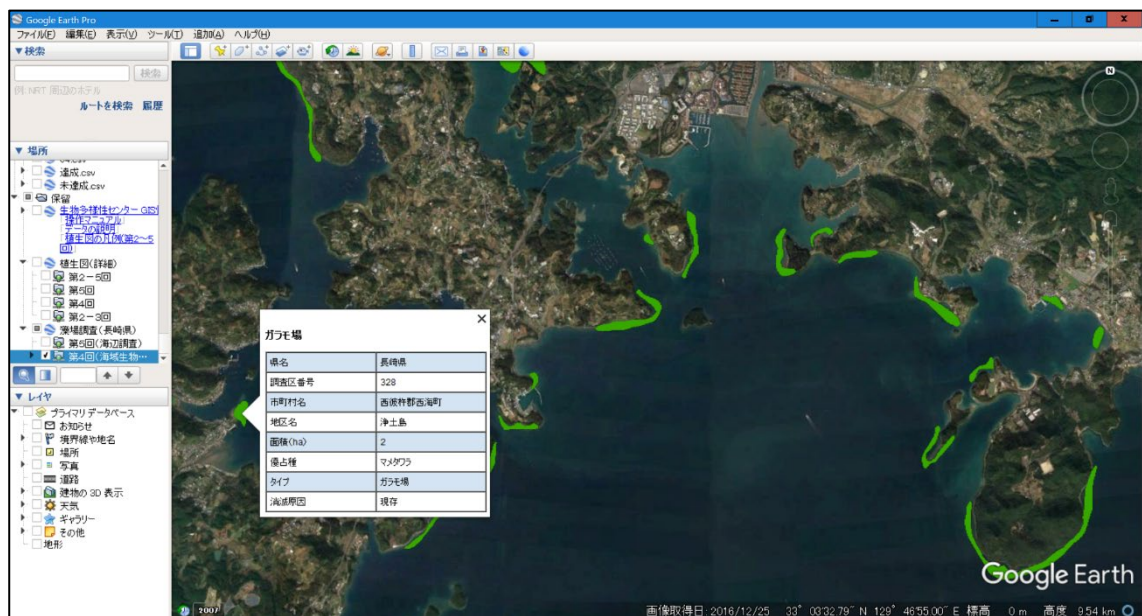


図 7-B1-1 第 4 回自然環境保全基礎調査の KLM データを読み込んだ藻場分布（例）

このほかにも、都道府県の試験研究機関のホームページ、水産多面的事業の「[ひとつみ.jp](http://hitoumi.jp)」からも藻場に関する情報が得られるので、調査前に確認しておくといよい。

- ◆ 水産多面的事業の情報サイト「[ひとつみ.jp](http://hitoumi.jp)」の藻場の情報のページ
<https://www.hitoumi.jp/contents/moba/>



写真①
写真②
図 7-B1-2 Google Earth Pro の衛星写真から判別した藻場・磯焼け (例)

2) 現地調査

現地調査は、藻場分布調査を基本とし、必要に応じて植食動物調査、底質調査を組み合わせながら実施する。また、調査にあたっては、天然藻場の存在する場所と存在しない場所の比較から藻場形成阻害要因を特定することを念頭に実施する。

(1) 調査時期の設定

藻場には季節的消長があるので、毎月状況が把握され消長パターンがわかっていると、藻場の衰退に気づきやすく、その要因も検出しやすいが、少なくとも一年生の海藻の場合は、繁茂期に 1 回、多年生の海藻の場合は、繁茂期と衰退期に調査をするとよい。なお、要因の特定には簡易な現地実験を実施するとよい (本章の B2 参照)。

(2) 船上からの観察

海面からの目視により現状が把握できる場合は、事前に計画した調査地点に船を移動させ、箱メガネを用いて船上から海底を観察する。写真撮影をする場合は、手振れ、濁り、暗さに注意して撮影する。この方法は、潜水が不要で広範囲に磯焼けの実態を把握できる簡易な方法である。

宮城県では広範囲の海岸線を対象に、ウニの食害で磯焼けになっている海域を、船から箱メガネを使用して海底を覗き、ウニの個体数と海藻の被度 (%) および水深を測定した事例がある。水深 0~2m、2~4m の 2 水深帯で海岸線に沿って調査し、全延長 80 km の範囲で海底の状況を観察した。観察面積は、水深の実測値から図 7-B1-3 のように比例で算出できる。

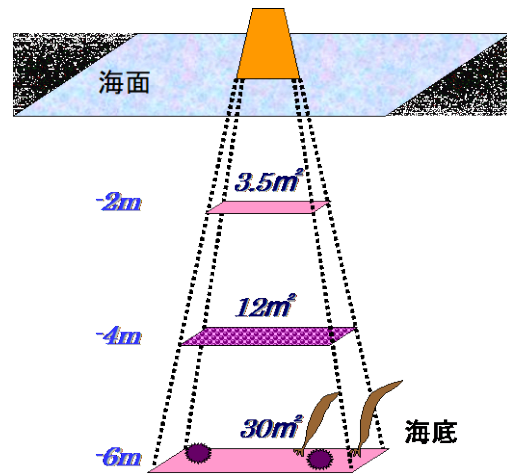


図 7-B1-3 水深と観察面積の関係

この結果から、気仙沼地先、南三陸町の入り江地形の海岸では、ウニの個体数が多く海藻の被度が低いことがわかった (図 7-B1-4)。なお、透明度の低い海域や、対象としているウニが日中隠れているような場合は不向きである。

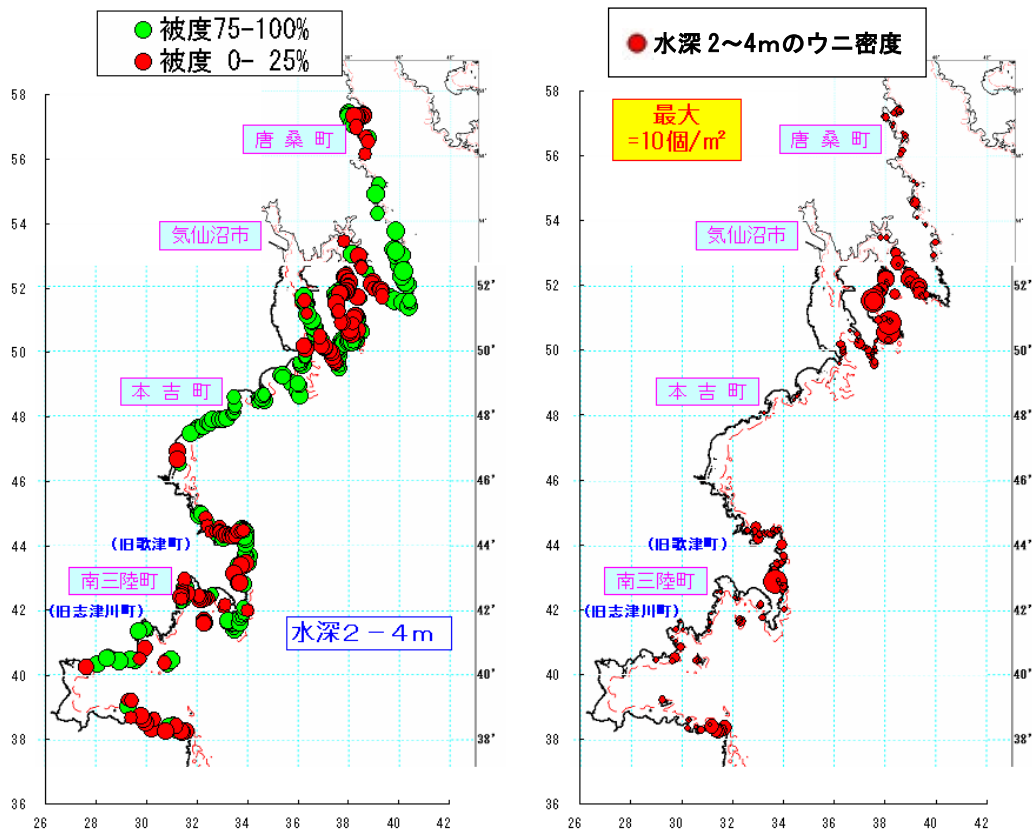


図 7-B1-4 宮城県沿岸の水深 2~4m の海藻の被度 (左図) とウニ密度 (右図)

(3) 潜水調査

海底の起伏が大きい場合には、事前に計画した調査地点に船を移動させ、スポットで海底の状況とコドラート枠 (1m×1m) を用いた海藻の被度 (%)、植食動物の出現個体数などを観察する (図 7-B1-5、図 7-B1-6)。枠内の海藻被度 (%) の記録対象は、大型海藻と小型海藻とし、殻状のサンゴモ類は除外、あるいは参考程度の記録でよい。海底の状況は、写真やビデオで撮影して保存しておくことが望ましい。

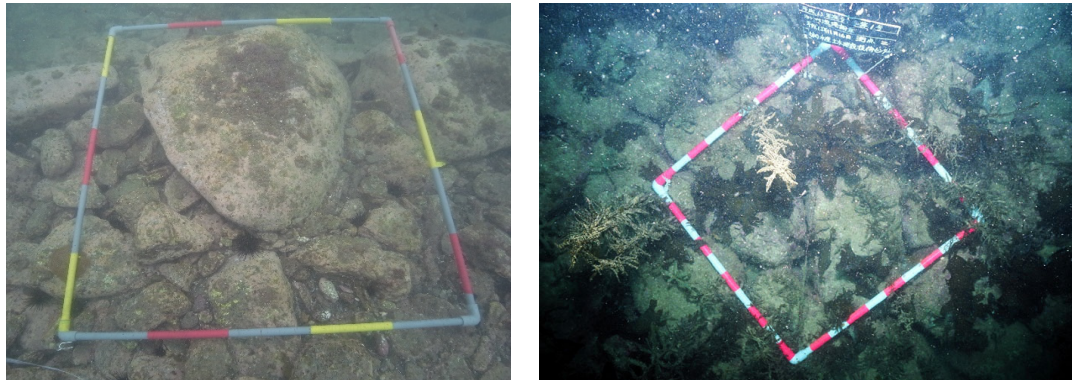


図 7-B1-5 コドラート枠 (1m×1m) を用いた観察

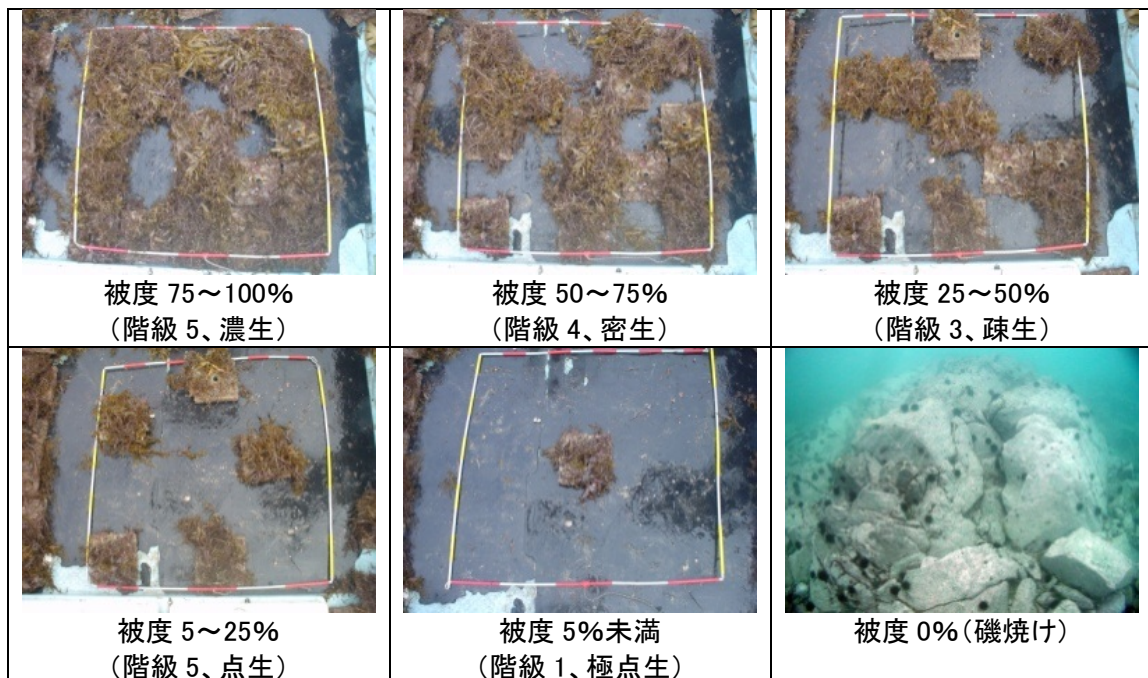


図 7-B1-6 海藻の被度階級

大分県名護屋湾では、漁業者自身のスキューバ潜水による現地調査が実施されている。調査前に専門家 (サポーター) から被度の見方などの講習を受け、その後、調査地点を3名1組となり3日程度で行う。調査では、海藻・ウニ用の耐水紙の観察野帳を用意し、記録させることでデータの取り残しを少なくしている (図7-B1-7)。観察野帳の項目については、専門家 (サポーター) と相談して、地域の生物相や測定方法に応じて適宜変更する必要がある。

		平成●年●月●日											
地区		3			2			1			Σ		
水深		3m	6m	9m	3m	6m	9m	3m	6m	9m	3m	6m	9m
観察時刻		15:15	:	:	15:43	16:00	16:05	16:14	20	23	16:40	45	48
測定水深 (m)		3.3			3.5	6.5	9.5	3.6	7.0	9.7	3.5	6.5	9.7
浮泥 (2/1/0)		1			0	0	0	0	0	1			
景観被度	大型海藻類	50			+	10	5						
	小型海藻類	30			80	70	50	60	70	80	95	90	70
	無節サンゴモ類	10			+	10	10	10	20	10	5	10	20
	固着動物等	5			+	+	5	20	10	+			
主な海藻等 ○印	裸面・砂地	5			20	10	30				10		10
	クロメ	0			0	0	0						
	ノコギリモク												
	ヨレモクモドキ												
	アカモク												
	ヒジキ												
	ヒロメ (ハハ)												
	ワカメ												
	テングサ	0			0	0							
	右節サンゴモ類	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0
フクロノリ類	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	
オオギ類	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	
その他の小型海藻	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	
イシサンゴ類	+			0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ソフトコーラル類	+									+	+		
食害状況	海藻種												
	程度												

海藻用

		水温			透明度			m			平成●年●月●日		
地区		M-1			M-21			M-22			M-29		
水深		3m	6m	9m	3m	6m	9m	3m	6m	9m	3m	6m	9m
測定面積		5 nf	5 nf	10 nf									
ウニ サザエ	ガンガゼ	1				6.10	2				9.4		
	キタムラサキウニ	23	17.12					3	6F				
	ナガウニ		17			6.10		T	-				
	アカウニ		T										
	サザエ							710	30cm	1層			
特記事項				汚物			石塊				3層+		

ウニ用

図 7-B1-7 漁業者が用いている観察野帳

試験研究機関や民間業者による潜水調査では、ベルトトランセクト法が用いられる(図 7-B1-8)。汀線から沖に向けて張った複数の測線で、海域の面的な状況を調査する。ダイバーが沖側から入り、メジャー付きロープに沿って一定の間隔(水深)で移動しながら、コドラート枠等を使って、出現する海藻の被度、植食動物の出現個体数、底質の性状、水深、汀線からの距離などを記録し整理する(図 7-B1-9)。

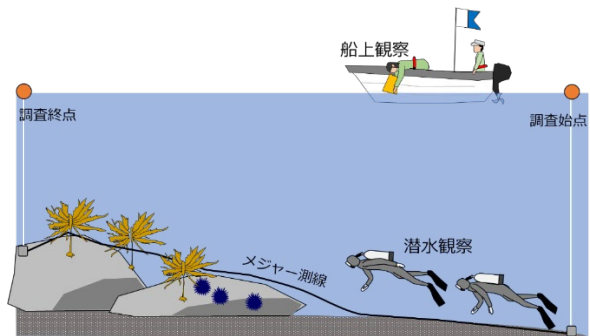


図 7-B1-8 ベルトトランセクト調査

図 7-B1-9 の結果から、以下のような検討を行い、要因を特定する。

- ◆ ウニが高密度となった水深帯(6~13m)には海藻がほとんど生えていないことから、ウニの食害が阻害要因になっている可能性が高いと考えられる。
- ◆ 水深14m以深にはウニがいないのに海藻が見られないことから、砂の移動が阻害要因になっている可能性が考えられる。
- ◆ 巻貝は水深0~14mの範囲に分布するが、その範囲に海藻が生育しているため、食害の影響は大きくないと考えられる。しかし、特定的水深帯(8~10m)ではウニと併せて巻貝の食害が阻害要因になっている可能性が高いと考えられる。

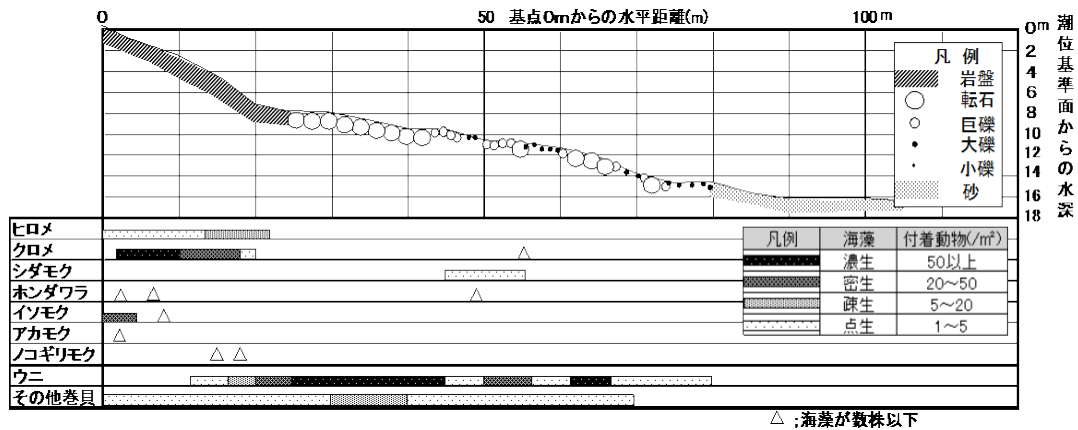


図 7-B1-9 ベルトトランセクト調査の結果 (例)

(4) 無人航空機 (ドローンなど) による調査

透明度が高い海域では、地先、小湾程度の範囲で、ドローンなどの無人航空機の空撮により藻場を調査することができる。無人航空機による調査の手順 (図 7-B1-10) では、まず調査海域が人口密集地や空港近くなど飛行の規制のある地域でないか確認しなくてはならない。そのような地域の場合や目視外飛行、高度 150m 以上で飛行する場合は、航空局または空港事務所からの許可取得および飛行情報共有機能 (FISS) への登録が必要となる。飛行前には天気予報で降水確率や風速などを確認する。また、藻場調査では漁港の岸壁や調査船などから離着陸することが多くなるが、近くの人や船の位置も確認しなくてはならない。ドローンによる撮影はアプリなどを用いて、ドローンとプロポ (コントローラー) のモニター上に表示される位置やカメラ画像を確認しながら手動または自動操縦 (許可が必要) で行う。藻場面積を計測したい場合は、長さなどスケールがわかるもの (船や岩) が映るように撮影する。無事撮影ができれば、パソコンなどに写真を取り込み、調査データと照らし合わせることで、藻場分布や磯焼け対策の活動エリアを把握することができる (図 7-B1-11)。

許可取得やドローンの離着陸などの詳細は別冊の「広域藻場モニタリングの手引き」を参照されたい。

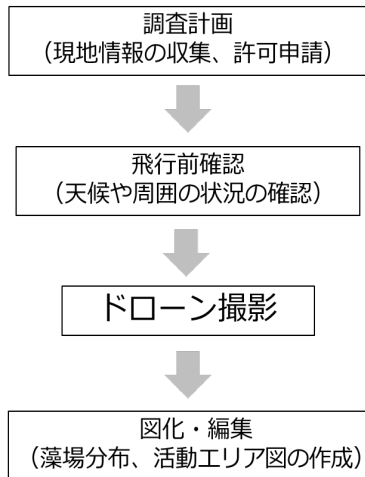


図 7-B1-10 無人航空機（ドローン）による藻場調査の手順

図 7-B1-11 高度 150m からのドローン空撮による藻場の確認事例（大分県佐伯市名護屋湾）

【コラム 7-B1-1】★空撮画像による藻場分布の調査事例

1) 人工衛星を用いた藻場分布調査

人工衛星画像ではドローン画像よりもかなり広い範囲の藻場を把握できる。大分県佐伯市の名護屋湾周辺の人工衛星画像(DigitalGlobe 社の WorldView-2、解像度 2m、8 バンド) を用いて、2014 年と 2016 年の藻場分布を比較した(図 1)。水深により画像の色合いは変化するため、Lyzenga (1981) または Sagawa *et al.* (2010) という手法で水柱補正を行い、藻場の分布を評価した。解析の結果、藻場面積は 2014 年に比べて 2016 年はやや増加傾向にあることがわかった。両年とも被度 25%以上の藻場を対象に実際の潜水観察データと比較したが、80%以上の正答率(2014 年は 84%、2016 年は 96%の正答率)が確保されている。

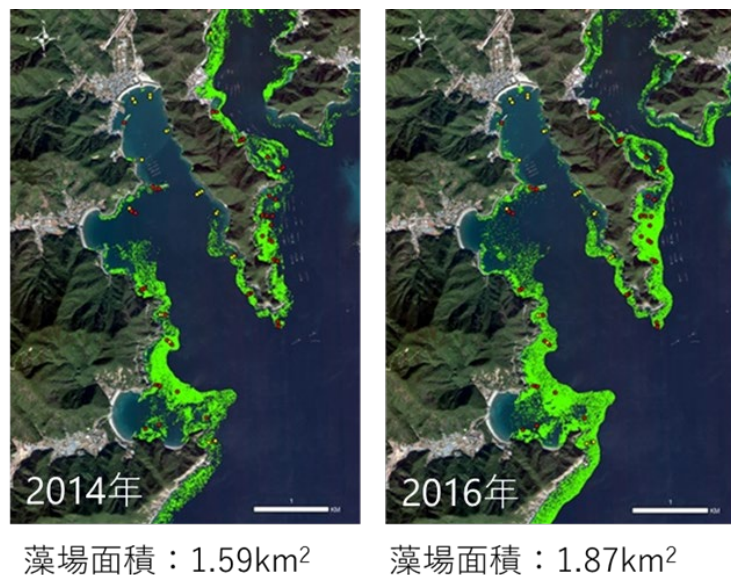


図 1 衛星画像から判読した 2014 年と 2016 年の大分県佐伯市名護屋湾の藻場分布

2) ドローンを用いた藻場の把握事例

図2はドローンで磯焼け対策前後の藻場の状況を撮影したものである。狭い範囲であれば、真上に飛ばして海底の変化の様子を確認することができる。

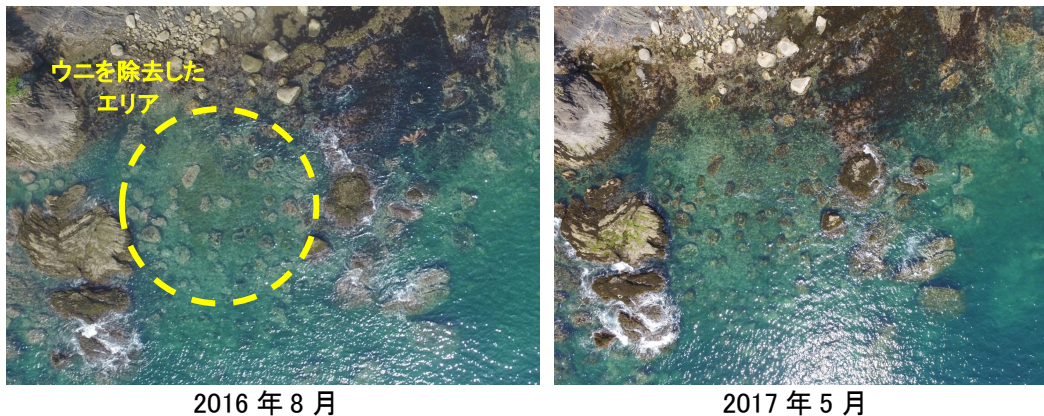


図2 ドローンによる藻場の確認事例（三重県尾鷲市，撮影：石川）

より広い範囲では、事前に飛行ルート（図3）を設定し、自動操縦で撮影すると簡単である。図4は名護屋湾南部を高度400mから12分間の飛行で撮影した14枚の写真を、SfMソフト（Pix4D mapper）を用いて合成とオルソ化し、1枚にしたものである。撮影時の透明度が高かったことから、水柱補正を行わなくても10 cm/pixel程度の解像度で海底の被覆状況が確認できた。さらに、潜水観察のデータと重ね合わせ色調補正することで、海藻網別の判読が可能となった。



図3 飛行ルート

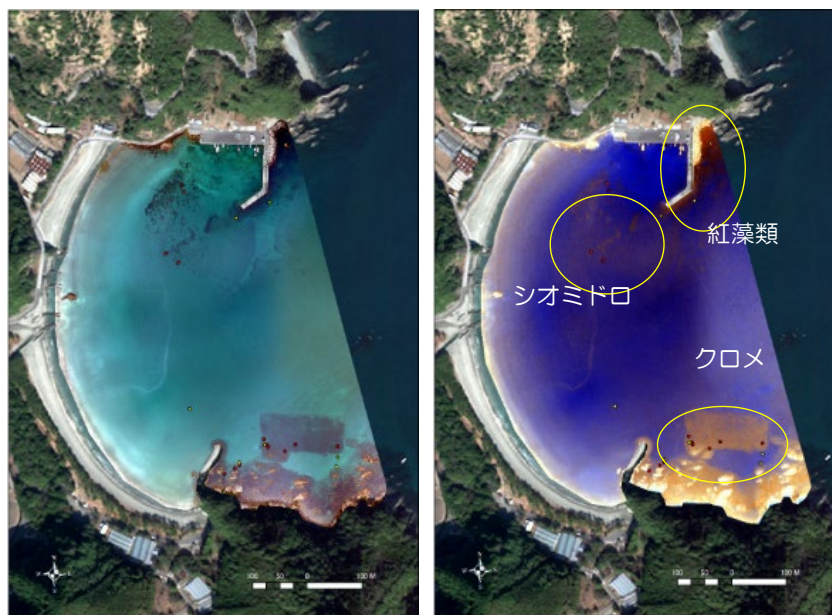


図4 ドローン撮影画像（左）と画像から判読した藻場分布（右）

3) 阻害要因の特定

阻害要因の特定にあたっては、第3章の表3-7-1で示した磯焼けの発生または継続の要因と、調査の結果を照らし合わせ、直接的に大きな影響を与えていると思われる要因と、その他の要因との関係を整理して、磯焼けが起きている場合には、要因を特定する。ただし、調査結果には、調査範囲が限られ、また十分な調査能力を持たない調査員が実施する場合もあることから、特定する要因には不確実性が含まれていることも理解しておく必要がある。なお、要因の特定が難しい場合には、追加で簡易な現地実験と調査を実施することが望ましい(次のB2参照)。

B2. 要因を特定するための簡易な現地実験と調査

要因が特定できない場合には、簡易な現地実験、あるいは磯焼け域と近隣藻場を比較する現地調査を行い、要因を特定する。

【解説】

1) 活動組織ができる簡易な現地実験

現状把握調査で要因が明確にできなかった場合は、図7-B2-1に示すような操作実験を磯焼け域において実施する。

図7-B2-1の実験は、左から、①対策なし、②母藻の移植、③植食動物の侵入防止カゴの設置、④は②+③の複合対策であり、実験開始時(上段)と観察結果(下段)を示している。観察結果(下段)を見ると、②の母藻は消失、③と④では海藻の幼芽が認められ、また、④の母藻は消失することなく生存していることがわかる。これらのことから、次のことが予想される。実験開始時に移植した母藻④は終了時にも生存していることから、この海域における水質は海藻の生育に問題ないことがわかる。また、実験開始時に移植した母藻②は実験終了時に消失したことから、植食動物による食害が予想される。③と④に海藻の幼芽が見られることから、当海域には海藻のタネが供給され生育しうると考えられる。以上のことから、この磯焼け域では、栄養塩供給を含めた水質改善や海藻のタネまきをする必要はなく、植食動物の食害対策が必要であることがわかる。

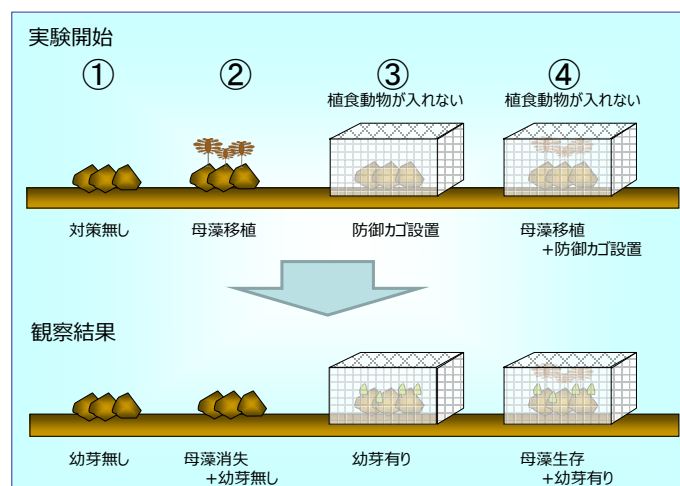


図7-B2-1 藻場形成の阻害要因の確認

なお、図 7-B2-1 で示した実験区①～④は、水深、波当たり、潮流、底質等の物理環境に大きな違いが出ないように、近接させて行う必要がある。また、実験は、植食動物の出現期、あるいは摂餌活動が活発な時期に行う。移植用の海藻は、実験期間中に生育する種を選定し、実験場所の近くに残存する藻場から採集することが望ましい。実験にあたっての留意事項を以下に示す。

- ◆ 観察の間隔を長くすると、移植した海藻が、いつ、何が原因で消失したかわからなくなってしまうので、少なくとも毎月 1 回程度、観察することが望ましい（最初はもう少し頻度が高い方がよい）。特に、ウニが海藻を多く食べる春～秋、アイゴやブダイが海藻を多く食べる初夏から初冬にかけては、頻度を高めて観察する。
- ◆ 小型のウニや巻貝が多い場合は、カゴや網の目合を小さくする必要がある。しかし、カゴや網は付着生物で目詰まりしやすいので、中に入れた海藻が光不足とならないように、定期的に清掃する必要がある。
- ◆ 植食性魚類による食害が懸念され、ウニの影響が少ないと判断される場合は、カゴの目合は 5 cm 程度と大きくてもよい。ただし、カゴは天井部を持つ 5 面が望ましく、特に、魚類の食害が予想される場合は天井部が不可欠である。カゴ内の植食動物は、実験開始時にすべて除去し、観察の際に侵入した植食動物を発見した場合は除去する。また、海藻の採食痕から、植食性魚類の種類を特定することができる。



アイゴ(全長 33 cm)の採食痕

ブダイ(全長 42 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

- 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: 葉状部表面の歯形
 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 7-B2-2 クロメの採食痕 (桐山ら, 2001 を一部改変)

- ◆ 図 7-B2-1 の観察結果に応じて想定される要因は以下のとおりである。
 - ・ ②と④の母藻が消失した場合：、高水温、あるいは栄養塩や濁度など水質が要因と

予想される。

- ・ ②の母藻は消失するが、④の母藻は生育する場合：水質は問題なく、植食動物の食害が要因と予想される。
- ・ ③と④に幼芽が見られない場合：海藻のタネ不足や底質の悪化（浮泥の堆積）が要因と予想される。

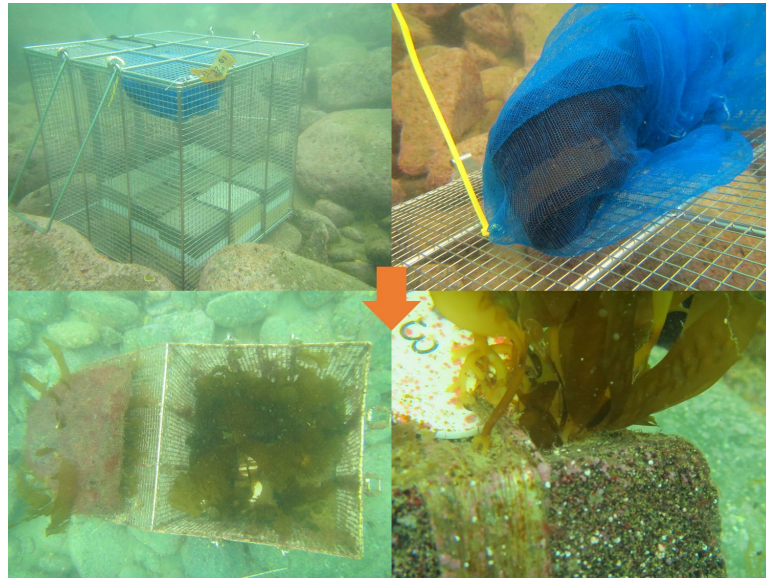


図 7-B2-3 ステンレス製カゴを用いたコンブ遊走子播種実験（宮城県女川町）
ステンレス製カゴの蓋の裏側に成熟したマコンブのスポアバッグを固定し、海底に設置。半年後に、底に敷いたブロックやスポアバッグの表面に藻体が着生していることを確認。



図 7-B2-4 洗濯ネットを用いた食害防止実験（宮城県女川町）
洗濯用ネットの中に錘の石とマコンブを入れて設置。その結果、マコンブが成長（10 月には成熟）したことを確認した。

囲い網を用いた現地実験の事例として新潟県の佐渡島の真野湾の事例を示す（石川ら，2010）。この場所ではガラモ場が分布しているが、離岸 810m から徐々に減少し、870m 以遠ではホンダワラ類が分布しなくなる。いわゆる「沖焼け」状態である。昔は、さらに沖まで藻場が分布していたと記録されている。この原因を把握するため、囲い網の中と囲い網のない場所にホンダワラ類を移植し、囲い網の中のウニや巻貝をすべて排除する実験を実施した（図 7-B2-5）。その結果、防護区内のホンダワラ類は残存したが、無防護区では海藻が消失したことから、ウニや巻貝による食害の影響が大きいと判断された。

表 7-B2-1 囲い網による植食動物の排除実験の結果毎の想定される原因

防護区	無防護区	想定される原因
海藻生育	海藻生育	ウニや巻貝による食害はない
海藻生育	海藻消失	ウニや巻貝による食害の影響
海藻消失	海藻消失	ウニや巻貝以外の原因

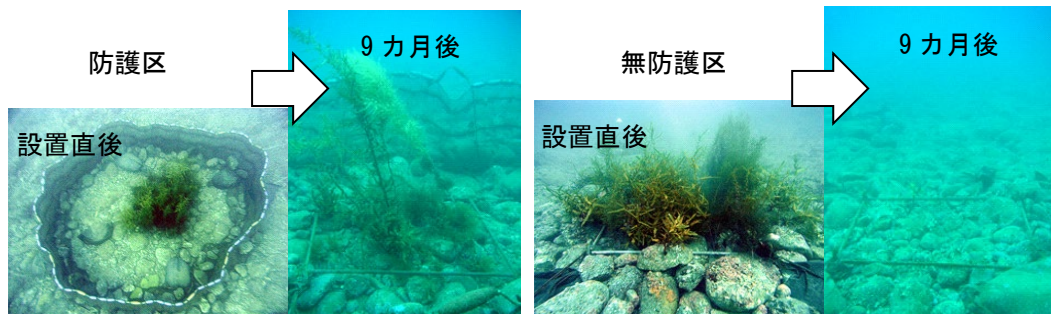


図 7-B2-5 囲い網の有無による移植ホンダワラ類の生育の違い

次に、幼胚の供給の有無を調べる簡易な実験を実施した。植食性魚類やウニ、巻貝の食害の影響を排除するためのカゴを設置し、その中に新しい基質を入れ、母藻を投入した区（投入区）と母藻を投入しない区（無投入区）を設定した。その結果、投入区にはホンダワラ類が繁茂したが、無投入区では繁茂しなかった（図 7-B2-6）。このことから、海藻のタネ不足が磯焼けの継続要因の 1 つである可能性が示された。

表 7-B2-2 母藻投入による植食動物の排除実験の結果毎の想定される原因

投入区	無投入区	想定される原因
海藻生育	海藻生育	海藻のタネ不足ではない
海藻生育	海藻生育せず	海藻のタネ不足
海藻生育せず	海藻生育せず	海藻のタネ不足以外の原因

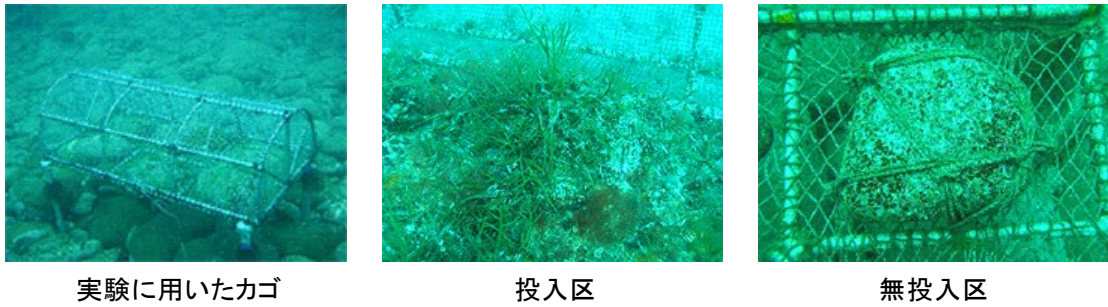


図 7-B2-6 母藻投入の有無による移植ホンダワラ類の生育の違い

2) 植食性魚類の食害評価実験

1) の簡易実験の際に植食性魚類の食害が疑われる場合は、魚種を特定するために海藻を岩礁の海底に設置し、タイムラプスカメラ (図 7-B2-7) やビデオカメラで撮影する方法が有効である。タイムラプスカメラとビデオカメラでは撮影時間が大きく異なる点に留意する。タイムラプスカメラは、任意の撮影間隔 (数秒～数時間程度) で連続して静止画が得られるもので、撮影間隔と付着生物の付着状況次第では 1 カ月以上連続撮影することが可能であるが、ビデオカメラでは数時間程度である。ノトリスズミの場合、他の植食性魚類とは異なり、夜間に摂餌することが知られている (Noda *et al.*, 2016 ; 野田ら, 2016)。一般に、タイムラプスカメラもビデオカメラも夜間に直接撮影することはできないものの、設置した海藻が日没から日の出までの間に減少した場合、ノトリスズミが海藻を摂餌している可能性が高い。ビデオカメラでは、日没前に撮影を開始すると、バッテリーの消耗で日の出時には撮影できなくなるため、日没から夜間を挟み日の出までの海藻の残存状況から食害の実態を総合的に判断したい場合はタイムラプスカメラを、昼間の短時間の詳細な行動を観察したい場合はビデオカメラを使用するとよい。

実験の手順は次のとおりである。

- ① カメラを専用防水ケース (特注) に格納し、潜水用ウエイト、小型ブロック、結束バンド等を利用して海底に固定する (図 7-B2-8)。
- ② 海藻とカメラの距離は透明度やカメラの画角によるが、概ね 1～2m の範囲とし、その範囲内に鮮度のよい海藻を海底に取り付ける (図 7-B2-9)。
- ③ 開始時刻を記録して撮影を開始する。餌海藻付近に物差し (1m) を写し込んでおくと画像内のスケールとなり、摂餌する魚のサイズを推定できる (中嶋ら, 2014)。
- ④ 回収後、得られた映像から海藻を摂餌している魚を確認する (図 7-B2-10)。

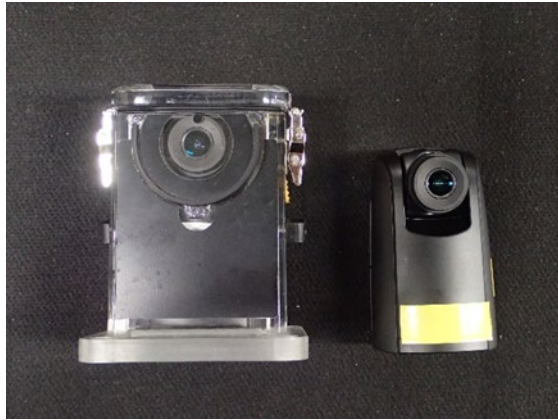


図 7-B2-7 タイムラプスカメラ (例)



図 7-B2-8 タイムラプスカメラの固定



図 7-B2-9 実験用海藻の固定



図 7-B2-10 撮影された映像

2) 環境データを取得する調査

磯焼け域と近隣（もしくは域内に部分的に残存している）藻場の2地点を比較し、要因を特定する（図 7-B2-11）。比較現地調査は、両地区において海藻被度とともに、ウニ密度（必要に応じて、サザエ、小型巻貝、アメフラシ、植食性魚類）、透明度、底質、懸濁物質、水温、流動、栄養塩などの時系列データを取得し、何のデータに、いつから、相違が生じるかを明らかにできれば、それが要因の解明につながると考えられる。調査項目によっては、観測機器や採水分析が必要となり、専門的な技術を要する場合があるので、試験研究機関と協力して進めることが望ましい。

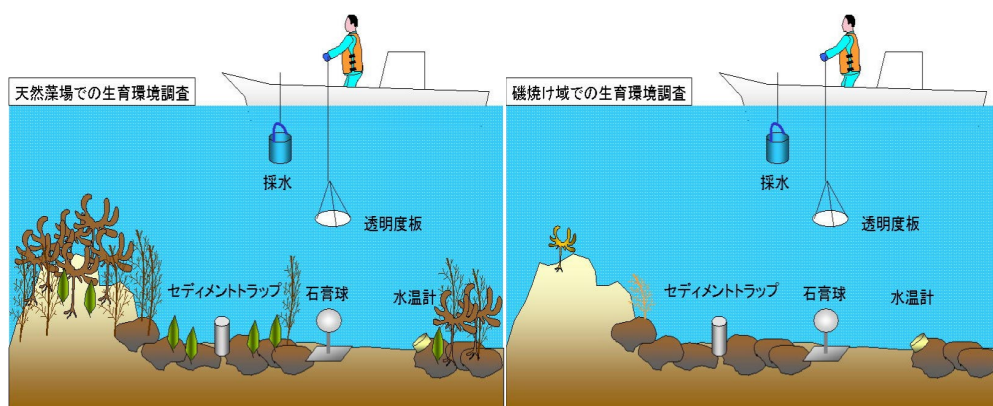


図 7-B2-11 比較現地調査による方法（近隣藻場（左）、磯焼け域（右））

表 7-B2-3 は、植食動物による食害以外の原因で藻場が衰退する事例について、一覧に取りまとめたものである。藻場衰退を生じさせる環境、この環境に至らしめる原因や影響、この環境の指標となりうる海藻や植生の状況、この環境を把握するために必要な調査手法・機器を示している。

表 7-B2-3 (1) 植食動物の食害以外の原因で藻場が衰退する場合の調査方法

環境	原因・影響	指標となりうる海藻・植生状況	調査手法・装置	
			簡易調査	機器・分析
光不足	<ul style="list-style-type: none"> 沿岸改変(静穏化に伴う河川水の局所的滞留)や生活・産業排水による懸濁物質の増加。 海藻の成長に影響。 芽生えの時期、あるいは海藻の呼吸が盛んな夏季は深刻。 	<ul style="list-style-type: none"> 植食動物が多くないのに深所から藻場が衰退する。 静穏域や深所では懸濁物質が浮泥となって海底に堆積。 浅所の流動・攪拌域(時期)では堆積しないが、海水中の濁りとして影響。 	<ul style="list-style-type: none"> 透明度板 直径 30 cm の白色円形板を沈めて観測。 写真撮影 海上や陸側の定点でデジタルカメラを用いて撮影。出水時だけでなく平時の定期観測も必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 水中照度計 水中光量子計 濁度計 メモリー式計測器が使いやすい。
高温	<ul style="list-style-type: none"> 暖流接岸・優勢や気象変動による。 冬季の高温は芽生えに影響し海藻群落の成否にも影響。 夏季の高温は成長や成熟、群落の存否に影響。 他の環境要因と関連するので、単独の影響かどうかは要注意。 	<ul style="list-style-type: none"> コンブ・アラメ・カジメ類は高温の影響を受けやすく、減少、先枯れ、あるいは種組成の変化(ワカメが増える等)が進む。 ホンダワラ類やテングサ類には、それほど大きな影響はない。 	<ul style="list-style-type: none"> 現場採水(棒状温度計・簡易水温計による測定) 近くの海面養殖場や定置網、栽培漁業センター(取水)で連続測定されている場合はこれらのデータを活用する。 	<ul style="list-style-type: none"> 水温計 メモリー式小型機が使いやすい。
栄養塩不足または過多	<ul style="list-style-type: none"> 暖流接岸・優勢、河川水の減少や沖合への拡散阻止、排水規制などで貧栄養。 高温時には海水の成層化により不足しやすい。 沿岸改変(静穏化に伴う河川水の局所的滞留)や生活・産業排水により富栄養化が進行。 海水流動の強弱が栄養塩吸収に関係。 	<ul style="list-style-type: none"> 栄養塩不足 テングサ類は直立体減少(匍匐枝は残る)や黄化が起こる。黄化は他の紅藻でも認められる。 コンブ類は先枯れが進み、子嚢斑形成が遅れたり子嚢斑面積が小さくなったりする。 栄養塩過多 付着生物(珪藻、小型海藻、小動物)が増加。 多数の小突起が生じる海藻は突起が発達する。 	<ul style="list-style-type: none"> 現地測定(市販のパックテストや簡易機器で測定) 富栄養(高濃度)の大まかな測定しかできない。 	<ul style="list-style-type: none"> 専門機関で分析 蓋付き瓶(ペットボトル等)を用いて海底付近で採水。 サンプルは、吸引濾過した後に、冷暗所で保存。

表 7-B2-3 (2) 植食動物の食害以外の原因で藻場が衰退する場合の調査方法

環境	原因・影響	指標となりうる 海藻・植生状況	調査手法・装置	
			簡易調査	機器・分析
静 穏 化	<ul style="list-style-type: none"> ・沿岸構造物(防波堤や埋め立てなど沖出し構造物)に挟まれた海岸や離岸堤設置域で顕著。 ・台風や冬の時化などが起こらない季節に、長期間、海面が鏡面状になるような内湾域で要注意。 	<ul style="list-style-type: none"> ・海藻表面に浮泥や砂が堆積して海藻の活力が低下。 ・付着生物(珪藻、小型海藻、小動物)が増える。 ※海底や海藻表面に堆積した砂に珪藻が繁茂するとべたつき、振っても落ちにくい。 ・海藻が全体的に縮れることがある。 ・礫域の場合は、礫の反転・移動が減り、礫間にまたがって生える無節サンゴモが出現。 	<ul style="list-style-type: none"> ○石膏球 ・1～2週間、海底に設置し石膏の減少量から期間平均流速を算出。 ・水温により石膏の溶出速度が変わるので留意。 ○写真撮影 ・デジタルカメラやビデオに専用ハウジングを装着して撮影。近年は市民ダイバーも多く、ダイビングスポットや有名な岩の定期的な撮影を依頼し、保管しておくとうい。 	<ul style="list-style-type: none"> ○電磁流速計 ・メモリー式小型機が使いやすい。
浮 泥 堆 積 火 山 灰 の 堆 積 も こ の 項 を 参 照	<ul style="list-style-type: none"> ・海岸・流域の人工化(垂直護岸や河床の三面張り)。 ・特にダムや排砂による影響は深刻。 ・河口の直近(大きな粒子が沈降)よりも、数km離れた地点で粒径の細かい泥(ウォッシュロード)の影響が強く表れる。 ・海が荒れれば解消するが、静穏な季節(日本海側では夏、太平洋側では冬)に、長期間海底に堆積すると影響が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・藻場が深所から衰退。 ・海藻の上に浮泥や砂が堆積。コンブ類は堆積部位の腐敗により穴があく。 ・海底の浮泥を顕微鏡で観察すると、浮泥に付着した海藻の発芽体から、岩面に着底できない様子がうかがえる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○簡易式セディメントトラップ ・海底に口径の大きいポリ瓶(縦横比4:1程度)を設置。1～数カ月放置し、堆積物を捕集。堆積量や粒径を比較。 ・粒土組成は目の細かい「ふるい」から順に堆積物を通して選別し、重量比で算出。 ○写真撮影 ・海底や海藻上の浮泥の堆積状況を撮影(色、特に堆積物の硫化水素発生を示す黒色化が重要)。 	<ul style="list-style-type: none"> ○採集物の分析 ・蓋付き瓶や牛乳パックを用いて海底付近を採泥し、専門機関等に分析を依頼。粒径、酸化還元電位、硫化物、強熱減量などを調べる。 ・サンプルは引き渡し時まで密閉し、冷凍保存。できれば、採集当時の匂いや手触りを記録しておく。

【コラム 7-B2-1】栄養塩の変化が原因で表れる海藻の変化

海水中の窒素（硝酸態窒素またはアンモニア態窒素）が不足すると紅藻の黄化が認められる。紅藻は光合成補助色素のフィコエリスリンを含むために紅色となっている。この分子には窒素原子が含まれるため、補助色素（クロロフィル分子が吸収できない波長の光を吸収する）としてだけでなく、窒素の貯蔵庫として機能する。しかし、海水中の窒素が不足すると、フィコエリスリンが減少して紅色が失われ、残された色素（クロロフィルやカロチノイド）の色が表れて黄色や緑色になる。実際には、成長の盛んな枝の先端から黄化し、基部に紅色が残ることも多い。紅藻の黄化はテングサ漁場で古くから知られていたが、近年、養殖ノリ漁場の「色落ち」として深刻化している。藻場では、テングサのほか、アカバ、ツノマタ、スギノリ、トサカノリ、タンバノリ、エゴノリなど多くの紅藻で黄化が認められ、貧栄養となりやすい暖流域で黄化しやすい。また、過去と比べて、近年、黄化藻体が増えていることを示唆する文献解析例もある。千葉県房総半島や静岡県伊豆半島での検証では、紅色の体色の変化と海水中の硝酸態窒素の濃度に相関関係があることがわかった（図 2）。実際、黄化した藻体を栄養添加海水で培養すると体色が紅色に戻る。紅色の体色は栄養塩（窒素）の指標となり、栄養塩添加（施肥）の効果の指標にもなりうる（図 1 右および第 7 章のコラム 7-D7-4 参照）。



アカバ(左:北海道神恵内漁港, 右: 那覇内漁港) 施肥区内(左)と外(右)のキョウノヒモ

図 1 紅藻の黄化の例

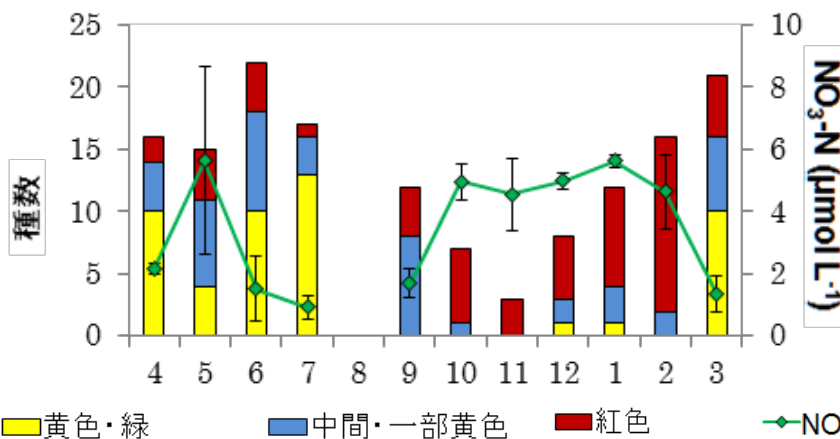


図 2 静岡県内浦湾の硝酸態窒素濃度と紅藻の体色の関係 (Kobayashi *et al.*, 2014)

【コラム 7-B2-2】 浮泥の採取・測定方法

海底の浮泥は、手動の灯油ポンプを使って採取できる（図 1）。

- ① 灯油ポンプの吹き出し側にビニール袋をテープで固定し、内部の空気を排除しながら折り畳み、紐等で縛る。この時、折り曲げた番線等で逆止弁を開放しておくことで空気が抜けやすい。吸い込み側は長さ 10 cm 程度に切断しておく。
- ② ポンプ部および蛇腹ホース内部に海水を満たして、空気を排気しておく。
- ③ 岩盤上に小型の方形枠（10×10 cm）を置き、前述の灯油ポンプにより浮泥を海水ごと吸引する。方形枠は、できる限り平坦で凹凸の少ない場所に設置する。
- ④ 採集後、船上でビニール袋内の試料を褐色ポリ瓶（20）数本に入れ、保冷して輸送する。



図 1 浮泥の採取状況

採取した試料には、軽い浮泥と重い堆砂が混じっている。堆砂は、細砂や微小な貝殻片などからなり、浮泥に比べ格段に重く、吸引した試料の重さを測る時に、重量の大部分を占めてしまう。このため、浮泥は、試料から堆砂を分離して測定する。

浮泥の分析方法は図 2 に示すとおり。浮泥採集時に海水中の浮遊物質（SS）が多い場合は、採集地点直上層で採水し、SS を測定しておくことが望ましい。

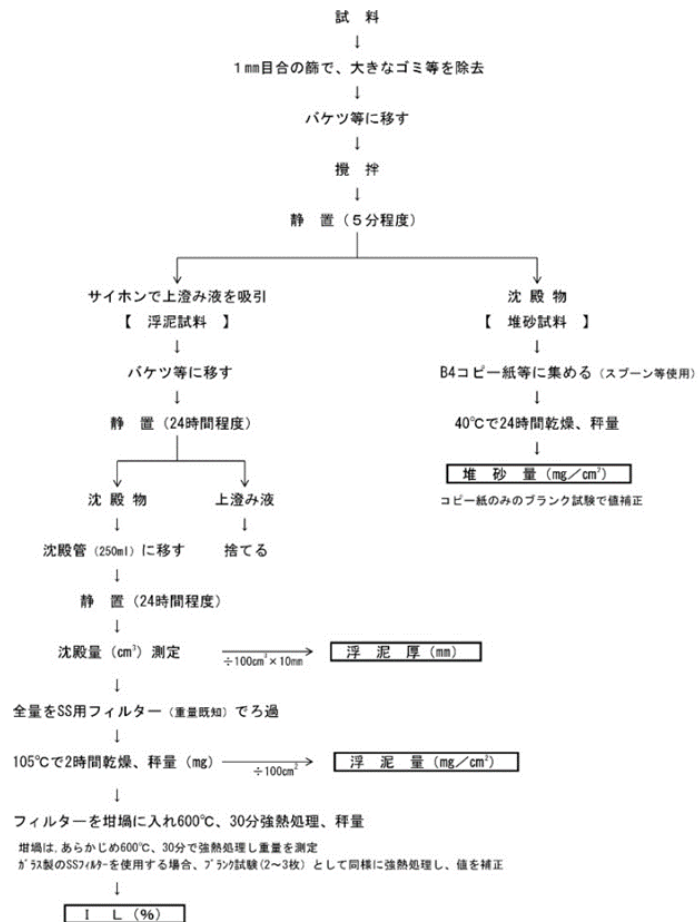


図 2 浮泥の分析法

C. 対策手法の検討と計画づくり

「B. 現状把握」により特定した阻害要因の除去・緩和を図る対策計画を立案する。

【解説】

磯焼け対策は、先に示した PDCA サイクルの考え方（第 6 章の図 6-2-2）を踏まえ、前述の「B. 現状把握」で特定した阻害要因の除去・緩和を図るため、磯焼け対策手法の中から適切な手法を選定し（図 7-C-1）、年間の活動計画を立てる。その際に、除去される植食動物が大量に発生する恐れがある場合は、それらの利活用を検討しておくといよい（第 8 章の 8.7、8.8、8.9 参照）。

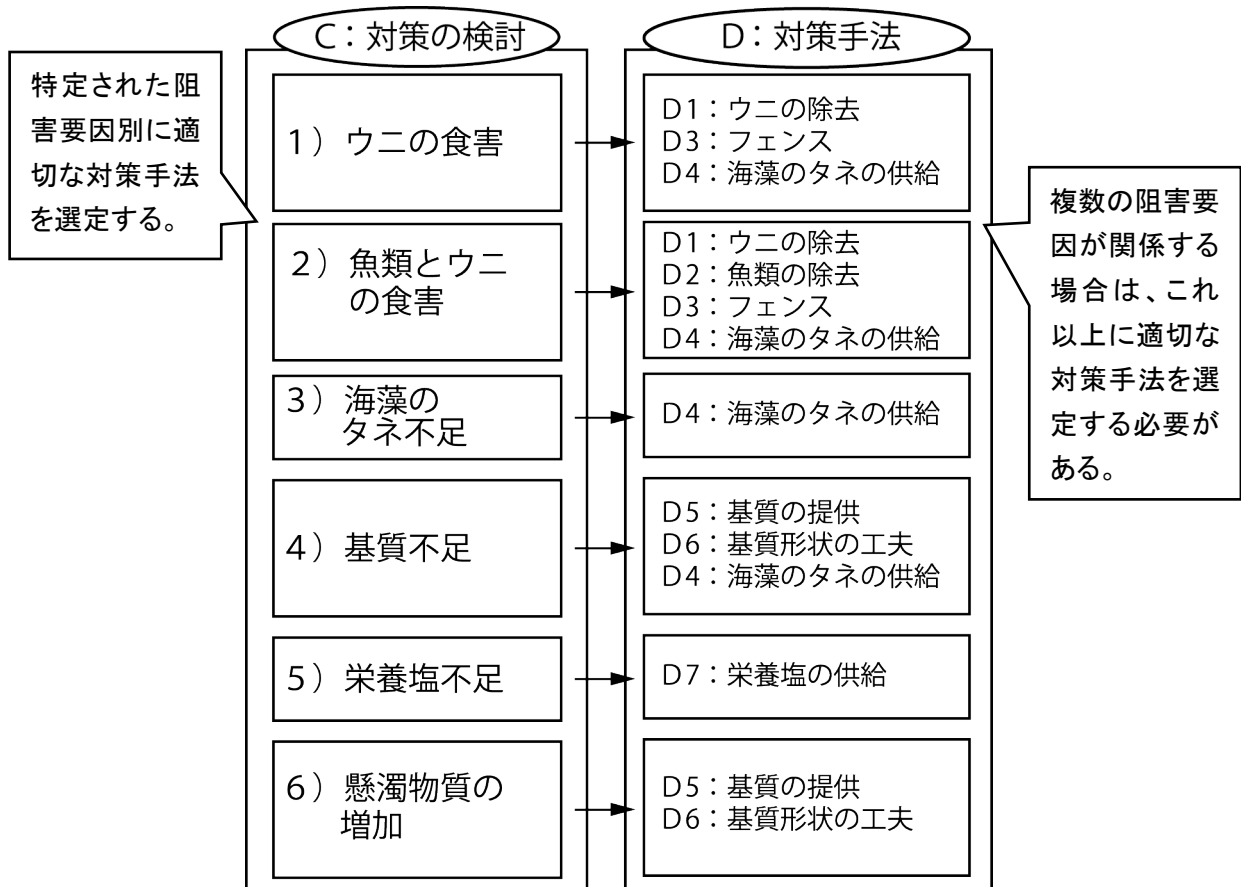


図 7-C-1 磯焼け対策手法の検討フロー

1) 食害が阻害要因である場合の基本的な対策の考え方

対策手法を選定する場合は、阻害要因を除去するための対策手法のみを選ぶのではなく、効果を促進させて早期に藻場を再生・持続させるため、例えば、植食動物の新たな侵入を防ぐためのウニフェンス（本章の D3 参照）と、海藻の新規加入を促進させるスプアバッグの設置（本章の D4 参照）なども組み合わせて選ぶことが効果的である（図 7-C-2、図 7-C-3）。





	<p>① ウニの食害が阻害要因となっている磯焼け海域。</p>
	<p>② ウニ除去をする活動エリアを決めて、活動エリアがわかるように、その場所にウニフェンスを設置する。そして、その中のウニを徹底的に除去する。</p>
	<p>③ ウニ除去後は、スポアバッグの設置や種苗の移植を行い、海藻のタネを活動エリア内に供給する。なお、スポアバッグは、海藻の成熟時期の前に設置する。</p>
	<p>④ 上記の対策を確実に実施すれば、翌春にはフェンスの中に藻場が形成される。 写真の真ん中のフェンスを挟んで、右側は対策エリアで藻場が回復し、左側はエリア外で磯焼けが続いている状態を示す。</p>

図 7-C-2 ウニの食害対策の効果的な組み合わせ

	<p>① 植食性魚類とウニの食害が阻害要因となっている磯焼け海域。</p>
	<p>② ウニ除去をする活動エリアを決めて、活動エリアがわかるように、その場所にウニフェンスを設置する。そして、その中のウニを徹底的に除去する。</p>
	<p>③ ウニ除去後は、スポアバッグの設置や種苗の移植を行い、海藻のタネを活動エリア内に供給する。なお、スポアバッグは、海藻の成熟時期の前に設置する。</p>
	<p>④ 植食性魚類に母藻や幼芽を摂餌されないように、活動エリア周辺で漁獲する。</p>
	<p>⑤ 上記の対策を確実に実施すれば、翌春にはフェンスの中に藻場が形成される。 写真の真ん中のフェンスを挟んで、右側は対策エリアで藻場が回復し、左側はエリア外で磯焼けが続いている状態を示す。</p>

図 7-C-3 魚とウニの食害対策の効果的な組み合わせ

【コラム 7-C-1】 植食性魚類の食害対策を行わない選択

植食性魚類は移動範囲も広く、その除去手法も未だ開発段階にある。このため、植食性魚類対策を実施し、効果を上げるには多大な労力と時間がかかる。長崎県長崎市新三重地区では、当面は、植食性魚類の除去は行わず、ウニ除去のみを行う磯焼け対策を実施している。ウニ除去のみでも、植食性魚類から好まれないと考えられているテングサ類やフクロノリなどの小型海藻藻場を形成させることができ、ウニの身入りは改善した。小型海藻藻場と磯焼けの場所でウニの身入りを比べると、春季の小型海藻藻場のウニの身入りは磯焼けしている場所の1.5倍程度になる(門田ら, 2018)。新三重地区では、ムラサキウニ漁が盛んな海域で、漁業者は小型海藻藻場でも地元の漁業に十分貢献していると考えている。植食性魚類の除去が必要となった場合でも、どのような磯根資源を増やしたいのか、漁業者間でよく議論し、目標とする藻場を決め、磯焼け対策を進めることが重要である。

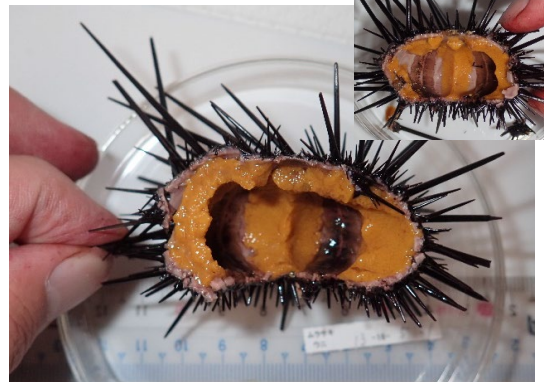
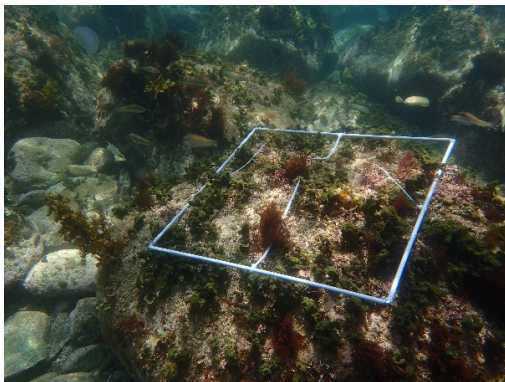


図1 ウニ除去で形成した小型海藻藻場 図2 磯焼け域のウニ(上)と図1の小型海藻藻場のウニ(下)の身入り状況

2) 海藻のタネ不足が阻害要因である場合の基本的な考え方

海況の変化や海岸地形の変化により沿岸の流れが変わると、天然藻場からのタネ(孢子、遊走子、幼胚)の供給が途絶え、藻場が衰退・消滅してしまうことがある。このような場合、母藻移植やスポアバッグの設置など人為的に海藻のタネを供給する(本章のD4参照)。ただし、母藻を利用する際には、遺伝子攪乱を防ぐため、同じ種であっても遠隔地の母藻は使用せずに近隣の母藻を入手することが望ましい。

このほか、流れによる海藻のタネの移動を考慮し、移動先に流れ藻キャッチャー(本章D4の図7-D4-6、図7-D4-7、図7-D4-8参照)を設置し、設置場所の海底のウニを除去しておくといよい。

3) 基質不足が阻害要因である場合の基本的な考え方

砂への岩礁埋没による基質不足の場合は、海底地形と漂砂の関係を捉えることが難しく、制御しにくいので、砂の影響が及ばない高さのある基質を設置する(本章のD5参照)。ま

た、基質が付着生物に覆われている場合は、岩盤清掃を行う（本章の D5 参照）。どちらも、海藻の成熟時期にタネの供給（本章の D4 参照）も併せて行うと、早期に藻場が形成されるので効果的である。

4) 栄養塩不足が阻害要因である場合の基本的な考え方

栄養塩不足が阻害要因の場合は、栄養塩を人為的に供給する（本章の D7 参照）。

5) 懸濁物質（浮遊物質）の増加が阻害要因である場合の基本的な考え方

懸濁物質（浮遊物質）の増加を防ぐ場合は、最初に発生源を突き止め、その懸濁物質の除去・緩和を行うのが望ましい。影響域での対策は、基質の設置（本章の D5 参照）や基質形状の工夫（本章の D6 参照）が考えられるが、一時的な効果は期待できるものの中長期的には効果が薄れるので、定期的に堆積した懸濁物質を払拭するなどのメンテナンスが必要となる。このため、発生源の抑制策を図るとともに、長期的な対策を計画する必要がある。

6) 作業計画（スケジュール）の立て方

対策を実施するにあたっては、海藻には繁茂や成熟する時期、あるいは、植食動物の摂餌が盛んとなる時期を考慮し、適切なタイミングで効果的に実施できるように作業計画を組み立てる。また、それに併せて、参加できる人数、個人の能力等も考慮することが重要である。なお、ウニ対策では、食害の影響力の大きい産卵期前に除去するのがベストである。しかし、周辺からの侵入が少ないところでは、対策域内のウニの密度をあるレベルまで下げておけば、実施時期にこだわる必要はない。

7) 活動の実行管理

活動を行ってみると、いろいろな理由から計画のとおりに進まないことがある。対策の途中であっても、調査方針の変更、対策手法の変更を行う柔軟な対応が必要である。

D. 対策の実施

ここでは、磯焼け対策技術について紹介する。ただし、阻害要因が複数ある場合には、紹介する対策技術を効果的に組み合わせて実施する。

D1. ウニの除去

ウニの除去は、スキューバやフーカーを用いる「器械潜水」が、最も作業効率が高い。そのほかに「素潜り」、船上からの「見突き」、「カゴ」などがあるが、器械潜水に比べて作業範囲が限定され、効率が悪いなど、実施にあたっては作業計画を十分に検討する。

【解説】

ウニの除去は、器械潜水、素潜り、見突き、およびカゴで行われている。カゴを除き、海底でウニを潰す方法か、潰さずに船上に回収する方法に大別される。除去前にはウニの密度、水深帯、波浪条件、底質、および透明度を把握し、作業性や経済性、海藻の成熟期を考慮して作業計画を立案する。除去時は、目標密度に向かって（徹底的に）ウニを除去して、藻場を再生させる。翌年、藻場が回復したら、隣接域で除去を行い、活動範囲を拡大させる。

1) 除去するウニ

磯焼けを引き起こす代表的なウニは、キタムラサキウニ、ムラサキウニ、ガンガゼ類、およびナガウニ類の4種である（第4章の4.1参照）。現地の藻場に大きな影響を与えるウニを優先して除去を行う。前2種は除去後、移植または養殖による有効利用が行われている（第8章の8.8参照）。影響の少ないウニは、除去する必要はない。

2) 除去する場所

潜水除去をする場所は、実施体制、作業員の年齢・能力、安全性に留意するとともに、成果が早期に発現しやすく、かつ、効果が持続しやすい場所から始める。実施場所にはあらかじめ目印のブイ等を設置して範囲を明確にしておくことよい。ウニフェンスを設置する場合には、短い距離で瀬切り（本章のD3参照）できる場所を選定する。

表 7-D1-1 除去に適した場所

除去する場所	特徴
近傍に海藻群落が残っている場所	タネの自然供給がある
最後まで藻場が残っていた場所	生育できる環境にある
砂に囲まれ独立した岩礁	ウニの再侵入が少ない

3) 除去する時期・時間帯

ウニの除去は、海藻の幼体が芽立つ直前に行うのが最も効果的である。しかし、周辺からのウニの侵入が少ないところでは、摂餌圧が低いので、いつ実施してもよい。ウニを除去し

た翌年に稚ウニが大量発生することがある。産卵期のウニを潰すと受精が起きたとしても、受精後のウニの浮遊期間は2～3週間以上と長く、潰した場所に大量に着底する可能性は極めて低い。除去域で稚ウニが増えるのは、捕食者でもあった親ウニが激減し、稚ウニの生き残りが多くなったためと考えられる。潰したウニの軟体部は、その場で魚類などに餌として利用されている。船上から除去する場合は、潮位の低い時間帯に作業を行うと、より深所のウニが除去できて作業効率が高まる。

4) 除去の目標

ウニの密度を減らせば、それに反比例して藻場が増えていくものではない。密度をあるレベルまで下げると、不連続フェーズシフトが起り、藻場は急激に再生する（第3章の図3-8-1参照）。そのレベルに達するには、ウニの密度を1/10前後まで下げる必要がある。現場では、中途半端にウニが残らないように、ウニの密度を「0個/m²」を目標に除去を続けて行く。なお、礫場などでは礫の裏側にウニが入り込むため、完全な除去が難しい場合がある。

5) 除去の方法

(1) 海底で潰す方法

器械潜水や素潜りでは、海底の表面に出ているウニはハンマーや磯カギで直接潰し、礫の裏側や隙間にいるウニは磯カギで掻き出してから潰す（図7-D1-1、図7-D1-2）。ウニを潰す際、殻に小さな穴をあけるだけでは殻が治癒する可能性があるため、完全に叩き潰すか、2つ以上に分割するのがポイントである。潰したウニの数は各自でカウントし、終了後に集計して作業効率を把握しておく。

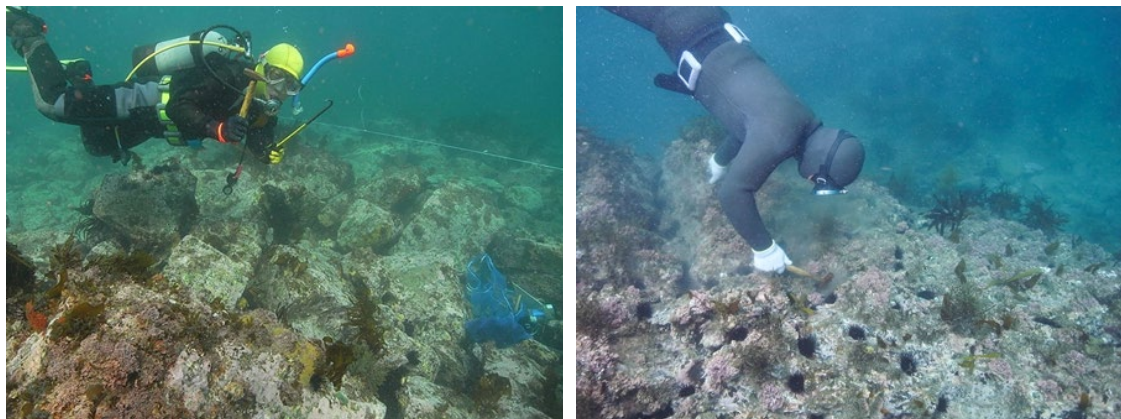


図 7-D1-1 ウニの潰し作業

見突きでは、熟練者が小型船から箱メガネで海中を覗き、先端に金具を取り付けた竿で、ウニを潰す方法である。除去できるのは船上から見えるウニであり、礫の裏側に入り込むウニの除去はできないため、取り残しが多くなる。また、透明度が低い時は作業効率が低

くなる。なお、浅場では器械潜水より効率的な場合もある。



ウニを潰すハンマーの持ち手部分にゴムやクッション材を巻いて、手に負担がかからないようにしておく。



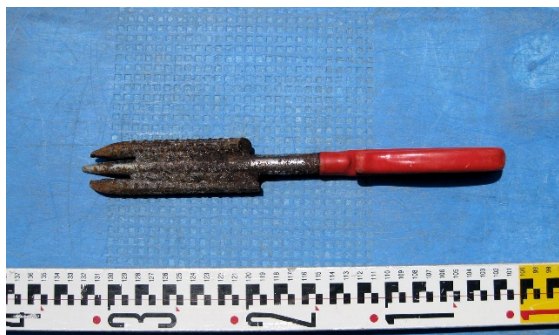
先端部をT字型、あるいは十字型にしたガンガゼ用の道具。



先端部をウニに押し付けると、潜水タンクの高圧空気が殻の内部に送り込まれて殻を割る道具(ウニバスター)。



長い竿は浮きのように海面に自立する。高齢者や女性用に力をかけなくても浅場のガンガゼを潰すことができる(長崎県長崎市深堀地区)。



岩の隙間に潜むウニを潰せるように先端を平たくして重くしたムラサキウニ・ナガウニ用の道具(高知県須崎市久通地区)。



一度に約 150 個のウニを潰すウニボックス(寸法: 450×300×300、約 10 kg)。底のメッシュからウニ殻が落ちるようになっている。(神奈川県、親子 DE エンジョイフィッシングスクール MIURA 活動組織)

図 7-D1-2 様々なウニの潰し道具

(2) 船上に回収する方法

ウニを残存する藻場へ移植する、あるいは堆肥化など有効利用を図る場合は、ウニを船上に回収する。

器械潜水や素潜りでは、潜水によるウニ漁と同じ要領で、磯カギで搔き出し、手タモ(網の材質はプラスチックやステンレス)、あるいは専用の網袋に回収し、ある程度集めた時点で船上に回収する(図 7-D1-3)。ウニの除去量は、1 個当たりのウニの重量を計測し、袋ごとの総重量から 1 袋当たりの個数を割り出して、使用した袋の延数量から算出する。

食用となるキタムラサキウニ、エゾバフンウニ、ムラサキウニ等の場合は、除去したウニを近傍の天然藻場へ移植する場合がある(図 7-D1-4)。移植する際には、ウニ密度が高くなるように注意し、後日、漁獲する。

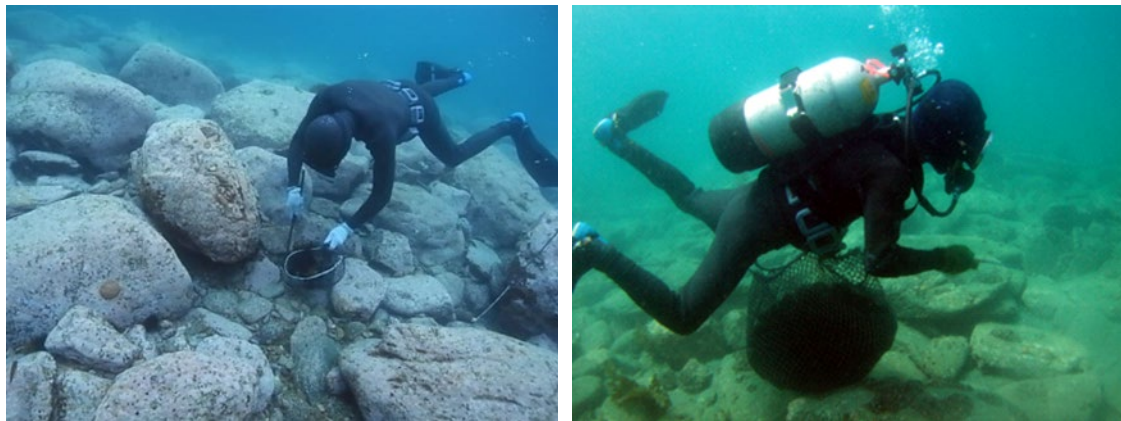


図 7-D1-3 潜水によるウニの回収作業



図 7-D1-4 回収したウニの移植作業

6) 潜水除去作業の所要人数

潜水除去作業の所要人数は、作業員の能力と除去区域を勘案して設定する。スキューバ潜水によるウニの除去の所要人数の算出は下記の式により求める。

$$M = \frac{S \times f}{n \times t} \quad (\text{人}) \quad (\text{小数 1 位切り上げ})$$

ここで、M：スキューバ潜水除去の所要人数（人）

S：ウニ除去区域の面積（㎡）

f：平均ウニ密度（個／㎡）

n：ウニ除去速度（個／人・時間）

t：1日当たりの潜水作業時間（時間）

ウニ除去速度は、実施時期、水深、透明度、海象条件により変動する。

参考までに、各地のスキューバ潜水除去の事例を示す。

北海道江良地先：n=1,260 個／人・時間

（海底でキタムラサキウニを網袋に回収、密度：5 個／㎡）

福岡県宗像市地先：n=900 個／人・時間（秋本ら，2008）

（海底でガンガゼを潰す、岩礁、密度：6.0～9.0 個／㎡）

三重県尾鷲市早田浦地先：n=552 個／人・時間（倉島ら，2014）

（海底でガンガゼを潰す、岩盤・岩塊・巨礫等、密度：2.0～8.8 個／㎡）

7) 除去効果の持続期間

ウニの除去効果について、コンブ漁場で1回の除去の効果が数年間持続した例が知られている。周辺からの除去区域へのウニ成体の侵入は不可避である。ウニ密度を低く維持するために、除去範囲をできるだけ広くするか、あるいはウニフェンス等で侵入を抑制する対策が必要である。ウニ成体以外に、着底した稚ウニが成長してウニ密度が高くなる場合がある。

大分県名護屋では、ガンガゼ類を徹底除去したところ、現在までに稚ウニがほとんど見られなくなった。藻場の生態系が回復して、稚ウニの個体数が制御されていると推察されている。

8) 実施するにあたっての留意点

- ・ 食用とされるウニは、漁業調整規則で採捕（除去を含む）が禁止されている。市町村等の自治体やボランティアが漁業協同組合の要望でウニ除去を実施する場合には、都道府県知事の特別採捕許可が必要である。
- ・ 潜水によるウニ除去は、水深が深い場所から浅い場所に移動しながら実施すると安全性が高まる。ウニ除去の作業効率を図るため、事前に作業の説明を行うとともに、実施海域には進行方向や対象範囲を明確にしたガイドロープを海中に敷設しておく（図7-D1-5、図7-D1-6）。
- ・ 棘の長いガンガゼは棘が刺さりやすく、刺されると激しい痛みを引き起こす。作業中は周りに注意し、長めの磯カギや専用の棒を用いて注意深く作業を行うように心がける。刺された場合は、目に見える棘は、体内に残らないように丁寧に抜き、痛みが何日もとれない場合は医療機関で治療を受ける。患部を40～50℃のお湯につけると痛みを和らげ

ることができる。

- ・ ウニを徹底的に除去すると、イワガキ、ヒバリガイモドキ、ソフトコーラルなどの他の付着動物が優占することがある（図 7-D1-8）。このような場合には、付着生物の幼体の捕食者として、海藻が芽生えるまでの間、ウニを少し残す方法もある。
- ・ アメフラシや小型巻貝が目立つ場合は、同時に除去するとよい（第4章の4.3参照）。
- ・ ウニの密度は、器械潜水の場合、海底に 5m のロープを展張して、その片側または両側 1m の範囲内のウニ（稚ウニを除く）の個数を種類別に計数し、1 m²当たりの個数を算出する。素潜りの場合、密集しているところを避けて、平均的なところの 1m×1m 内のウニの個数を記録する。なお、除外する稚ウニの目安（殻径）は、ガンガゼ類は 40 mm未満、ムラサキウニでは 30 mm未満、ナガウニ類では 20 mm未満である。



図 7-D1-5 実施前の作業説明



図 7-D1-6 作業区域を示すガイドロープ



図 7-D1-7 完全に2つに割られたガンガゼ

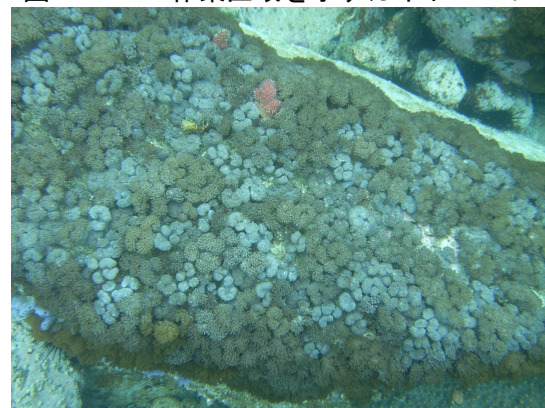


図 7-D1-8 除去後に増えたソフトコーラル

【コラム 7-D1-1】ウニ除去後の効果の持続

青森県佐井村のマコンブ漁場の磯焼け域においてウニを継続的に除去し、形成されたコンブ群落の面積の経年変化を調査した。ウニ除去後の年数とコンブ群落残存率（ウニ除去面積に占めるコンブ群落面積の割合）の関係を示す（図 1）。ウニ除去後 1～2 年はウニ除去後 1～2 年は除去面積の 70～80%にコンブ群落が見られ、6 年経過しても約 20%が残っている。この海域では、1 回のウニ除去の効果が数年継続し、周辺からのウ

ニの侵入量が大きくなかった様子も窺える。一方、1996年（4年経過）の除去区（投石漁場）にはコンブが全く見られなかった。投石漁場は地形が複雑でウニを除去しにくく、再侵入しやすかったことによる。

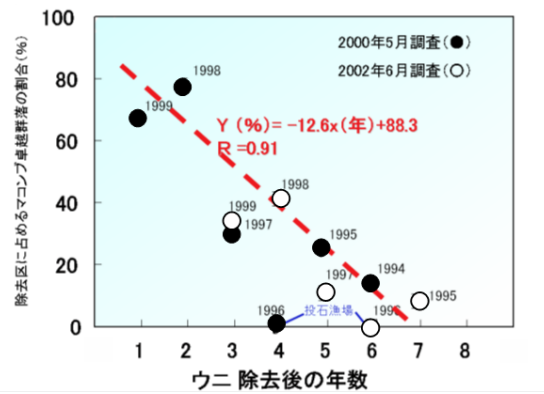


図1 ウニ除去区とマコブ卓越群落の割合

【コラム 7-D1-2】 ウニ密度と藻場の関係

ウニを除去する時の数値目標として、「植食動物 200g/m²」（菊地ら，1975）が知られている。この他にも、長崎県でムラサキウニ 100～150g/m²未満（清本ら，2003）。宮崎県でムラサキウニ 3.3 個/m²、ナガウニ属 4.7 個/m²、ガンガゼ属 1.7 個/m²、シラヒゲウニ 1.3 個/m²（福田，2013）、三重県でガンガゼ属 2 個/m²以下（倉島ら，2014）などの報告がある。これらの事例は、海藻被度とウニ密度の不連続フェーズシフト（第3章の図 3-8-1 参照）のうち、安定した藻場がウニ焼けにシフトする時（上のカーブ）のウニ密度（図 3-8-1 の A）である。ウニ焼け（磯焼け）から藻場が回復する逆シフト（下のカーブ）させるためには、ウニ密度を 1/10 程度（図 3-8-1 の B）まで下げることが必要である。

ウニ除去で藻場が再生した大分県名護屋の事例では、ウニ除去開始時のウニ密度は 2.8 個/m²であったが、2 年後には約 1/10 の 0.2 個/m²に減少し、藻場は回復しはじめ、4 年後には被度で 70%に回復した（図 1）。この組織ではウニの徹底除去（0 個/m²）を目指し、

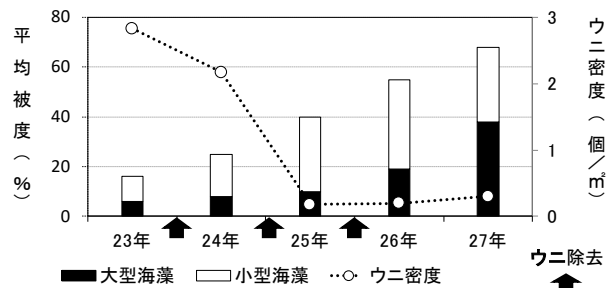


図1 ウニ密度と海藻被度の関係

翌年の藻場の回復状況から再除去を行った。なお、岩陰に潜むウニを徹底除去することは難しいため、再除去を行うかどうかは、藻場の再生状況に応じた判断が必要である。

磯焼け対策で除去したウニは、海藻が残存する場所に移植放流されることがある。植食動物の総摂餌量が海藻の生産量の 1/3 から 1/4 であれば、群落は維持できるといわれている。ウニを移植する場合、ウニの年間摂餌量が藻場の年間生産量の 10%以下にすることが望ましいとされている（吾妻，2001）。

D 2. 魚類の除去

植食性魚類の個体数を対象海域から減らすことにより、藻場への摂食圧を低減させて藻場を回復する。除去方法は、「刺網」、「延縄」、「定置網」、および「トラップ」と様々あり、魚種の生態特性と地先に合わせた最適な方法を選択する。漁業で漁獲される場合は、海上でリリース（再放流）せずに、持ち帰って可能な限り利用を図る。

【解説】

植食性魚類の主な漁法としては刺網、延縄、定置網、潜水漁、カゴ、釣りおよび底曳き網が挙げられる（本多，2006）。これまでの植食性魚類対策では、比較的漁獲対象を選ばない刺網を使うことが多かったが、近年、これに代わる新しい手法も提案されている。ここでは、磯焼け対策の現場において有望な除去手法について、魚種別に実施場所、時期、利点と欠点および留意事項を解説し、実施例を示す。漁業者が使えることを第一として、漁業者の高齢化や生態系への負担にも配慮した。なお、植食性魚類の除去手法は未だ開発段階にあるため、必要に応じて、植食性魚類の生態情報（第4章）を参考に、各地先で工夫が必要である。

このほか、アイゴやイスズミ類は引きが強く、釣り愛好家に人気が高い魚種であることから、磯焼け域では釣れた植食性魚類をリリースしないように周知することも必要である。植食性魚類は磯臭いため価格がきわめて低いので、そのまま投棄される場合がある（秋山，2007）。沖縄県のアイゴ類や和歌山県のブダイなど、一部の地域を除き積極的な漁獲は行われてこなかったが、それ以外の地域でも未利用の雑魚として、飲食店等で提供されるようになってきている（第8章の8.8参照）。

1) アイゴ

アイゴは、秋までに目合が大きい刺網で除去する。初夏の産卵期には夜間に活発に動く親魚を、非繁殖期は昼間に海藻を食べにくる個体を狙って除去する。定置網に大量入網した場合は必ず水揚げして、地域の資源量を減らす。

【解説】

アイゴが磯焼けに関連することは古くから指摘されてきているが、野外における行動・生態についてはいまだ不明な点が多く、後述するブダイやノトイスズミのような対策区の設定や生態を利用した除去手法は十分に検討されていない。しかし、神奈川県城ヶ島では刺網により大型アイゴを除去し、カジメ場を回復させることに成功しており、アイゴの除去手法を検討する上で有用な情報となる（城ヶ島漁協，2017）。アイゴは産卵を終えると海藻を活発に摂餌し（長沼，2009）、藻場に甚大な影響を与えるので、それまでに除去して藻場を守る必要がある。産卵期（初夏）には夜間に動く親魚を狙って刺網を行い、非繁殖期は昼間に海藻を食べにくる魚を狙うことによりイセエビ等の混獲を減らし、効率的にアイゴを除去することができる可能性がある。また、南日本の各海域において定置網で春から秋に大量に入網することが知られており、それを水揚げすれば、アイゴの資源量を減少させる効果が期待できる（水産庁，2015）。

表 7-D2-1 アイゴの除去手法の特徴

方法	場所	時期	利点	欠点	留意事項	実施例
刺網	岩礁 礫場	初夏	産卵親魚を 除去	イセエビの混獲が ある	特別採捕許可申請	神奈川県 長崎県 和歌山県
		秋	イセエビの混 獲がない		他の漁業者との調整	
定置網		初夏	産卵親魚の 大量除去	設置場所が制限 される		佐賀県 長崎県 徳島県他

(1) 刺網

場 所：起伏のある岩礁（山口，2016）。水深 10m 前後のカジメが繁茂している傾斜が緩やかな岩礁（城ヶ島漁協，2017）。

時 期：初夏または秋に操業する。水温が 18℃以下になると不活発になり、漁獲量が少なくなる。また、漁獲量は中潮や大潮時に多い（山口，2016）。

方 法：アイゴは昼行性として知られるが、産卵期である初夏には夜間に遊泳することが水槽実験で確認されている（本多ら，2010）。それを狙って夕方に投網し、翌朝に揚網する。産卵が終わると昼間に海藻を活発に摂食するようになるため（長崎県，2018）、産卵期以外の季節には、夜明け後に投網し、日没までに揚網する。イセエビは夜行性であり、昼間に混獲されることがほとんどない（久保，1962）。しかし、曇天時は昼間でも混獲される恐れがあるため、操業は晴天時の昼間に限定するとイセエビ漁業者の理解を得やすい。透明なスジ網（ナイロンモノ三枚網、網丈 4m 前後）で多く漁獲され、目合は、対象とするアイゴの尾叉長の 0.4 倍とする（長崎県，2018）。城ヶ島地区では、一枚網（スジ網、目合 106 mm、網丈 265 cm）を仕立てて、全長 30 cm 前後の大型を狙って、6～9 月の間に除去を行っている（城ヶ島漁協，2017）。目合を大きくしているため、船上での魚外しが容易であり、また、網直しが楽である。そのため、従来の刺網操業に比べて、労働時間が短くなり、高齢者にとって取り組みやすい活動となっている。また、混獲が少なく（30%）、生態系への負荷も少ない。

利 点：初夏の夜間に操業すると産卵親魚を漁獲できる。

欠 点：イセエビ等が混獲されることがあり、他の漁業との調整が必要である。

留意事項：イセエビを混獲する恐れがある場合は、他の漁業者との調整や特別採捕許可申請が必要である。

実施例：神奈川県三崎市城ヶ島（城ヶ島漁協，2017）、長崎県小値賀（長崎県，2018）。和歌山県北部（和歌山県水試，2014）など。

(2) 定置網

時 期：春から秋に多く漁獲される傾向があるが、海域や年により変動する。漁獲量は佐賀県では7月前後に（水産庁，2015）、長崎県西海市では5月～12月に、香川県や徳島県では10～12月に漁獲量が多い（山本ら，2020）。

利 点：既存の漁業を利用して、大量の個体を漁獲することができる。

欠 点：設置場所がほぼ既存の場所に限られるため、除去したい海域で使用できない場合がある。また、新規に設置する場合には漁場調整や初期投資がかかるため、容易に設置できない。

留意事項：漁獲物はできるだけ出荷するか、適正に産廃処理して、生きたまま放流しない。

実施例：佐賀県玄海地区（水産庁，2015）、大分県（尾上ら，2005）、徳島県南部（竹内，2007）、和歌山県北部（和歌山県水試，2014）。

【コラム 7-D2-1】カゴによるアイゴの漁獲

愛媛県南部の愛南町ではカゴ漁業が盛んに行われており、アイゴなどの植食性魚類も漁獲され、活魚として出荷されている。使用されているカゴの大きさは直径1.8m×高さ1.2mと大きく、揚収にはデリック等が必要である。内部を暗くするためカゴの周囲はウバメガシ等の常緑樹の枝葉で覆っている。大分県名護屋における同じカゴを使った試験では、アイゴの漁獲効率は0.27尾/カゴであった（水産総合研究センターら，2010）。長崎県ではアイゴの除去にカゴが推奨されている。市販の折畳型などの雑魚カゴを使用して、新長崎漁港内において3カ年の試験を行った。尾叉長3～40cmの様々なサイズが夏から秋に多く漁獲され、最大84尾/カゴであった。しかし、藻場や他の漁港内での試験ではほとんど漁獲されなかった。事前にアイゴの分布情報を把握することがポイントである（長崎県水産部，2018）。京都府宮津市では「モンドリ」と呼ばれる小型カゴを漁港内に設置してアイゴの幼魚を漁獲している。



図1 大型カゴ（愛媛県愛南町）



図2 小型カゴ（京都府宮津市）

2) ブダイ

ブダイでは、刺網と延縄を組み合わせた除去手法が効果的である。行動圏が狭く、定住性が高いことから、地先単位でも十分に対応できる可能性がある。

【解説】

ブダイの除去は、漁獲物のサイズが異なる延縄と刺網を併用することが望ましい。延縄では全長 38 cm以上の大型個体（推定 4 歳以上）がよく獲れ、刺網では全長 26～36 cmの中型個体（推定 2～3 歳）がよく獲れる。また、延縄は餌をヒジキとすると漁獲効率が高まる。冬から春にかけてはヒジキを餌として延縄で大型個体を除去し、夏以降は刺網で中型個体を除去すると、効率が良い（図 7-D2-1）。イセエビの混獲が問題になる場合は、イセエビ魚の解禁後は延縄に切り替えるとよい。ブダイの行動範囲は 2km 前後であることから地先単位でも除去できる可能性が高い。それらの特徴を表 7-D2-2 にまとめた。

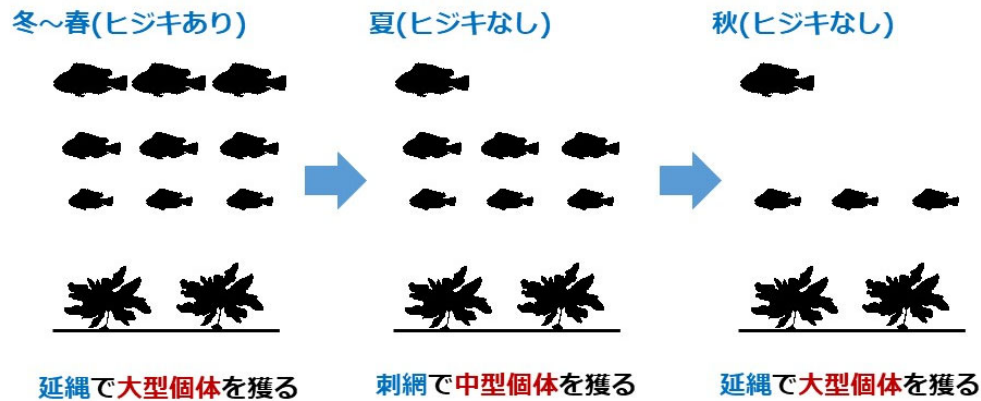


図 7-D2-1 延縄と刺網を組み合わせたブダイの除去手法

表 7-D2-2 ブダイの除去手法の特徴

方法	場所	時期	利点	欠点	留意事項	実施例
延縄	岩礁礫場	冬～春	大型魚が獲れる 混獲がない 作業負担が少ない	餌海藻の確保が難しい	カエシとネムリが入った鯛鉤を用いる 新鮮なヒジキなどを餌海藻にする	和歌山県 大分県
刺網	同上	夏～秋	中型魚がよく獲れる	混獲が多い 長時間作業	イセエビ漁業者との調整が必要	各地

(1) 延縄

場 所：岩礁や礫場。大分県名護屋地区では、水深 5m 以浅にブダイの個体数が多いことから、浅所を中心に実施されている。

時 期：水温が 16℃以上で摂食行動が確認されていることから（木村，1994）、この水温帯での操業可能と考えられる。ただし、餌に生海藻を使うため、入手できない時期には操業できない。このため、和歌山県ではホンダワラが入手できる 9～12月に、大分県ではヒジキが採取できる 1～6月の間に操業している。

方 法：延縄の操業手順は次の通りである。

- ① 餌海藻を長さ 3～5 cm位に餌巻き糸で束ねて釣りに掛ける（図 7-D2-2）。餌巻き糸（市販品）は巻き付けるだけで餌を束ねることができるため、準備作業の効率が高まる。



図 7-D2-2 餌巻き糸で束ねた餌海藻

- ② 餌海藻は、和歌山県では三重県産ホンダワラ、大分県ではヒジキが使われている。主枝の先端付近（穂先）の柔らかい部分を用いる。

- ③ 鮮度の良い藻体を用いることが重要である。冷凍・塩蔵・乾燥した藻体には興味を示さない。また、縄入れまでに乾燥させないように注意する必要がある。ノコギリモクなど他のホンダワラ類でも代用できるが、釣獲率は低い（図 7-D2-3）。磯釣り（竿釣り）ではカニ、ハバノリ、アマモも餌として使われているが、価格や使用量からみて、延縄の餌には適さない。

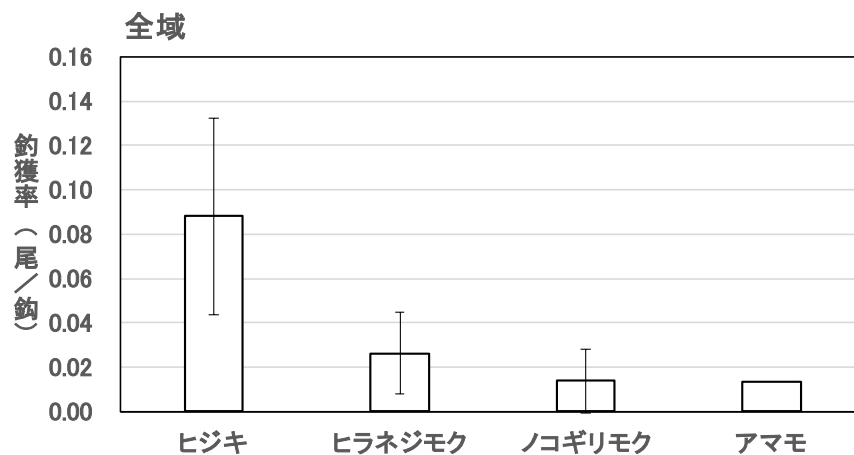


図 7-D2-3 餌の海藻別釣獲率

- ④ 延縄の枝鈎（エダス）の間隔は、枝鈎の長さの2倍以上とし、作業時の枝鈎同士の絡みを少なくする。幹縄と枝鈎との連結部にヨリモドシをつける。幹縄は長さ100m程度とし、縁に鈎を掛けるラバーを取り付けたポリ製ザル（直径40cm前後；既製品もある）に延縄1式を収める。幹縄の両端に錘をつけて沈め、幹縄自体も沈む材質を用いて餌が海底を這うようにする（図7-D2-4）。

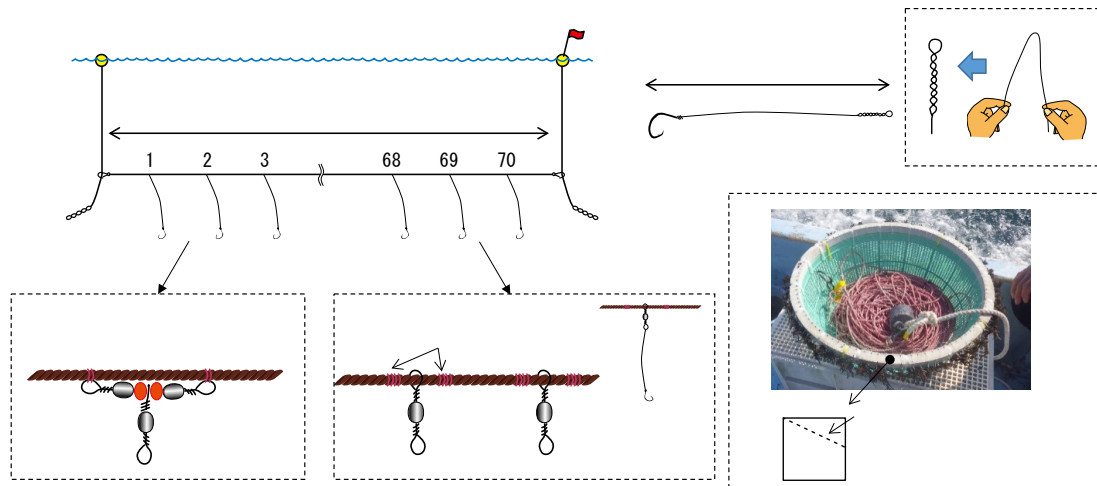


図 7-D2-4 延縄の仕掛け図

表 7-D2-3 100m 長の延縄に 70 鈎の規格

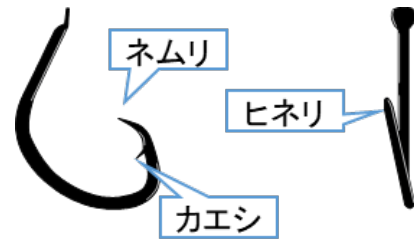
名称	規格
幹縄	ポリクレ、長さ100m、強度があり沈む材質
枝縄	ナイロン、太さ10～12号、40～80cm、間隔は枝縄長の2倍以上、1縄で70～90本位
鈎	魚が外れにくい「カエシ」（鈎先端内側の突起）付きで、「ネムリ」（鈎先が極端に内側向き）と「ヒネリ」（鈎先がひねってあるもの）が入った鯛鈎（10号）
鉢	直径80cm位の大型プラスチックザルの上縁に鈎を掛けるラバーを取付けたもの。1鉢に1式の延縄を収める
その他	餌海藻は餌巻き糸で長さ3～5cm位に束ねて鈎に掛ける

- ⑤ 作業は昼間に行い、複数の延縄を連続して縄入れし、1時間程度経ってから順次縄揚げして、漁獲物を外し、餌を追加・交換して、再度設置する。この作業を1日に数回繰り返す。
- ⑥ 和歌山県では、漁期初めに漁場に蒸かし芋などの「かぶせ」（撒き餌）をして、ブダイを集めてから漁獲している。漁獲したブダイは生け簀に入れ、活魚として出荷されている。

利 点：全長38cm以上の大型個体を多く漁獲できる。1人でも作業でき、揚網等の重労働がないため、高齢者に優しい漁法である。カサゴなどの肉食性魚類やイセエビの混獲がなく、他の漁業と競合しにくい。

欠 点：磯焼け域では餌の確保が難しい。特に、海藻が減少する夏季は餌の入手ができないため、ブダイを除去できない。また、小型個体を除去することができない。刺網に比べて一般的な漁法でないため、漁具を新たに仕立てる必要がある。

留意事項：鉤の選択が重要である。バレが少ない「カエシ」（鉤先端内側の突起）が入った「ネムリ鉤」（鉤先が極端に内側向き；鯛鉤など）を必ず用いる。10号鉤（図7-D2-5）で全長20～50cmの個体が釣れる。



具体例：和歌山県串本周辺、大分県佐伯市

図 7-D2-5 鯛鉤

(2) 刺網

場 所：岩礁や礫場。大分県名護屋地区では、特に個体密度が高い水深5m以浅の浅場を中心に実施されている。

時 期：活動が活発になる水温が高い時期。延縄と併用する場合は、延縄の餌となる海藻の確保が難しい夏季に刺網を実施すると良い。

方 法：原則として、夕方に投網し、翌日に揚網・網外しする。ブダイは昼行性であるため、網揚げを昼過ぎると作業効率が良くなる。投網場所はブダイの通り道を遮断するように、汀線付近から岸と直行方向（「瀬切り方式」と呼ばれる）に砂地あるいは水深10m位までとする。この方式は根掛かりが比較的少なく、漁獲状況からブダイが集まる所を把握しやすい。

利 点：三枚網（外網の目合：45cm、内網の目合：9cm）を用いた場合、全長20cm以上のブダイが漁獲され、特に全長26～36cmの中型が効率良く漁獲することができた。

欠 点：全長25cm未満の小型魚や36cm以上の大型個体を効率よく除去できないため、磯焼けが進む海域では刺網による除去だけでは藻場を回復させることが難しい。混獲率は50%近くに達し、水産上有用種（イセエビやカサゴ等）が含まれることもある。このため、他の漁業者との調整が必要であり、漁業調整規則で操業できない期間もある。また、生態系への負荷も大きい。

留意事項：イセエビが混獲された場合、直ちに放流する。イセエビの禁漁期等に実施する場合は、特別採捕許可申請が必要な場合がある。三枚網は一枚網に比べ漁獲量が高いが、網外しに時間がかかり、混獲が多い可能性がある。

実施例：ブダイの除去手法で最も使われている手法である。大分県名護屋地区では磯焼け対策として大規模な除去が実施されている。また、漁業として、和歌山県御坊以南では10～4月にイセエビ刺網で漁獲されている（和歌山県水試, 2014）。静岡県下田市では9～5月にはイセエビ刺網（一枚網）で混獲され、11～12月にはブダイを目的とした刺網（三枚網）で集中的に漁獲されている（河尻, 1976）。

【コラム 7-D2-2】 植食性魚類対策における混獲問題

これまで、植食性魚類対策には刺網が使用されることが多かった。刺網は漁獲対象が広く、アイゴ、ブダイ、イスズミ類のいずれも漁獲することができる一方で、植食性魚類以外の生物の混獲も起こりやすく（図 1）、その割合が 50% 近くに達する場合がある（図 2）。混獲物にはイセエビやカサゴなどの水産上有用種も含まれるため、磯焼け対策の実施はイセエビ漁等を行う漁業者との対立を招く懸念も生じる。また、イセエビなどの高次捕食者は植食動物の個体数制御に重要な役割も担っている可能性が指摘されている（別冊「捕食者を利用した藻場回復の手引き」を参照）。磯焼け対策が新たな生態系の破壊につながらないために、混獲を減らす試みが今後重要となる。混獲が生じない延縄やトラップ等の除去手法は、持続的な磯焼け対策において、重要性が高まると考えられる。先進的な取り組みとして、大分県佐伯市名護屋地区の漁業者は、延縄と刺網を併用したブダイ対策を実施している。



図 1 刺網によって混獲された魚類（左）とイセエビ（右）

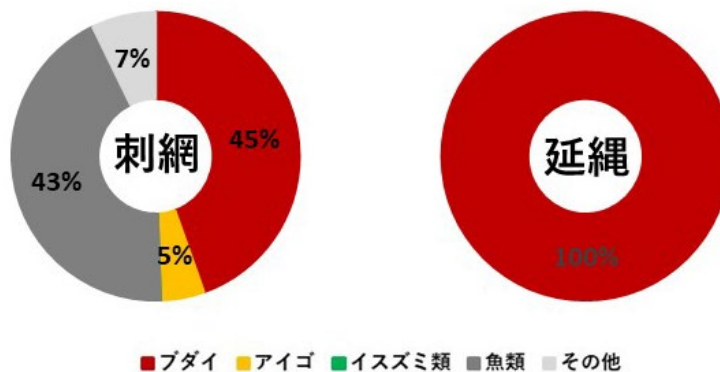


図 2 刺網と延縄の漁獲物

3) ノトイズズミ

ノトイズズミでは蛸集生態を利用した刺網やトラップが有望である。また、行動圏が広い
ため、複数の地先で協力して実施することが望ましい。定置網に混獲されることが多い
ので、漁業活動も積極的に利用し、広域での対策を行う。

【解説】

ノトイズズミは冬～春に消波構造物のブロックに蛸集する傾向がある。この性質を利用して、刺網やトラップで漁獲すると効率が良い。トラップは海藻を餌として誘引することから、海藻が残っている場所では除去効率が下がる可能性がある。このような海域では刺網を試みると良い。ノトイズズミは行動圏が数十kmと広いから、複数の地先で共同して実施することが望ましい。また、定置網に大量入網することがあり、長崎県壱岐市では、積極的にノトイズズミを漁獲してもらう買取り制度を創設している（第8章の8.7参照）。それらの特徴を表7-D2-4に示した。

表 7-D2-4 ノトイズズミの除去手法の特徴

方法	場所	時期	利点	欠点	留意事項	実施例
刺網	構造物周辺他	冬～春	大量捕獲ができることがある 混獲が少ない 周辺の植生の影響を受けにくい	蛸集個体をすべて捕獲することが難しい	蛸集規模が小さいと捕獲が難しい	長崎県
トラップ	構造物周辺他	冬～春	作業負担が少ない いつでも水揚げできる 混獲魚を放流できる	餌の確保が難しい 設置場所が制限される		長崎県
定置網		通年	大量に漁獲されることがある	設置場所が制限される		長崎県

(1) 刺網

場所：ノトイズズミが蛸集する消波ブロックの周辺に設置する（図7-D2-6）。長崎県や宮崎県などの沿岸域において、全長30cm以上の大型個体が蛸集することが知られている（桑原，2015；門田ら，2017）。この蛸集は、漁港外郭施設などに設置された20t程度の大きな消波ブロックで見られ、小さなブロックでは確認されていない。蛸集するノトイズズミの個体数は、多い場合で数千尾に達する。

時 期：冬～春。

方 法：消波ブロックなどに蛸集したノトイヌズミの群れを刺網で囲い込み捕獲する（図 7-D2-7）。刺網の目合は漁獲したいノトイヌズミの尾叉長の 0.3 倍の目合が望ましい（長崎県，2018）。壱岐市の事例では目合 4 寸目（12 cm）から 5 寸目（15 cm）、糸の太さは 7 号程度のナイロン製テグス網（一枚網）が使用されている。刺網の長さは蛸集した群れを囲い込める長さ、高さは設置場所の海底から水面までとする。ノトイヌズミの群れは消波ブロックの近傍に分布することから、刺網はなるべく接近させて投網する。最適な刺網の投網時刻と揚網時刻は報告されていないが、壱岐市では 15 時に設置し、翌日 10 時に回収を行い、ノトイヌズミ 345 個体の漁獲に成功している（桑原，2015）。本種は日中、消波ブロック周辺に留まり、夜間になると消波ブロックから離れることから、この移動する時間帯に刺網を設置すると除去効率が上がる可能性が考えられる。長崎県対馬市鴨居瀬地区では、水温が低い 11～5 月に群れが蛸集している場所を確認し、岸際から群れを囲むように投網し、同時にホコ突きも行う大量除去に成功している（鴨居瀬地区藻場保全組織，2018）。

利 点：混獲が少なく、大量に捕獲できることがある（桑原，2015）。クロメやホンダワラ類等の海藻がある条件でも有効な手法と考えられる。

欠 点：刺網を繰り返し実施すると、ノトイヌズミの群れは消波ブロックの隙間の奥に逃げ込み捕獲できなくなるため（図 7-D2-8）、蛸集した全ての個体を除去することが難しい。

留意事項：網を設置する際、網が消波ブロックに引っかからないように注意する。規模が小さい群れは警戒心が強く、掛かりにくくなることから、蛸集個体数が特に多くなる時期を特定し、実施する。

実施例：長崎県壱岐市、対馬市。

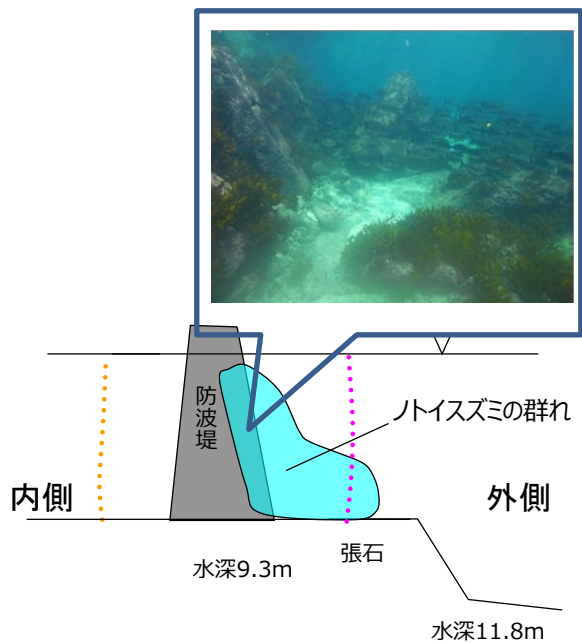
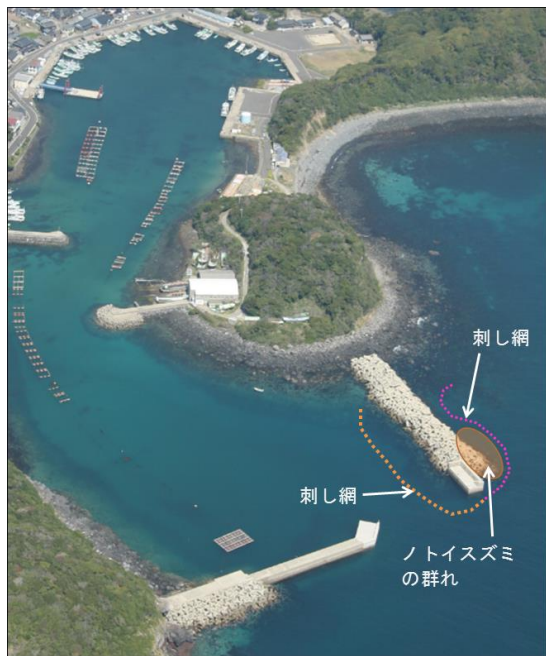


図 7-D2-6 長崎県壱岐市初瀬漁港で実施した刺網の設置方法



図 7-D2-7 捕獲されたノトイズミ

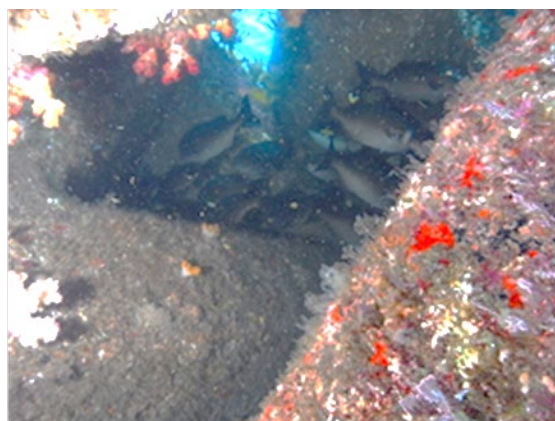
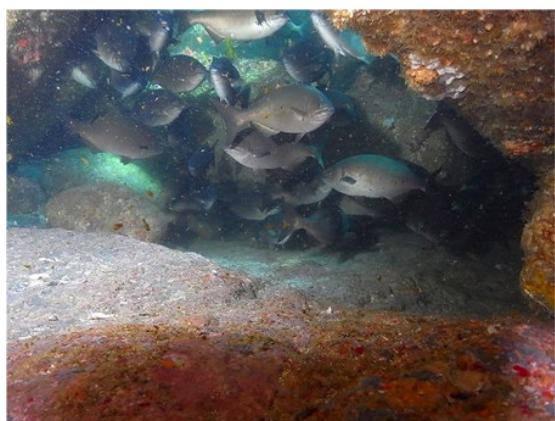


図 7-D2-8 ブロックの奥に逃げ込んだノトイズミの群れ

(2) トラップ

場 所：ノトイスズミが蝟集する消波ブロックの周囲の波浪の影響を受けにくい場所。

時 期：冬～春。

方 法：五島市崎山地区では、以下の手順でトラップ（竹野・西水研型植食魚トラップ）による漁獲を実施している。

①ノトイスズミが蝟集し始める冬季までに、養殖生け簀（4m×7m×深さ 4m）の底面に漏斗状の出入りを設けたトラップ（竹野・西水研型）を設置する（図 7-D2-9、図 7-D2-10）。

②出入りを閉じた状態で、トラップ内で餌用のコンブ等の褐藻の養殖を開始する。

③トラップ内の海藻が生育したら、入り口を開け、除去を開始する。

④トラップにノトイスズミが入ったら、適宜水揚げを行う。メジナやボラなどが混獲されるため、必要に応じて放流する。トラップに入ったノトイスズミは全て水揚げせず、罔として数尾を残す。

⑤ノトイスズミの蝟集が確認できなくなる（台風も発生する）7月頃にトラップを撤収する。

利 点：消波ブロックに蝟集したほとんどの個体を漁獲できる場合もある。また、漁獲物を外す手間が少なく、人の都合に合わせて水揚げができる。さらに、混獲魚は生きたまま海に戻せる。

欠 点：周辺に海藻が残る海域では、餌による誘引効果が小さく、漁獲効率が低くなる可能性がある。一方で、海藻が少ない海域では、餌海藻の確保が難しい。また、設置場所が静穏域に限定される。

留意事項：ノトイスズミは褐藻を主な餌としていることから、餌は褐藻を使用すると良い。ブダイと同様に、冷凍海藻や塩蔵海藻は好まない傾向がある。設置する際は、カゴ漁業等の許可申請が必要になる場合があるので、導入前には関係自治体と相談すること。

実施例：長崎県五島市・上五島町・壱岐市・対馬市

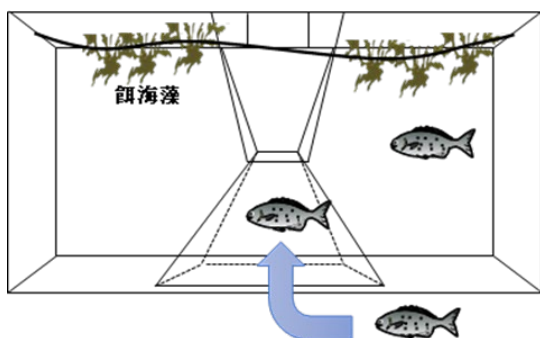


図 7-D2-9 植食魚トラップの模式図
（竹野-西水研型）



図 7-D2-10 漏斗状の入り口



図 7-D2-11 長崎県五島市崎山地区のイスズミトラップ

(3) 定置網

時 期：漁獲量は初夏から夏季に多い傾向がある。図 7-D2-12 は長崎県平戸市のイスズミ類の月別水揚げ量である。主な漁期は 6～11 月で、この期間に年間漁獲量の約 80%が水揚げされ、6～7 月頃にピークがある（水産庁，2015）。一方、長崎市では梅雨前後、五島市では夏に比較的まとまって入る（吉村ら，2015）。

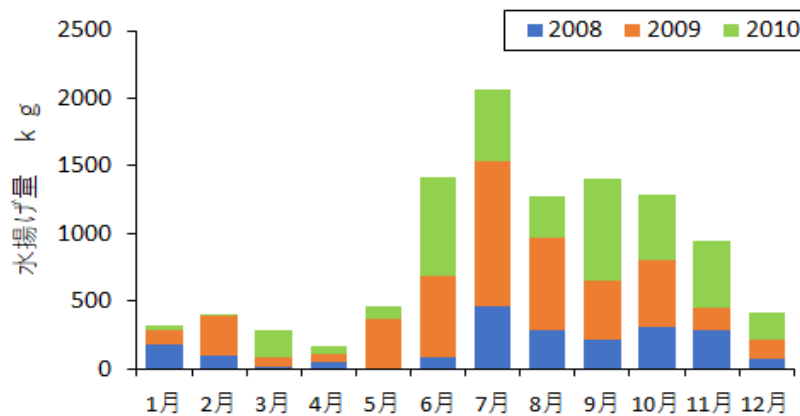


図 7-D2-12 長崎県平戸市のイスズミ類の月別水揚げ量

利 点：既存の漁業を利用することで、大量の個体を漁獲することができる。

欠 点：設置場所がほぼ既存の場所に限られるため、除去を行いたい海域で使用できない場合がある。また、新規に設置する場合には漁場調整や初期投資が必要なため、容易に設置できない。

留意事項：ノトイスズミは魚価が低いため、定置網に入っても水揚げされず、放流されることがある。このような放流を減らすため、イスズミ類の捕獲・処分に対して補助金を出している自治体もある。

具体例：長崎県平戸市・佐賀県唐津市（水産庁，2015）。

D 3. フェンス

植食動物から海藻を防御するフェンスにはウニ対策用と魚対策用がある。

【解説】

1) ウニ対策用

藻場の保護や回復を目的としてウニの侵入を抑制するために用いるフェンスはウニフェンスと呼ばれている。ウニの侵入を完全に阻止できるとは限らないが、適切に設置し管理を行えば侵入を大幅に抑制できる。フェンス設置後は、ウニ除去区内へのウニの侵入の有無、フェンスの状態や生物の付着状況などについて定期的に点検し、必要に応じて網目の補修、ブイの交換や追加、付着生物の除去などのメンテナンスを行う。

初期のウニフェンスは、刺網を筒状に巻いた棒網タイプであったが、高価で製作に手間がかかり、磯魚やイセエビなどのゴーストフィッシングを起こしやすかった。そこで、一枚網を立たせた立網タイプが開発された(図 7-D3-1)。棒網タイプに比べ安価で比較的容易に製作できるため、現在の主流となっている。なお、波浪には弱いため、設置の場所や時期に注意する必要がある。

図 7-D3-2 は、秋にウニフェンスを設置してウニ除去を行った場所の翌春の様子である。左側の対策域と右側の非対策域はウニフェンスを挟んで明確に景観の差異が見られる。ウニフェンスを設置すると、漁業者による藻場の回復状況の確認が容易になるだけでなく、モチベーションも高まる。

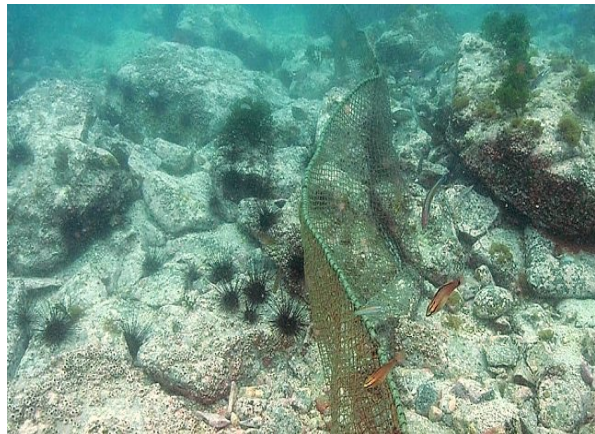


図 7-D3-1 ウニフェンス

(1) 設置方法

ウニフェンスの設置方法には、円形や四角形に設置して完全に囲う方式、コの字形に設置して岸側を開口する方式(図 7-D3-3)、並列に設置して岸側と沖側を開口する方式(瀬切り方式)などがある。

「円形」や「四角形」、「コの字形」は磯幅が広い場合に適した設置方法であるが、回復した藻場を広げるためにはウニ

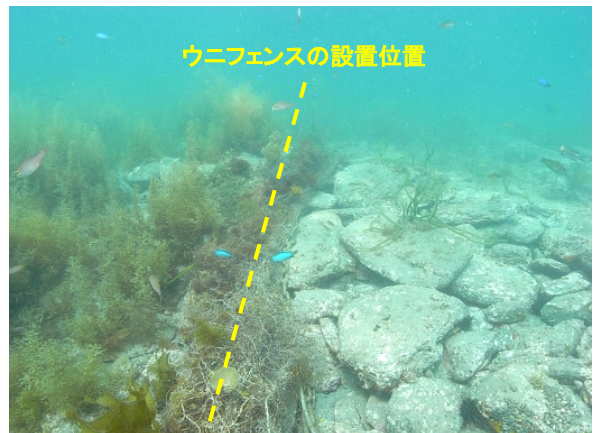


図 7-D3-2 ウニフェンスを挟む景観の差異

フェンスが大量に必要となる。一方、磯幅が狭い場合には「瀬切り方式」が効果的である。これは、2本のフェンスを岸側から沖側(砂地)まで並列に設置する方式で、ウニの移動や侵入が少ない浅場と砂地は開口しているため、より少ない資材と労力で設置できる。さらに、

内側のウニを除去して藻場を回復させた後、同じフェンスを外側に移設すれば、順次、保護域を拡大させていくことができる（図 7-D3-4）。

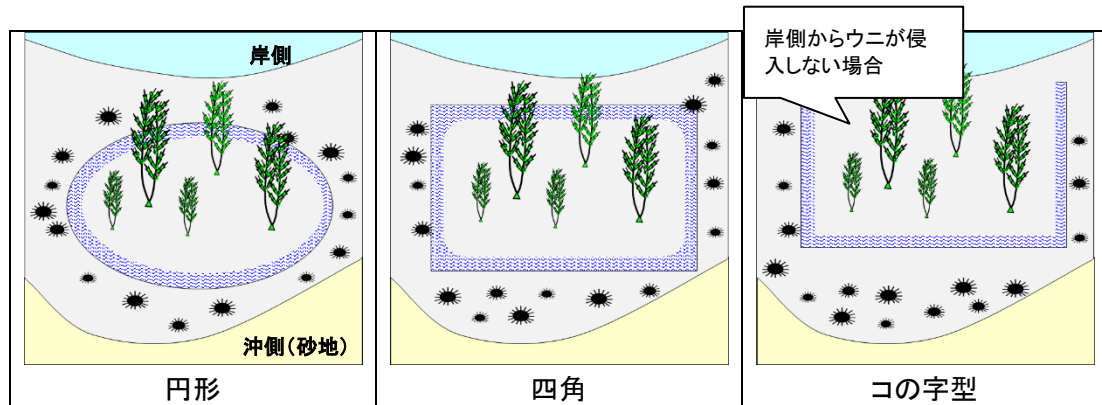


図 7-D3-3 ウニフェンスの設置方法

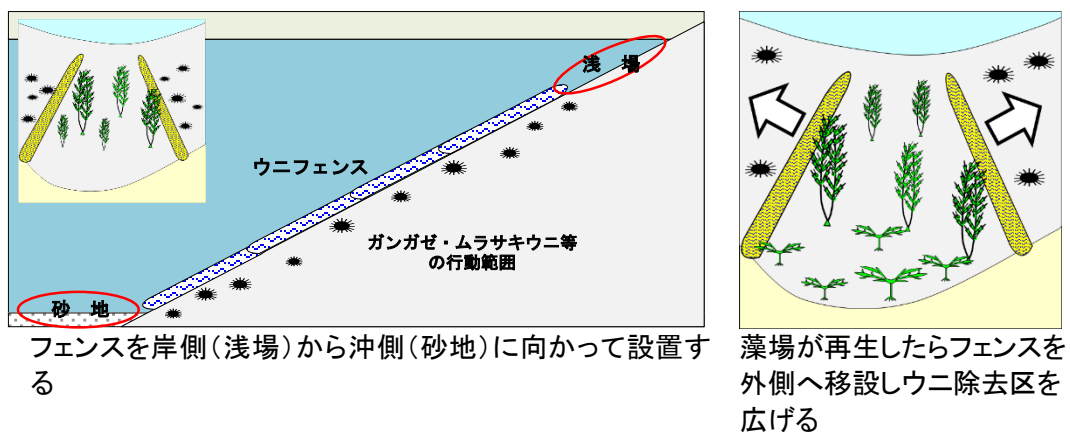


図 7-D3-4 瀬切方式の設置

(2) 留意点

- ◆ フェンス下部のチェーンと海底との間に隙間が生じるとウニが侵入するので、設置時に確認して隙間があれば礫などで塞いでおく。また、大きな岩の横にフェンスを這わせると網が擦れて破れるので、可能な限り避けて敷設する。
- ◆ 時間の経過とともに珪藻や海藻、動物などが網に付着する。付着生物が多く着生すると立網タイプの場合は、フェンスが沈んでウニが侵入しやすくなるので、ブイの追加や付着生物の除去を定期的に行う。
- ◆ ガンガゼ類と比べて、キタムラサキウニやシラヒゲウニはフェンスを乗り越えやすいため、対象となるウニの種類や付着生物の量によって点検の間隔を決める。

(3) ウニフェンス（立網タイプ、長さ 30m、高さ 0.7m）の作り方

- ① 長さ 45m の網地の上端と下端、および長さ 30m の浮きロープと筋ロープを 4 等分するようにビニールテープで目印を付ける。
- ② 網地の上端には浮きロープを、下端には筋ロープをそれぞれ目合を飛ばさずに、1

目合ずつ縫うように通す。

- ③ 目印を基準に上下のロープに合わせて網地を均等に弛ませた後、網地とロープを25 cm間隔で結束バンドを用いて結束する（図 7-D3-5）。ロープより網地が長い理由は、網地が水中できれいに開くための縮結率^{いせりつ}を考慮しているからである。
- ④ チェーンと下端に通した筋ロープを10 cm間隔（およそチェーン1個おき）で結束バンドを用いて結束する。

材料は表 7-D3-1 に示すとおり。費用は1,500 円/m 程度である。30m のユニフェンス7本（210m）の製作時間は4人で4時間、設置にかかる時間は4人で1時間程度である。

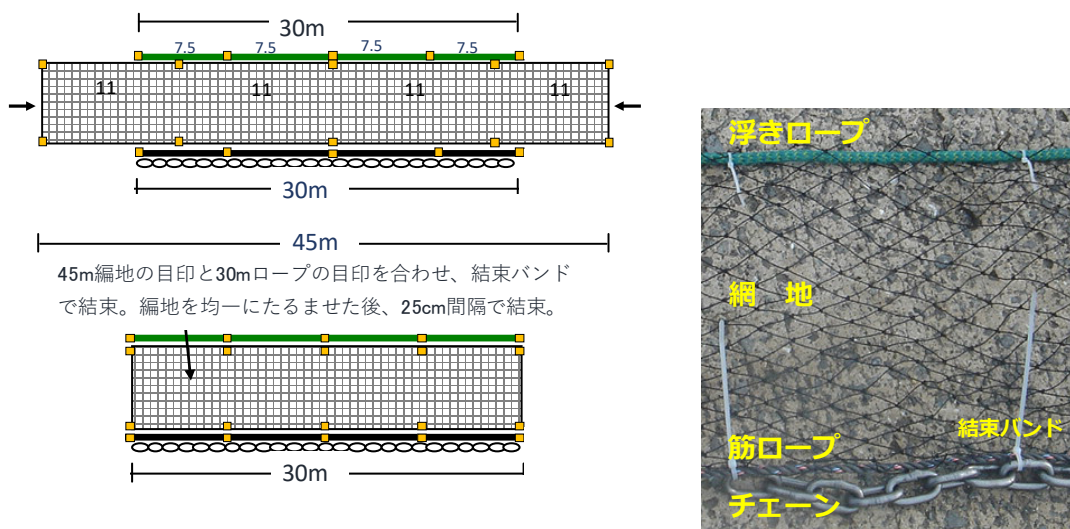


図 7-D3-5 ユニフェンス

表 7-D3-1 ユニフェンスの材料

名称	仕様・数量
浮きロープ	長さ 30m、浮力 50g/m(ワンラインフロートなど)
筋ロープ	φ 8 mm、長さ 30m、ポリエチレン系ロープ
網地	400d/12 6 節(6 節=2 寸目=6 cm)、ポリエチレン製等 高さ 1m、長さ 45m(縮結率 0.7 [※] で仕上がりは高さ 0.7m、長さ 30m)
チェーン	φ 8 mmのドブメッキ、長さ 30m
結束バンド	長さ 15 cm、耐候性、浮きロープと網地(25 cm間隔) × 120 本 筋ロープと網地(25 cm間隔) × 120 本 筋ロープとチェーン(10 cm間隔) × 300 本




※縮結率: 網地の目の縦方向の長さの詰め具合の比率(目が開くほど縦方向は短くなる)

2) 魚対策用

魚対策用フェンスは、植食性魚類から藻場を守るための確実な方法で、大きく分けて仕切網、母藻防護ネット、カゴ付き藻場礁がある（表 7-D3-2）。ユニ対策用と異なり、海底から水面までの網または天井網（海面まで届かない場合）が必要となるため、広範囲の藻場を守

るには費用がかさむ。また、設置後もフェンスの機能を保つため、定期的が付着生物の除去や破損時の補修などのメンテナンスが必要となり、費用と手間がかかるのが難点である。また、台風時には母藻防護ネットは回収、それ以外は、台風前の補強と、台風通過後にはできるだけ早く補修をする必要がある。

表 7-D3-2 魚対策用フェンスの種類別の設置状況とその特徴

種類	設置状況	特徴
仕切網		<ul style="list-style-type: none"> ◆ 小湾などを網で仕切って食害を防ぐ。 ◆ 波浪の比較的弱い場所に設置する。 ◆ 網地を海底から海面まで伸ばすか、海面まで届かない場合には天井網を取り付ける。 ◆ 網に付着生物が付くと重みで沈んでしまう。 ◆ 海底との擦れで破網しやすい。 ◆ 定期的なメンテナンスが必要である。 ◆ 継続的な成功例は少ない。
母藻防護ネット		<ul style="list-style-type: none"> ◆ 母藻ロープ等(L=20m程)を網で覆い、海藻のタネが放出されるまで母藻を食害から防ぐ。 ◆ 波浪の比較的弱い場所であれば、着生した幼体や成長した藻体を保護することができる。 ◆ 台風シーズンには回収が必要である。 ◆ 長期間設置する場合には、定期的なメンテナンスが必要となる。
簡易型藻場礁		<ul style="list-style-type: none"> ◆ 漁業者でも設置できる。 ◆ 小規模範囲(数㎡)を確実に防げる。 ◆ 藻場形成の阻害要因を確認する実験に利用できる(本章の図 7-B2-1 参照)。 ◆ カゴ付きの場合、ネット部の材質は、化学繊維、鋼製、または人工樹脂が使われる。 ◆ 網が付着物に覆われると内部の光環境が悪化するため、定期的なメンテナンスが必要である。

(1) 仕切網の注意点

仕切網は、生物の付着による重みでブイやネットが沈み込み、図 7-D3-6 に示すように海面との間に隙間が生じてしまうことがある。このため、定期的に点検を行い、ブイの追加、ネットの交換などのメンテナンスが必要である。

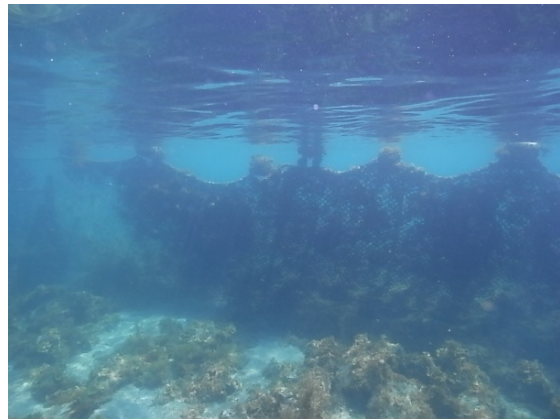


図 7-D3-6 海面に隙間が生じた仕切網

(2) 仕切網の設置事例

長崎県五島市崎山地区では、植食性魚類の食害からヒジキを守るため、ヒジキが生育する磯の沖合側を遮断するように仕切網を設置した。仕切網は、網の上端にブイを一定間隔で取り付けて設置するが、干満差で弛んだ網地は海底の礫や岩盤に引っ掛かって破網することが多いため、水中の網地にも水深別にブイを取り付けることで、海底直上部が常に立ち上がるよう工夫している（図 7-D3-7）。この方法を開発して以来、破網はほとんど見られなくなった。近年は3年連続してヒジキの収穫ができるまで回復している。なお、保護対象がヒジキの場合は、仕切網は年中設置する必要はなく、12月から6月までの約半年間で十分である。

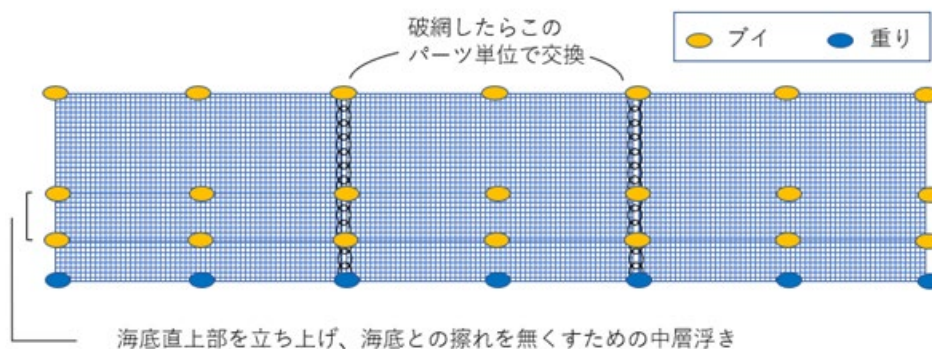


図 7-D3-7 仕切網の構造

(3) 母藻防護ネットの設置事例

長崎県長崎市外海地区では、母藻として養殖ワカメをロープごと設置してもアイゴやノトイヌズミなどの食害により、ワカメが繁茂することはなかった。そこで、母藻保護ネットを製作し、ワカメ母藻に被せるように設置したところ（図 7-D3-8、図 7-D3-9）母藻がタネを放出している2カ月ほどの間、食害から保護することができた。その後、台風による被害を避けるために、6月中旬には母藻防護ネットを回収したが、翌年の1月には幼体（目視では確認できない）を保護するために同じ場所に再び母藻防護ネットを設置した。幼体は順調に生育し、春には大きく成長したワカメが確認された。

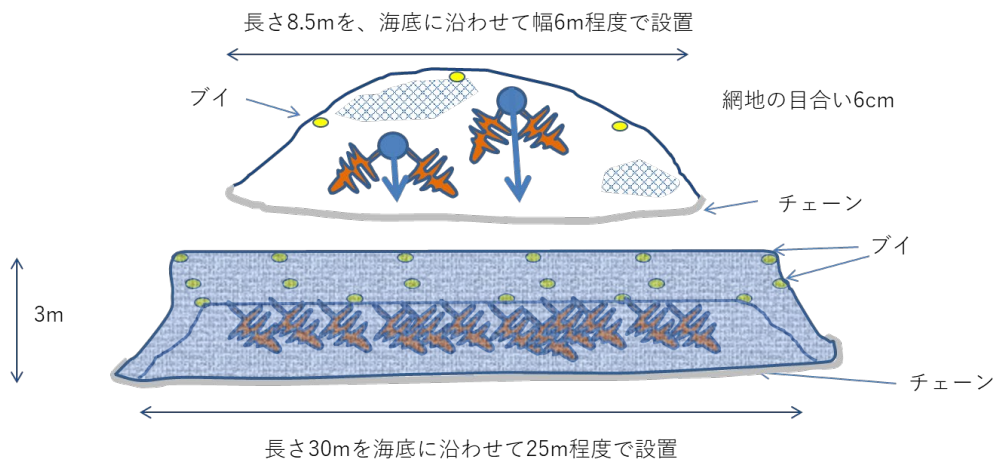


図 7-D3-8 母藻防護ネットの設置イメージ

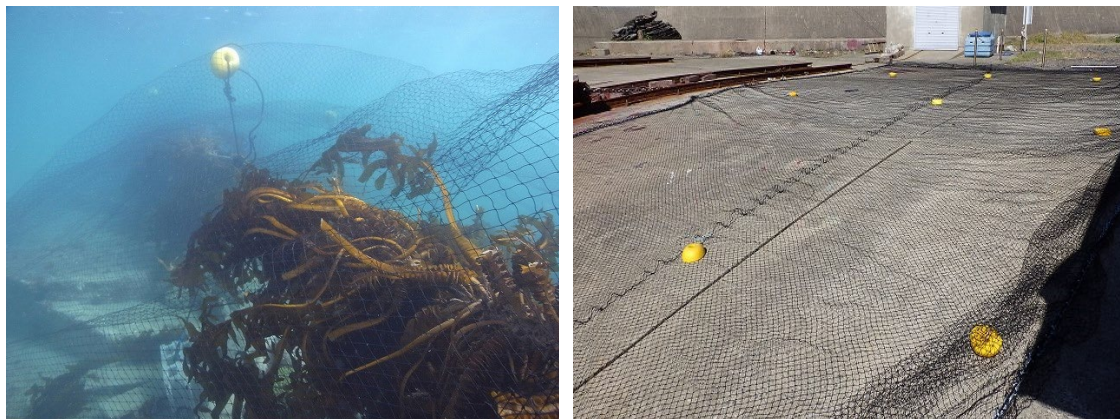


図 7-D3-9 母藻防護ネット（左：水中の設置状況 右：陸上で広げた様子）

(4) 母藻防護ネット（8.5m×30m）の作り方

母藻防護ネットの材料は、表 7-D3-2 のとおりである。まず、2 枚の網地（6m×45m）の長辺を縫って 1 枚の網地（12m×45m）にする。次に、網地の縁の長辺には 30m の筋ロープを、短辺には 8.5m の筋ロープを、それぞれ目合を飛ばさずに、1 目合ずつ縫うように通し、1 辺ずつ均等に網成りを調整して、網地と筋ロープを 25 cm 間隔で結束する。網地と筋ロープの結束後は、筋ロープとチェーンを 10 cm 間隔（チェーン 1 個おき）で結束する。作製した網地には、15 個のブイ（浮力 2 kg 程度のポリ系フロートを 4 つに輪切り）を均等にロープで取り付ける。

設置する際には、ブイの付いた方を海底側にして設置すると物が絡まるトラブルがなくなる。

材料費は約 20 万円。2 枚の網地を 1 枚に縫う作業を除いた作製時間は 4 人で約 2 時間、設置時間は 4 人で約 1 時間である。

表 7-D3-2 母藻防護ネットの材料

名称	仕様・数量
網地	400d/12 6節(6節=2寸目=6cm)、6m×45mの2枚の網地を1枚に縫うことにより12m×45mの1枚網ができる。ポリエチレン製等(縮結率※を考慮すると、仕上がりは8.5m×30m)
筋ロープ	φ8mm、長さ30m×2、8.5m×2 ポリエチレン系ロープ
チェーン	φ8mmのドブメッキ、長さ30mを2本、長さ8.5mを2本
結束バンド	長さ15cm、耐候性 筋ロープとチェーンの結束に使用(10cm間隔)768本
ブイ	浮力2kg程度のEVAフロートを4つに輪切りにしたものを15個

※縮結率:網地の目の縦方向の長さの詰め具合の比率(目が開くほど縦方向は短くなる)

(5) 簡易型藻場礁

簡易型藻場礁とは、漁業者の手作りや魚礁メーカー等がソフト対策用に開発した小型軽量の藻場礁で、基質不足の際などに、小型の核藻場礁として設置できる。ただし、本体が軽量であるため、水深が浅くて波当たりの強い場所では移動・反転する恐れがある。設置場所の選定に留意し、四隅に土嚢を取り付けたり、強固な基盤に縛り付けたりして安定させる必要がある(図7-D3-10)。設置後は、網が付着物に覆われ内部の光環境が悪化するため、定期的なメンテナンス(網掃除や破網の補修など)が必要である。

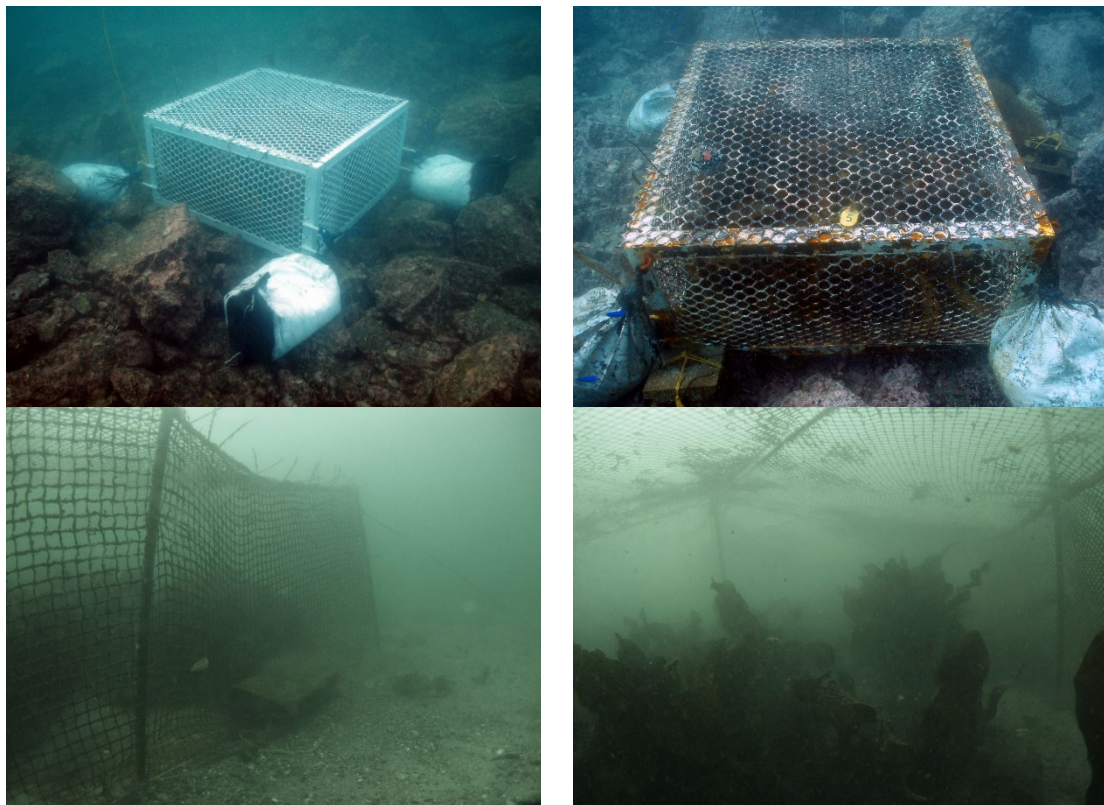


図 7-D3-10 簡易型藻場礁

D 4. 海藻のタネの供給

海藻のタネ不足対策では、孢子や幼胚の不足により海藻の新規加入が少ない、もしくは無い場合、母藻移植やスポアバッグなどの「母藻利用」、人工種苗の移植による「種苗利用」によってタネを供給する。

【解説】

磯焼けが長期間継続すると、タネを供給する成熟した海藻（母藻）が減少し、タネの供給量不足で藻場が衰退することがある。タネ不足が懸念される磯焼け域の海底では、タネを供給することにより藻場の回復を早めることができる。タネの供給方法には、成熟した母藻を移植する「母藻利用」と、母藻からタネを取って種糸等を作製し、発芽した種苗を海底に設置する「種苗利用」がある。タネの供給方法の特徴を表 7-D4-1 に示す。いずれの場合も、移植した母藻や種苗が残ると、それ自体が藻場となるが、本来の目的は再生産できる藻場の復活にあるため、タネの供給後に海藻が成長・成熟して、新たなタネの供給源となることを確認することが望ましい。

表 7-D4-1 タネの供給方法とその特徴

	母藻利用	種苗利用
手法の選択	母藻が大量に入手可能な場合。	大量に母藻が用意できない場合。
タネの拡散時期	直ちにタネが供給される。	種苗が成長し成熟してからタネが拡散するのは2～3年後。
利用上の留意点	浮泥の堆積が少なく、植食動物の密度が低い基質上にタネを供給するようにする。	陸上での採苗作業が必要。集中的に種苗を供給し、食害に強い濃密な核藻場をつくる。
経済性	海藻の移植には経験豊富なダイバーに依頼するとよい。	採苗施設(水槽)が必要である。種苗生産できない場合は種苗生産会社等から購入する。

1) 母藻の選び方

代表的な大型海藻（ホンダワラ類やコンブ科植物）の成熟時期を表 7-D4-2 に示す。

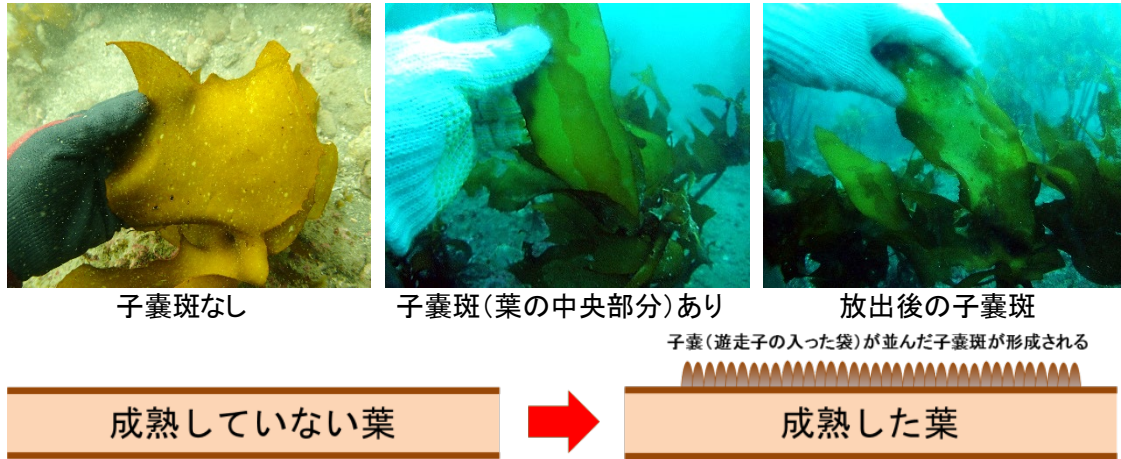
同じ種類であっても、海域により成熟時期は異なることがあるので、試験研究機関や専門家から情報を入手する。

表 7-D4-2 代表的な大型海藻の成熟時期

種類	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
トゲモク												
アカモク												
ヨレモクモドキ												
フシスジモク												
ヨレモク												
ヒジキ												
マメタワラ												
ヤツマタモク												
ノコギリモク												
オオバモク												
ヤナギモク												
アラメ												
カジメ												
クロメ												
マコンブ												

(1) コンブ類・アラメ・カジメ類の母藻の見分け方

タネ（遊走子）は成熟藻体の葉表面に形成された子嚢斑の中でつくられる。子嚢斑が形成された部分の葉は、葉の厚みが増し、色が濃くなっている。色が濃く大きな子嚢斑が形成された葉を選定することが望ましい。すでに遊走子が放出されて色が薄くなった子嚢斑からはタネがほとんど出ないので使用しない（図 7-D4-1）。



葉の断面の模式図

図 7-D4-1 子嚢斑の形成

(2) ホンダワラ類の母藻の見分け方

ホンダワラ類の生殖細胞の卵と精子は生殖器床（図 7-D4-2）で作られ放出され、それらが受精して発芽すると幼胚となる。生殖器床の形や大きさは種類により異なるが、雌は太短く、雄は細長い傾向がある。生殖器床の表面をスマートフォンの写真等で拡大してみると、雌は卵（0.1～0.3 mm）が放出される大きな穴（円形）、雄は精子（0.001 mm）が放出される小さい穴（縦長）があるのがわかる。雌株の生殖器床を光にかざすと、卵（もしくは受精・発芽後の幼胚）を放出した部分は未放出部分に比べ色が薄くなり、「透かし」たように見える（図 7-D4-

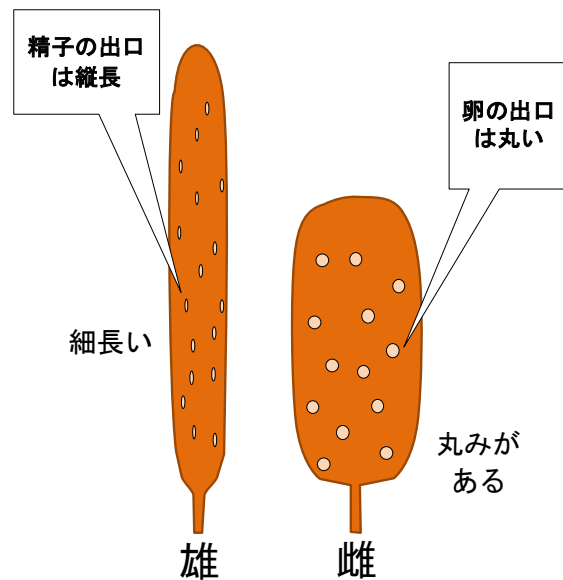


図 7-D4-2 生殖器床イメージ

3、図 7-D4-4）。卵の放出は生殖器床の基部から先端部に向かって数回に分けて行われるため、「透かし」が少ない生殖器床を持つ母藻を選ぶことが重要である。

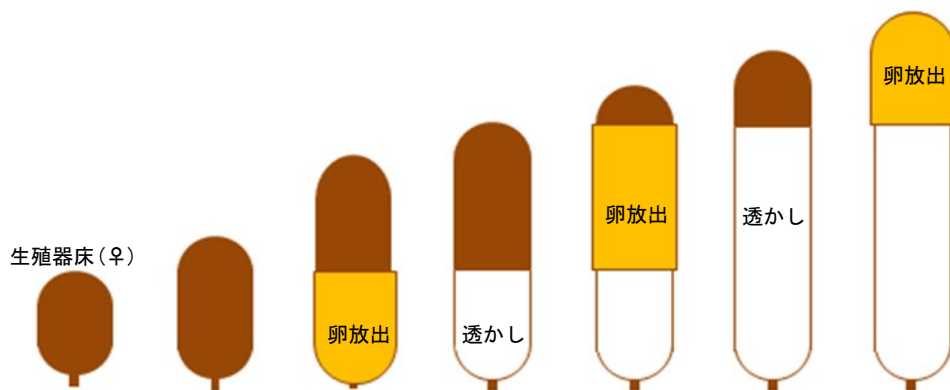


図 7-D4-3 雌の生殖器床の模式図



図 7-D4-4 アカモクの生殖器床の例（左：幼胚放出前 右：幼胚放出後）

2) 母藻の採取、運搬、保管方法

(1) 母藻の採取

母藻は、近傍の藻場から入手する。遠隔地の母藻は、環境変化が大きく傷みやすい。また、遺伝子攪乱につながる可能性があるとの指摘があるため望ましくない。

母藻を採取する場合は、海藻の成長点を残すように、コンブ類・アラメ・カジメ類の場合は子嚢斑のある葉を、ホンダワラ類は生殖器床のある主枝のみを採取する（図 7-D4-5）。

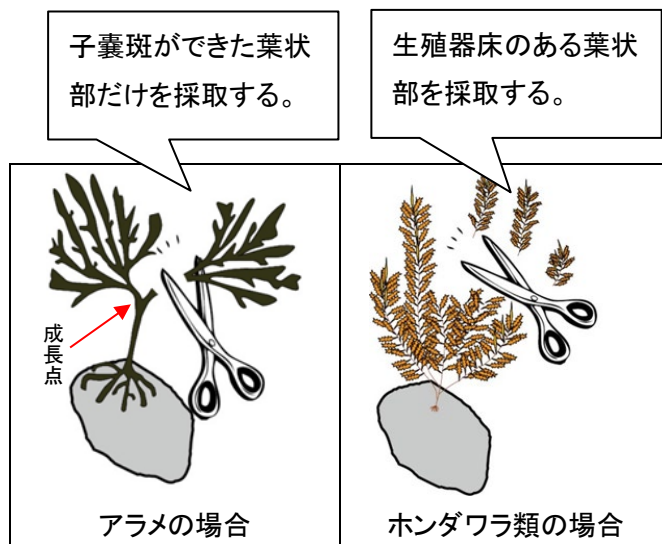


図 7-D4-5 母藻の採取部位

(2) コンブ類・アラメ・カジメ類の運搬、保管方法

未成熟の藻体を採取・運搬する場合は、厚手のビニール袋に海水と海藻を入れ、空気をわずかに入れて口を塞ぎ、運搬する。袋は水を入れたコンテナに入れ、現地の海水温以下の状態で遮光して運搬する。到着後は通水性の良いカゴに移し、静穏な海域に垂下する。

成熟した藻体を採取後に運搬する場合は、採取した藻体を海水に浸した新聞紙に挟み、冷暗かつ湿潤状態で運搬する。到着後もそのまま冷蔵庫で数時間は保管ができる。運搬した葉体は日陰干しする。表面に水分がなくなった葉体を海水に入れると直ちに遊走子を放出する。なお、海水を充填したビニール袋での成熟藻体の運搬は環境変化の刺激で遊走子が袋内で放出されてしまうので避ける。

(3) ホンダワラ類の運搬、保管方法

ホンダワラ類では、厚手のビニール袋に海水を切って、湿度を保ち冷暗状態で運搬する。運搬後は直ちに海水中に戻す。水槽内で保管する場合、海水は掛け流しとし、水槽内に滞留域がないようにする。毎朝、雌の生殖器床を観察し、卵が外に出始めたら直ちに利用する。



海水を切って冷暗状態で運搬



運搬後、直ちに網に入れて海水中に垂下

図 7-D4-6 ホンダワラ類の母藻の運搬

3) 母藻利用

(1) 方法

「母藻利用」は、海底、中層または表層で行う（図 7-D4-7、表 7-D4-3、図 7-D4-8）。用いる海藻の種類と実施場所に応じて方法を選択する。また、母藻を利用する場合は、流動場をよく理解し、流れを考慮すれば、効率的に藻場を回復することが可能である。

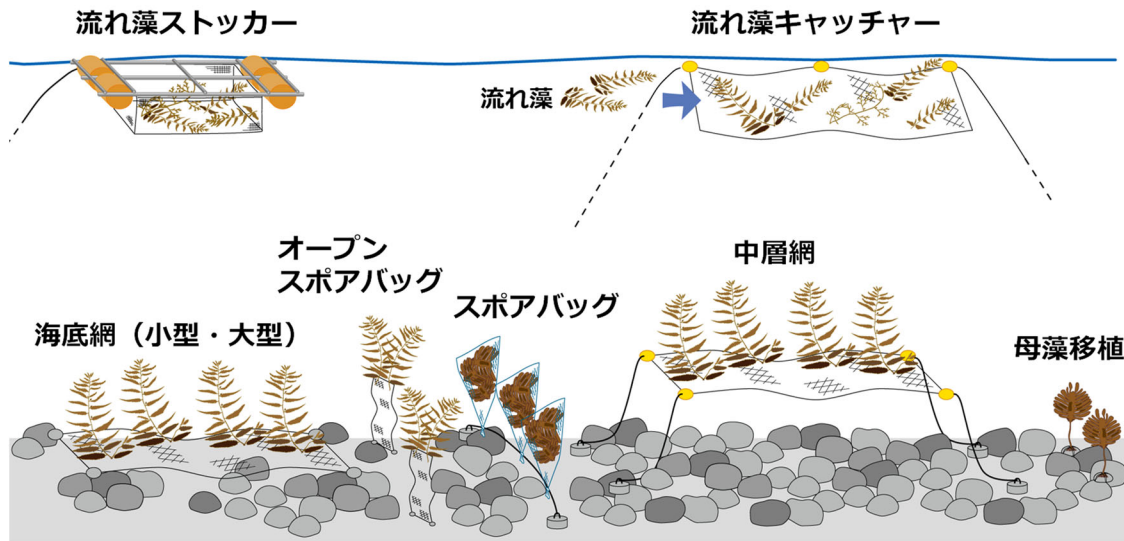


図 7-D4-7 母藻利用によるタネの供給方法

表 7-D4-3 母藻利用によるタネの供給方法

タネの供給方法	概要
流れ藻キャッチャー	ホンダワラ類の流れ藻を表層で待ち受ける網(長さ 20m 位)に浮きを付け、両端をアンカーで係留する。母藻の入手が困難な場合に用い、流れ藻の流路に設置する。幼胚の拡散範囲はキャッチャーのほぼ直下で、それほど広くない。
流れ藻ストッカー	ホンダワラ類の流れ藻を回収し、筏のカゴに取り付けた網の中へ投げ込む。網の底面は不要。継続して流れ藻を投入すると、母藻から周囲の海底にタネが落ちる。
中層網	海苔網などの網地に海藻の成体を差し込み、海底から 1~2m の高さにブイで浮かす。移植した成体は成長し続けるので、未成熟でもよい。大量のホンダワラ類の母藻を流速の大きい場所に設置し、約 2ha に広がった事例がある。
スポアバッグ	成熟した成体を網袋等に入れて、錘を付けて海底に設置する。簡便だが、網袋の中の成体は長持ちしないため、実施時期は成熟期に限定される。母藻は詰め込み過ぎないように注意する。数個をまとめて設置すると受精率が高くなるので、数個をまとめて小区画に設置する。小区画の間隔は5~10m程度とする。海藻の幼体が発芽する範囲は、流れの状況によって異なるが、スポアバッグを中心にホンダワラ類で半径数 m、コンブ類・カジメ類で半径 10~20m 程度である。
オープンスポアバッグ	ホンダワラ類の成体を不織布や網袋に差し込み、下端の袋に石を入れて、海中へ投入する。成体は成長し続けるため、未成熟でもよい。安価で簡便である。学校の環境教育で使われている。タネの拡散範囲は袋詰めタイプと同じである。
海底網 (タネ付け)	数 m 四方の網(目合数cm)を藻場内に設置し、小型海藻を天然採苗する。約 1 年後、磯焼け海域へ移設し、海底に土嚢等で固定する。この網は被覆網としても機能する。
海底網 (小型ネット)	園芸用の網(大きさ 2m×3m 程度、目合 10 cm程度)を用いて、母藻を結束バンドで縛り、海底に土嚢等で固定する。タネの拡散範囲は、ホンダワラ類でネットから 1m 程度、面積は約 20 m ² (4m×5m)である。
母藻移植	アラム・カジメ類の仮根を瞬間接着剤や水中ボンド等でコンクリートブロックや岩に接着し、これを移植する方法(平田ら, 1997)。海底に樹脂ネットや U 字ボルトを水中ボンドで固定し、母藻を取り付ける方法(中嶋, 2015)がある。また、母藻が着生した礫や錘を付けた母藻投入などがある。



流れ藻キャッチャー



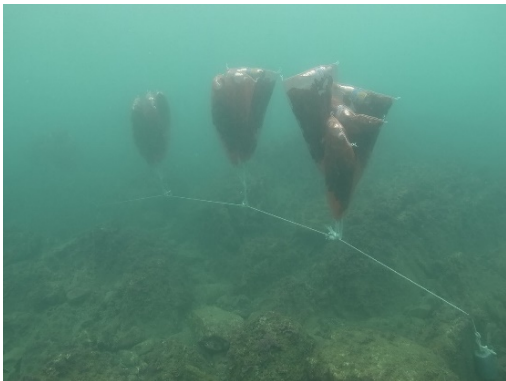
流れ藻ストッカー



中層網



スポアバッグ



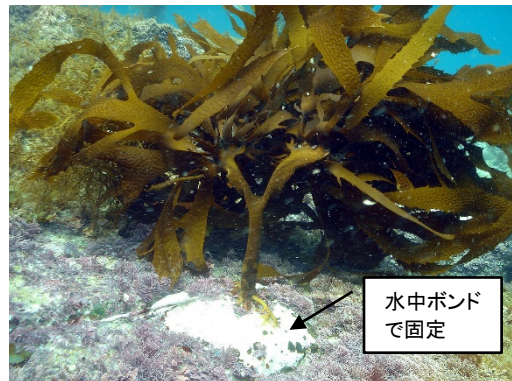
スポアバッグ（連結型）



オープンスポアバッグ



海底網(母藻取り付け時)



母藻移植

図 7-D4-8 主な母藻利用の方法

(2) コンブ科海藻の母藻の取り扱い注意点

子嚢斑のあるコンブ科の海藻（アラメ、カジメ、クロメ等含む）を日陰干して葉の表面が半乾きになった状態で海水に入れると、遊走子嚢の先端が破れて遊走子が放出される。遊走子が放出された少し濁ってきた海水を顕微鏡（倍率百倍以上）で見ると遊走子が遊泳しているのが確認できる。

葉体を日陰干し後にスポアバッグに入れて海底に設置すると、確実に遊走子を供給することができる。ただし、運搬中に遊走子が放出されてしまう恐れがあるため、海底付近で遊走子を放出させるには、日陰干した母藻をビニール袋に入れて海底まで運搬し、スポアバッグに移す配慮が必要である。

(3) 沿岸域の流れ

沿岸域には海流、潮流、海浜流などの流れがある。藻場が分布している浅海域は砕波帯付近であり、湾口や水道のように潮位差が大きい場所における海藻のタネの移動では潮流の影響が大きく、開放的な海岸であれば沿岸流（以下の海浜流の項を参照）の影響が大きい。海藻の成熟時期に卓越する流向・流速を把握し、藻場を回復させる場所の上流側に海藻のタネを供給すると効率的に藻場を拡大できる。

◆ 海流

広い海を常に一定方向に流れる大きな流れが海流である。海流は黒潮や親潮あるいは対馬暖流のように、その流路や流速にある程度の季節的変化や一時的な変化はあるものの、流向や流速は大きく変わることはない。

◆ 潮流

潮汐に伴う海水の周期的な流れを潮流という。潮流は大洋の中では微弱であるが、湾口・水道などでは流速が大きい。潮流の流向は風向の表し方と異なり、例えば、北風は北から吹く風を表し、北流は北向きの流れを意味する。広い海の潮流は流向・流速ともに刻々と変化し、周期的に元に戻る。上げ潮中に流速が最強となる方向の潮流を上げ潮流といい、下げ潮中に流速が最強となる方向の潮流を下げ潮流という。

◆ 海浜流

海岸線付近では、海流や潮流に加えて、風の影響により波が打ち寄せ、砕波帯付近では波による海浜流が発生する。海浜流は、岸に沿って流れる沿岸流、沖合から海岸に向かう向岸流、海岸から沖に向かう離岸流に分類される。海浜流は波による流れであるため、風の影響が強い。岩礁域では地形の影響で複雑な流れになるが、岸に沿って流れる沿岸流や沖向きに流れる離岸流が海藻のタネの移動や藻場の拡大に大きく影響する。

【コラム 7-04-1】流れを調べる

沿岸域の流れを詳細に把握するには、漂流ブイや流速計による計測やコンピュータにより流れを予測する。

1) 現地観測

① 漂流ブイによる流れの把握

計測したい水深に抵抗板をつけたブイに小型 GPS を取り付け、ブイの移動記録から流れを計測する (図 1)。上げ潮時、下げ潮時に流速や流向、移動距離を比較的安価に把握できる。ただし、長期間追跡が困難であるため、長期間の平均的な流れは把握しにくい。

② 流速計による流れの把握

流れを把握したい海底に流速計を設置し、15 昼夜以上の連続計測を行う (図 2)。計測したデータは調和解析を行うことで、海流、潮流さらに海浜流を把握することができる。流速計を数箇所に設置すれば、漁場全域の流況が想定可能である。流速計の扱いや解析は専門的な知識が必要となるため、調査会社に依頼する。



図 1 GPS 付漂流ブイ



図 2 電磁流速計

2) コンピュータによる流れの予測

海藻のタネが放出される季節に発生する風や波のデータを用い、コンピュータにより海岸付近の流動を計算することが可能である (図 3)。岩礁の藻場は地形が複雑であるため、正確な流動場を再現するには、精度の高い地形図が必要である。また、海藻のタネが放出される条件(水深や放出時期)を明確にしておく。高度な専門知識が必要となるため、実施にあたっては、専門家や調査会社に相談するとよい。

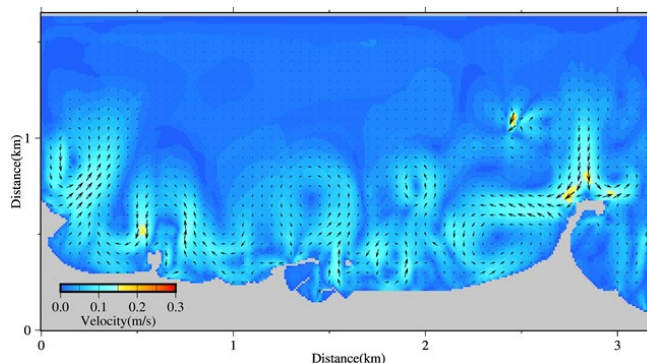


図 3 コンピュータが予測した平均流速分布 (例)

(3) 海藻のタネの拡散範囲

タネの拡散範囲は、海藻の種類や流動の大きさによって異なる。ホンダワラ類のタネ(幼胚)の大きさは0.1~0.3 mmあり、沈降速度は0.1~0.5 mm/sと大きく(奥田, 1983)、水平方向に広がりやすく、拡散範囲は10m程度とされている。コンブ類・アラメ・カジ

メ類のタネ（遊走子）の大きさは0.005 mmと小さく、沈降速度は0.11～0.15 mm/s（荒川・松生，1990）とホンダワラ類に比べると小さく、水平方向に広がりやすい。

大きな母藻群落があればアラメ、カジメのタネの移動距離は数百メートルに及ぶとの報告がある（寺脇ら，1991）。コンブでは秋野ら（2015）が着定可能な遊走子は数百 m 以内に到達すると試算している。しかし、母藻群落が大きな藻場で、十分な量の遊走子が一定範囲内に着底しなければ、配偶体同士で受精し孢子体となって藻場を形成するには至らない。カジメのスポアバッグ 50 袋（5 個体/袋）を設置したところ、出現したカジメ幼体は母藻投入地点から指数関数的に減少し、拡散範囲は 10m 程度に留まった（柳瀬ら，1983）。なお、コラム 7-D4-2 に示した調査ではクロメの幼体は 10～20m の範囲であった。このように流れの条件によるが、アラメ、カジメあるいはコンブの母藻投入によって幼体が出現する範囲は実用上 10～20m 程度と想定することが望ましい。

【コラム 7-D4-2】★海藻のタネの拡散範囲

クロメ（タネは遊走子）をスポアバッグ方式で移植し、1年後の藻体の分布を図1に示した。幼体は母藻設置範囲の中心から最大 20m 離れた場所まで出現し、10m 以内で高密度（5 本/m²以上）であった（図1左）。一方、ノコギリモク（タネは幼胚）を小型ネット方式で移植した結果、幼体は小型ネットの設置範囲（破線、2×3m）の中心から半径 5～7.5m（最大 10m）まで出現し、濃密な藻場（密度 10 本/0.25 m²以上）は半径 2.5～5m 以内で、その面積は約 30 m²であった。

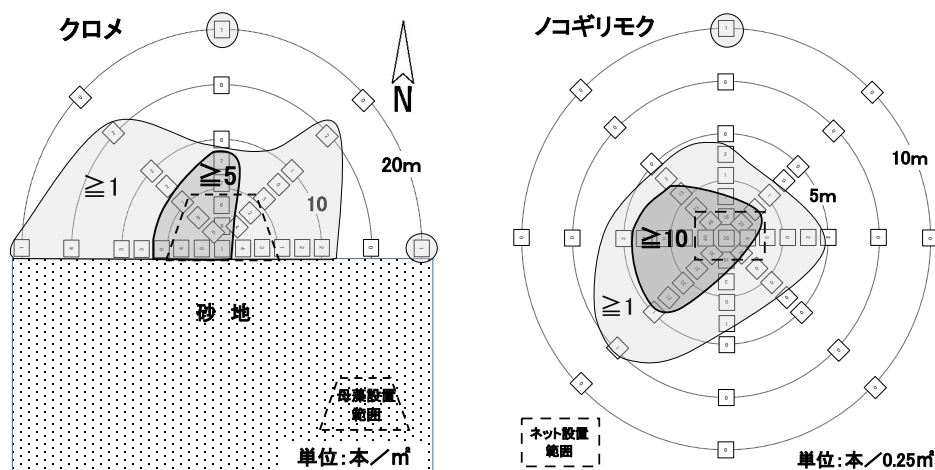


図1 母藻移植1年後の藻体の分布状況

(4) 流れ藻を利用して母藻を集める

成熟したホンダワラ類の一部はタネを放出する前に切れて「流れ藻」となり、表層付近の流れとともに遠方に移動する。磯焼け海域を流れ藻が通過する場合は「流れ藻キャッチャー」（図 7-D4-7、表 7-D4-3、図 7-D4-8）で流れ藻を留めて、母藻を集めることができ

る（図 7-D4-10）。この他にも、「流れ藻ストッカー」（図 7-D4-7、表 7-D4-3、図 7-D4-8）を設置し、漁業者が航行中に発見した流れ藻を収集して、その中へ投げ込み母藻を集めることにより、直下と周辺に海藻のタネを供給することができる。

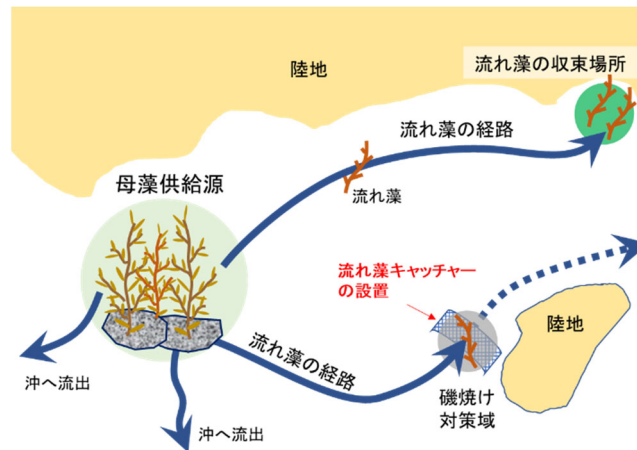


図 7-D4-10 流れ藻を利用するイメージ

流れ藻キャッチャーを設置する場合の留意点を以下に示す。

- ◆ 数値計算が可能なら流れ藻の流出時期の平均流（潮汐残差流）から、流向を予想する。数値計算をしない場合は、漁業者の経験から浮遊ゴミ等の移動などから大まかな流れ場を推定し、対策区を選定する。
- ◆ 対策区直下でウニが藻場形成阻害要因になっていれば、ウニの除去とウニフェンスを設置する（図 7-D4-11）。
- ◆ 流れ藻キャッチャーの状況を定期的に確認し、破損・移動等の場合は修理する。
- ◆ 流れ藻の量が減少した時点で、流れ藻キャッチャーを回収する。

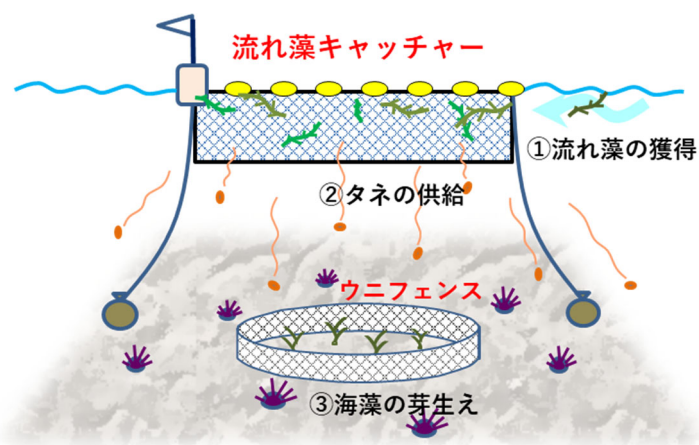


図 7-D4-11 流れ藻キャッチャーを用いた磯焼け対策のイメージ図

(5) 母藻の下流側にタネを拡散させる




磯焼けとなっている場所の卓越する流向の上流側に、スポアバッグや小型ネットを設置することにより、タネを下流側に供給する。ただし、拡散範囲は狭いため、スポアバッグ等の設置位置には留意が必要である。また、タネの供給不足以外の阻害要因がある場合は、予めその要因を排除し、タネが着生・育成しやすい環境を整えておく。

4) 種苗利用

(1) 種苗利用の方法

海藻の種類や経費等に応じて、母藻利用が困難な場合は種苗利用の方法を選択する(表7-D4-4)。種苗は、天然から採苗するか、試験研究機関より入手、または種苗生産会社等から購入する。

表 7-D4-4 種苗利用の主な方法

方法	特 徴	
巻付け法	<ul style="list-style-type: none"> ・基質は人工樹脂製の糸状か網状体。 ・タネ付け、育成、沖出し等に専用施設が必要で、水光熱費が必要。 ・中間育成に経験が必要。 ・岩盤や礫への直接の取り付けは難しく、小型のブロックや専用の取り付け用具に固定して海底に設置。 	
固定法	<ul style="list-style-type: none"> ・基質は板状のコンクリート、モルタル、スレート等。 ・ボルトや水中ボンドで基質を海底等に固定。 ・成熟期に藻場内に板を放置する天然採苗も可能。 ・タネ付けした割り箸を針金とモルタルで礫に固定した例がある。 	
投入法	<ul style="list-style-type: none"> ・基質は軽量ブロックや自然石等。 ・設置水深と場所を検討し、比較的安定した場所(砂地との境界付近)に設置する。 ・簡便で、安価。 ・タネ付け数量に限度がある。 	

(2) 採苗

海藻の種苗生産は専門家の仕事と思われがちであるが、海藻養殖業者は以前から種苗生産を実施しており、最近では漁業者も自ら行うようになった。採苗方法には人工採苗と天然採苗がある。人工採苗は、タネの種類(遊走子か幼胚か)により、採苗時間、固着時

間、沖出し時期および水槽内の海水流動の必要性が異なる（表 7-D4-5）。

表 7-D4-5 人工採苗の特徴

	コンブ類・アラメ・カジメ類	ホンダワラ類
タネの種類	遊走子	幼胚
タネの形成部位	子嚢斑(葉の表面)	生殖器床(特別な葉)
タネのサイズ	顕微鏡的サイズ(0.005 mm)	肉眼サイズ(0.1~0.3 mm)
人為放出	容易(陰干し)	できない(自然放卵)
採苗時間	数時間	≦数日間~2週間
固着時間	1日	1~2日間
沖出し時期	翌日以降	数日後
水槽内の海水流動の必要性	止水も可	流水、一時的に止水

①人工採苗

- ◆ コンブ科海藻の遊走子の場合（図 7-D4-12）

子嚢斑が形成されている葉片を数時間、陰干しした後、海水を入れた容器に漬けると遊走子が茶色の雲のように放出される。この溶液（遊走子液）を糸（クレモナの細いロープ）やブロックなどの基質を入れた容器に注ぐと、数時間以内に遊走子が基質に着底する。種苗を長期間育成する場合、遊走子液は、珪藻など雑藻が交じらないように容器の表層からすくい、底層から取らないようにする。短期間で基質を海に出す場合には、遊走子液へ糸やブロックを漬け込んでもよい。遊走子は倍率百倍以上の顕微鏡で確認し、確認後は基質を乾燥させないようにする。

- ◆ ホンダワラ類の幼胚の場合（図 7-D4-13）

ホンダワラ類の卵は、人為的に放出を制御できないため、自然放卵による。卵の放出間隔は種によって数日ないし十数日の幅がある。卵は、生殖器床内で一定の大きさまで成長すると生殖器床の表面に現れる。自然放卵は、自然光下の流水水槽で藻体を維持することが必要で、水槽内に雄を入れておけば、卵放出と同調して精子が放出される。受精によって生じた幼胚は1~2日間、生殖器床上に留まり、卵割が十分に進み、仮根が形成されると海底に落下する。幼胚が着底後に仮根を伸長して岩盤や礫に固着するまで数日間を要する。固着後は、強い水流を当てても容易には剥離せず、輸送が可能である。幼胚の場合、収容から卵放出までの日数に、生殖器床に留まる日数や基質に固着するまでの日数が加わり、作業開始から海域に設置するまで、20日以上を要する場合もある。

<p>①子囊斑の選別</p>  <p>色の濃い部分が子囊斑。 白くなっている場合は遊走子 放出後なので使わない。</p>	<p>②陰干し</p>  <p>日陰で1~3時間干す。 乾燥し過ぎに注意する。</p>	<p>③遊走子の確認(1)</p>  <p>30分毎に海水に漬ける。遊 走子が泳ぎ出すと葉の表面 に茶色い雲が浮かぶ。</p>
<p>④遊走子の確認(2)</p>  <p>茶色い海水をスポイトで吸い 取り検鏡し、泳ぎ回る遊走子 を確認する。</p>	<p>⑤遊走子液づくり</p>  <p>陰干した葉を海水に漬け、 棒などで強くかき混ぜる。</p>	<p>⑥注 入</p>  <p>基質上に遊走子液を注入す る。</p>
<p>⑦静 置</p>  <p>翌日まで止水で静置する。 軽くエアレーションし、海水を 緩く動かす。</p>	<p>⑧運 搬</p>  <p>着生基質は、乾燥しないよう に、海水に漬けて運搬する。</p>	<p>⑨設 置(例)</p>  <p>着生基質は、専用の台座等 にボルトで固定する。</p>

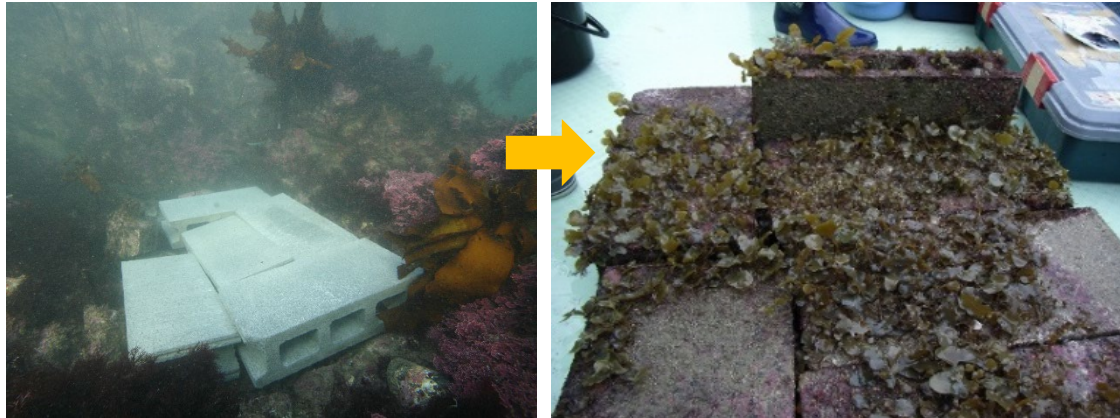
図 7-D4-12 コンブ科海藻（コンブ・アラメ・カジメ）の遊走子によるタネ付けと海底への設置の手順

<p>①着生基質の準備</p>  <p>水槽の底面に着生基質(天然石、ブロック)を敷き詰め、通水する。</p>	<p>②良い主枝の選別</p>  <p>生殖器床の有無・雌雄や状態を観察し、十分に成熟した主枝を選別する。</p>	<p>③成熟主枝の取り付け</p>  <p>結束バンドで小型ネットに成熟した主枝を均等に取り付ける。</p>
<p>④水槽に浮かべる</p>  <p>流水水槽に③のネットを浮かせる。</p>	<p>⑤卵放出チェック</p>  <p>毎日または隔日、生殖器床を観察し、卵の有無を確認する。</p>	<p>⑥卵放出後</p>  <p>卵を確認したら、翌日、主枝を強く揺すり、幼胚を落とす。幼胚が残ると生殖器床表面で発芽してしまう。</p>
<p>⑦静置</p>  <p>幼胚が生殖器床から脱落したら、止水で数日間静置する。</p>	<p>⑧幼胚が着生した基質</p>  <p>基質の表面に幼胚が着生しているのが確認できる。</p>	<p>⑨運搬</p>  <p>幼胚が着生した基質は、重ねずに、乾燥に注意して運搬する。設置方法は図7-D4-12⑨を参照。</p>

図 7-D4-13 ホンダワラ類の幼胚によるタネ付けの手順

②天然採苗

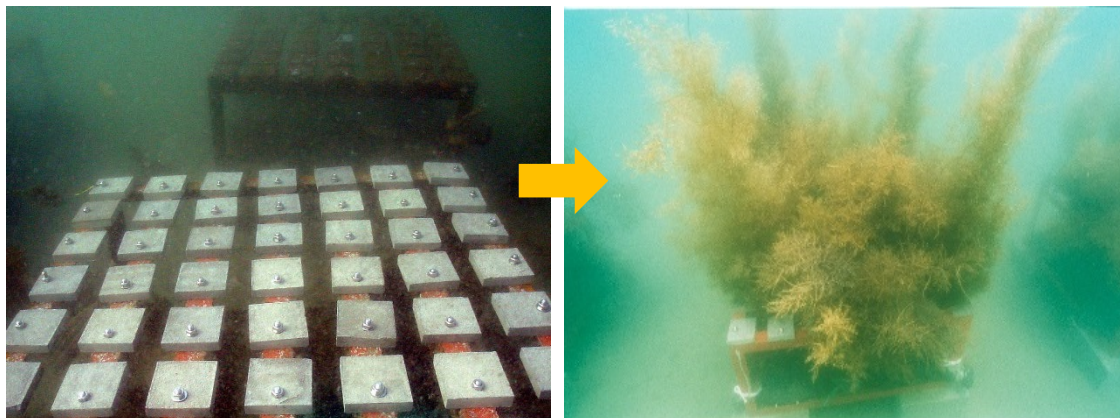
採苗のための水槽等を準備できない場合、藻場内に着生基質（玉石・小礫、建材用コンクリートブロック、網など）を設置して、天然採苗を行う（図 7-D4-14）。藻場がない場合は、基質の上部に成熟した主枝を設置する。砂地で採苗した場合、ウニの食害を避けて、育苗することができる（図 7-D4-15）。



藻場内にブロックを設置

秋に回収した時の状態

図 7-D4-14 藻場内で行う天然採苗の例



架台に採苗済みブロックを固定した直後

翌春ブロック状に繁茂した状態

図 7-D4-15 藻場がない砂地で育苗した例

D 5. 基質の提供

1) 砂による埋没・浮遊砂対策

岩礁が砂に埋没したり浮遊砂によって摩耗されたりする場所では、砂の影響が及ばない高さの基質（ブロックや石材）を提供し、海藻の新規加入を促す。

【解説】

沿岸構造物が建設されると波浪や沿岸流等が変化し、岩礁周辺で洗掘や埋没が起こることがある。基質が砂に埋没した場合は、新たに基質を提供して海藻の新規加入を促すとよい。ただし、基質の高さが不十分であると、海藻の着生面が砂泥に埋没したり、浮遊砂が基質に堆積し海藻の生育を阻害したりする恐れがあるので、砂面の高さの変動には十分に留意する必要がある。

基質には、石材、コンクリート材、鋼材、FRP 材などが使用されている。新しいコンクリートブロックから pH の高い灰汁が溶出することが懸念されるが、1 カ月程度の標準養生を実施し、設計強度を発現したコンクリートブロックでは溶出する灰汁の影響はほとんどない。基質の設計は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015 年版 第 16 編 第 2 章 着定基質 2.2 藻場礁」（全国漁港漁場協会）を参照する。

台風や低気圧の通過等で波浪は季節によって変化し、大きな波浪の襲来により、海底の砂面の高さが大きく変動する。藻場礁等の基質の設置時には海藻の着生可能な面が海底から露出しているにもかかわらず、波浪の影響で砂が移動すると砂に埋もれたり浮遊砂が堆積したりして海藻が生育できなくなる。海底の砂質土が大きく変動することが予想される場合、海藻の着生面を砂面から露出させるため、藻場礁設置箇所近傍の砂面高さの変動幅や砂層厚を計測し、海藻の着生面の高さを決める必要がある（図 7-D5-1）。脚式構造の藻場礁は、波が反射しにくく、流れの通り抜けがよいので、埋没や洗掘を防ぎ、海藻の着生面を確保できる（図 7-D5-2）。また、石材でマウンドを作り、その上に藻礁等を設置すれば、埋没を防げる（図 7-D5-3）。ただし、脚式構造は植食性魚類の隠れ場に、石材の空隙はウニ類の住み場となりやすいので注意する。

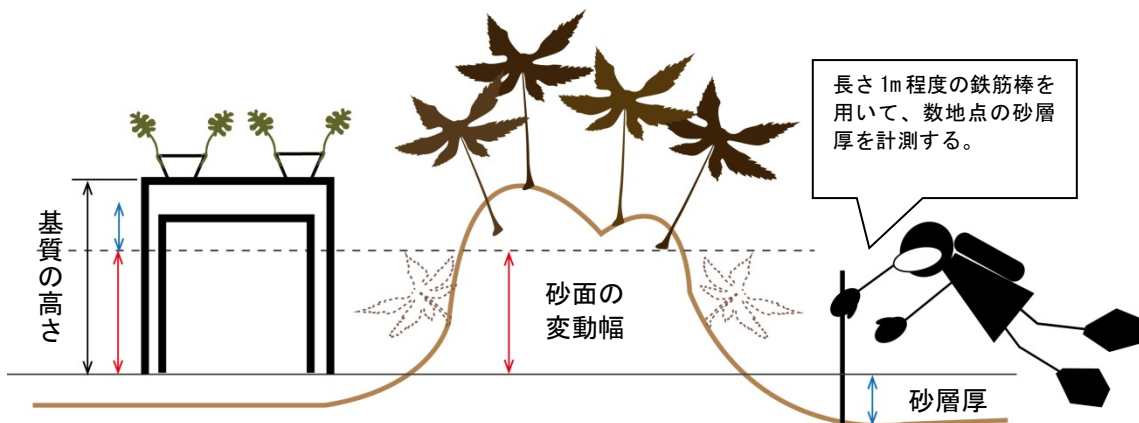


図 7-D5-1 海藻の着生と砂面からの高さの関係

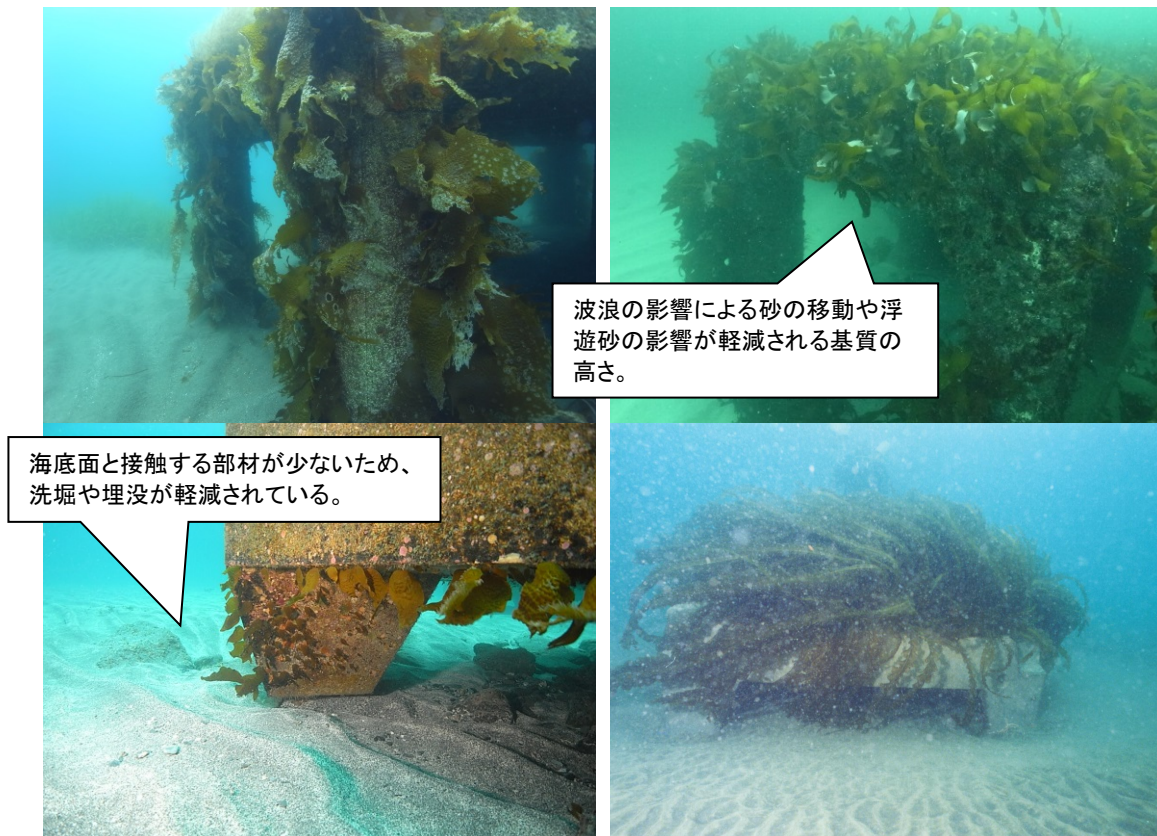


図 7-D5-2 脚式構造の藻場礁の設置例



図 7-D5-3 石材マウンドと藻場礁の隙間
をねぐらにするノトリスズミ



図 7-D5-4 石の隙間に生息するガンガゼ

【コラム 7-D5-1】藻場礁

藻場礁（または、藻礁）は様々な形状が考案されている。これらは安定性・耐波性に優れ、海藻の着生面積が広いのが特徴である。特に、消波ブロックや根固被覆ブロックは波浪に対する安定性が高いので藻場礁として利用されることが多い。これらの藻場礁では、海藻の着生を促進させる材質や形状の工夫あるいは浮泥が堆積しにくい工夫などが施されたものもある（漁港新技術研究会，2017）。しかし、年数が経過し、周辺の環境が変われば、植食動物が集積して「磯焼け基地」になることもある。投入にあたっては、適切な場所の選定と維持管理の計画や実施が必要である。特に、ウニが大量に蟄集するようであれば、波当たりが強くウニが生息しにくい浅所に移設することにより、再度、藻場を形成できる。藻場礁は再利用可能であることが大きな特徴でもある。藻場礁の詳細な情報は下記のホームページを参照するとよい。

日本大型人工魚礁協会

<http://www.nissyoukyou.com/>

日本消波根固ブロック協会

<http://www.shouha.jp/>

（一社）漁港漁場新技術研究会

<http://aitef.or.jp/>



図1 様々な形状の藻場礁

2) 岩盤清掃

海藻の着生や発芽を促進させるには、基質面を巡って競合する生物を剥離・除去する必要がある。

【解説】

競合生物には、石灰藻、カンザシゴカイ、ホヤ、カイメン、ソフトコーラル、二枚貝（ムラサキイガイやイワガキ）、対象種以外の海藻・海草（コンブ場でのホンダワラ類やスガモ）などがある。なお、磯焼け域では無節サンゴモ類が問題視されることがあるが、これらは海藻の着生や生育を阻害することはないので、特にこれを剥離・除去する必要はない。

潮間帯のヒジキ場における岩盤清掃は、干潮時間を考慮して人力で行われることが多い。実施にあたっては、次の点に留意する。

- ◆ ヒジキの生育帯は潮間帯の下部に限られ、わずかな高さの差でも岩盤清掃の効果が表れないことがある。周辺のヒジキの生育水深を基準として、前日までに高さを規定するためのロープを張り、作業範囲を設定しておく（図 7-D5-4）。
- ◆ フジツボやカキ、ムラサキイガイの繁殖を防ぐため、高圧洗浄機を用いてできる限り除去する（図 7-D5-5）。
- ◆ ヒジキ場の岩盤清掃は干潮の短時間で行う必要があるため、高圧洗浄機以外にも小道具（図 7-D5-6）を用意し、フジツボやカキを潰したり、小型海藻は削り取ったりして、効率的に行う。
- ◆ 岩盤清掃は、ヒジキのタネが放出される前に実施する。成熟ヒジキを入れたスポアバッグを設置してタネまきをすると、より効果が上がる（図 7-D5-7）。

海中の岩盤清掃は、小規模な場合には潜水により行われ（図 7-D5-8、図 7-D5-9）、大規模な場合では、図 7-D5-10 に示す様々な工法が実施されている。例えば、北海道東部～北部のコンブ漁場では、競合するスガモ（海草）やホンダワラ類を除去する SK フープ型回転式駆除機などによる大規模な岩盤清掃が毎年行われている。場所や規模、経費に応じて効果的な方法を選ぶとよい。

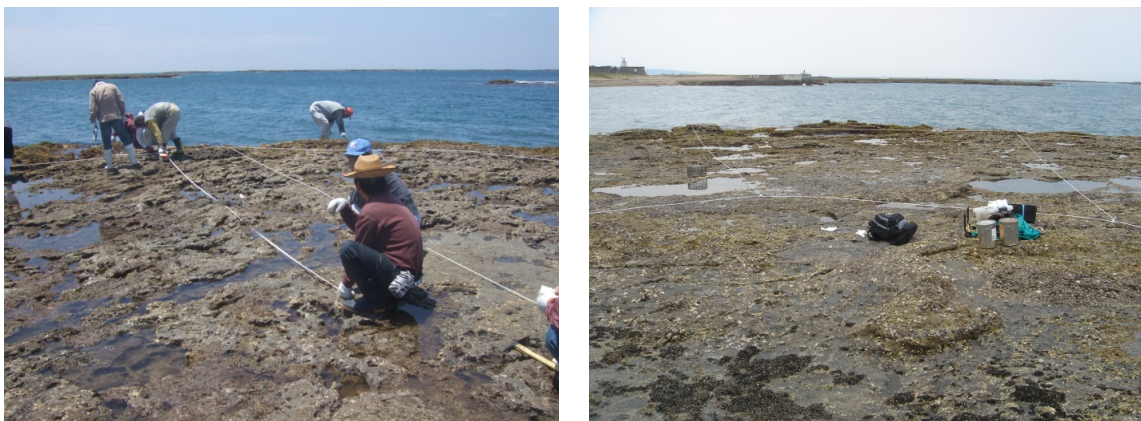


図 7-D5-4 ヒジキ場の藻場回復範囲の設定



高圧洗浄機により露出した岩肌

図 7-D5-5 高圧洗浄機による岩盤清掃



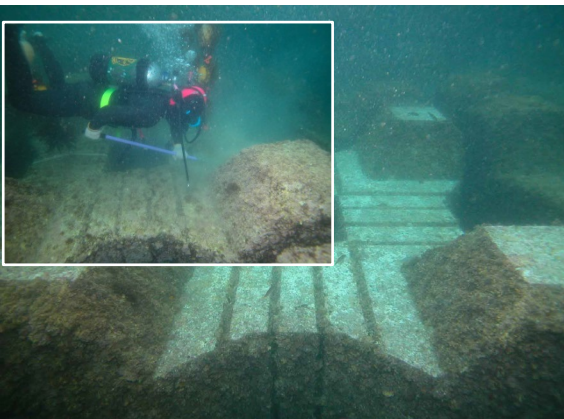
図 7-D5-6 岩盤清掃で使用する小道具



波で揺れて取り付け部のロープが摩耗しやすいので、丈夫なロープでしっかり固定する。

水中ボンドで固定

図 7-D5-7 岩盤清掃後のヒジキのタネまき (スポアバッグ)



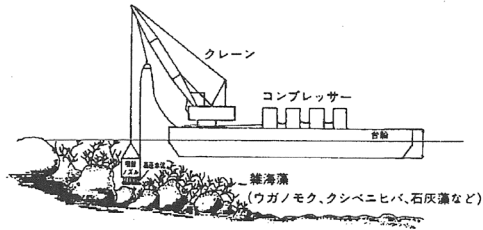
ケレン棒

図 7-D5-8 ダイバーによる岩盤清掃

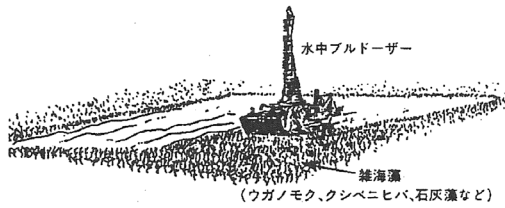
図 7-D5-9 潜水による岩盤清掃の道具

< 機械式駆除 >

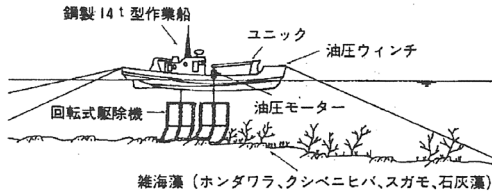
ウォータージェットカッター工法による雑藻駆除



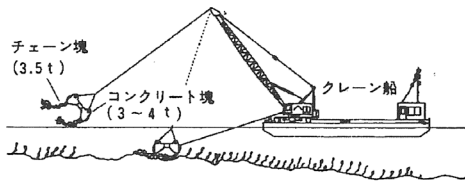
水中ブルドーザーによる雑藻駆除



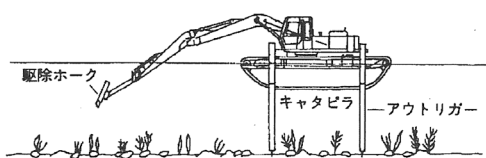
SKフープ型回転式駆除機による雑藻駆除



流水システムによる雑藻駆除

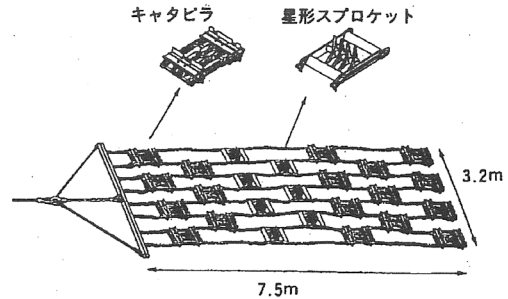


雑海藻磯焼駆除機による雑藻駆除

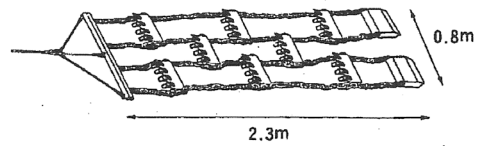


< 自営型駆除 >

ボトムスクレーパー

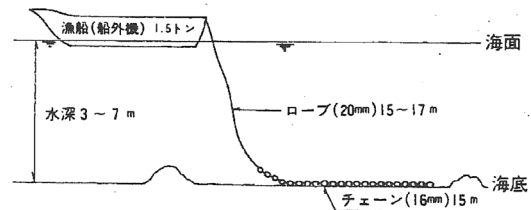


大型洗耕機構造図

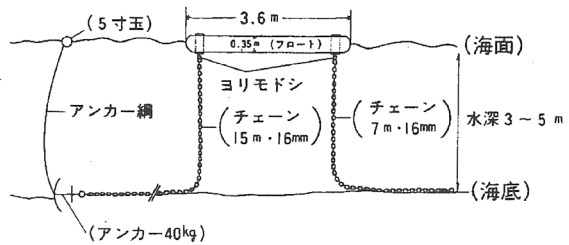


小型洗耕機構造図

チェーン曳き



チェーン振り



(浜中町、厚岸漁業協同組合および駆除機メーカー資料より引用)

図 7-D5-10 雑海藻駆除装置 (阿部, 1995)

【コラム 7-D5-2】 付着生物の除去による海藻の繁茂

石川県富来漁港では、5月に設置したコンクリートブロックにイソモクが入植し、その後、順調に遷移しヤツマタモク、マメタワラが優占した。しかし、9～10月に設置したブロックはイタボガキが付着し、数年経過してもホンダワラ類へ遷移しなかった。そこで、ホンダワラ類が成熟する3月にイタボガキを除去したところ（図1）、同年10月にはホンダワラ類の幼体を確認した（図2）。このように、ブロックに海藻を入植させるには、海藻の成熟期を考慮して施工時期を決定する必要がある、競合する付着動物が優占する場合は、海藻の成熟期前に付着動物を除去することが有効である。



図1 コンクリートブロック表面に付着したカキ殻等を削り取った状態（3月）



図2 同年10月（6カ月後）にホンダワラ類の幼体を確認

D 6. 基質形状の工夫

海底に設置する基質では、浮泥の堆積の影響を軽減したり、海藻の着生を促進したり、植食動物の摂餌圧を軽減したりするために、形状の工夫が行われている。

【解説】

1) 浮泥とは

海域によっては、基質面に浮泥が堆積することがある。浮泥は粒径の細かい砂泥質であり、有機物を多く含み、含水比が大きい。基質上に浮泥が堆積すると、有機物に起因する粘着性があるため、多少の流速では払拭されにくく、浮泥上には海藻のタネが着底しにくい。例えば、アラメやカジメ等のコンブ科の海藻の胞子の長径サイズは約 $5 \mu\text{m}$ ($=0.005 \text{ mm}$) であるが、粒径 1 mm の浮泥が堆積すると、その厚さは胞子サイズの 200 倍にもなり、海藻の胞子が沈降しても基質に着底しにくいことが容易に想像できる。

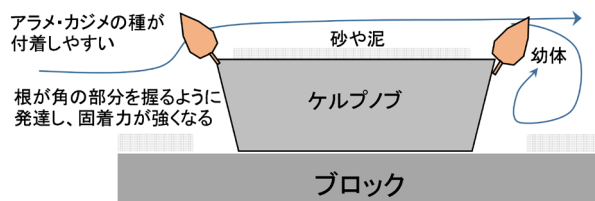
2) 浮泥が堆積しにくい構造

外洋に面し波当たりが強い岩礁では浮泥が堆積しにくいため、浮泥による海藻の着生阻害がみられない。しかし、高波浪が作用しない場所では、浮泥が堆積しにくい形状の基質を検討する必要がある。形状としては、水平波力が作用する垂直面や急斜面、稜角部、細い部材、突出構造や凹凸のある多孔質構造などが挙げられる。また、ロープ等の軽素材による揺動体なども浮泥が堆積しにくい。

3) 浮泥の堆積防止の工夫

垂直面や急斜面では、漁港や防波堤の側面などの植生を参考に浮泥の影響を確認することができる。海水中に浮遊懸濁物が多い海域では、濾過食性の動物（イガイやカキなど）と海藻の競合が起こる。基質の角度については、これまで海藻の着生のやすさの視点から検討されているが、浮泥の堆積と傾斜角との関係も明らかにしていく必要がある。

波が作用するとコンクリートブロック等の角や突出部付近の流れは乱れ、浮泥が払拭され基質が露出しやすい。特に、ブロックの稜角部にコンブ科の海藻が付着しやすいことを参考に、(財) 電力中央研究所では、アラメ・カジメの幼体の生育に有効な形状として逆台形の突起物「ケルプノブ」を開発した。この突起により形成される稜角部付近には浮泥が堆積せず、アラメやカジメが生育しやすい効果が判明している。



出所: 関東電気協会(1991): 電カマンズリー, 39, 1, 3-5.



図 7-D6-1 浮泥を払拭しアラメやカジメの着生を促進する逆台形形状「ケルプノブ」

4) 表面積を大きくする工夫

基質の表面に凹凸を付与し、海藻のタネが着底する表面積を増やす工夫が行われている。凹凸面の凸部は浮泥の払拭効果も期待できる。凹凸の付与としては、コンクリートブロックの表面に天然石を植石する方法や多孔質コンクリート版の装着などが挙げられる（図 7-D6-2）。多孔質コンクリートはコンクリートの配合において細骨材（砂）を除いたものであり、粗骨材である砂利とセメントペースト分で固化しているため連続空隙が形成され、軽量である。粗骨材は碎石のほか、砕いた廃瓦や貝殻なども再利用されている。粗骨材が小さいと窪みに付着生物が着生し、凹凸が平坦化するので、粒径が 20~40 mm の比較的大きな粗骨材が使用されている。これらの突出構造はウニや巻貝などの匍匐性の植食動物が海藻の幼芽を食べ残すので、藻場の形成に効果的である。



植石ブロックの製作状況



多孔質コンクリート版の設置状況

図 7-D6-2 植石や多孔質コンクリート版による海藻の着生促進

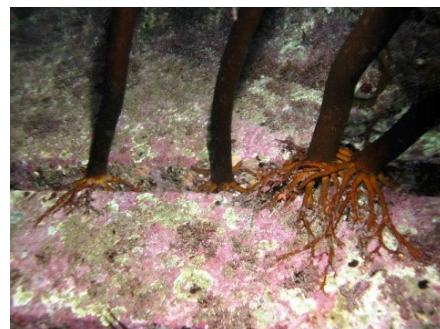
5) 溝付きブロックの例

消波ブロックを利用する場合、型枠の制限から、突出物をブロックに取り付けにくい。この場合、型枠加工によりブロック表面に溝を形成するように工夫する例がある。形成された溝の縁辺は稜角部を呈するため、コンブ科の海藻が着生しやすい（図 7-D6-3）。

ただし、溝の幅が狭いとウニや巻貝類等の植食動物の住み場となり、その摂餌圧が強いと溝周辺に海藻が生えないこともある。また、イワガキが溝に付着し、溝が埋まることもある（図 7-D6-4）。植食動物が多い海域では、溝が生息場にならないように幅広の溝を形成する等の工夫が必要である。

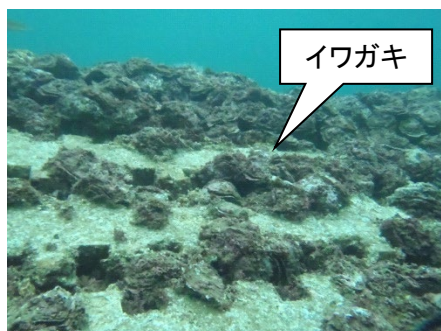


ブロックの溝加工の例

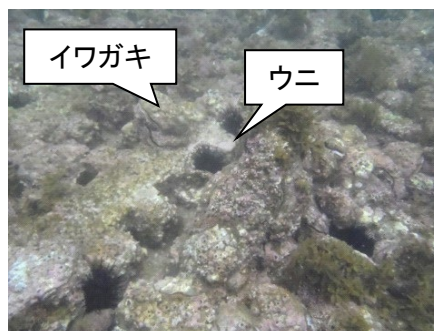


溝で形成された稜角部にカジメが着生

図 7-D6-3 ブロックの溝加工とカジメの着生



溝に付着したイワガキ



溝に生息するウニやイワガキ

図 7-D6-4 溝に付着したイワガキとウニによる海藻着生場所の消失

6) 鋼製部材やロープの使用

浮泥が堆積しにくく、ウニが登りにくい構造として細い部材が利用されることがある。具体的には、ジャングルジムのような魚礁構造であり、広い面を有するコンクリートブロックよりも海藻の群落が維持されやすい傾向がある。

軽素材の揺動体として、ロープや人工海藻が利用されている。ロープを利用した手法では、古くから海中林施設という名称で利用されてきた。立縄式と延縄式がありロープにコンブの種糸を巻き、コンブが成長し重くなると、ロープが下がり、海藻をウニ等が摂餌するが、海藻が減ると施設は浮くためウニはふるい落とされる。この繰り返しで、ウニに適度の餌料を供給し、周辺の藻場の食害を防ぐことができる。ただし、ウニの身入り改善は施設周辺に限られ、広範囲の藻場回復事例はない。また、この施設はロープに衝撃張力や擦れが生じ耐久性に課題がある。静穏が継続すると、ロープ上の海藻がウニによって食べ尽くされるため、人力でロープ上のウニ除去をすることもある。

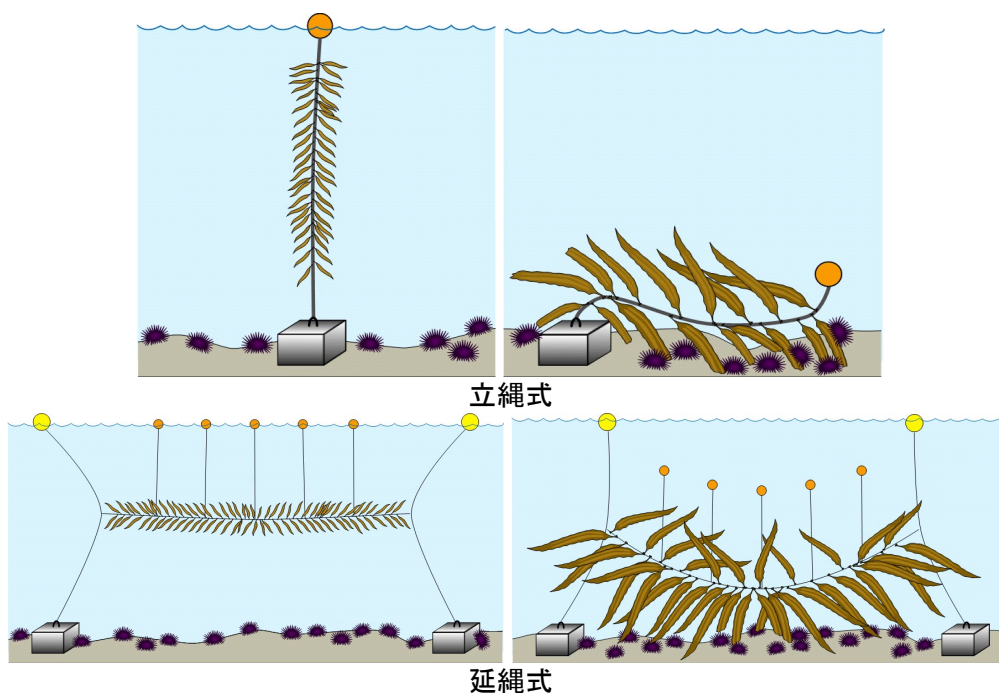


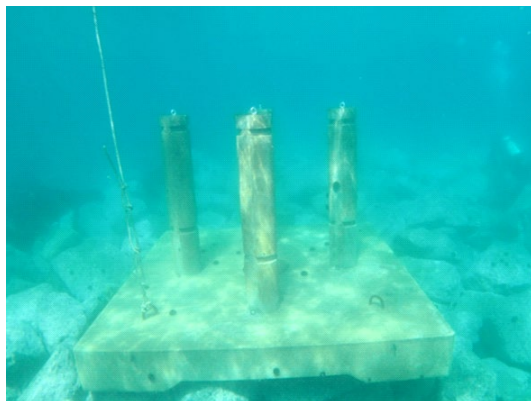
図 7-D6-5 海中林施設

【コラム 7-D6-1】 基質の形状を工夫した食害防御

ブロック等の形状を工夫することで、植食動物の食害から守られた事例がある。



ブロックに棘状突起を取り付けたところ、1年8カ月後に対照区に比べて全体的にノギリモクの着生密度や全長が高くなっている(柴田ら, 2011)。



柱状形状はウニの這い上がりが抑制され、海底面に比べてホソメコンブが着生している(漁港漁場新技術, 2019)。

図1 基質の形状を工夫した食害防御(例)

D 7. 栄養塩の供給

海藻の成長に必要な栄養塩を供給して藻場を回復する方法である。

【解説】

近年、排水規制により海水浄化が進み、沿岸域の溶存態窒素の減少により、ノリ養殖では色落ちが問題になっている。一方、閉鎖海域では富栄養の状態が改善できず、赤潮の発生や透明度不足で藻場が回復できない場所もある。藻場の回復には適度な栄養塩が必要であるが、人為的な栄養塩濃度の制御の試みは、多くの技術的課題が残されている。

磯焼け対策の1つとして施肥の事例がある。しかし、対象海域で不足する栄養塩濃度を測定せずに、他の海域の例を参考に、試験的に施肥を試みている例が多い。この背景には、施肥に関する情報不足も挙げられる。施肥を実施または計画している漁業者にアンケートを行ったところ、表 7-D7-1 のような課題が明らかとなった。特に、海藻の増殖に必要な栄養塩濃度に関する情報が少ないことが、施肥の目標を立てにくくしている。

表 7-D7-1 磯焼け対策としての栄養塩供給の課題に関するアンケート結果

項目	主な課題
目標とする濃度	対象海域の栄養塩濃度の実態が不明であり、対象とする海藻の生育に必要な目標濃度が不明確である。
施肥材の種類	藻類の成長や成熟には窒素、リン、鉄等が必要であるが、対象海域において藻類の増殖に不足する成分が不明であり、施肥材の選定ができない。
施肥の時期	種によって生活史が異なるが、海藻の種毎に適切な施肥実施時期の情報が不足している。
施肥材の投入量	施肥成分は潮流・波浪により移流・拡散し、濃度が希釈される。藻場の流動環境に合わせた施肥材の投入量に関する情報が不足している。
効果の継続期間	固形肥料等では徐々に栄養塩が溶出するが、その効果の継続期間が明らかではない。
周辺環境への影響	大量の施肥材の投入は局所的に高濃度となるが、高濃度のアンモニア態窒素が底生生物に与える悪影響が懸念される。
効果の検証方法	過去の試験では対照区の設定がなく、施肥の有無による効果が不明確な場合がみられる。

過去に実施された様々な調査を参考に、水産庁では「磯焼け対策における施肥に関する技術資料」（水産庁漁港漁場整備部，2015）を作成した。

https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_hourei/pdf/sehigijutsusiryoku.pdf

この資料は、表 7-D7-1 の課題があることを踏まえ、現時点で可能な範囲で施肥の進め方を整理している。ここでは、この技術資料で示した基本的な考え方を示すに留める。当資料では栄養塩供給による拡散計算方法や過去に実施された硫酸アンモニウム（硫安）による施肥、鉄鋼スラグによる鉄分供給の事例を紹介している。詳細については、技術資料を参照されたい。

1) 栄養塩とは

栄養塩とは生物の成長や増殖に欠かせない無機塩類のことである。海洋植物では窒素 N やリン P が不足することが多いので、通常はこれらを栄養塩（多量栄養塩）と呼んでいる。海水中にはカリウムは十分な濃度があるので、その不足が問題になることはない。マンガン、銅や鉄などは窒素やリンに比較して僅かしか海洋植物に摂取されないが、必須の元素であることから微量元素あるいは微量金属、微量栄養塩と呼ばれており、これも栄養塩に含めている（水田，2010）。

窒素やリンは無機態と有機態に分類できるが、藻類が必要とするのは無機態である。無機態の窒素はアンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）であり、これらの合計を溶存無機態窒素（DIN）という。溶存無機態リン（DIP）はリン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）が主である。したがって、海藻の生育可能な環境を把握するには、水質分析において、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素の三態窒素およびリン酸態リンを測定することになる。

【コラム 7-D7-1】海藻の成長における栄養塩と流れの関係

海藻は窒素やリンなどの栄養塩を葉面から吸収して成長する。つまり、栄養塩濃度の高い海水が十分に供給されなくなると、海藻は栄養塩不足となり成長が制限される。流れの速い場所の海藻がよく育つのはこのためである。

川俣（2004）は、振動流中におけるアラメ幼胞子体（幼体）の成長を測定し、その純同化率（単位時間当たり単位葉面積当たりの葉重量の増加率）が、栄養塩（硝酸塩 $[\text{NO}_3^-]$ ）濃度と流速（U）との積（栄養塩フラックス）の増加に伴って増えることを明らかにしている。

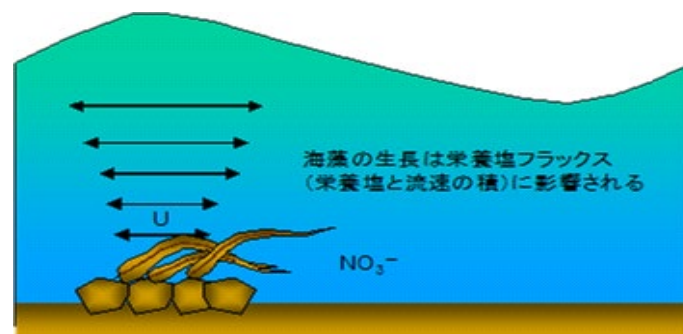


図1 海藻の成長における栄養塩と流れの関係

2) 施肥とは

施肥の原則は、海域で不足しがちな成分を人為的に供給することである。食害や激浪、浮泥などの影響がある中で、磯焼けの原因として、栄養塩不足の懸念もある。その場合には、図 7-D7-1 のフローを参考に施肥の導入を検討する。施肥は、海藻以外の生物への影響も想定されるので、最初は小規模な試験を実施し、効果が確認できてから規模を拡大する。

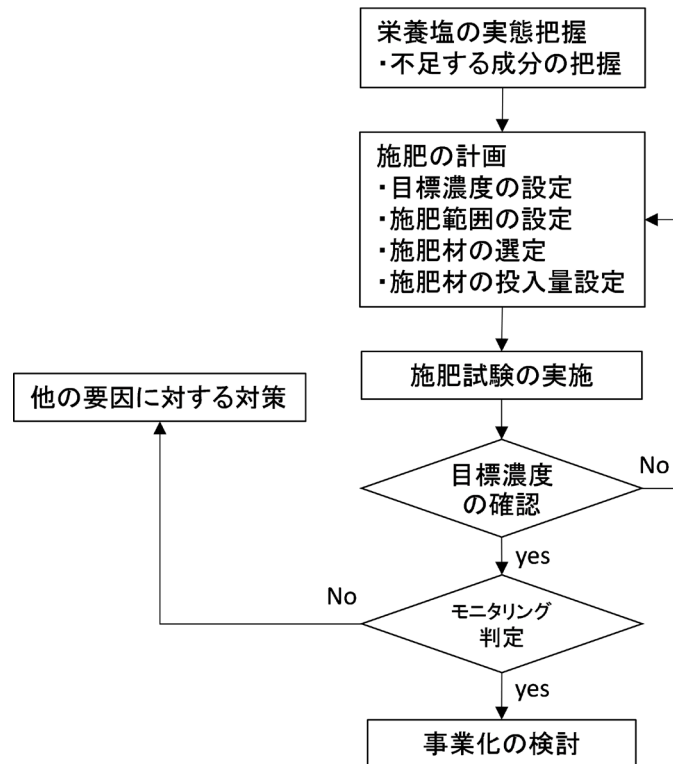


図 7-D7-1 施肥の検討フロー

施肥の検討で最初の取り組みは、対象海域の栄養塩の実態を把握することから始める。藻場と磯焼け海域の両方で定期的に水質調査を実施し、藻場と比べ磯焼け海域で不足する成分を把握する。

次に、目標とする栄養塩の成分や施肥の範囲を設定し、施肥材を選定する。施肥材の溶出速度や拡散速度を確認し、対象とする海域に必要な栄養塩の供給目標（目標濃度）を定め、その濃度を維持するために必要な施肥材の投入量を設定する。

目標濃度の目途がたったら、現地試験を実施する。定期的に水質調査を実施し、想定した濃度が維持できているか確認する。目標濃度が確保できなければ、施肥材や投入量の変更を検討する。現地では不確定な事項もあるので、施肥による濃度を監視しながら、濃度管理を行う。

施肥期間が終了したら、海藻の繁茂期にモニタリングを実施する。海藻が繁茂しない場合は、磯焼けの継続要因は別にある可能性もあるので、対応策を見直すことになる。海藻

が繁茂した場合は、事業化に向け、施肥範囲の拡大による経済性（費用対効果）を検討する。なお、施肥範囲の拡大や濃度水準の引き上げには、環境への負の影響についても配慮が必要である。

(1) 栄養塩濃度の実態把握

磯焼け域と近隣の藻場において、流動環境が類似した場所を選び、海底付近から海水を採水する。採取した海水の分析は、溶存態の窒素（アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素）の濃度とリン酸態リンの濃度を測定する。水質調査は、毎月、あるいは、近隣の藻場で優占する海藻の発芽期、成長期、繁茂期などの節目で行うことが望ましい。水質は、時間的にも空間的にも変動するので、採水は可能な範囲で頻度を高め、複数地点で実施することが望ましい。

磯焼け域と藻場での比較により、磯焼け域で不足する成分やその時期を把握する。不足する成分が明確でない場合は、施肥による効果が期待できないので、他の磯焼け対策を検討する。不足する成分が判明した場合は、施肥の計画を進める。

(2) 施肥計画

① 目標濃度と施肥範囲の設定

海藻の生活史と栄養塩要求に関する研究例が少なく、どの成分が、いつ、どの程度必要なのか等を決定することは難しい。既往文献を整理した結果によると海藻の種類によって必要な栄養塩濃度が異なる（表 7-D7-2）。施肥の計画では、必要な栄養塩の成分と目標濃度を設定しなければならないが、既往の研究を参考にするか、近隣の藻場の栄養塩濃度を目標にする。施肥を実施する時期は、栄養塩が不足する期間であるので、不足する季節を把握しておく必要がある。栄養塩濃度が高い季節の施肥は効果が出ないばかりでなく、不経済である。

最初は小規模な試験を実施し、その効果が確認できてから徐々に拡大することが望ましい。

表 7-D7-2 海藻の成長が飽和する栄養塩濃度の範囲（吉田ら，2011より作成）

海藻の種類	溶存無機態窒素 DIN (μ M)	溶存無機態リン DIP (μ M)
緑藻(アオサやミル等)	17~63	6.5~19
褐藻(コンブ類・ホンダワラ類)	4~15	0.25~0.75
紅藻(オゴノリ類 <i>Gracilaria foliifera</i>)	5.3~5.5	—

② 施肥材の選定

施肥材としては、無機態の栄養塩を供給する化学肥料、鶏糞や魚粉、イカゴロ等を原料にした有機肥料が使われる。以下に示す特徴を考慮し、現地で利用しやすい肥料

を選択する。

③ 化学肥料

安価な硫酸アンモニウム（硫安）や塩化アンモニウム（塩安）が窒素肥料として使用されている。硫安は代表的な窒素肥料で、無色透明な結晶（直方晶系）で水に容易に溶ける。塩安は塩化物イオンとアンモニアイオンを化合させたもので、白色で無臭の結晶である。リン肥料としては過リン酸石灰、重過リン酸石灰などが使用されている。

④ 有機肥料

鶏糞や魚粉、水産加工残渣等を利用した有機肥料が使用されることがある。有機物のまま溶出しても海藻に直接吸収されることはなく、磯焼け対策としての速効性は期待できない。発酵もしくは分解により、多少とも無機化されていることが望ましい。また、有機肥料は海洋汚染防止の規制対象になる場合もあり留意が必要である。

⑤ 鉄分

藻類の成長には必須の微量元素も重要である。特に、海水中の溶存鉄は極めて濃度が薄く、海藻の成長に不足しがちとの指摘から、藻場造成に鉄を供給する試みがある。沿岸域の藻場での溶存鉄濃度は鉄不足の外洋に比べ 10～100 倍高く、藻類が増殖する冬から春に濃度が低く、春から夏に濃度が高い（綿貫ら，2015）。また、マクサ藻体内の鉄分は、水温が低下する 2 月に多くなる傾向にあるが、最終的に鉄供給により海藻の現存量の増加には至らず、沿岸域は鉄分不足ではないと指摘されている（綿貫，2015）。このように鉄分供給効果は現状では不明な事項が多い。

⑥ 施肥材の投入量の設定

計画した範囲内で栄養塩が目標濃度となるように、施肥材の投入量を設定する。正確な予測は三次元の拡散計算を実施することが望ましいが、比較的簡易な算定方法により施肥量を推測することができる。

施肥材の溶出速度は、化学肥料の液肥の場合は、液肥に含まれる窒素やリンの組成率と送水流量によって決定する。固形肥料では、窒素やリンの溶出速度を水槽実験等によって求めておく必要がある。なお、一般的に、固形肥料は時間の経過に伴い溶出量が低下するので、安定した濃度を継続する場合は追肥の検討を行う。

(3) 施肥試験の実施

試験の実施に際しては、以下の事項に留意する。

① 対照区の設定

施肥区に対して、必ず対照区を設定する。対照区は、施肥区と同じ水深帯とし、底質や波当たりおよび植食動物の密度が施肥区と類似していることが望ましい。

② 植食動物の除去

ウニ等の植食動物が多く分布する海域では、せっかく海藻が芽生えても食害により施肥の効果がわかりにくくなる。このような場所での施肥試験では、施肥区と対照区の両区で、ウニや巻貝等の植食動物を徹底して除去してから実施することが望ましい。周辺からの植食動物の再侵入が危惧される場合は、両区の周辺にウニフェンス等を設置して再侵入を防ぐようにする。植食性魚類による食害が懸念される場合は、両区ともカゴで囲って食害を防ぐとよい。

(4) 目標濃度の確認

施肥試験では定期的に水質調査を実施し、施肥区で目標濃度が維持できているか確認する。水質に関しては、施肥前の周年データを得ておくほか、施肥前、施肥中、施肥直後に数回、調査を実施する。海水は鉛直混合しにくいので、施肥材が溶出している水深と同じ水深で採水することが重要である。なお、流れが強いと、溶出した栄養塩がすぐに希釈拡散してしまう。したがって、採水は流速が小さい時に実施する。施肥期間中に溶出濃度が低く、目標濃度が維持できない場合は、追肥を検討する。

(5) モニタリングと効果の判定

海藻が繁茂する時期に、海藻の状況をモニタリングする。モニタリングは、施肥区と対照区において実施し、両区の比較から施肥材の効果を把握する。海藻は種ごとに被度や葉長を測定する。また、施肥区と対照区において、50 cm×50 cmあるいは1m×1mの枠内の海藻を刈り取り、優占種の湿重量、葉長、個体数などを測定するほか、体色や成熟状況、種組成なども調べ、両区で現存量や生育密度、品質および種の多様性について比較する。これらの結果をもとに効果の判定を行う。

なお、施肥によって海藻の質が変化する場合がある。例えば、コンブ類では施肥によって色が濃くなるとともに、葉体の厚みが増し（成熟も進行）、紅藻では施肥によって赤みが増すので、モニタリング時には写真で海藻を撮影し、葉体の厚みはノギス等で計測する。

施肥区域で目標濃度の栄養塩濃度を確認できても、海藻が増えない場合は、磯焼けの継続要因が栄養塩不足ではない可能性が高く、他の成長阻害要因も検討する。

(6) 事業化の検討

施肥後のモニタリングの結果、予定していた藻場の形成が確認され、近隣の藻場（対照区）に匹敵する現存量となれば、事業化の可能性がある。施肥材の購入や設置に支出する金額と海藻の現存量が増えたことによる水産物の水揚げ量の増加を比較し、事業計画を立て、藻場の維持や拡大を図るようステップアップする。

3) 基質からの溶出

海藻の着生基質であるブロックに肥料を混ぜ込み、継続的に栄養塩を溶出させる方法がある。溶出成分によって、窒素やリンなどの多量栄養塩を溶出するタイプ、微量元素の鉄を溶出するタイプ、有機物であるがアミノ酸を溶出するタイプなどがある。基質からの栄養塩の溶出は海水への浸漬の当初に限られ、一時的に有害なレベルに達する場合も想定されるが、長期的にみれば、影響範囲は基質表面か近傍のみと想定される。

4) 海洋深層水を利用した海域の肥沃化

海洋深層水は、栄養塩濃度が高く低温かつ清浄な海水であり、全国各地の取水施設では様々な目的で利用されている。一部の取水施設では、排水を利用して藻場に栄養塩を供給した事例がある（コラム 7-D7-2）。取水施設では揚水ポンプによる汲み上げが行われているが、排水の有効利用であればコストも小さく、今後も検討に値する。

なお、河川水を磯焼け域に導水すると栄養塩濃度を高められる可能性があるが、今のところそのような事例はない。ノリ養殖では窒素不足による色落ち対策として、収穫前に陸上のため池を放水して栄養塩を供給する試みが行われている。磯焼け対策でも今後は栄養塩濃度の高い河川水等の有効利用に関する検討が望まれる。

【コラム 7-D7-2】 高知県室戸市の海洋深層水

高知県海洋深層水研究所（室戸市）では、取水された深層水を外海の磯焼け海域に放流しており、地先沿岸における藻場の分布のほか、ウラニン染料を用いて着色された深層水の排水の挙動が調べられている（谷口ら，2000；鍋島ら，2000）。

報告によると、放水された低温の深層水は、海底面に沿って徐々に拡散し、潮流の影響を受けながら、沖側 150m、南北に 360m の中・表層に拡散した。着色された水塊は岩礁の間際に滞留したり、距岸約 30m の潜堤を越えたりしているのが観察されている。さらに、放水口周辺海域のホンダワラ、カジメ、テングサの分布域が水塊の拡散水域とよく一致し、巻貝やウニなどの底生動物も多かった。これに対して、拡散区域外では磯焼け状態を呈し、底生動物も少なかった。当該地先で形成された小規模な藻場の存在を深層水による影響としているが、放水開始前の植生や海底の様子が調べられておらず、深層水による効果なのか定かではない。

【コラム 7-D7-3】 局地性湧昇とテングサの収穫量

強い海流の影響で局地的湧昇流が発達する場合、栄養塩濃度の高い海洋深層水が表層近くまで湧昇し、海藻の生産量が高くなる。中島（2002）は、三宅島の漁獲資料を解析し、東岸の湧昇海域側（坪田地区）では、西岸に位置する非湧昇海域（阿古地区）に比べてテングサ等の海藻、トコブシ、イセエビ、タカベ等の根付きの水産生物の漁業生産が大きいことを示した。図 1 は三宅島の局地性の湧昇海域、図 2

は湧昇海域側と非湧昇海域側におけるテングサの年間収穫量の比較を示す。湧昇海域側では湿重量で年平均 800t が収穫され、非湧昇海域側の約 13 倍になっている。海洋深層水の有効利用法の 1 つとして藻場の維持・回復が考えられるが、これまで、藻場回復だけを目的とした海洋深層水の取水は行われていない。

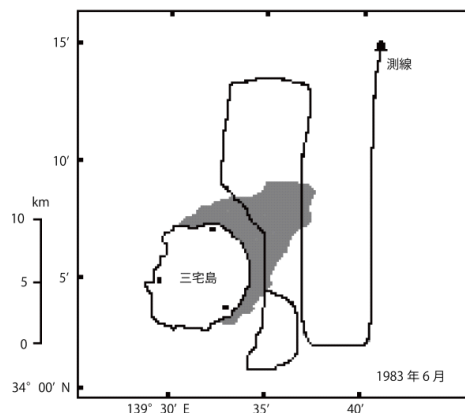


図 1 三宅島東岸の湧昇プルームの分布 (影部)

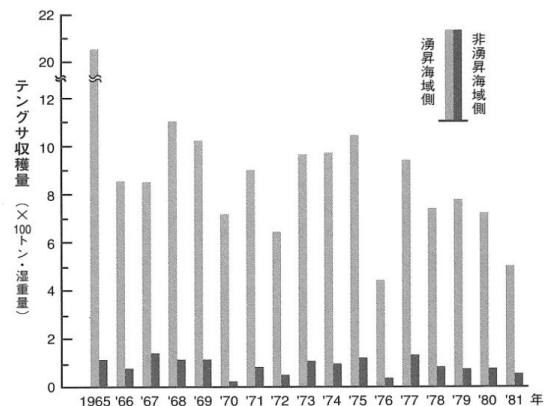


図 2 湧昇海域側と非湧昇海域側におけるテングサの年間収穫量 (三宅島漁業協同組合漁獲資料から作成)

【コラム 7-D7-4】スラグ系施肥材 (腐植土含有) 埋設による施肥の例

「磯焼け対策ガイドライン改訂版」(2015) に紹介された北海道日本海側の増毛町舎熊の事業を受けて同町別荘地先で大規模実証事業が行われ、礫浜の波打ち際への施肥材 45 トンが埋設された (25m 間隔で 6 箇所)。その結果、岸側のコンブ群落に沖に施工 3 年で約 1.5 ha 拡大し (最大で距岸 50m まで)、中焼け域でウニの餌料となり漁獲量が約 2 倍に伸びた。波打ち際には波に守られたコンブの母藻集団があり、埋設により嫌氣的低 pH 条件の維持と伏流水による継続的な溶出、さらに、寄せては返す振動流による溶出成分の滞留 (拡散防止) が施肥の効果を高めたと考えられている。

同様の施肥試験は、積丹半島南側の泊村でも実施されている。場所は小さな礫浜や離れ岩がある岩礁域 (図 1) で、ウニや無節サンゴモが優占する区域は離れ岩の沖側に限られ、ホンダワラ類やスガモ、小型海藻も点在する。初年度 (2018 年) は、8 月に事前調査を行い、礫浜の北側にはコンブがほとんどないことを確認した後、10 月に 4t を埋設し (青色)、コンブのスポアバッグも設置した。翌年 (2019 年)、埋設地の北側 (水色) の安定した巨礫の上にコンブが点在した (図 2、写真は 7 月)。10 月には礫浜南側に流入する用水の河口域と礫浜先端の配管残骸の 2 箇所 (赤色) に合計 3t の施肥材を埋設した。翌年 (2020 年) には、前年のコンブ群落 (水色) が密生・拡大したほか、既存のコンブ群落 (緑色) に隣接していた河口域 (黄色) の岩盤やその沖側の各種藻礁 (水深 4m) にもコンブが繁茂した。

夏季には高水温やウニ・小型巻貝の食害によって先枯れが進行するが、広がったコン

ブ群落からの遊走子の放出量は、スポアバッグからの放出量よりもはるかに多いことは想像に難くなく、タネ不足の解消が群落拡大を後押しした可能性もある。

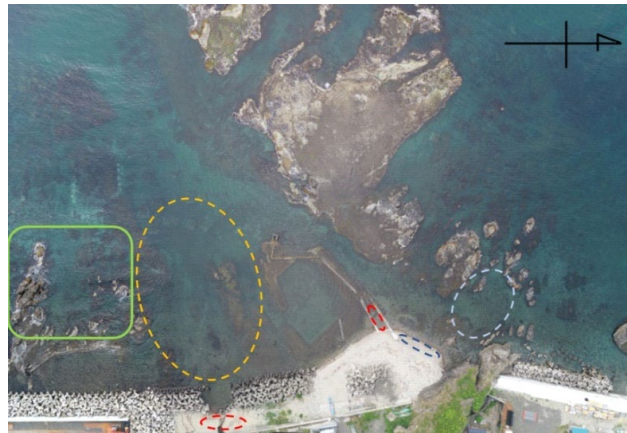
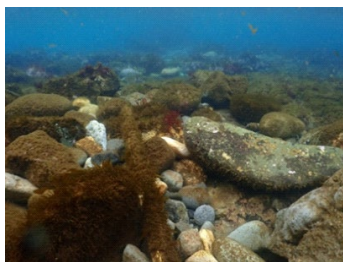


図1 北海道泊村沿岸の施肥箇所の地形（2019年6月、ドローン撮影）



水色箇所の施肥前



水色箇所の施肥後翌年



水色箇所の施肥後翌々年



用水での施肥材設置状況



用水河口の施肥前



用水河口の施肥後翌年



黄色域の沖側の藻礁



図2 泊村の施肥によるコンブ群落の拡大の様子

D 8. 流動促進

近傍に形成されている藻場の水深や流動を模倣して投石やブロック設置を行い、嵩上げなどによって流れを強めて、植食動物による食害を軽減する。

【解説】

ウニやアイゴ等は波による流動が激しいと分布できない。食害で磯焼けが発生している海域の大半は水深が深かったり、波当たりが弱かったりする場所で、植食動物の摂餌圧が高い場合が多い。したがって、植食動物が少ない浅い水深帯にブロック等に移設したり、嵩上げしたりすると食害が軽減される。

1) ウニ

かつての築磯は、着底基質の安定性に主眼が置かれ、生物と流れの関係は着目されていなかった。以下に示すように、天然の良好な藻場の流動環境を模倣すれば、ウニによる食害の軽減が期待できる。

Kawamata (1998) は、水槽実験でキタムラサキウニの摂餌活動を観察し、図 7-D8-1 の結果を得た。ウニの口は、殻の下側（基質に付着する面）の中心部にあり、海藻を摂餌するためには、基質に付着させている管足の大半を外して海藻の上に登らなければならない。流動中では不安定な体勢となる。無理な体勢で摂餌しようとする、ウニは剥がれ落ちてしまう。この限界流速は殻径 80 mm の大型ウニでも 40 cm/s であることが判明した。すなわち、波による振動流速（波動流速）の振幅がこれ以上になる頻度が高い場所はキタムラサキウニによる磯焼けが発生しにくいと考えられる。ウニの種類によってこの限界流速は異なるが、基本的には同じようなメカニズムであると推定される。

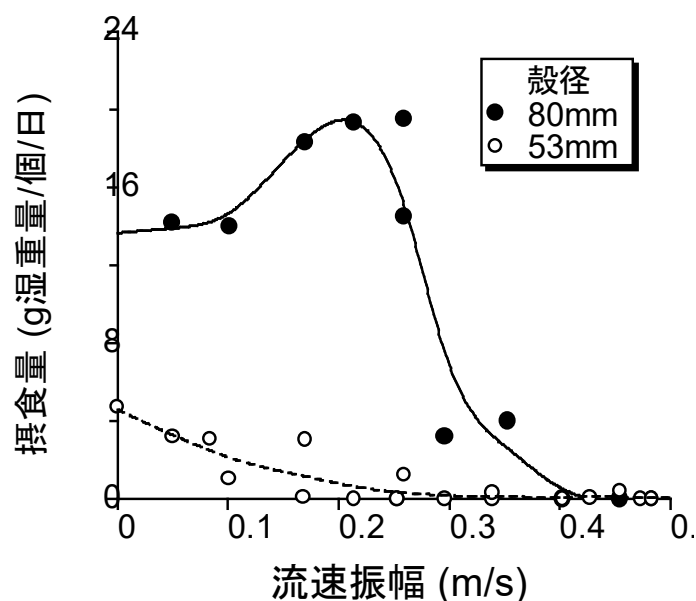


図 7-D8-1 キタムラサキウニのコンブ摂餌量と振動流速との関係

流速を大きくするには、水深を浅くする嵩上げが有効である。ところが、捨石等で海底を嵩上げすると、ウニの生息場（隠れ場）も創出してしまうことになる。常に波浪が高い場所であれば問題ないが、静穏な海況が数日続くと捨石に潜むウニが活発に海藻を摂餌し、期待したように藻場が回復しないことがある。さらに、嵩上げによって流速が速くなると作業性が低下する。したがって、流動促進として、捨石で一様に嵩上げするのではなく、図 7-D8-2 の最下段のように背が高くウニが登りにくいブロック等を使用して、離散的・部分的に嵩上げすることが望ましい。

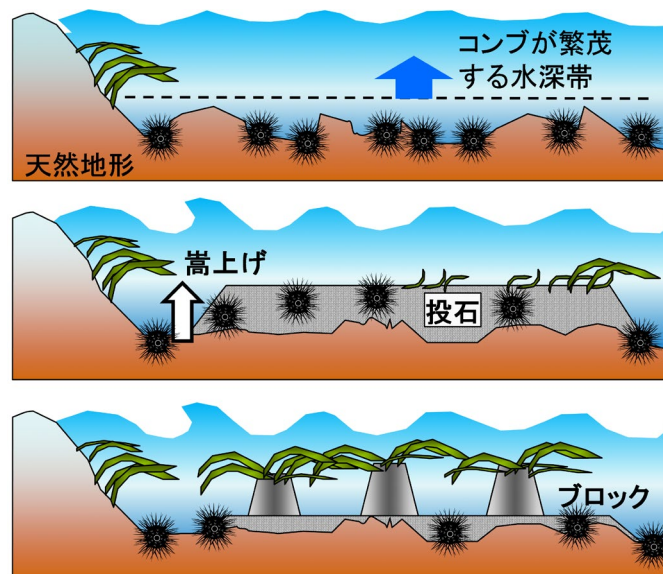


図 7-D8-2 嵩上げ工法の提案（綿貫，2014）

【コラム 7-D8-1】流動促進によりマコンブ群落が維持される事例

北海道寿都町地先に設置した藻場造成礁（囲い礁と潜堤）（図 1）では、施工後すべてにマコンブが生えたが、継続して群落が形成された礁と磯焼けになった礁がある（図 2）。ウニとコンブの分布およびウニの生殖巣指数を調べ、数値モデルを用いて底面波浪流速の制御効果（嵩上げ効果）の有効性が検討された（桑原ら，2002）。各造成礁は近接し、水温、塩分、栄養塩などの条件はほぼ同一であるが、コンブの生育、ウニの成長・身入りは大きく異なった。天端水深が深い沖側の囲い礁は底面波浪流速が小さく、キタムラサキウニの摂餌圧が周年高いため海藻はほとんど生育できない。一方、天端水深が浅い岸側の囲い礁や潜堤では、冬季の波浪により底面波浪流速が大きく、キタムラサキウニの摂餌圧が抑えられ、コンブの芽生えが守られた。その後、潜堤と岸側囲い礁では毎年コンブ群落が形成されたが、年変動も確認されており、岸側囲い礁では 2019 年から 2020 年にはコンブが減少した（高谷，未発表）。

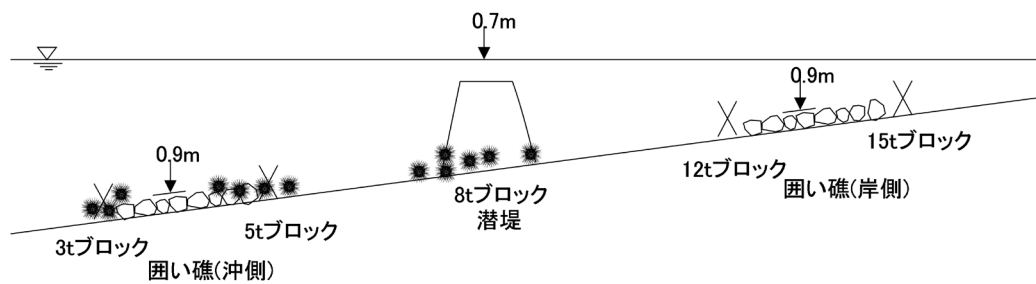


図1 藻場造成礁の断面模式図

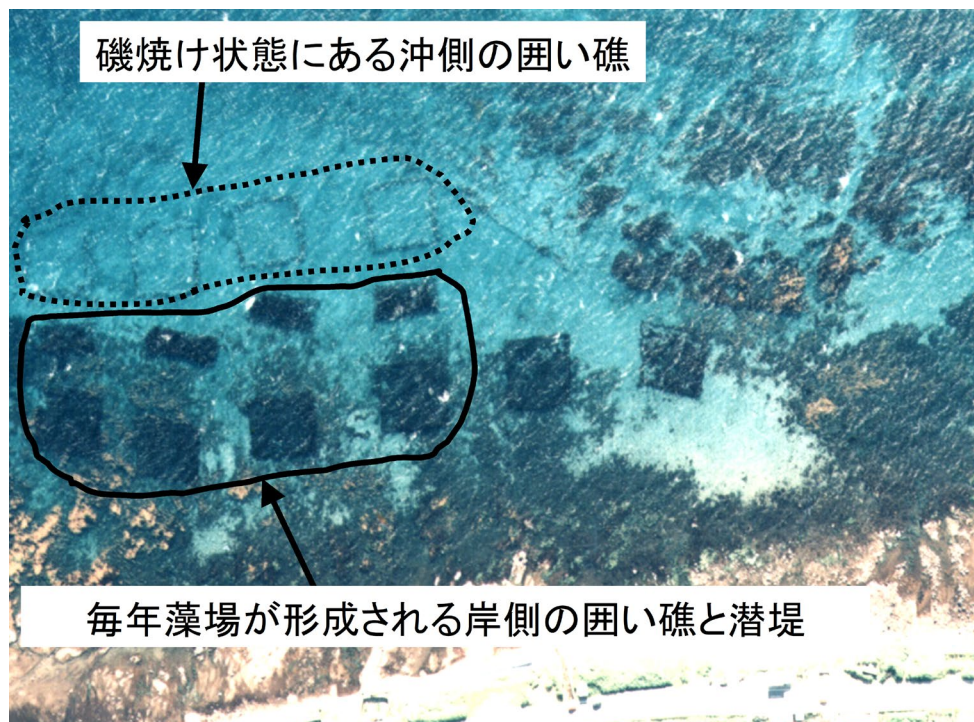


図2 北海道寿都町地先に設置した藻場造成礁（囲い礁と潜堤）

【コラム 7-D8-2】 増殖溝の流動を利用したウニ肥育事例

岩手県洋野町種市宿戸地区には、生産性が低い干出する平磯に溝を掘削してウニ・アワビを対象とした大規模増殖場（増殖溝方式）がある。溝（底辺部の幅 4.0m、深さ 0.6~0.9m）には、波のエネルギーで海水流動が起こる構造となっている。この増殖溝は、徹底した共同管理のもと、ウニの肥育場として利用されている。

利用方法は、人工種苗された稚ウニを増殖場の沖合（水深 10m 以深）に放流し、漁獲サイズに達したら潜水採捕して増殖溝へ移植する。半年後には、移植ウニは豊富な海藻を食べて身入り・色合いが向上し、老若男女の組合員総出で全数が漁獲され出荷されている（図 1）。



図1 増殖溝を利用したウニの肥育場

2) 植食性魚類

静岡県御前崎市地先では、2000年代に大規模な藻場の衰退が起こったが、最後まで残っていたのは御前崎の突端に位置する比較的浅い区域であった。しかし、この残存群落も、異常な高潮位時に植食性魚類の食害により消失した。また、南日本各地の潮間帯においては、適度の海水流動が得られる区域に生育するヒジキまで、植食性魚類の食害を受けることが知られており、浅所の海藻群落が必ずしも植食性魚類の採食から守られているわけではない。波当たりの強い外海域においても静穏時があるので、海水流動だけで植食性魚類の食害を防ぐことは難しい。

【コラム 7-D8-3】 アイゴの海藻摂餌に及ぼす振動流の影響

波浪の影響が強い所に海藻が食害をされずに残っていることがあり、植食性魚類の摂餌が流動によって制限されている可能性が指摘された。川俣・長谷川（2006）は、振動流を発生できる回流水槽を用いて振動流中でのアイゴのアラメ摂餌量を調べ、旺盛な食欲を示す時期の摂餌量として図 1 に示す結果を得た。アイゴのアラメ摂餌量は振動流の流速振幅の増加に伴い減少し、約 1.5m/s で完全に制限された。

この限界流速を超えるような、非常に強い流動が恒常的に発生する場合はほとんど実在しないし、造成することも困難であるが、波浪による振動流によってある程度の抑制効果が期待される。また、植食性魚類は海藻だけでなく動物を含む様々な生物を餌料とするため、海中での食害は、流動だけでなく、他の餌料生物の分布や量によっても影響されると考えられる。したがって、実際に食害防止に必要な流動の解明には様々な角度からの検討が必要であり、その解明は今後の課題である。

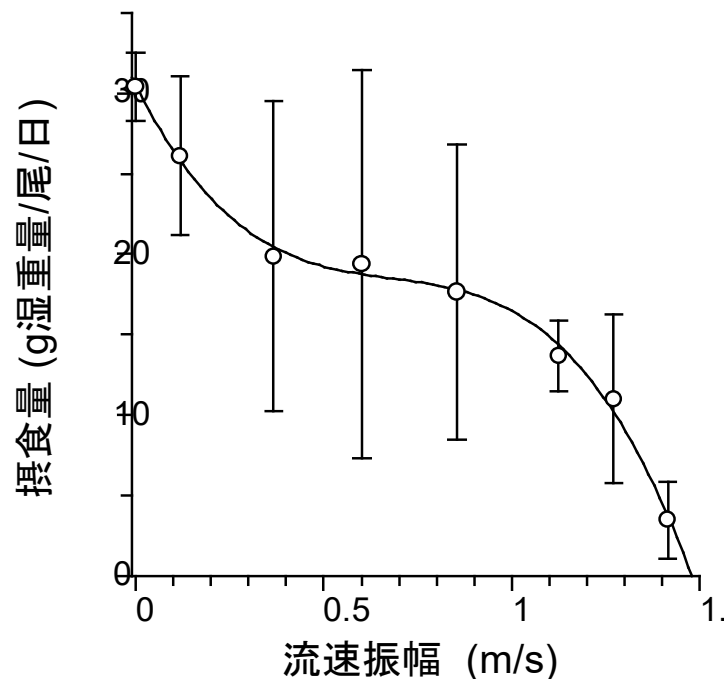


図 1 振動流中でのアイゴによるアラメ摂餌量（川俣・長谷川，2006 を一部改変）

【コラム 7-D8-4】 流速の違いによるカジメ藻場の残存

神奈川県では、1993 年から小田原市御幸の浜に設置された 5 基の人工リーフ（沿岸方向 220m×岸沖方向 50m）のうち、最も南西側の 1 基にカジメを移植して藻場造成を行ってきた。

カジメは順調に繁茂し群落を形成していたが、2004 年 10 月にアイゴの食害を受け、リーフの岸側（水深 6～7m）を除き大部分が消失した（図 1）。リーフ岸側にカジメ群落が残った要因として、波・流れによる流動環境が影響したと考えられた。

そこで、数値計算により、アイゴの食害を免れたリーフ岸側の流動環境を明らかにした。アイゴの食害を免れた領域（図1の下図）は、海浜流の平均流速分布が10 cm/s以上、これに波浪を加味した合成流速が25 cm/s以上の領域とよく一致し、流れがアイゴの摂餌行動に何らかの影響を与えていると考えられた（桑原ら，2006）。

2011年には回復の兆しを確認されたが、その後、再び藻場が衰退し、2019年には大型海藻が見られない状況になった。近年、相模湾各地で藻場が衰退しているが、アイゴの食害の影響が強いことが懸念されている。

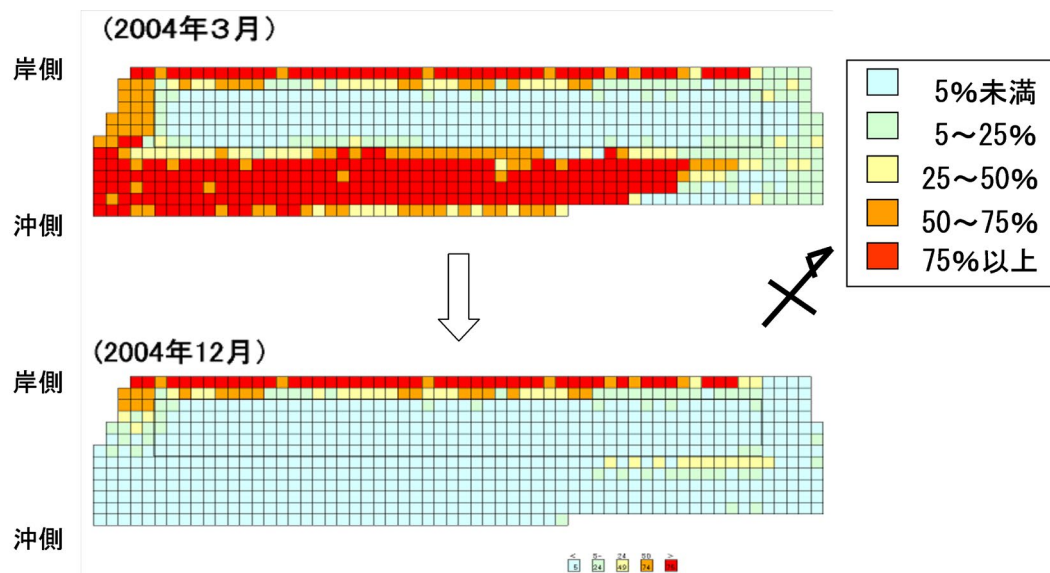
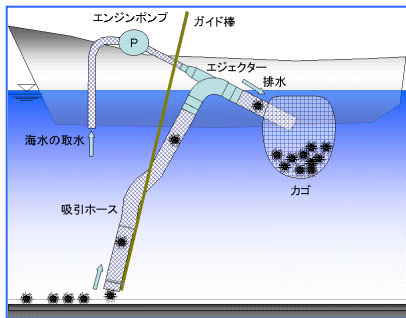


図1 食害によるカジメ分布の変化（凡例の数字は被度）

D 9. その他の技術

1) ウニ吸引ポンプ

図 7-D9-1 は、船上からポンプを使用してウニや小型巻貝などの植食動物を吸い上げる技術である。植食動物の密度が高く、かつ、透明度の高い海域では、ダイバーと同程度の効率でウニ等を吸引除去できる。ただし、吸引ホースが長くなると船上から吸引口をウニのいる場所に持っていくのが容易ではない。また、透明度が低い海域には向かず、棘の長いガンガゼもホース径を大きくしなければならず効率が悪い。



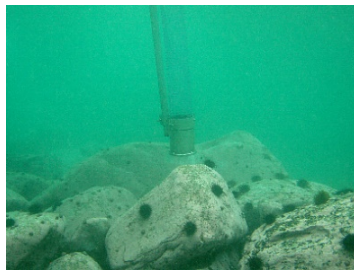
ウニ吸引ポンプの模式図



ウニ吸引ポンプの部品



船上からホースを入れる



ホースの先をウニに近づけて吸い込む



吸い上げられたウニ

図 7-D9-1 ウニ吸引ポンプ

【コラム 7-D9-1】世界初のウニ識別除去ロボット

宮城県の磯焼け海域のウニを効率的に駆除することを目指して、東京海洋大学と NEC ソリューションイノベータ株式会社が協力して、AI 技術によるウニ識別と遠隔操作型の無人潜水機 (ROV) (以下、ロボット) を世界で初めて開発した。

ロボットは 10 m 以深の磯焼け海域を探索し、広い面積を長時間除去することが可能である。最大吸引速度は 1 個体/2 秒 (1,800 個体/時間)、人力に比べて 3 割以上作業効率を削減した。また、ロボットに装備されたウニカゴには 1 回当たり 300 個体を収容でき、蓄養向けに使う場合には、高い生残率 (最大値 94.5%) で 200 個体を収容可能である。



図 1 ウニ識別除去ロボット

2) 投餌

図 7-D9-2 は、間引きされた養殖コンブをウニ焼け域に投餌し、天然藻場への摂餌圧を分散させる技術である。しかし、高密度にウニが生息する場合、頻繁かつ大量の投餌が必要となり、試験では十分な成果が得られなかった。それでも、ホタテ、ホヤ、カキ、魚類の養殖ロープに付くコンブを活用したり、コンブ養殖ロープを増やしたりすれば、今後の展開の可能性はあると思われる。

図 7-D9-3 は、海藻の養殖ロープを天然藻場の上に設置し、植食性魚類の摂餌圧分散をさせる試験を行ったが、ロープ上の海藻がすぐに摂餌され、天然藻場を保護することができなかった。

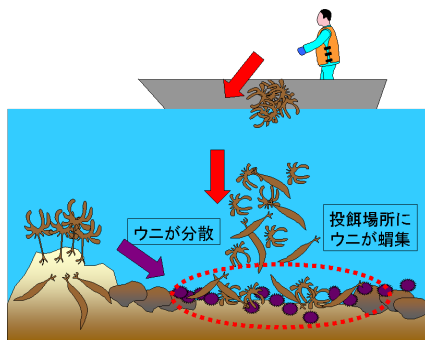


図 7-D9-2 ウニ対策の投餌

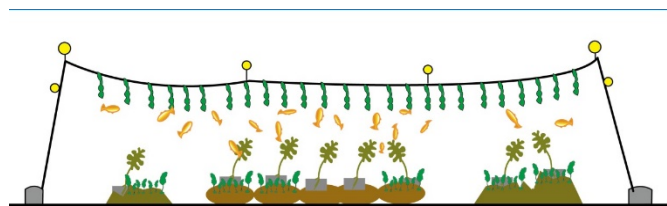


図 7-D9-3 魚対策の投餌

3) 音や電気パルス等による威嚇

図 7-D9-4 は、植食性魚類を衝撃音や電気パルスで威嚇して、海藻を保護する技術である。音に対してはすぐに馴致し、電気は電極近くでないと効果がみられず、どちらも威嚇効果はなかった。このほか、超音波、強光、磁力なども検討されたが、実用化には至っていない。

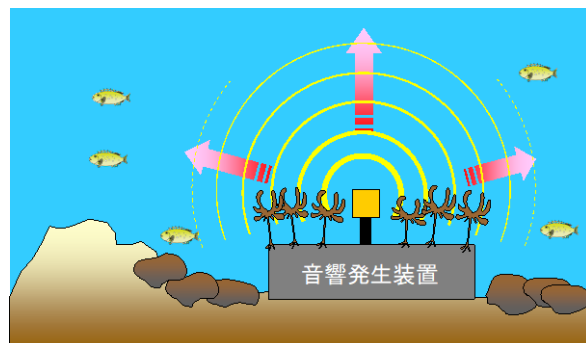


図 7-D9-4 音による威嚇

4) 化学的防御

図 7-D9-5 は、植食性魚類が忌避する物質を基質から溶出させ、魚を藻場に近寄らせない技術である。これまで、いくつかの実験が行われてきたが、長期間にわたって忌避物質を溶出させることが困難であり、実用化に至っていない。

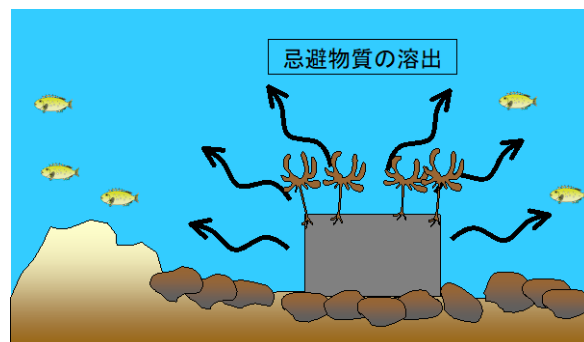


図 7-D9-5 化学的防御

5) 混植

図 7-D9-6 は、単一種が優占する海藻群落よりも複数種が混生する群落の方が、藻場が残存しやすいことをヒントにした藻場を保護する技術である。一部でそのような傾向が認められたが、効果の発現機構が明らかになっていない。また、植食性魚類の摂餌圧が高い海域では効果がみられなかった。

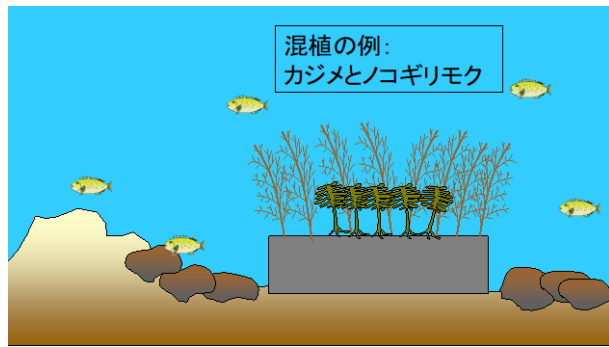


図 7-D9-6 混植

6) 釣り

釣りによる除去量は少ないが、漁業者だけでなく一般市民（遊漁者等）の協力が得られれば、持続的な除去に繋がり、有効な対策として期待できる。植食性魚類別の一般的な釣り方を表 7-D9-1 に示す。

釣りによる除去を持続させるには、釣り上げた植食性魚類をリリース（再放流）しないことが必要である。このためには、一般市民の方々には、磯焼けの現状や植食性魚類が藻場に悪影響を与えていること、釣り上げた植食性魚類は美味しく食べることができること、食害を及ぼしていることなどを知ってもらうため、各地で釣り大会や試食会を企画するのもよい。

表 7-D9-1 植食性魚類の釣り方

魚種	釣期	餌	情報
アイゴ	和歌山県や三重県では夏から秋によく釣れる。	<ul style="list-style-type: none"> ・オキアミ(頭と尾を取る、2匹を抱き合わせにする)、酒粕のダンゴ、干して黒く変色した酒粕、ムギ(蒸す、水でふやかす)、味噌と小麦粉を練ったダンゴ(耳たぶ程の柔らかさ)、アオサ、アマモ。メジナ釣りの餌も使用可能。 ・撒き餌は、塩アミ、粗挽きさなぎ、押し麦などを混ぜて、米ぬかやパン粉を加える。 ※アミ類を使用すると雑魚が集まり効率が悪く、酒粕の匂いでアイゴを引きつける。 ・餌メーカーから専用の餌が販売されている。 	<p>(山内, 2006)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・明るくなってから餌を食べる。 ・引きは強いが、アタリは非常に弱いので、微妙な浮きの変化で合わせてみる。引っ掛ける感じで釣ることが多く、釣針を吞まれることは少ない。 ・棘に毒があるので気を付ける。
ブダイ	ほぼ一年中。	<ul style="list-style-type: none"> ・ハバノリ、カニ類、エビ類、オキアミなど。 ・夏場はカニ類(ショウジンガニ、イソガニ、イシガニ)を用い、ぶっ込み釣りで根回りを狙う。ただし、食い込みに時間がかかる。 ・冬場はハバノリ、ヒジキ、ホンダワラ類などの海藻、茹でたホウレンソウやダイコン葉も餌となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・浅い岩礁底でウキ釣り。餌が海底から 0.5~1m 程度で自然に漂うように浮き下の長さを調整する。 ・よく釣れるのは海底付近、あまり中層に浮き上がって採食しない。 ・ぶっ込み釣りでは、磯場に沿って仕掛けを投入。餌が底に着いたら海底から 50 cm程離しておく。
イスズミ類	八丈島では 11~2月。	・エビ、カニ、フジツボ、ハバノリ、オキアミ。	特になし。
ニザダイ	周年(春~初夏が好期)。	・オキアミ、イソメ、エビ。	特になし。

【コラム 7-D9-2】★一般市民参加の植食性魚類釣り教室

一般市民を募って行われた釣り教室の取り組み事例を紹介する。

日時：2009年5月31日(日) 8:00~14:00

場所：神奈川県三浦市三崎港

参加者数：57名

講師：東京海洋大学藤田准教授、釣りインストラクター

一般参加者は、「藻場の役割とアイゴ」の勉強会、および「釣りの方法」と「安全管理」などについて指導を受けた後、遊漁船4隻に分乗してアイゴをねらった「釣り教室」に参加した。帰港後に行ったアイゴの料理試食会は好評を博した。これら一連の取り組み(勉強会、釣り教室、試食会)は、「釣ったアイゴを食べて、藻場を守る」普

及啓蒙活動として実施された（図1）。

参加者からのアンケート結果では、藻場の重要性や植食性魚類の食害について新たな認識が得られたとの感想が寄せられた。また、事前にマスコミ関係者へ周知を行い、当日取材を受けた。後日、雑誌「釣り情報」、「月刊ダイバー」に記事が掲載され、NHK総合テレビ番組「お元気ですか日本列島」で放送されるなど、広範囲への情報発信となった。



図1 一般市民参加の釣り教室の様子

7) アイゴ稚魚の追い込み漁

アイゴの稚魚の着底は8～9月に観察され、全長30～40mmの個体はガラモ場の浅所（水深1～2m）で大群を形成することが多いので、袋網と刺網を用いて追い込み網方式で大量に漁獲する。

追い込み方式は、ダイバーが目視でアイゴ稚魚の群れを把握し、群れの周辺の適当な場所に袋網を設置する。次に、袋網の開口部の両脇に刺網を末広型に配置する（図7-D9-7）。刺網は、群れを袋網まで誘導するための垣網として使うので、稚魚が警戒しないように透明なナイロン製テグス網（太さは1号程度）にするとよい。目合20mm、高さ1mで、長さは15m程度あればよく、錘は海底に絡みにくい沈子コードがよい。

ダイバーは稚魚の群れを網で囲まれた区域へゆっくりと追い込み、網に沿って群れが袋網に入るように誘導する。入網後は網口を蓋網等で閉じ、群れが網の末端へ移動したら、中央部のロープを絞って逃げ道をふさぐ。群れを効率よく袋網へ追い込むために、片手または両手に手網を持って群れを誘導する。

図 7-D9-8 は、実際に使った袋網の仕様を示す（特注品）。網地はナイロン製のモジ網（目合 4 mm×4 mm）、開口部の大きさは 1m×1m、奥行き 3m の箱形の網である。開口部には同じくモジ網で 1m×1m の袖網を付け、下部には開口部に蓋をする網（ナイロンラッセル製、6本 27 節）を取り付けた。袋網の末端にはファスナーを取り付け、追い込んだ魚を末端から取り出せるようにしてある。錘には沈子コードを使用し、袋網を絞るリングとロープを付けた。網口をふさぐ時間を稼ぐために、袋網の奥行きは長い方がよく、3m 以上は必要である。

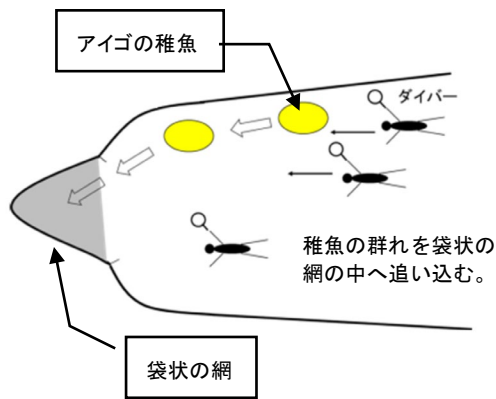


図 7-D9-7 袋網への追い込み方法

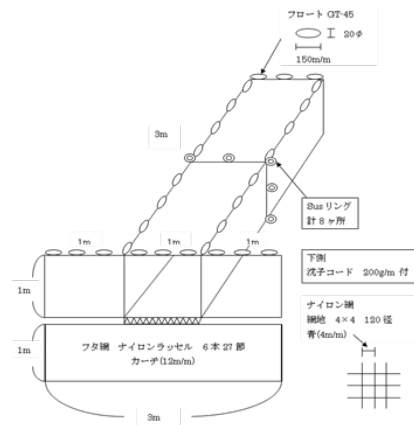


図 7-D9-8 袋網の仕様



図 7-D9-10 追い込み漁に用いた袋網

8) 人工海藻

図 7-D9-11 は、化学繊維を用いて葉状の海藻を模倣した加工品を使って、天然藻場と同様の機能を持たせる技術である。図 7-D9-11 で使用したものは、強い繊維を主軸にポリ乳酸繊維で覆った人工海藻（長さ 1.5m）である。

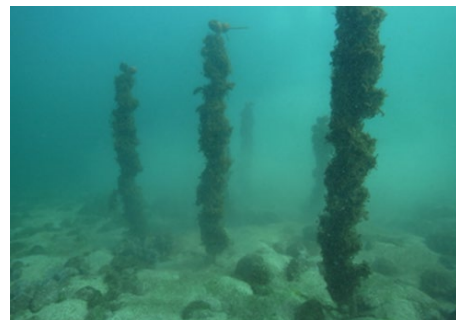


図 7-D9-11 人工海藻

この試験では素材の安全性が確認され、稚仔魚の保育場としての機能も果たしたが、カキやホヤなどの着生による沈下・倒壊、コスト高、および廃棄処理が課題となっている。

E. モニタリング

磯焼け対策を実施したら、定期的に対策場所、および周辺海域のモニタリングを行い、対策の成果を確認する。

【解説】

モニタリングとは「監視」の意味であり、ある程度の頻度で継続することが重要である。過去のデータは、誰かが取得していなければ絶対に得られない。また、定点で同時期もしくは定期的に観察したデータや写真等の記録は特に貴重である。

毎日のように海に出ている漁業者が、船上から海中を箱メガネで覗く程度の日常的なモニタリング（以下、日常モニタリング）であっても、記録として残すことが貴重な情報となる。また、日常モニタリングとは別に、海藻種の繁茂期を含め、年1回以上、「B. 現状把握」で示したものと同様の定期モニタリングを実施する。そこで得られた結果を経時的に比較することで、実施した対策技術の効果が把握でき、評価がしやすくなる。なお、現状や長期的変化を定量的に把握する「定期モニタリング」は、専門家（サポーター）や民間会社に委託する以外に、若手の漁業者や市民ボランティアなどがモニタリングの方法を習い、自らモニタリングできるようになることが大切である（図7-E-1）。

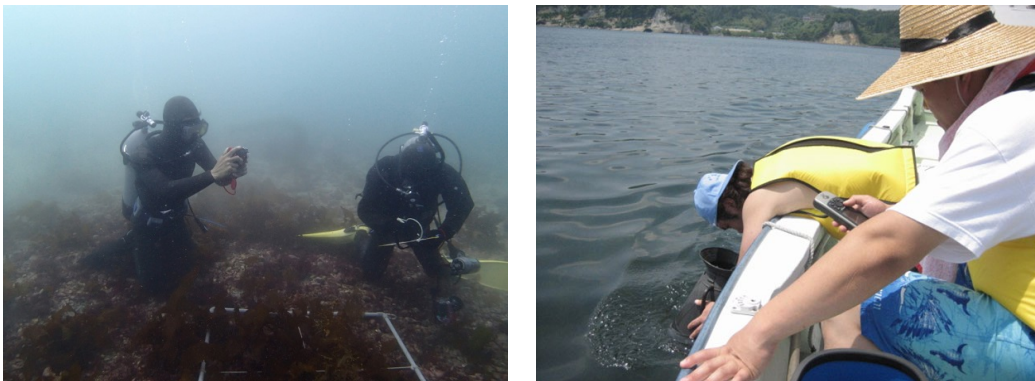


図7-E-1 漁業者自らが行うモニタリング

1) 日常モニタリング

日常モニタリングでは、海藻の生育状況、海藻の食害、植食性魚類の漁獲、魚介類の産卵、流れ藻、打ち上げ藻、水温の変化、赤潮、魚介類の大発生や大量斃死、濁り、土砂の流入、ゴミの堆積、開発や土砂崩れなどによる地形の変化、あるいは異常気象情報（豪雨や暴風など）の報道など、藻場と周辺の環境をそのつど記録するとよい。

2) 定期モニタリング

定期モニタリングは、年1回以上、同じ時期（繁茂期が望ましい）に実施する。モニタリングの方法は、「B. 現状把握」を参照する。

(1) 携帯型 GPS 等を用いた藻場面積の計測

人工衛星により位置を記録できる携帯型 GPS やスマートフォンの面積計測専用アプリを使って、藻場の面積を測定することができる。図 7-E-2 に示すとおり、藻場の縁辺に沿って移動し、逐次位置を押さえて記録する。携帯型 GPS の場合は、記録データをパソコンに取り込み、フリーソフト（カシミール 3D、Google Earth Pro 等）を用いて藻場の面積を計算する。また、計測した藻場面積は、経時的に表示することで変化も把握することが可能である。スマートフォンの面積計測専用アプリの場合は、その場で面積を計測することができるが記録保持ができない場合もあるので、計測された数値は必ず記録しておく。これらの方法は、簡易に精度よく面積を計算できるが、広範囲の藻場を計測するには向いていない。携帯型 GPS の操作方法やパソコンでのデータ処理法については、専門家（サポーター）の指導を受けるとよい。



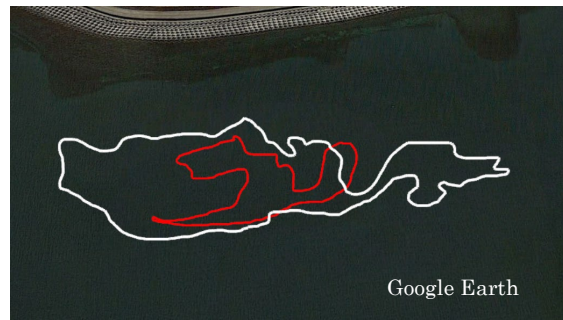
藻場の輪郭を視認できる場合は、海面を泳ぎながら位置を記録する。



海面から視認が不可能な場合は、ダイバーの吐く泡の位置を船上から記録する。



地図ソフト(カシミール3D)を用いて、記録したデータを表示させて面積を計測する。



記録した位置データを用いて、経年的な藻場面積の変化を表した例。赤線が 2016 年、白線が 2017 年。

図 7-E-2 携帯型 GPS による藻場面積の計測と表示例

(2) 藻場の実勢面積の把握

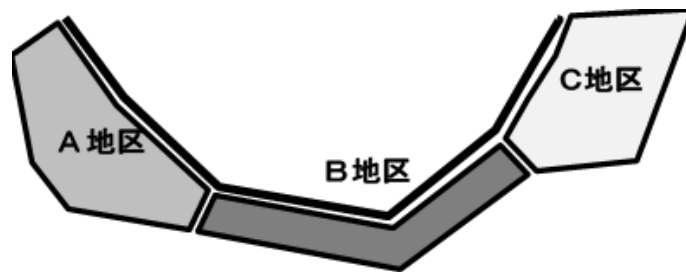
藻場は海藻が密生していても、疎らであっても、同じ面積として扱われている。そのため、磯焼け対策で藻場が疎生から濃生に改善されても、面積的には評価が同じとされてしまう。そこで、藻場の変遷を適正に把握するため、磯場の面積に海藻の被度を乗じた「藻場の実勢面積」を算出する方法が使われている。

例えば、磯場面積が 10 ha の場合、被度が 20% から 80% になれば、藻場の実勢面積は

2 haから8 haに増加する。磯場の面積は、岩盤や礫などの海藻の着生基質がある範囲(「磯」と呼ぶ)とし、藻場の下限水深を考慮し、航空写真や海図などからおおよその磯面積を算出する。あるいは、磯の長さに幅を掛けて磯面積を計算してもよい。藻場の実勢面積は次式で算出できる。

$$\text{藻場の実勢面積} = \text{磯面積 (ha)} \times \text{平均被度 (\%)}$$

図 7-E-3 の磯の場合は、A・B・C 地区全体の磯面積は 34 haであり、海藻の繁茂状況を考慮した藻場の実勢面積は 26 haとなる。



地区	種類	磯面積	平均被度	実勢面積
A地区	ガラモ場	15 ha	60%	9 ha
B地区	カジメ場	9 ha	100%	9 ha
C地区	テングサ場	10 ha	80%	8 ha
合計		34 ha	—	26 ha

図 7-E-3 実勢面積の計算

この方法は、精度は高くないが、広域の藻場の変動を把握するのに向いている。対象海域を細分化し、区域毎に調査を行えば、精度を上げることができる。また、大型海藻、小型海藻に分けて被度を観察すれば、図 7-E-4 に示すようにそれぞれの面積の変化の傾向も把握できる。

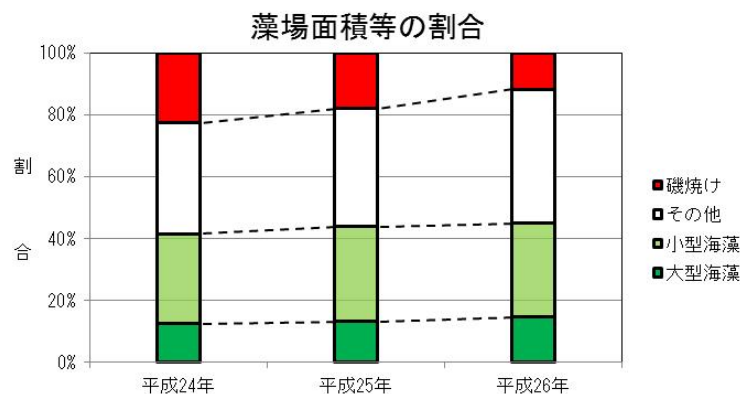


図 7-E-4 再生藻場の変遷

3) 植食性魚類の除去効果を評価するためのモニタリング

ウニと異なり生息数が把握しにくい植食性魚類の場合は、対策の実施後に、簡易な現地実験や定期モニタリングで海藻の繁茂状況、摂餌痕を確認し、魚の除去効果を評価して、除去手法の改善や追加対策の必要性を検討する。

簡易な現地実験では、増やしたい海藻を除去区と対照区の数箇所に設置し、食害による葉の欠損量と所要時間から食圧 (g/時間) を算出する。餌の海藻は予め重量を測定しておき、設置場所から 2~3m 離れた位置から防水タイムラプスカメラ (撮影間隔は 10 秒) で撮影する。翌日餌海藻を回収し、重量を測定する。設置時の餌海藻の重量から回収時の海藻を引いた葉の欠損量と画像に映る植食性魚類の状況から、除去手法の見直しや追加対策の必要性を検討する。海藻設置実験の方法は本章の B2 を参照する。

【コラム 7-E-1】★DeLury 法による除去前個体数の推定と除去効果の評価

除去したブダイの個体数から、DeLury (デルリ) 法を用いて除去前個体数の推定を行った。除去個体数をこの除去前推定個体数で割ることにより、使用した漁具での除去率を計算する。この手法による評価は次の手順で実施する。

- ① 刺網により除去したブダイの個体数と使用した網の反数等の漁獲データを記録する。
- ② CPUE (ここでは 1 反当たりの漁獲尾数) と累積漁獲個体数 (量) の関係式を作る (図 1)。
- ③ X 切片 (CPUE がゼロとなる累積漁獲個体数) が除去前個体数の推定値となる (図 1 では 758 個体)。
- ④ 除去個体数を除去前推定個体数で割ると除去率が推定できる。

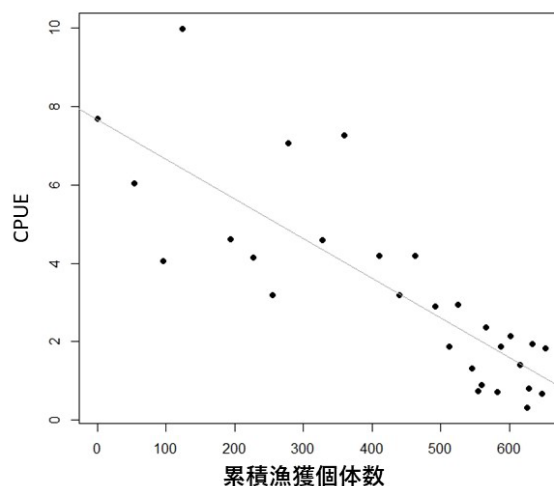


図 1 DeLury 法による除去前個体数の推定

F. 対策の評価

モニタリングの結果を踏まえ、目標が達成できているか評価して、評価内容に応じて計画を見直す。

【解説】

モニタリングの結果は、専門家（サポーター）と相談しながら目標の達成度（対策の効果）を評価する。評価方法としては、例えば、短期目標が「海藻被度を1年で5%以上増加させる」、そのための指標値が「ガンガゼの密度を2~3個体/m²以下、あるいは、50,000個体のガンガゼを除去する」だった場合、まずガンガゼの密度・除去数の達成度を評価し、短期目標の海藻被度の増加率を評価する。加えて、日々の活動に対するマネジメント（手順や管理体制など）も踏まえて分析し、達成度の質を評価することも重要である。

短期目標が達成できていれば、中期・長期の目標に対しても、関係者間で合意が得られる達成度かどうか評価するとよい。

G. 次の磯焼け対策の検討

評価内容に応じて次の磯焼け対策を検討し、対策を継続する。

【解説】

評価の結果が「達成した」と判断された場合は、磯焼けが感知されていて未対策の場所を新しい対策場所に設定するとよい。また、達成した対策場所についても、実施した対策技術の効果には「寿命」（有効期間）があることを忘れずに、藻場が維持・拡大するようにフォローしながら見守り続けることが大切である。

「未達成」の場合には、対策に効果がみられていれば、目標達成に近づくまで継続するか追加措置を行うか検討する。全く効果がみられなかった場合は、「B. 現状把握」にフィードバックし、計画を見直す必要がある。未達成の判断には、①藻場が再生しなかった、②期待した海藻種が生えなかった、③期待した被度にならなかった、④評価判定の時期が早すぎた、などが挙げられる。このうち①~③の場合は、対策手法を見直す必要がある。取り組み方が間違っていない場合でも、設定面積、実施時期、対策の徹底度（除去の場合の取り残し）、要因の複合化（例えば、実際にはウニだけでなく植食性魚類も影響を及ぼしていた、植食動物の食害に加えて海藻のタネも不足していた）などの問題が後から見つかることがある。このような場合には、失敗の要因を1つずつ明らかにすれば、地先の藻場に対する理解も深まり、より効果的、効率的な対策を講じることができるようになる。また、④の場合、多年生海藻の群落は完成するまで数年を要して遷移するので、近隣の類似藻場を参考にして、モニタリングを継続する方がよい。このほか、実施した磯焼け対策には特に問題がなくても、海水温の変動や周辺の沿岸改変など、想定外の問題が起きていることも考えられるので、活動の効果がみられなかった場合には、専門家（サポーター）や行政担当者に相談することが望ましい。