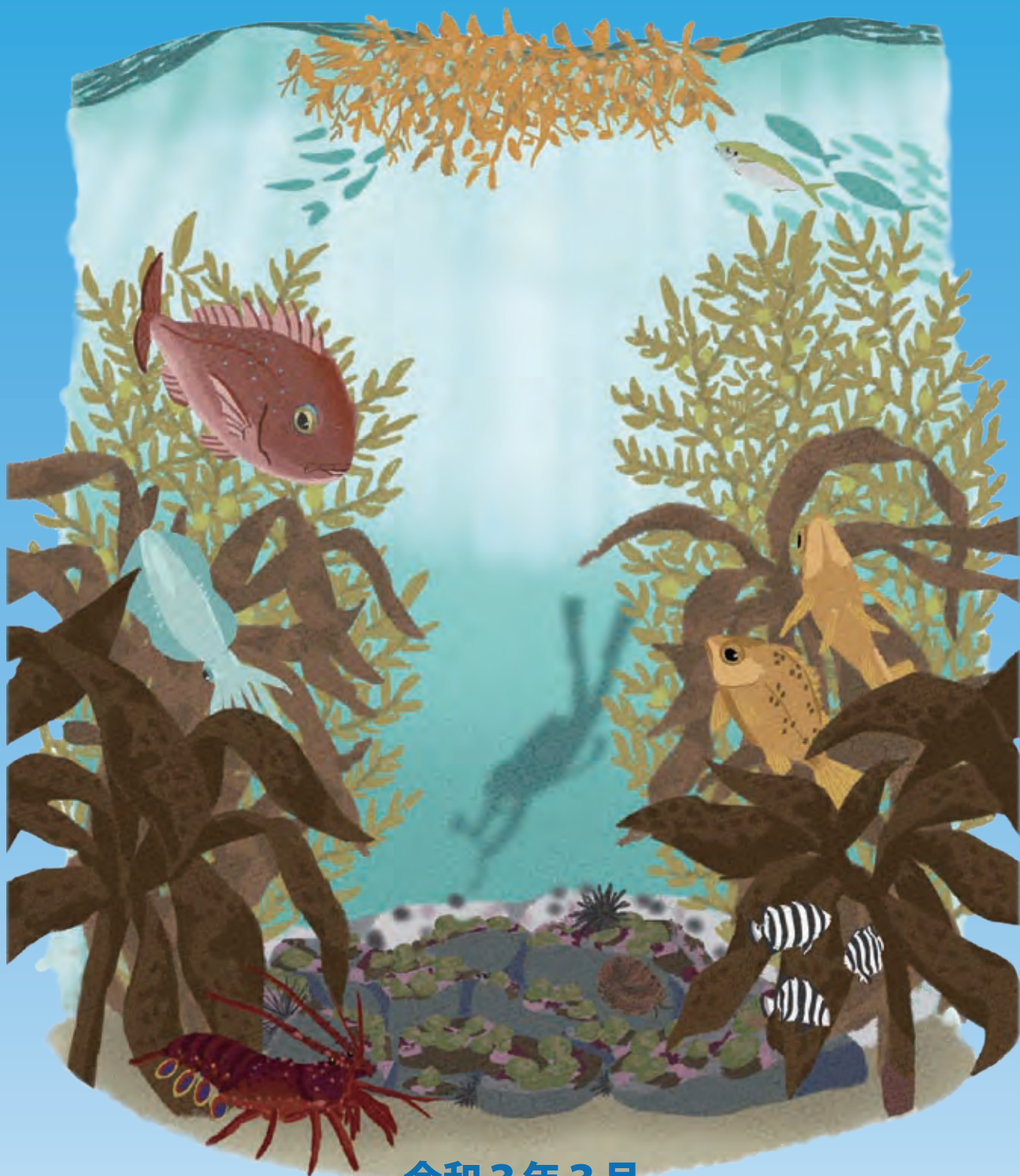


第3版

磯焼け対策ガイドライン



令和3年3月

水産庁

まえがき

わが国は周りを海に囲まれた島国であるため、古くから水産物の恵みを享受してきました。そんな水産物にとって重要な役割を果たしているのが藻場であり、水産生物の産卵場所や幼稚仔魚の生息場所としての機能や、アワビ・サザエといった海藻食の水産生物や水産上重要な捕食生物の餌場としての機能などを有し、漁業資源の増殖に寄与しています。

水産庁では水産物を広く安定供給するため、水産基本計画や漁港漁場整備長期計画に沿って水産生物の成育環境を整える施策を実施しており、藻場はそのような環境を構成する大切な要素です。そんな藻場が大規模に衰退・消失してしまう「磯焼け」の拡大は水産業に多大な影響を与えています。また、近年では二酸化炭素（CO₂）の固定先としてブルーカーボン（海洋生物によって隔離・貯留される炭素）が注目を集め、藻場にもその役割が期待されています。水産庁ではこれまで、磯焼け対策が漁業者をはじめ皆様に広く実施いただけるように『磯焼け対策ガイドライン（平成 19 年）』『改訂版 磯焼け対策ガイドライン（平成 27 年）』を策定してきました。

これまでに、全国の地先で水産多面的機能発揮対策事業などを活用した磯焼け対策が実施されており、藻場が回復した事例が多数見受けられるようになりました。しかし、藻場の回復が小規模であったり、一時的に藻場が回復した後に再び磯焼け状態に戻ったりといったことも多く、一旦回復した藻場の維持拡大がこれからの課題と言えます。このような課題の原因として、磯焼け対策を持続的に実施するための体制づくりの問題や、近年の海域環境の変化によって藻場の回復阻害要因が複雑化したことなどが考えられます。例えば、海水温の上昇によって従来の藻場構成種が消失したり、植食動物の分布拡大によって従来の磯焼け対策だけでは効果が上がらなくなることが考えられます。こういった場合は、主たる藻場の回復阻害要因が変化した、または複数に増えた可能性があるため、改めて現状を把握し、状況によっては複数の対策技術を効果的に組み合わせることが藻場回復へと繋がります。

今回、『磯焼け対策ガイドライン』を改訂するに当たっては、東京海洋大学の藤田大介准教授をはじめとする各分野の専門家の方々から多数の貴重な御助言を頂きながら、藻場を取り巻く多くの問題に対応できるよう努めました。特に、近年の海域環境の変化に対応した磯焼け対策を実施できるようにするとともに、持続的な活動に資するものとなるように、事例を交えて解説することを心がけました。具体的には、近年ますます藻場への影響が大きくなっている植食性魚類対策の強化に加え、参考となる各地の対策事例を多数掲載しております。その他にも UAV（ドローン）等の ICT（情報通信技術）を活用した藻場の現状把握の効率化に繋がる新しい技術を紹介しております。

磯焼け対策に取り組む全国の皆様に、今回改訂した「磯焼け対策ガイドライン」を積極的にご活用いただき、各々の活動場所で磯焼けが解決されることを期待しています。ひいては全国の藻場が大きく回復・維持され、水産資源の増殖へと繋がることを願っております。

令和 3 年 3 月

水産庁漁港漁場整備部長 山本 竜太郎

はじめに

磯焼けは、藻場が衰退したまま回復せず不毛な状態が続く現象です。藻場が衰退すると、有用な魚介藻類が減り、成長や身入りが悪くなるので沿岸漁業に大きな影響を及ぼします。四方を海に囲まれ海藻や磯根資源の利用が盛んだった日本では、世界で最も早く、100年以上も前にこの現象に気がつき、投石や磯掃除、施肥など、減少した海藻を増やそうとする努力も行われてきました。一昔前の冷涼な気候の下で、自然が保たれ、適度な漁獲が行われていた時代には、このような努力も実を結びやすかったと思います。

しかし、この四半世紀ほどの間に、地球規模で温暖化の影響が顕在化し、海水温の上昇が続き、藻場の衰退域が拡大しただけでなく、魚介類の分布域も変化しています。また、暴風雨や洪水が多発・激化し、その対策として進められた護岸や消波施設の整備、河川流域の管理が沿岸の環境を大きく変えています。さらに、健康ブームやインバウンド需要の増加により水産物の乱獲が続き、沿岸の群集が脆弱になりつつあります。一方、漁業者の減少、高齢化や兼業化が進み、藻場の管理や回復の担い手が不足し、行政・工事任せの対策により、かえって植食動物を増やしたり海底の藻場を管理しづらくしたりしている場合もあります。

『磯焼け対策ガイドライン』は、漁業者自らが主体となって藻場の回復を計画・実行できるようにするために、先人の知恵と技術を結集して編纂されてきました。初版（2007年）から14年、改訂版（2015年）から6年が経過し、この間、藻場を取り巻く状況も大きく変化しました。ドローンや水中ドローンの普及により、藻場を見守る方法は大きく進展しました。2009年に環境生態系保全活動支援推進事業、2013年に後継の水産多面的機能発揮対策事業が始まり、藻場の回復やモニタリングを含む漁業者らの活動を支援する、世界でも類をみない公的補助制度が確立されました。2011年の東日本大震災による津波や原発事故は沿岸の集落や水産業には大きな打撃を与えましたが、被災した沿岸では一時的に本来の藻場が回復した場所もあり、海水流動や栄養塩供給の大切さが再認識させられました。2009年には、地球温暖化に関わる二酸化炭素（CO₂）の海洋貯蔵庫が国連によりブルーカーボンと命名され、温暖化防止の側面からも藻場の重要性が世界で認識されるようになり、歴史ある日本の磯焼けの知見や対策への関心が急速に高まっています。国内でも、これまで軽視されてきた食物連鎖による植食動物の調節が見直され、漁業者が減って放棄された漁場（藻場）での藻場の回復や維持管理に向けて期待されています。なお、海洋プラスチック汚染が深刻化しており、藻場回復で使用するツールの素材や管理にも配慮しなければならなくなっています。

このような中で、条件に恵まれた海域では着実に藻場を着実に回復、拡大し、磯根資源を増やすとともに、条件の厳しい海域でも「with 磯焼け」という形で磯焼けと上手に付き合っていかなければなりません。本ガイドラインがよき道標となり、一か所でも多くの藻場が回復され、豊かな沿岸が取り戻されることを願ってやみません。

令和3年3月

水産基盤整備調査委託事業「藻場回復・保全技術の高度化検討委員会」委員長 藤田大介

目 次

まえがき

はじめに

第1章 ガイドラインの趣旨	1
第2章 藻場とは	3
2.1 藻場の区分	3
2.2 藻場の役割	8
2.3 藻場の経済的価値	12
2.4 藻場構成種の生活史	13
2.5 藻場の季節的消長	14
第3章 磯焼けとは	18
3.1 磯焼けの定義	18
3.2 磯焼けの発生・持続の原因と温暖化	19
3.3 磯焼けの植生パターン	20
3.4 貧植生域の景観と無節サンゴモ	22
3.5 磯焼けの影響と回復までの期間	24
3.6 磯焼けと区別すべき景観・事象	26
3.7 磯焼け研究の事始め	27
3.8 食害型の磯焼け	30
3.9 栄養塩と攪乱	35
第4章 代表的な植食動物	36
4.1 ウニ類	36
4.2 植食性魚類	44
4.3 腹足類	55
第5章 我が国沿岸の磯焼けの現状	60
5.1 全国の藻場の状況	60
5.2 各地の藻場・磯焼けの現状	62
第6章 磯焼け対策の基本的な考え方と計画・設計	74
6.1 実効性の高い磯焼け対策の視点	74
6.2 計画づくり	75
6.3 体制づくり	79
6.4 維持管理	84
6.5 事後評価と次の磯焼け対策の検討	84
第7章 磯焼け対策手法	85
A. 磯焼けの感知	85

B. 現状把握	88
B 1. 現状把握調査とそれに基づく要因の特定	88
B 2. 要因を特定するための簡易な現地実験と調査	97
C. 対策手法の検討と計画づくり	107
D. 対策の実施	112
D 1. ウニの除去	112
D 2. 魚類の除去	119
D 3. フェンス	132
D 4. 海藻のタネの供給	139
D 5. 基質の提供	154
D 6. 基質形状の工夫	161
D 7. 栄養塩の供給	165
D 8. 流動促進	174
D 9. その他の技術	180
E. モニタリング	186
F. 対策の評価	190
G. 次の磯焼け対策の検討	190
第8章 磯焼け対策の事例	191
8. 1 食害対策の基本的な取り組み	191
8. 2 流れを考慮した磯焼け対策	193
8. 3 長期的な磯焼け対策の取り組み	198
8. 4 磯焼け対策を持続させる取り組み	201
8. 5 植食動物から海藻を守る藻場造成手法	206
8. 6 イスズミトラップ	209
8. 7 イスズミの買取り制度	211
8. 8 食べる磯焼け対策	213
8. 9 植食動物の食品以外の有効利用	220
参考資料1 用語説明	223
参考資料2 許可・法律関係	226
引用文献・参考文献	232

－ コラム 目次 －

【コラム 2-2-1】 ブルーカーボン	9
【コラム 2-2-2】 藻場の年間純生産量と現存量	11
【コラム 3-8-1】 ★ウニの捕食者による藻場の維持	32
【コラム 3-8-2】 イシダイ-ガンガゼ-海藻の栄養段階カスケードはありうる!?	33
【コラム 3-8-3】 イセエビはウニだけを食する食害対策の救世主!?	34
【コラム 4-2-1】 ★アイゴの採食生態の調査事例	46
【コラム 4-2-2】 アイゴの群れの大きさと採食速度	47
【コラム 4-2-3】 ★アイゴの天敵	47
【コラム 4-2-4】 ★宮崎県で見られたイスズミ類の魚群	53
【コラム 4-2-5】 千葉県で撮影された大規模なノトイスズミの魚群	54
【コラム 7-B1-1】 ★空撮画像による藻場分布の調査事例	95
【コラム 7-B2-1】 栄養塩の変化が原因で表れる海藻の変化	105
【コラム 7-B2-2】 浮泥の採取・測定方法	106
【コラム 7-C-1】 植食性魚類の食害対策を行わない選択	110
【コラム 7-D1-1】 ウニ除去後の効果の持続	117
【コラム 7-D1-2】 ウニ密度と藻場の関係	118
【コラム 7-D2-1】 カゴによるアイゴの漁獲	121
【コラム 7-D2-2】 植食性魚類対策における混獲問題	126
【コラム 7-D4-1】 流れを調べる	146
【コラム 7-D4-2】 ★海藻のタネの拡散範囲	147
【コラム 7-D5-1】 藻場礁	156
【コラム 7-D5-2】 付着生物の除去による海藻の繁茂	160
【コラム 7-D6-1】 基質の形状を工夫した食害防御	164
【コラム 7-D7-1】 海藻の成長における栄養塩と流れの関係	166
【コラム 7-D7-2】 高知県室戸市の海洋深層水	171
【コラム 7-D7-3】 局地性湧昇とテングサの収穫量	171
【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	172
【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	175
【コラム 7-D8-2】 増殖溝の流動を利用したウニ肥育事例	176
【コラム 7-D8-3】 アイゴの海藻摂餌に及ぼす振動流の影響	178
【コラム 7-D8-4】 流速の違いによるカジメ藻場の残存	178
【コラム 7-D9-1】 世界初のウニ識別除去ロボット	180
【コラム 7-D9-2】 ★一般市民参加の植食性魚類釣り教室	183
【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	189
【コラム 8-8-1】 肥育ウニの殻剥き加工ロボット	215

★：磯焼けに関する水産庁の調査業務より得られた知見を示す。

第1章 ガイドラインの趣旨

藻場は魚介類の生活の場、産卵や稚仔魚の保育場を提供する以外に、海中の栄養塩や二酸化炭素（CO₂）を吸収・固定し、酸素を供給するなどの大きな役割を果たしている。しかし、近年の気候変動による環境変化によって、図 1-1 に示すように、藻場を構成する海藻の生産力と海藻に対する植食動物の食圧とのバランスが崩れる植食動物を介した磯焼けを中心に、全国的に磯焼けが起こるようになってきた。これに対して、漁業者が中心となって、藻場の回復・保全活動に取り組んできたところであるが、漁業者の高齢化や人手不足により従来のような対策を講じることが難しくなっている。このため、良好な藻場を維持・保全し、実効性のある磯焼け対策を推進するため、対策技術の見直しを図るとともに、ドローンでの画像取得に代表される ICT（情報通信技術）等を活用した高度な対策技術の開発にも取り組み、より実践的なガイドラインとして本ガイドラインを改訂することとした。なお、高度な磯焼け対策技術として取りまとめた「広域藻場モニタリング手法」「磯焼け対策における施肥」「捕食者を利用した藻場回復手法」の 3 つの技術については、専門性が高いことから、ガイドラインではその概要や考え方を紹介するにとどめ、別冊の「手引き」として取りまとめている（図 1-2）。本ガイドラインと併せて読んでいただき充実した磯焼け対策を実践してもらいたい。

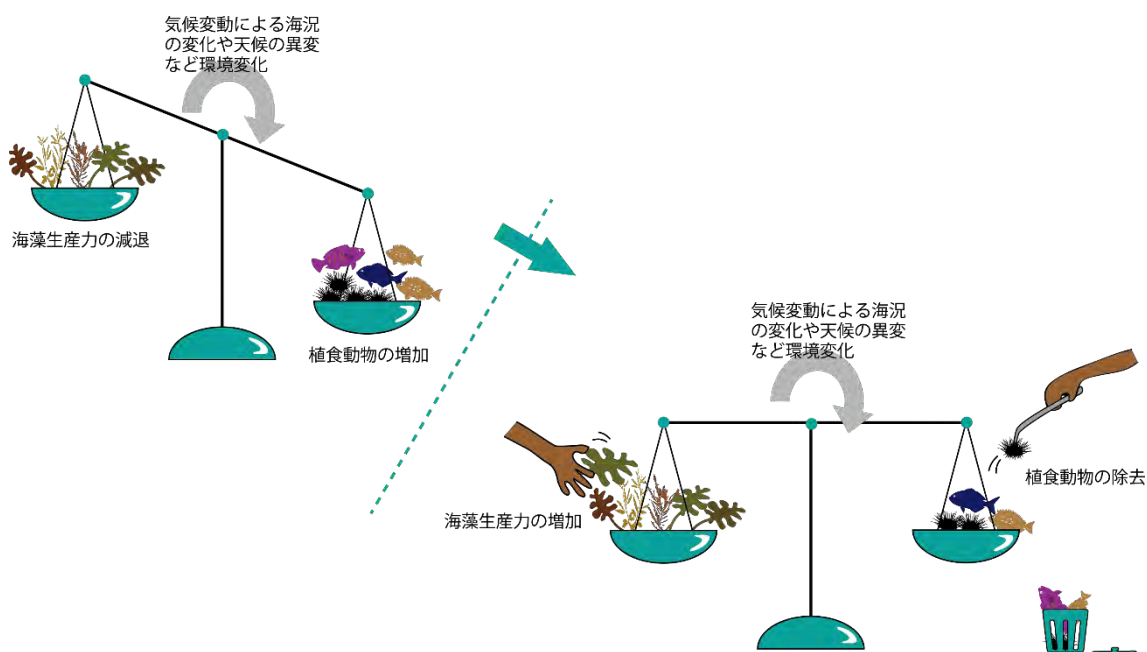


図 1-1 磯焼け対策の考え方

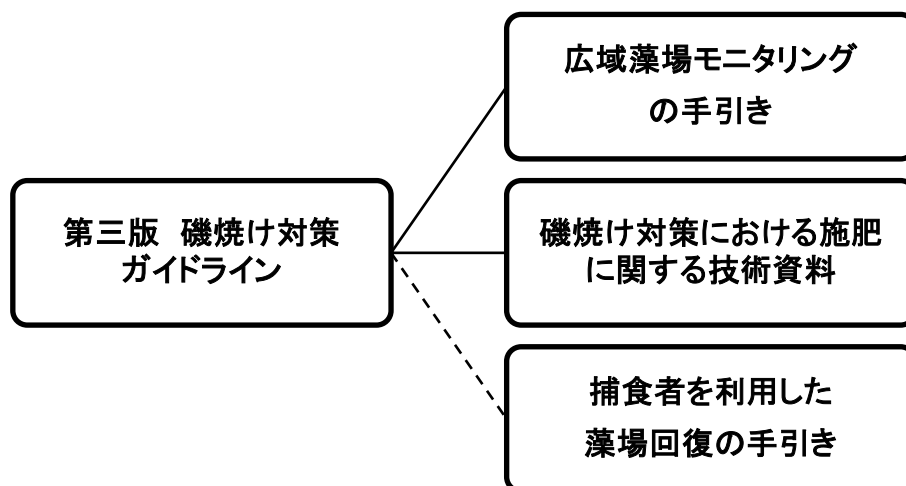


図 1-2 磯焼け対策ガイドラインの構成

また、近年では磯焼けを引き起こす要因が複合化しており、一旦藻場が回復しても再び磯焼けに戻ってしまうなど、環境が不安定な状態であることから、本ガイドラインでは磯焼け対策手法に加えて、持続的に磯焼け対策に取り組むための基本的な考え方と、活動を支える体制づくりのあり方を解説するとともに、その取り組み事例を紹介している。

本ガイドラインは 8 章からなり、その主な内容は以下のとおりである。第 1 章から第 5 章までは、藻場の種類や機能、磯焼けのメカニズム、磯焼けを引き起こす代表的な植食動物の生態、各地の藻場の現状について新たな知見を加えて整理した。第 6 章と第 7 章では、磯焼け対策の調査計画の考え方と進め方の手順、実践的な磯焼け対策手法を記載した。第 8 章では、各地の成果の発現している取り組みと、活動を持続させている取り組みなど、活動のヒントとなる事例を紹介した。また、ガイドラインの末尾には、用語集、活動に関する法令、本ガイドラインを取りまとめるにあたって参考にした文献一覧を整理している。

本ガイドラインが、水産多面的機能発揮対策事業などの活動に活用され、藻場とともに豊かな漁場が回復することを期待している。

第2章 藻場とは

2. 1 藻場の区分

藻場は、沿岸の浅海域において海藻や海草が繁茂している場所、あるいはそれらの群落や群落内の動物を含めた群集のことをいう。藻場は構成する海藻の種類により、主にコンブ場、アラメ・カジメ場、ワカメ場、ガラモ場、テングサ場およびアマモ場に区分けできる（表 2-1-1）。なお、本ガイドラインでは、岩礁域に分布するコンブ場、アラメ・カジメ場、ワカメ場およびガラモ場を対象としている。

表 2-1-1 主な藻場のタイプと構成種および分布域

主な藻場のタイプ	構成種	主な分布域
コンブ場	マコンブ(ホソメコンブ、リシリコンブ、オニコンブはその変種)、ガゴメコンブ、ナガコンブ、ミツイシコンブなどのコンブ類	北海道沿岸から宮城県(太平洋沿岸)までと青森県(日本海沿岸)までの岩礁域
アラメ・カジメ場	アラメ、サガラメ、カジメ(クロメ、ツルアラメはその変種)、アントクメ(暖海性コンブ類、アラメ・カジメ類)	アラメ場: 岩手県から高知県東部までと京都府から長崎県までの岩礁域 カジメ場: 千葉県から宮城県、島根県から鹿児島県までの岩礁域
ワカメ場	ワカメ(ヒロメ、アオワカメを含む)	オホーツク、沖縄県を除く日本各地の沿岸の岩礁域
ガラモ場	アカモク、ヤツマタモク、ノコギリモクなどのホンダワラ類	日本各地の沿岸の岩礁域
テングサ場	マクサ、オオブサ、ヒラクサ、オバクサなどのテングサ目海藻	オホーツク・道東沿岸を除く日本各地の沿岸の岩礁域
アマモ場	アマモ、コアマモ、タチアマモなどの海産顕花(種子)植物	日本各地の沿岸の砂泥域(スガモ、エビアマモなど一部の種では岩礁域)

その他、緑藻のアオサ・アオノリ類で構成されるアオサ場などの藻場もある。これらの藻場は、海域や水深により複数の種で構成されていることが多い。

日本の藻場を構成する海藻は、生育する海域により亜寒帯性、温帯性および亜熱帯性の海藻に分けることができる(徳田, 1987)。亜寒帯性海藻には、親潮の影響を受ける海域に生育するコンブ類やヒバマタなどが該当する。温帯性海藻には、黒潮や対馬暖流の影響を受ける海域に生育するアラメ・カジメ類やワカメ、多くのホンダワラ類が該当する。亜熱帯性海藻には、黒潮の影響が強い海域に生育するホンダワラ類の一部が該当し、キレバモク、ツクシモク、マジリモク、ヒイラギモク(フタエモク)、ウスバモク、コブクロモクなどを南方系ホンダワラ類と呼んでいる(田中, 2006; 桐山ら, 2012; 長崎県水産部, 2018)。このうち、キレバモクとコブクロモクは分布の中心が九州であることから、厳密には温帯性種とされる(寺田・島袋, 2010)。



マコンブ

Saccharina japonica

葉長 1.5～3m、葉幅 20～40 cm。葉厚 1～5 mmになる。中帯部が幅広い。二年生。



ホソメコンブ

Saccharina japonica var. *religiosa*

浅所に多く葉長 0.4～1m、葉幅 5～10 cm。深所では葉長 1.5m、葉幅 15cm になる。一年生。



リシリコンブ

Saccharina japonica var. *ochotensis*

茎長 5～9cm、葉長 1.5～2.5m。中帯部がマコンブよりも狭い。二年生。



アラメ

Eisenia bicyclis

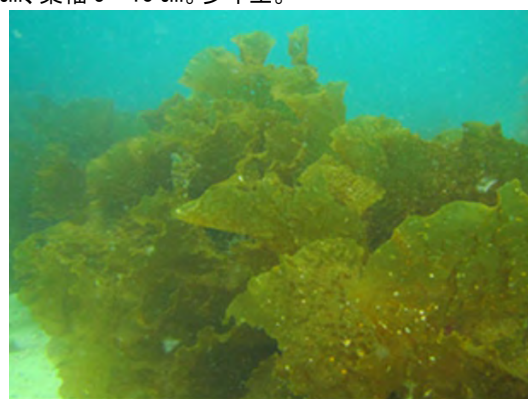
茎長 1～1.5m、まれに 2m を超える。中央葉長 15～25 cm、葉幅 5～10 cm。多年生。



サガラメ

Eisenia nipponica

干潮付近で葉長 0.4～1m、幅 5～10cm、深所では全長 1.5m を超え、幅が 8～15cm になる。多年生。

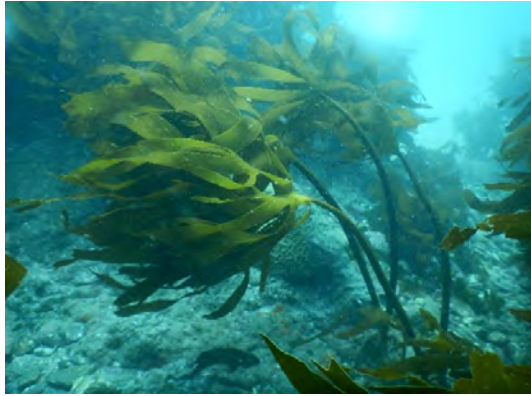


アントクメ

Ecklonia radicata

全長 1.5～3m、葉幅 20～40 cm。一年生。付着器も成熟する。

図 2-1-1 コンブ場、アラメ・カジメ場を構成する代表的な海藻種



カジメ

Ecklonia cava

茎長 60～100 cm、中央葉長 20～30 cm、葉片幅 5～6 cm になる。太平洋側に生育。多年生。



クロメ

Ecklonia cava var. *kurome*

茎長 3～50cm、中央葉長 15～50cm、葉片幅 3～10 cm。瀬戸内海と日本海・太平洋側の一部に分布。多年生。



ツルアラメ

Ecklonia cava var. *stolonifera*

茎長 5～9cm、葉長 1.5～2.5m。日本海特産。匍匐根が伸びて新芽を形成する(無性生殖)タイプとしないタイプ(クロメ型)がある。多年生。



ワカメ

Undaria pinnatifida

葉長 0.5～1.5m、時に 2m を超える。羽状に葉片が生じ、頂端まで中肋が発達する。成熟すると孢子葉(メカブ)が発達する。一年生。



アオワカメ

Undaria peterseniana

全長 1～3.5m。本州北部～九州の深所に点在する。ワカメのような羽状の葉片はなく、中肋も孢子葉も生じず、成熟すると葉面に子嚢斑が形成される。一年生。

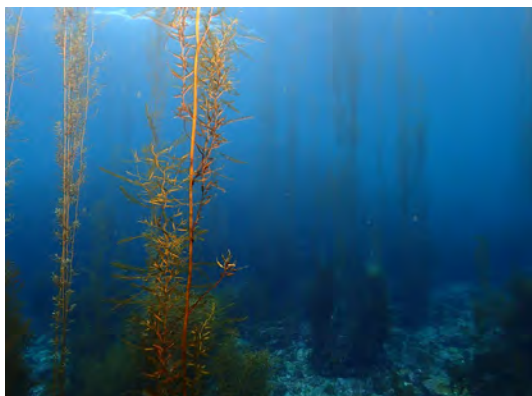


ヒロメ

Undaria undarioides

全長 1m。本州中部～九州に点在。藻体下部に中肋が発達。羽状の葉片はなく、孢子葉も生じず子嚢斑を形成し、ワカメとの中間型も多い。一年生。

図 2-1-2 アラメ・カジメ場・ワカメ場を構成する代表的な海藻種



アカモク

Sargassum horneri

全長 1～10m。時に 20m を超える。付着器は仮盤状で、主枝が直接伸びる。気胞は円柱状。食用。一年生。



ヤツマタモク

Sargassum patens

全長 1～2m。枝と葉は区別しにくい。付着器は盤状。気胞は紡錘状。多年生。



ノコギリモク

Sargassum macrocarpum

全長 1～4m。付着器は円錐状。鋸状の大きな葉が特徴。気胞は紡錘状で冠葉がある。多年生。



ヒジキ

Sargassum fusiforme

全長 1～2m。潮間帯に生育し、干潮時には横たわりますが、冠水時には立ち上がる。食用。多年生。



ホンダワラ

Sargassum fulvellum

全長 1～2m。付着器は仮盤状。あまり枝を出さず、セイタカアワダチソウのように見える。食用。一～二年生。



マメタワラ

Sargassum piluliferum

全長 3～5m。付着器は盤状。気胞が球形で円頭。春藻場の代表的構成種。多年生。

図 2-1-3 (1) ガラモ場を構成する代表的な海藻種



オオバモク

Sargassum ringgoldianum

葉や気胞が大きい。付着器は円錐状。日本海側の葉が薄いタイプはヤナギモク(亜種か独立種)として扱う。全長 1～2m。多年生。



キレバモク

Sargassum alternato-pinnatum

南方系のホンダワラ類。付着器は盤状。葉や生殖器床はしばしば分岐する。全長1m。多年生。



マジリモク

Sargassum carpophyllum

南方系のホンダワラ類。付着器は盤状。葉と気胞と生殖器床が混じる。全長 1～2m。多年生。

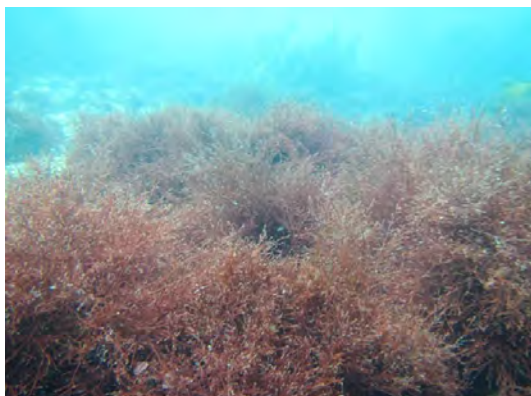


ツクシモク

Sargassum assimile

南方系のホンダワラ類。付着器は盤状。葉と生殖器床は分岐する。全長 1m。多年生。

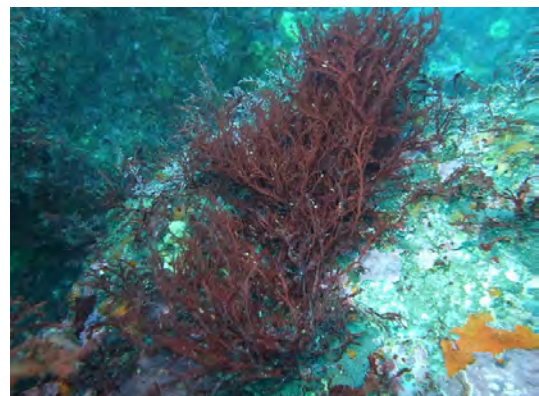
図 2-1-3 (2) ガラモ場を構成する代表的な海藻種



マクサ

Gelidium elegans

テングサ類では最もふつうの寒天原藻。太平洋中部では近縁種オオブサと混生。全長 10～30 cm。多年生。



ヒラクサ

Ptilophora subcostata

主枝に中肋がある。太平洋中南部深所に多い。寒天原藻。全長20～30cm。多年生。

図 2-1-4 テングサ場を構成する代表的な海藻種

2. 2 藻場の役割

藻場は、水産上有用な魚介類やその他の多様な生物にとっての生活の場であるとともに、沿岸の一次生産の場となっている。また、環境保全の場として生態学的に重要な機能を有し(表 2-2-1)、我々に対しても快適な景観や環境学習を提供する場として利用されている。

表 2-2-1 藻場の機能(藤田, 2001)

機 能	説 明
① 基礎生産	太陽の光エネルギーを捕捉・炭素固定
② 栄養吸収	栄養塩(窒素、リン、微量元素)を吸収、滞留・循環
③ 食物供給	消費・分解者に食物を提供
④ 環境創生	着生(内生)基質、小空間、隠蔽用の色彩環境を創生
⑤ 環境緩和	光や海水流動など物理的環境を緩和
⑥ 生物選択	優占種の構造・分布・化学シグナルにより利用生物を選択・制限
⑦ 環境輸出	寄り藻、流れ藻、打ち上げ藻を供給

1) 生活の場

藻場は海中で立体的な構造をとるため、魚類や無脊椎動物の生息場(図 2-2-1(1) 左)や隠れ場となり、幼稚仔期においては保護育成場となる。藻場構成種の葉上には、微細藻類などが付着し、それを餌とするアミ類、ヨコエビ類、貝類などの無脊椎動物が生息する(図 2-2-1(1) 右)。さらに、それらを餌とする魚介類の索餌場となる。魚類やイカ類にとっては産卵場になる(図 2-2-1(2) 左)。藻体が流失すると海面を漂う流れ藻となり、モジャコなどの稚仔魚やガザミなどの甲殻類の生息場や餌場となる。また、流失した葉片などが海底を漂うと寄り藻となり、アワビ、サザエ、ウニなどの磯根資源の餌になる(図 2-2-1(2) 右)。テングサ場からは高品質な寒天原料が採取でき、水産だけでなく、医療やバイオテクノロジーの分野にも貢献している。



アラメ場に群集する魚



ガラモ場に群集するアミ類

図 2-2-1 (1) 藻場を利用する生物



ガラモ場に産卵したアオリイカの卵塊



寄り藻を食べるウニ

図 2-2-1 (2) 藻場を利用する生物

2) 一次生産の場・環境保全の場

海藻は成長に伴い、藻体全体で窒素やリンなどを吸収するため、沿岸海域の富栄養化を防止する。藻場が発達することで波浪を軽減できる。海藻の光合成により海中へ溶け込んだ二酸化炭素 (CO_2) を吸収し、海中に酸素を放出する。そのため、藻場は「ブルーカーボン生態系」として CO_2 の削減効果が期待されている (コラム 2-2-1)。これら藻場の機能を評価するためには、藻場の面積や生産量 (コラム 2-2-2) を把握しておく必要がある。

3) 景観や環境学習を提供する場

海中公園 (ダイビング)、海中展望施設、釣り公園などの景観に含まれる藻場は、観光やレジャー産業の資源となる。藻場とその生態系の重要性や磯焼け対策の理解を深めるための一般市民や児童・生徒への啓蒙や環境学習の場となる。

【コラム 2-2-1】ブルーカーボン

ブルーカーボンとは、海洋生物によって隔離・貯留される炭素のことである (堀, 2017)。大気から海中へ二酸化炭素 (CO_2) が吸収されて海中に溶け込んだ炭素は、海藻や海草の光合成により体内に有機炭素として取り込まれる。この過程を「隔離」と呼ぶ。そして「隔離」された有機炭素が生態系の物質循環から外れて長期間保存されるまでの過程を「貯留」と呼び、次のケースが考えられている (図 1)。まず、藻場では脱落した藻体が「寄り藻」になったり、「流れ藻」として海面を漂って沈降したりした後、分解や無機化が起こりにくい環境下にある海底の土壌中に堆積し埋没する場合がある (堆積・埋没)。さらに、その一部が大気と海洋との CO_2 交換過程から外れた沖合深所へ移送される場合がある (深海輸送)。また、枯死や脱落した藻体の一部が分解されたり、成長に伴い放出された有機炭素のうち、海中で溶けなかったり、溶けるまで長期間かかったりする難分解性の有機炭素を示す場合がある (難分解性有機炭素)。

藻場の CO_2 の隔離量については、年間純生産量 (乾重量) の 30~35% を平均的な炭素量とし、単位面積当たりの CO_2 量に換算して試算されている (表 1)。その量は、コンブ場で $60.5\text{t}\cdot\text{CO}_2/\text{ha}/\text{年}$ 、アラメ場で $24.6\text{t}\cdot\text{CO}_2/\text{ha}/\text{年}$ 、ガラモ場で $16.0\text{t}\cdot\text{CO}_2/\text{ha}/\text{年}$ 、アマモ場で $12.6\text{t}\cdot\text{CO}_2/\text{ha}/\text{年}$ と報告されている (表 1)。各藻場の面

積から総二酸化炭素の隔離された量は、合計約 470 万 t-CO₂/年と見積もられる。この値は、日本の温室効果ガスの総排出量の 12.4 億 t (CO₂ 換算, 2018 年度) と比べるとかなり小さい値である (国環研, 2020)。しかし、水産業により排出される二酸化炭素量は、2008 年度に 574 万 t であり、藻場によって隔離されている量にほぼ匹敵すると試算される。このように藻場における隔離量は大まかに計算されているが、前述した「隔離」のケースごとに実態を明らかにし、定量的な調査研究を進める必要がある。

磯焼け対策による藻場再生や気候変動に適応する藻場形成を各地で取り組み、藻場面積を拡大させることは、水産的なメリットに加えて、藻場が CO₂ を「隔離」して「貯留」できる「ブルーカーボン生態系」として温室効果ガス排出削減に貢献できる。

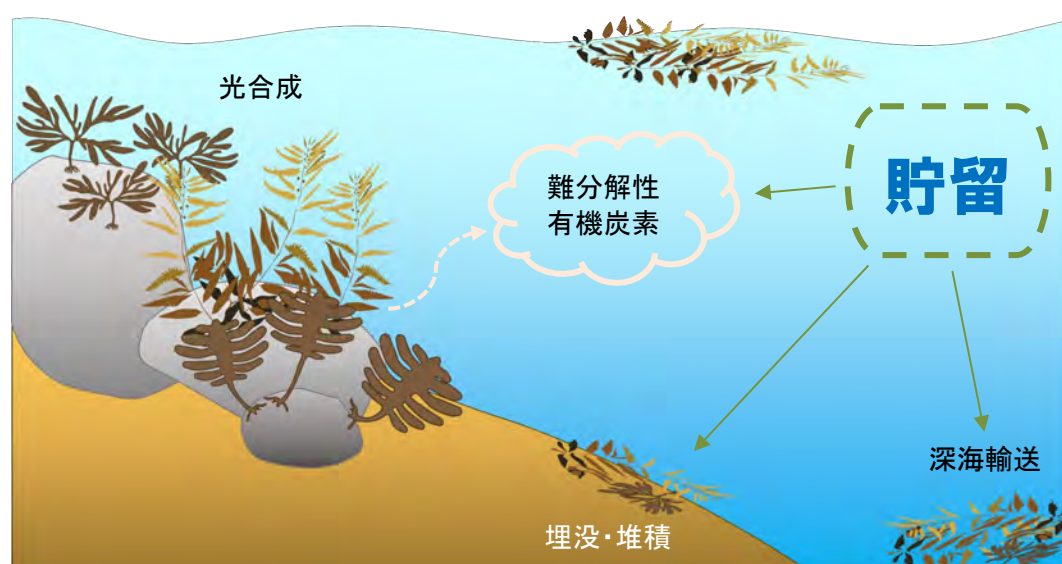


図1 藻場から流失した藻体の堆積、輸送、分解される有機炭素の「貯留」過程のイメージ (堀, 2019)

表1 日本沿岸の藻場における生産量から試算された年間の二酸化炭素の隔離量 (吉田ら, 2017) を改変

藻 場	単位面積当たり 海藻・海草生産量 (kg乾重/m ² /年)	炭素含量 (%乾重)	単位面積当たり 二酸化炭素隔離量 (t-CO ₂ /ha/年)	面積 (万 ha)	総二酸化炭素 隔離量 (万 t-CO ₂ /年)
コンブ場	6.2±6.8	30.0	60.5±71.8	2.0	116.0
アラメ場	2.1±0.4	32.5	24.6±4.7	6.3	163.2
ガラモ場	1.4±0.2	32.0	16.0±2.6	8.8	141.4
アマモ場	1.0±0.7	35.0	12.6±8.9	6.2	50.8

【コラム 2-2-2】藻場の年間純生産量と現存量

藻場の年間純生産量は、コンブ類が約 1.3 kg/m² (乾重量 : d.w.)、60~200 kg/m² (湿重量 : w.w.) とされ、アラメが約 20 kg/m² (w.w.)、カジメとクロメが約 2.8 kg/m² (d.w.)、ホンダワラ類が 0.25~8.3 kg/m² (d.w.) と報告されている (表 1)。生産量は、各種の成長様式の違いのほか、同じ種類でも生育水深、波浪や食害の影響などにより異なることがわかっている。また、年間の最大現存量に対する純生産量の比 (P/B) は、コンブ類が 1.5~2.3、アラメ類が 1.0~2.4、ホンダワラ類が 1.0~1.9 である。南方系ホンダワラ類のキレバモクは、生産量が 0.25 kg/m² (d.w.) と他のホンダワラ類の約 1/4 以下と低い値を示したが、P/B は他と同等であった。

表 1 藻場の年間純生産量、最大現存量と P/B 比

構成種名	海 域	水深 (m)	年間純生産量 (P) (kg・m ⁻² ・y ⁻¹)	最大現存量 (B) (kg・m ⁻²)	P/B	文 献
マコンブ	宮城県女川湾	1~2	1.27(d.w.)	0.83(d.w.)	1.5	中脇ら, 2001
オニコンブ	北海道羅臼	2~4	85.6(w.w.)	37.3(w.w.)	2.3	名畑・酒井, 1996
ホソメコンブ	岩手県門之浜湾	3~5	63.2~206.3(w.w.)	42.1~92.2(w.w.)	1.5~2.3	武蔵ら, 1993
ワカメ	岩手県門之浜湾	記載なし	60.9~92.1(w.w.)	47.8~75.8(w.w.)	1.2~1.4	中井ら, 1993
アントクメ	東京都伊豆大島	7	1.03(d.w.)	0.93(d.w.)	1.1	駒澤ら, 2017
アラメ	宮城県松島湾	2~4	20(w.w.)	15~20(w.w.)	1.0~1.3	吉田, 1970
サガラメ	愛知県知多半島	1	5.23(d.w.)	2.21(d.w.)	2.4	蒲原ら, 2009
カジメ	静岡県下田	5	2.9(d.w.)	3.0(d.w.)	1.0	Yokohama <i>et al.</i> , 1987
カジメ	高知県土佐湾	6~7	2.73(d.w.)	2.57(d.w.)	1.1	富永ら, 2004
クロメ	長崎県壱岐	5~7	2.79~2.88(d.w.)	1.53(d.w.)	1.8~1.9	八谷ら, 2014
ノコギリモク	京都府養老	2~2.5	2.13(d.w.)	1.26(d.w.)	1.7	Yatsuya <i>et al.</i> , 2005
ノコギリモク	石川県飯田湾	4~6	8.25(d.w.)	7.07(d.w.)	1.2	谷口・山田, 1978
ノコギリモク	山口県深川湾	8	1.60(d.w.)	1.16(d.w.)	1.4	Murase <i>et al.</i> , 2000
ヤツマタモク	京都府養老	2~2.5	2.41(d.w.)	1.61(d.w.)	1.5	Yatsuya <i>et al.</i> , 2005
ヤツマタモク	石川県飯田湾	4~6	5.53(d.w.)	4.02(d.w.)	1.4	谷口・山田, 1978
マメタワラ	京都府養老	2~2.5	1.47(d.w.)	0.98(d.w.)	1.5	Yatsuya <i>et al.</i> , 2005
アカモク	宮城県松島湾	1~5	21.42(w.w.)	19.21(w.w.)	1.1	谷口・山田, 1988
フシスジモク	北海道色丹半島	1	0.95(d.w.)	0.90(d.w.)	1.1	津田・赤池, 2001
フシスジモク	京都府網野	4~7	1.11(d.w.)	0.84(d.w.)	1.3	八谷ら, 2007
ヨレモク	京都府舞鶴	1~1.3	4.04(d.w.)	2.12(d.w.)	1.9	八谷ら, 2007
ヨレモク	京都府養老	2~2.5	1.46(d.w.)	1.11(d.w.)	1.3	Yatsuya <i>et al.</i> , 2005
ヨレモク	京都府網野	4~5.5	0.71(d.w.)	0.49(d.w.)	1.4	八谷ら, 2007
エゾノネジモク	宮城県牡鹿半島	1~2	0.90(d.w.)	0.81(d.w.)	1.1	Agatsuma <i>et al.</i> , 2002
エゾノネジモク	宮城県牡鹿半島	2~3	1.96(d.w.)	1.83(d.w.)	1.1	村岡・能登谷, 2003
スギモク	秋田県男鹿半島	1~3	10.48(w.w.)	10.35(w.w.)	1.0	中林・谷口, 2002
ジョロモク	京都府養老	2~2.5	1.20(d.w.)	0.78(d.w.)	1.5	Yatsuya <i>et al.</i> , 2005
ジョロモク	京都府網野	3~4	0.75(d.w.)	0.77(d.w.)	1.0	八谷ら, 2007
アキヨレモク	京都府舞鶴	0.5~1	3.95(d.w.)	3.04(d.w.)	1.3	八谷ら, 2007
キレバモク	長崎県見崎	5~6	0.25(d.w.)	0.23(d.w.)	1.1	村瀬ら, 2017

2. 3 藻場の経済的価値

藻場の水産的経済効果は、藻場のタイプや漁獲される魚介類の種類によって異なる。藻場造成事業における藻場の経済効果について、過去の報告によれば、コンブ場では 1.5 万円/㎡、アラメ・カジメ場ではサザエ・ウニ・アワビ類などの餌場として 1.7 万円/㎡、ガラモ場など磯漁の漁獲から 2.0 万円/㎡が見込まれている（大野，1996）。稚魚期には藻場に生息していながら、成長に伴って別の場所へ移動する種類が多く、算出は難しいが、ガラモ場での稚仔魚生産の経済効果は、瀬戸内海のシロメバルで調べられ 54.0 万～72.5 万円/ha と報告されている（小路，2009）。また、藻場構成種は海中の富栄養化の原因となる窒素とリンを吸収して成長するため、藻場には水質浄化機能がある。窒素とリンの固定量は藻場のタイプにより異なり、コンブ場、アラメ場およびガラモ場では窒素固定量が 112～136 gN/㎡/年、リン固定量が 7.8～8.5 gP/㎡/年である（表 2-3-1 左側）。一方、平成 21 年度版東京都下水道事業年報より、下水処理場における窒素とリンの 1t 当たりの処理費用を推計すると、それぞれ 2,070 万円、1 億 4,820 万円となる（水産庁，2011）。この下水処理コストを適用すると、藻場 1 ha 当たりの水質浄化の評価額は、窒素で 2,312 万～2,812 万円/年、リンで 1,034 万～1,258 万円/年と見積もられる（表 2-3-1 右側）。

表 2-3-1 藻場タイプ別窒素およびリンの固定量と評価額（水産庁，2003，2011）

藻場のタイプ	藻場 1 ㎡当たりの年間固定量		藻場 1 ha 当たりの年間評価額	
	窒素 (gN/㎡/年)	リン (gP/㎡/年)	窒素 (万円/ha/年)	リン (万円/ha/年)
コンブ場	135.85	8.49	2,812	1,258
アラメ場	124.53	7.78	2,578	1,153
ガラモ場	111.70	6.98	2,312	1,034

一方、藻場による CO₂ 隔離量については、アラメ場では年間で 24.6t-CO₂/ha/年と試算されている（コラム 2-2-1 の表 1）。これをもとに CO₂ 隔離量の貨幣化を試みると、EU-ETS（欧州連合域内排出量取引制度）による CO₂ 価格が 2020 年 3 月には 24 ユーロ（約 2,895 円/t-CO₂）であったのが（環境省，2020）、2020 年 7 月には 30 ユーロ（約 3,700 円/t-CO₂）の高値を付けた（ニューラル，2020）。これらの情報から単純に計算すると、1 ha のアラメ場の場合には年間で約 71,217～91,020 円/年と見積もられる。

海藻 1 ha の CO₂ 固定価格

= 欧州連合域内排出量取引制度の CO₂ 価格 × 海藻の CO₂ 固定量

例：アラメ・カジメ場の場合

（欧州排出権取引 2020 年 3 月の価格の場合）

= 2,895（円/t-CO₂）× 24.6（t-CO₂/ha/年） = 71,217（円/ha/年）

（欧州排出権取引 2020 年 7 月の価格の場合）

= 3,700（円/t-CO₂）× 24.6（t-CO₂/ha/年） = 91,020（円/ha/年）

なお、窒素、リンおよび CO₂ の経済的価値の試算については、深海輸送などの貯留過程（コラム 2-2-1）の定量的評価を考慮して、さらなる精査が必要である。

2. 4 藻場構成種の生活史

藻場構成種のコンブ類、ホンダワラ類、テングサ類の生活史を図 2-4-1 に示す。

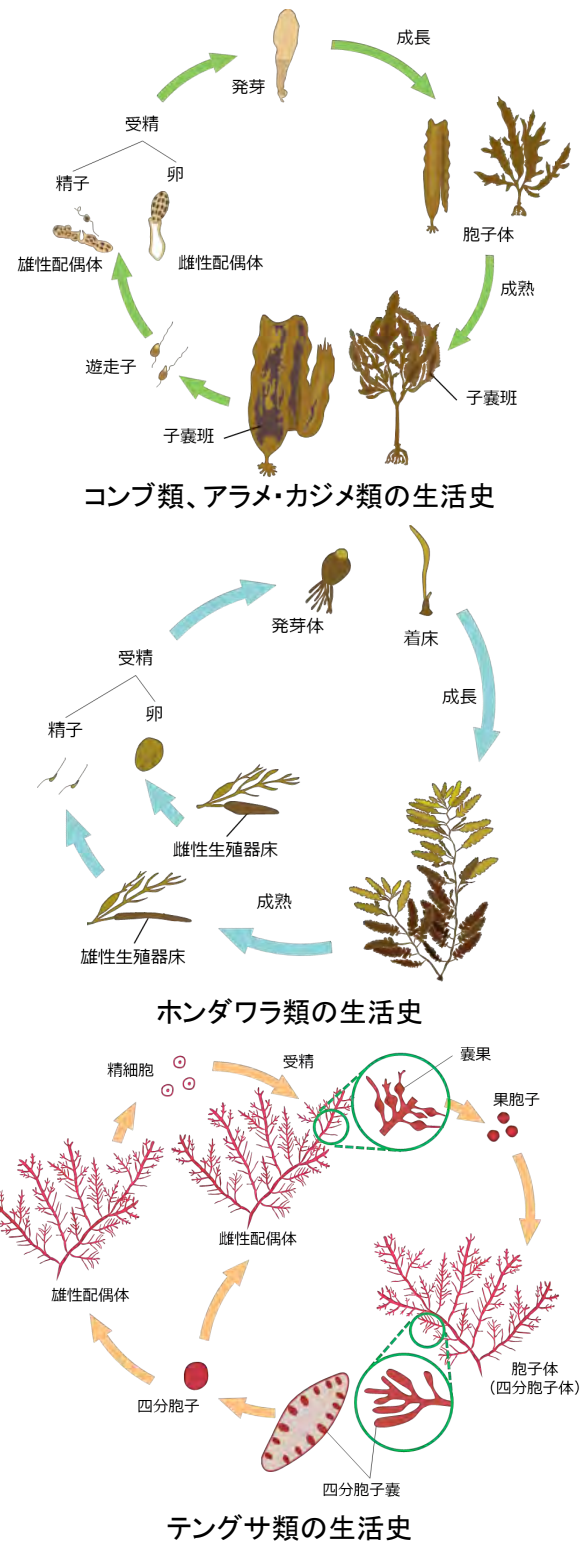


図 2-4-1 コンブ類、ホンダワラ類、テングサ類の生活史

コンブ類（アラメ・カジメ類を含む）では、藻場をつくる藻体は雌雄の区別のない孢子

体である。胞子体は主に秋に子嚢斑を形成し、そこから放出された遊走子は海底に着底し発芽すると雌または雄の区別ができる配偶体になる。雌性配偶体に卵、雄性配偶体には精子が作られ、それらが受精して、発芽すると胞子体へと成長する。胞子体の寿命はマコンブが2年(中原, 1993)、三重県沿岸のアラメが7~8年、カジメが5年(Maegawa, 1990)と報告されている。

ホンダワラ類の多くの種類では、藻場をつくる藻体は雌雄が異なり、主に春~夏に雌性の株と雄性の株の上に生殖器床と呼ばれる生殖器が形成され、それぞれで卵と精子が作られる。受精した卵が発芽すると幼胚となり、海底に着底して大型の雌か雄の藻体に成長する。アカモクは一年生であるが、多くのホンダワラ類は多年生である。多年生の寿命は付着器に形成される成長輪(年輪)から推定できる種があり、利尻島沿岸のフシスジモクが6~7年(名畑ら, 1980)、青森県沿岸ではヨレモクが約9年(桐原ら, 2003)、ノコギリモクが約9年(村瀬, 2005)と報告されている。

テングサ類は、雌または雄の区別がない胞子体(四分胞子体)と雌または雄に区別ができる配偶体の3つの藻体が存在し、それらは基本的に同形同大である。テングサ類のマクサは、各藻体から放出される胞子から発芽するものと、匍匐枝からの栄養繁殖も認められ、多年生で寿命が3年と報告されている(藤田, 2004)。

藻場構成種の生活史を知ることが重要であり、実際の成熟や繁茂、寿命などは海域により異なるため、磯焼け域における回復や藻場造成で母藻を必要とする場合に備えて、事前の現場調査により成熟期や繁茂期を把握しておくことが大切である。

2. 5 藻場の季節的消長

1) 多年生海藻が構成する藻場の季節変化

多年生海藻は、季節変化をしながら一年中枝葉が認められる(図2-5-1)。

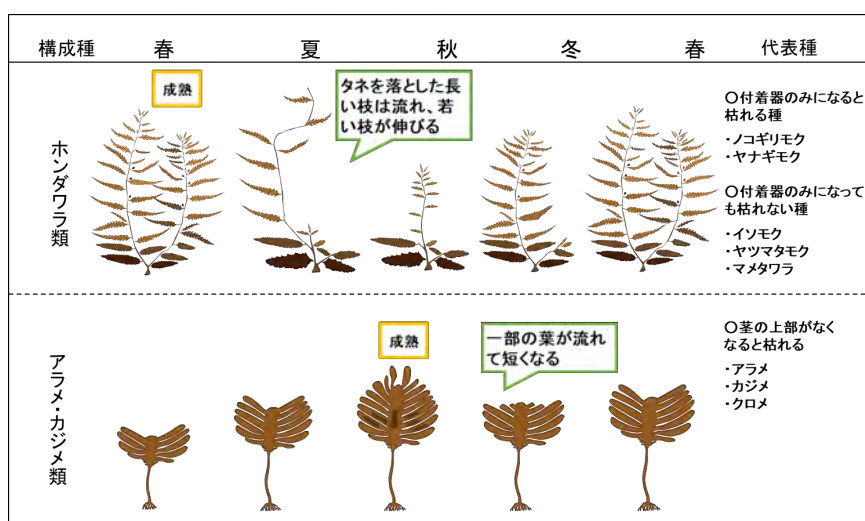


図2-5-1 多年生海藻の季節変化(吉村, 2011を改変)

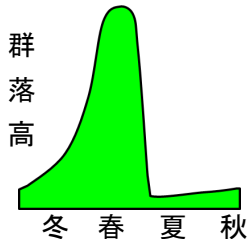
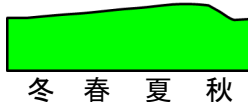
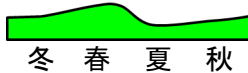
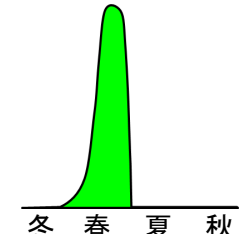
同じ場所で藻場の観察を続けていると、海藻が繁茂している季節と衰退している季節が認められる。一般的に、多年生ホンダワラ類は晩秋~春に伸長し、春~夏に成熟(生殖器床を形成)して幼胚を出すと、枝(主枝)が茎から離れて流失する。しかし、付着器の基

部には、すでに若い枝がある程度伸びている。アラメ・カジメ類は、秋の成熟で藻体量（現存量）が増加するが、秋～初冬に遊走子を出した葉片が流失し、藻体量が減少する。

2) 藻場の類型化

九州沿岸の多年生海藻で構成される藻場が、2000 年代より毎年春～初夏だけに形成されるようになり、この藻場を「春藻場」として区別することが提案された（吉村ら，2009）。この春藻場を含めた藻場の類型区分が、表 2-5-1 に示すとおりである。

表 2-5-1 九州沿岸における藻場の類型区分（中嶋，2010 を改変）

植生	大分類	中分類	小分類	定義	主な構成種	景観の変化の 模式図
多年生	四季藻場	大型海藻藻場	ガラモ場	周年維持される藻場	温帯性ホンダワラ類（ノコギリモク、オオバモク、ヒジキなど）	
			アラメ場		アラメ・カジメ類	
		小型海藻藻場			テングサ、有節サンゴモ類などの多年生小型海藻	
		春藻場			春～初夏に毎年同じ所に形成される藻場	多年生の亜熱帯性と温帯性ホンダワラ類（キレバモク、マメタワラ、ヤツマトクモなど）
	一年生	一年藻場		春～初夏に形成される 1 年限りの藻場 ※同じ場所に形成されるとは限らないのが特徴	一年生のアカモク、ワカメ、アントクメ	

この類型区分では、多年生海藻で形成される「四季藻場」と春藻場、一年生海藻で形成される「一年藻場」の 3 つに分けられる。四季藻場は、年間通じて繁茂する大型海藻と小型海藻で構成され、前者はアラメ・カジメ類やホンダワラ類、後者はテングサと有節サンゴモ類などが相当する。一年藻場と春藻場は混同されやすいが、複数年形成される春藻場

は付着器が残るため、同じ場所に形成されるのに対し、一年生海藻は1年ほどで枯れるため、同じ場所に藻場が形成されるとは限らない点が大きく異なる。

	冬～春	夏～秋
四季藻場 大型海藻		
四季藻場 小型海藻		
春藻場		
一年藻場		

図 2-5-2 四季藻場、春藻場、一年藻場の景観

3) 春藻場の特徴

春藻場は、多年生海藻の枝葉が茂る期間が春を中心とする半年程に限られ、残りの期間はまるで磯焼けのような景観を示す。春藻場は、付着器から栄養繁殖するヤツマタモク、マメタワラなどの温帯性ホンダワラ類やキレバモク、ツクシモクなどの南方系ホンダワラ類で構成される。春藻場の仕組みについては次のように考えられている。四季藻場で植食性魚類の影響が大きくなり、ノコギリモクなどの温帯性ホンダワラ類では茎や付着器の基部、アラメ・カジメ類では茎の末端付近にある成長点（分裂組織）まで食べられると枯れてしまう。また、アラメ・カジメ類は高水温にも弱い（村瀬ら，2018）。この結果、付着器から枝葉を再生できる種だけが生き残り、春から初夏にかけて繁茂する。夏から初冬には岩礁表面に付着器やごく短い藻体のみ残るため、磯焼けそっくりの景観に転ずる（図 2-5-3）。マメタワラなどは高水温下ではごく短い藻体で過ごす場合もある（土屋ら，2011）。南方系ホンダワラ類はタネを出して枝が流失した後、しばらくは基部だけの状態で過ごし、水温が低くなる頃から新しい枝を伸ばすという特徴を持つ（八谷ら，2011）。九州沿岸や高知県（中村，2012）に多く認められるが、伊豆半島内浦湾でもこのような藻場（マメタワラが優占）が知られている。

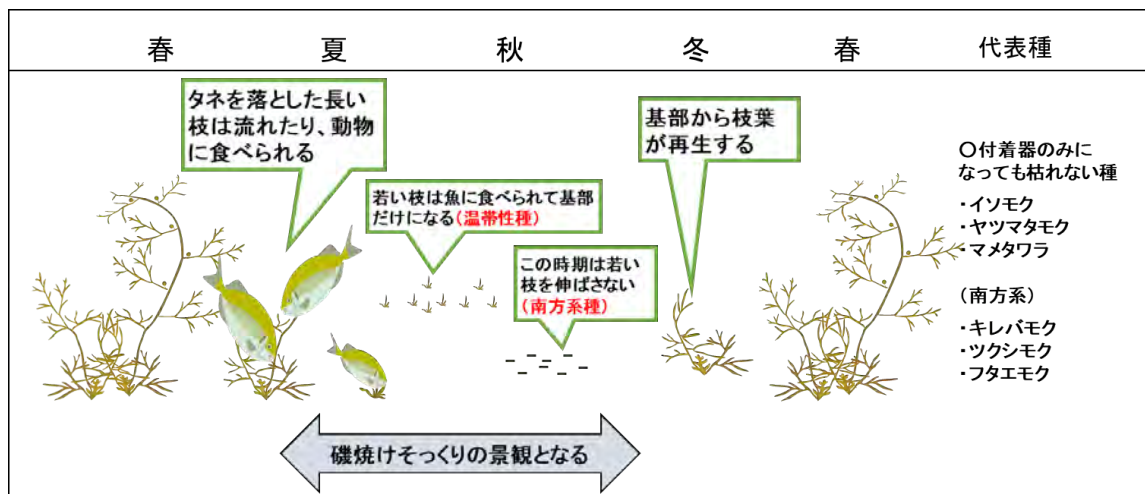


図 2-5-3 春藻場が維持される仕組み（吉村，2011 を改変）

第3章 磯焼けとは

3. 1 磯焼けの定義

磯焼けとは、「浅海の岩礁・転石域において、海藻の群落（藻場）が季節的消長や多少の経年変化の範囲を超えて著しく衰退または消失して貧植生状態となる現象」（藤田，2002）である。磯焼けが発生すると、藻場の回復に長い年月を要し、磯根資源の減少や成長不良を招き、沿岸漁業に大きな影響を及ぼす。磯焼けの発生原因、景観、影響、回復までの期間などは、各海域の地形、海洋学的特性、生物の種組成、沿岸利用・開発の歴史・現状などによって異なる。国内の様々な磯焼けの景観を図3-1-1に示した。



図 3-1-1 様々な磯焼けの景観（藤田，2002）

左上:ウニ食害(北海道) 右上:ウニ食害(静岡県) 左中:植食性魚類食害(静岡県)
右中:高水温で立ち枯れ(富山県) 左下:台風攪乱(大分県) 右下:浮泥堆積(富山県)

3. 2 磯焼けの発生・持続の原因と温暖化

海藻が減少するのは、海藻が、①植食動物に食われる、②枯れる、③芽生えなくなる、④流失する、のいずれか、もしくはこれらの組み合わせによる。健全な藻場においても、海藻は多少とも食われ、枯れ、芽生えには多寡があり、海が荒れれば岩から剥がされたりちぎれたりする。したがって、これらの作用が度を越えた場合、持続する場合、回復を妨げる要因がある場合に磯焼けとなる。では、具体的に、このような状況がどのようにして生まれるのか？

植食動物は、北日本では主にウニと小型巻貝、南日本ではこれに植食性魚類が加わる。これらの植食動物による食害が顕著になるのは、水温が高めに推移して摂餌活動が盛んになる、寄り藻が減ったことにより生えている海藻を食べるようになる、消波施設や養殖の増加により海底の静穏化が進む、投石場やコンクリートブロックに植食動物が定着する、乱獲により害敵生物がいなくなり個体数や行動が制限されなくなる、などが考えられる。

海藻が枯れるのは、高水温（一般海域では貧栄養を伴う）または低塩分が続き、生理障害が回復しない場合である。芽生えなくなるのは、食害や生理障害による場合もあるが、堆積物により海藻の付着・生育の阻害や藻体の埋没が起こるためである。堆積物の増加は、近海の温暖化に伴い暴風雨が激化しているためで、降水量が増加すれば、土壌の浸食や洪水の機会も増え、海中でも懸濁物質や堆積物が増加する。堆積物の増加は、護岸や消波の増加に伴う沿岸域の静穏化も理由として挙げられる。暴風雨の激化に伴い波浪の影響が増大すれば、海藻の流失も盛んになる。つまり、図 3-2-1 に示すように、近年の温暖化は上記①～④のいずれの側面でも海藻を減少に導いている。なお、海水温が急激に上昇すると海藻が枯れるが、多くの場合、実際には枯れる水温（例：30℃）に達する前にそれより低めの水温（例：27℃）で植食動物によって食べられてしまう。



図 3-2-1 温暖化が藻場に及ぼす影響

3. 3 磯焼けの植生パターン

磯焼け域で、沿岸の岸沖（深浅）方向において貧植生域が生じる位置を整理すると、図 3-3-1 に示したようなパターンがある。この 5 つのパターンでは、沖焼けが最も普通に認められる。図 3-1-1 の左端が沖焼けの例である。沖焼けの場合に岸側で藻場が残存するのは、浅所で海水流動が大きく、植食動物による摂餌活動や浮泥の堆積が制限され、海藻の成長が助長されるためである。丸焼けはその極端な場合で、沖焼け域の中に部分的に出現し、潮間帯のイガイ帯のすぐ下まで貧植生域となる。ただし、沖側に広がる貧植生域がすべて磯焼けで生じたとは限らず、元来の安定した貧植生域かもしれない（本章の 3.4 参照）。

岸焼けは藻場の岸側やタイドプールが貧植生域となり、深所には海藻植生が認められるパターンである。波浪が極めて強い、固着力の大きいウニや植食性魚類が潮間帯や漸深帯上部に密集する、などの場合に認められるが、大規模かつ深刻な事例は知られていない。

パッチ状磯焼け（パッチ焼け）は、漸深帯の藻場の中で円形脱毛症のようにスポット状に認められる小規模な貧植生域で、周囲を藻場に囲まれる（図 3-3-2）。磯焼け初期段階（incipient barren）とみなされることもある。中心部に巨礫があり、その周りにガンガゼなど静穏域を好むウニが蝟集するような場合に認められる。

中焼けの場合、漸深帯の特定の水深帯に貧植生域が出現し、その岸側と沖側に相当規模の藻場が認められる（図 3-3-3）。岸側に藻場が形成されるのは、上記の沖焼けの場合と同様、海水流動（食害や堆積の軽減、成長の助長）によるが、沖側にも藻場が形成される理由は、漂砂の移動による深所の基質面更新、海底基質のサイズ分布、低照度を好む海藻の優占、などが考えられる。国内では、富山県東部（浅所：ガラモ、深所：ツルアラメ）で最初に確認されて以来、伊豆半島西岸（浅所：ガラモ、深所：アントクメ）、北海道西岸（浅所：ホソメコンブ、深所：ツルモ、ホソツルモ、ガラモ）など、意外と多くの海域に、様々な植生タイプの間で中焼けが認められている。

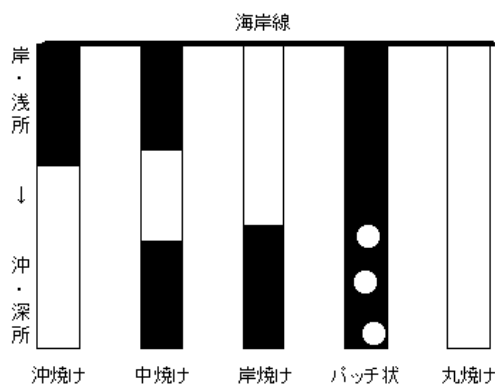


図 3-3-1 貧植生域の発生位置別の模式図
（藤田，2002）
（■は藻場、□は貧植生域）



図 3-3-2 アラメ・クロメ群落の中に出現したパッチ状磯焼け（千葉県館山市）
直径約 5～20m でガンガゼなどが多産する。

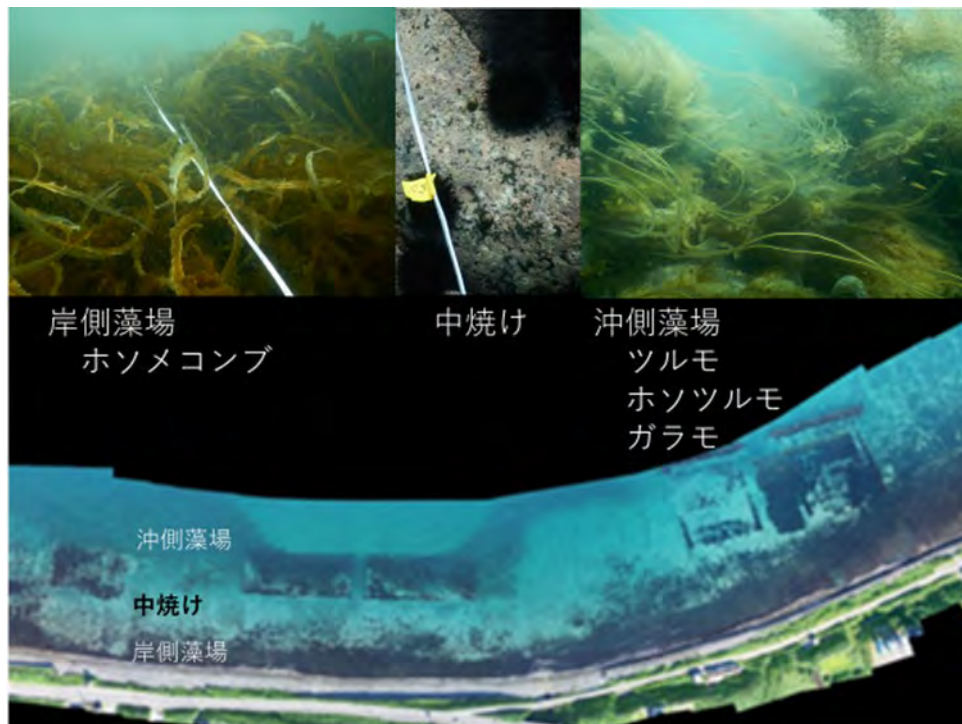


図 3-3-3 礫地帯の藻場に認められた中焼け（富山県）

図 3-3-4 には、ウニが優占する磯焼け（＝ウニ焼け）域での海藻植生の残存状況を示している。このように、磯焼け域といえども、海水流動の大きい平磯突端部（波食台、波食溝）、離れ岩、暗礁などのほか、砂に囲まれた岩盤、あるいは河川水の影響が強い河口周辺では海藻が生え残っていることが多い。

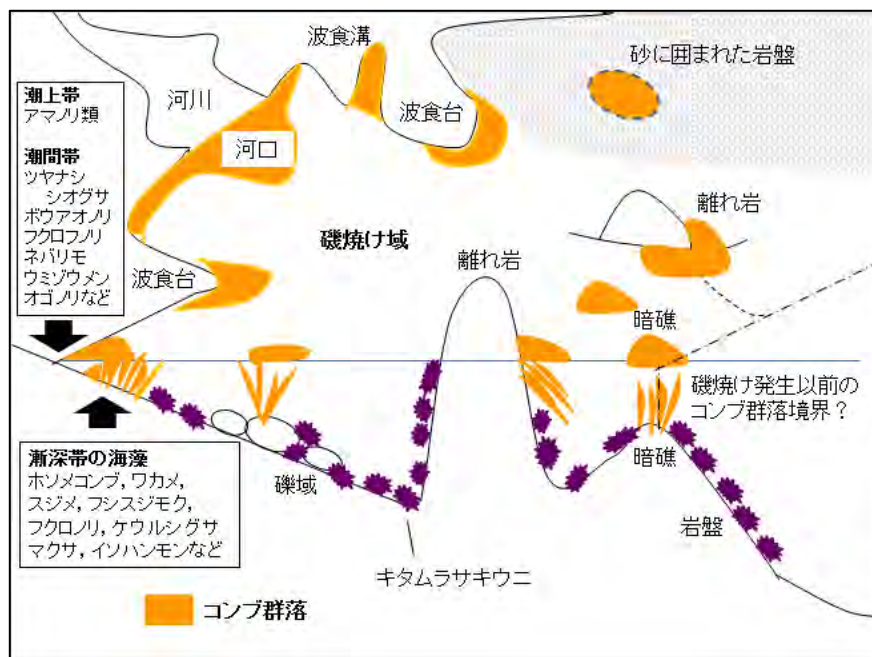


図 3-3-4 北海道の磯焼け域におけるコンブ群落の残存状況（藤田，1996）

3. 4 貧植生域の景観と無節サンゴモ

磯焼けによって生じる貧植生域の海底の景観は様々で、サンゴモ類や底生動物が優占、季節的に多少の直立海藻（ウルシグサ、フクリンアミジ、マギレソゾなど）や付着珪藻が出現、大型褐藻の付着器や茎状部などが残存、岩肌が露出して裸地に近い状態、浮泥が堆積などの場合がある。

このうち、磯焼け域の構成要素として古くから注目されていたのが、無節サンゴモ（無節石灰藻）である（図 3-4-1 右）。無節サンゴモは、炭酸カルシウムの骨格を持ち、石のように硬くなった海藻で、岩や他の動植物の上に生育する。テングサなどと同じ紅藻で、孢子で増える。多くは殻状で、突起を生じる種もある。分類学的には、サンゴモ亜綱のサンゴモ目、ハパリディウム目およびエンジイシモ目の 3 目に属する種のうち有節サンゴモ（膝節を持つ種）以外のすべてを指す。一般に、低塩分、乾燥および富栄養には弱い、波浪、極端な強（弱）光、高水温、動物のグレージング（摂餌）、漂砂などに対する耐性が他の海藻よりも大きい。熱帯から北（南）極域まで世界中に分布し、磯焼け域だけでなく、藻場内部の海底や沖側の恒常的な貧植生域（本章の 3.6 参照）で繁茂し続けるのもこれらの性質による。多くの種があり、1つの磯焼け域でもふつつ複数種が混在している。

磯焼け域で優占する無節サンゴモは、図 3-4-1 に示したような多年生の大型種で、長年にわたって海底を覆う。これらの大型の無節サンゴモは、海藻群落の遷移の初期に出現したり他の海藻の上に着生したりする小型の無節サンゴモとは別種である。これらの無節サンゴモの表面では、表層の剥離やアレロパシー（他感作用）によって他の海藻の孢子・遊走子の着生が妨げられる。しかし、特殊な付着戦略を持つ海藻や分裂速度の大きい珪藻は、植食動物がいなければ、むしろ無節サンゴモの上に生えやすい。

無節サンゴモは、植食動物の摂餌を刺激する物質を含むが、阻害する物質は含まず、硬いながらも、ウニや貝が藻体の表面付近の組織を盛んに食べ、着生した生物も除去する。着生生物の除去という意味では、サンゴモ自体が持つ除去能力よりも植食動物の役割がはるかに大きく、これに依存しているといっても過言ではない。一方、無節サンゴモ（あるいはその上に生育する細菌ともいわれる）は、ウニやアワビなどの浮遊幼生の着底・変態を促進し、表層部分を餌として提供していることが古くから知られている。つまり、無節サンゴモと一部の植食動物は、持ちつ持たれつの密接な関係にある。このほか、無節サンゴモは、コンブやフジツボなどと海底基質を巡る競合関係にあるが、ゴカイや二枚貝など穿孔性の動物やテングサの生活基盤としても重要である（図 3-4-2）。

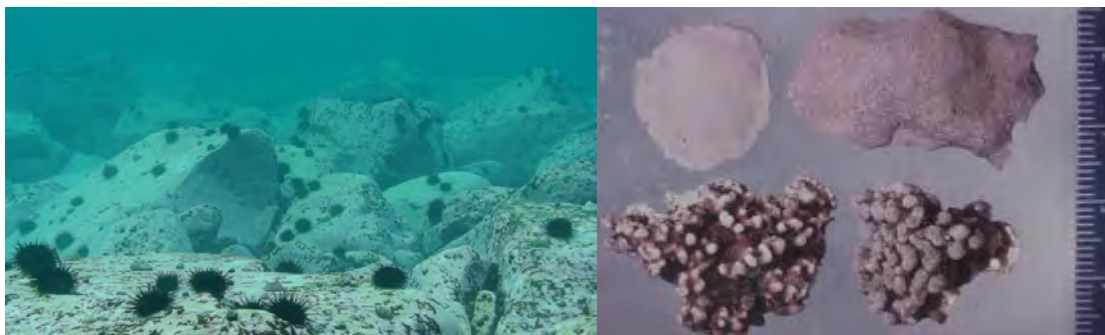


図 3-4-1 北日本の磯焼け域の海底に繁茂する無節サンゴモ（藤田，1996）
（写真右）左上：エゾイシゴロモ 右上：サモアイシゴロモ 左下：ミヤベオコシ 右下：ヒライバ

一般に、磯焼け域における無節サンゴモの被度は高く、一般の海藻と同レベルのラフな精度で調べると 100%に近い被度となることも珍しくない。しかし、海底を詳しく調べると、①サンゴモ間に露出した岩肌、②サンゴモ表面の枯死・損傷部分、③固着動物の殻の表面、④付着藻類の根元の部分など、海藻の孢子・遊走子が着生できるミクロの領域は意外に多い（図 3-4-3）。したがって、無節サンゴモに覆われた石でも、植食動物が除去されたり富栄養条件に変わったりすると、珪藻や種々の海藻に速やかに被われる。実際に、無節サンゴモに覆われた石を水槽に入れ、ウニがいない条件下で海洋深層水（栄養塩が豊富）をかけ流すと種々の海藻が繁茂し、予めコンブの遊走子を 播種 しておくとともに着生量は増える（図 3-4-4）。また、長期間培養すると、無節サンゴモが減って褐藻のイソガワラなどの被度が高まり、基質全体の色が変わる。海域では、冬季に栄養塩濃度が高くなるので、これに先立ってウニを除去すれば、海藻が繁茂することも各地で確かめられている（第 7 章の D1 参照）。近年、一見不毛に見える磯焼け域においても海底の基質には多くの海藻の孢子・発芽体が潜んでいることが明らかになっており（海藻シードバンクという）、上記のような培養により検出できるほか、海底基質（石、固着性貝類の殻）の付着物を集めてメタゲノム解析を行う手法も開発されている（Akita *et al.*, 2020）。

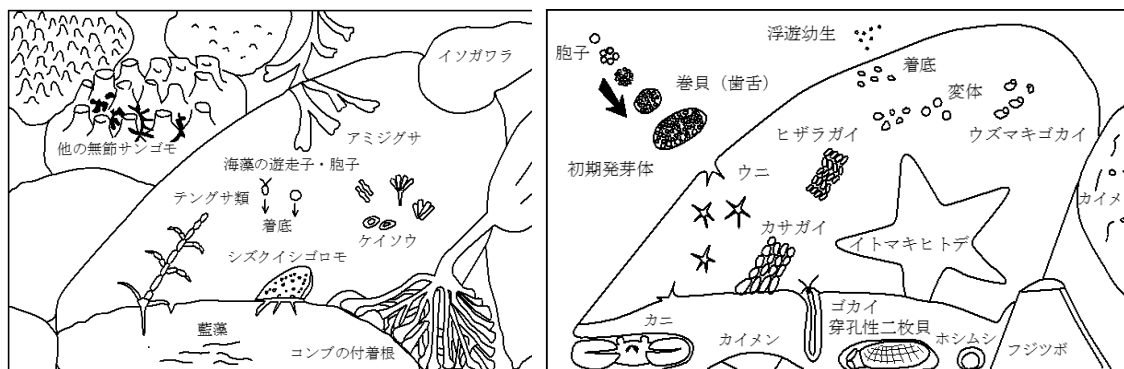


図 3-4-2 無節サンゴモと他の藻類（左）または動物（右）との関わり（藤田，1995）
北海道南西岸や東北太平洋岸の磯焼け域で優占するエゾイシゴロモの場合



図 3-4-3 無節サンゴモが優占する海底（北海道南西岸）の海藻の避難領域（藤田，2006）
①下部の表面（特に隣接する礫との間隙となる部分） ②無節サンゴモ間の間隙 ③無節サンゴモの突起（分枝）間の空間 ④痕跡的に生える海藻の基部 ⑤巻貝の貝殻表面

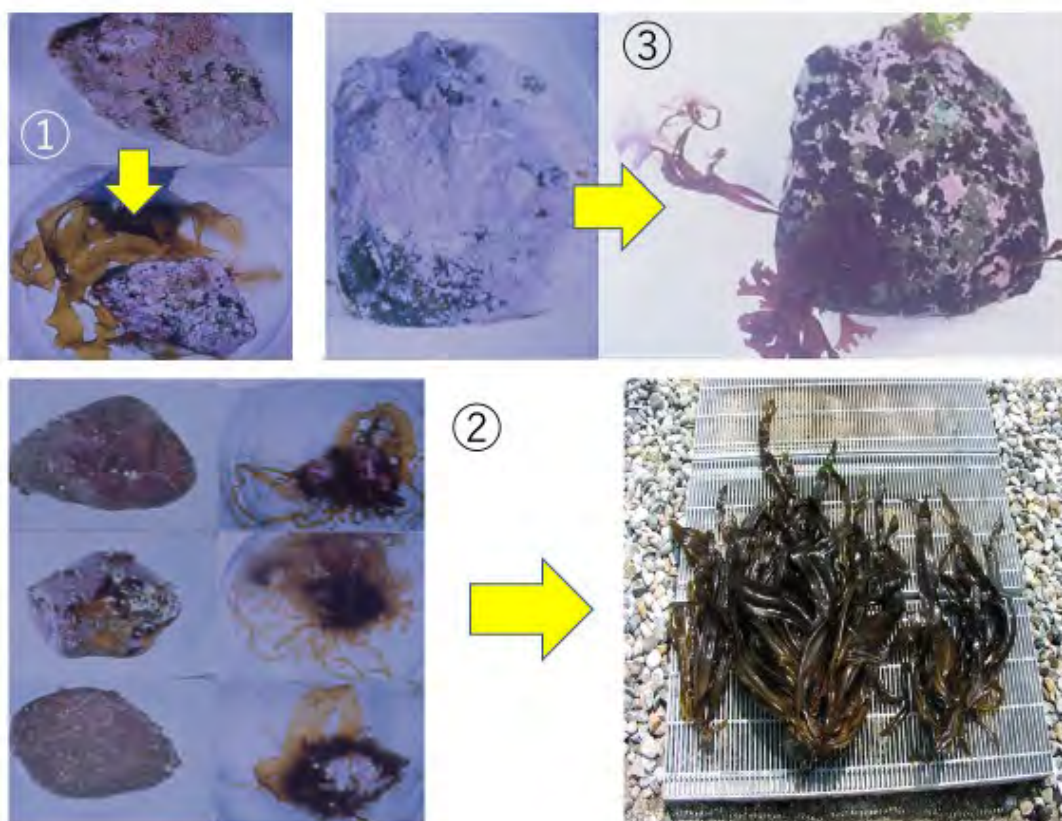


図 3-4-4 北海道南西岸磯焼け域の転石を栄養塩が豊富な海水（富山湾海洋深層水）で培養
 ①3 カ月でホソメコンブが伸長 ②予めホソメコンブ遊走子を播種しておくで密に繁茂
 ③1年間の培養で無節サンゴモの被度が減少し、褐藻のイソガワラなどが被覆

3. 5 磯焼けの影響と回復までの期間

磯焼けが継続すると、海藻だけでなく、その群落に依存していた様々な生物に影響が表れる。ひとまとめに「魚介藻類の減少や成長・成熟不良」といえるが、海藻を食べ続ける植食動物やそれに耐えて海底を覆い続けるサンゴモ類のように増加する生物もある。一般に、ウニや巻貝は飢餓に強く、成長不良のまま生き続けて海藻の芽生えなどを食べるため、藻場回復の阻害要因にもなりうる。

表 3-5-1 に、水産庁（1981）などを参考にして主な磯根資源の変化をまとめた。これらの生物の増減は、漁獲統計（図 3-5-1）やモニタリング調査（図 3-5-2）によって裏付けられている場合もあるが、漁業者からの聞き取り調査でしか把握できない場合もある。特に、漁獲統計のない生物、遊漁・密漁の盛んな生物、藻場との関係が一時的もしくは間接的な生物に対する磯焼けの影響はよくわかっていない。

磯焼けの持続期間は、一過性や周期的な気象・海況変動に基づく場合、数年程度（群落の更新に要する期間）であるが、藻場形成阻害要因が持続する場合には、多少の変動を繰り返しながらも、半世紀以上にも及びうる。環境が大きく改変された場合は不可逆的となり、記録的な気象・海況イベントが起こらない限り、海藻植生は回復しない。

表 3-5-1 磯焼けの発生・継続によって起こる主な磯根資源の変化

分類群	影 響	備 考
海藻	(減少)コンブ類、アラメ、カジメ、ワカメ、ホンダワラ類(およびこれに着生するモズク)、テングサ* → 現存量・生育面積の減少、食痕や冠泥による汚損個体の増加、孢子・遊走子供給の減少、寄り藻の減少など藻場機能(第2章の表2-2-1参照)の低下・喪失 (増加)無節サンゴモ**、有節サンゴモ、トサカノリ、キントキ、フクロノリ、ウミウチワ、フクリンアミジ、アントクメ、アオサなど → 現存量・生育面積の増加、孢子・遊走子供給の増加	*海域によっては増加することもある。 **ウニなどの摂餌に対しては強いが、摂餌圧が極めて高い場合は、やはり食害により減少する。
貝類	(減少)アワビ類*、トコブシ、サザエ**、小型巻貝** → 成長不良「痩せ貝」	*カリフォルニアでも認められた。 **増加することもある。
甲殻類	(減少)イセエビ・ロブスター*、ヨコエビ・ワレカラ(葉上動物)	*ロブスターは逃避先を「海藻の茂み」から「転石下」へ変える。
ウニ類	(減少)キタムラサキウニ*、エゾバフンウニ*、バフンウニ* → 有用種の減少**・身入り低下「空ウニ」・成長回復能の喪失 (増加)ガンガゼ、ナガウニ、ムラサキウニ → ガンガゼなど非食用種の増加**	*増加することもある。 **南米のチリでも起こっている。
磯魚類	(減少)餌料、産卵基質および保育場の喪失	
その他	(増加)カンザシゴカイ、サンゴイソギンチャクなど	

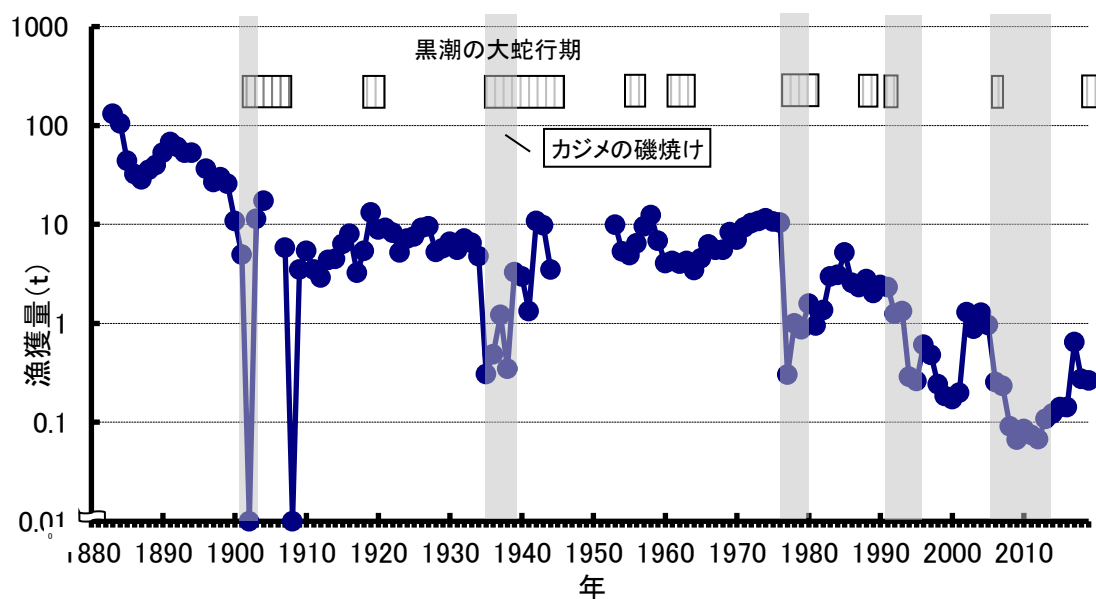


図 3-5-1 アワビ漁獲統計（静岡県下田市田牛）に表れた周期的な磯焼け（河尻ら，1981 を改変、長谷川雅俊氏提供）（上の帯は黒潮蛇行期、縦帯は特に顕著な時期を示す）

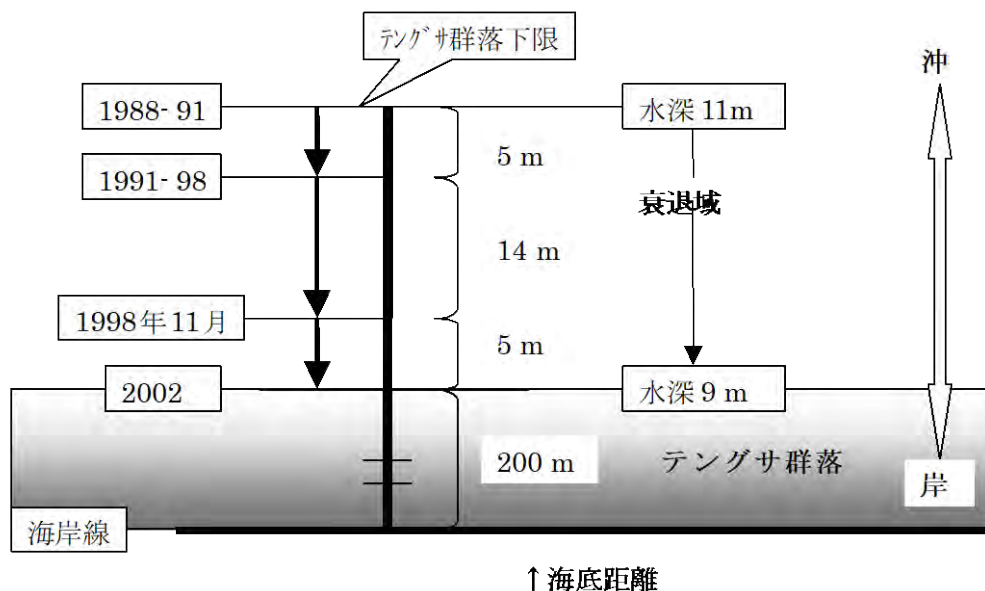


図 3-5-2 テングサ群落衰退のモニタリング調査（富山県滑川市）(Fujita *et al.*, 2006)
群落の下限に目印として土嚢やステンレス製チェーンを置いている。この群落では沿岸改変のほか、1998 年(梅雨明け宣言がなかった年)の長雨の影響で著しく後退した。

3. 6 磯焼けと区別すべき景観・事象

浅海の岩礁・転石域では、特に制限要因がなければ海藻が生育することが多いが、もともと海藻が生えにくく、安定した藻場が成立しない区域もある。過去に安定した藻場の存在が認知されていなければ、磯焼け域（＝藻場の衰退・消失域）との識別が困難であるが、磯焼けの過大評価を防ぐためにも、可能な限り区別すべきである。最も誤りやすいのは、沖焼け（図 3-3-1 左端）の場合である。一般に、藻場の沖側では、岩礁や転石が分布していても、光不足、海水の停滞、浮泥の堆積、ウニの恒常的な摂餌圧などの理由により、もともと海藻植生の乏しい貧植生域となっていることが多い。また、藻場は、気候の寒暖や海況の変化に伴い、現存量、生育面積、下限水深などが多少とも経年変動を示すのがふつうである。このような恒常的な貧植生域や小刻みな変動は磯焼けとは呼ばない。例えば、北海道南西岸などで長年持続している磯焼け域は「ウニーサンゴモ群集」（図 3-4-1）となるが、このタイプの群集は世界中の藻場の沖側で普遍的に認められ、すべてが藻場の衰退によって生じたわけではない。海況の変化や漁獲圧の増大あるいは人為的な影響により「ウニーサンゴモ群集」が拡大し藻場が衰退・消失した場合が磯焼けであり、航空写真で白く写った「ウニーサンゴモ群集」をすべて磯焼けと判断すべきではない。

このほか、春の大潮時の干出や河川水の影響により潮間帯の海藻が白くなる白化現象、潮汐の影響が弱い区域の飛沫帯下部に出現する恒常的な無植生域なども、磯焼けとは異なる現象である。なお、港湾拡張などの目的で藻場が直接埋め立てられて消滅した場合、この消滅自体は磯焼けではないが、その周辺で潮通しが悪くなり、底質や生物相の変化を招いて藻場が衰退し、磯焼けとなることがある。

3. 7 磯焼け研究の事始め

古来、日本では海藻を食用、肥料、糊料などの用途で盛んに利用してきたため、海藻の増減にも関心が持たれていた。例えば、18 世紀後半の長崎県対馬における肥料の資料には藻肥が採れない年が続いていたことが記されており、道南太平洋岸の旅行記には今年は昆布が少ないが水昆布（1 年目藻体）が多いので来年に期待が持てるとの記述がある。

日本で初めて磯焼けが学界に紹介されたのは 1885 年で、静岡県勸業課が大日本水産会に「磯の焼け」として「石花菜（注：テングサ）枯死の原因及其豫防法質問」を出したことに始まる。当時、寒天原藻であるテングサは、国内で最も重要な磯根資源で、最初の全国的な水産調査を敢行した松原新之助、日本の海藻学を創始した岡村金太郎らがテングサ群落の衰退について盛んに論じた。その後、アワビ研究の先駆けである岸上謙吉や田子勝彌らがアラメ・カジメ群落の衰退とそれを餌としていたアワビの減少、また、岡村と並ぶ当代有数の海藻学者であった遠藤吉三郎らがコンブ群落の衰退について報告した。

このうち、遠藤吉三郎（1874～1921）は、教科書『海産植物学』（1911）を著して「海藻減少論」の一項として磯焼けを論じ、海外に初めて磯焼けを紹介したほか、世界で最も古い記録と思われる 1830 年代のコンブ群落の衰退（下北半島）の事例を採録した。

遠藤は、磯焼けに関する最初の報告書「海藻磯焼調査報告」（1903）の中で、「或る特別なる沿岸一地区を限りて其処に産する海藻全部又は一部枯落して不毛となり従って有用海藻は勿論、之に頼りて生息するアワビ、磯付き魚等の収穫を減し或は全くこれを失ひ為に漁村の疲弊を来すことあり伊豆東岸にしては此現象を「磯焼け」又は「磯枯れ」と称し現今稍や普通語となれるものの如し」と述べて伊豆東岸、志摩、阿波の 3 地方を調査し、磯焼けの原因を山林の伐採に起因する出水（淡水流入の影響）と考えた。しかし、彼は淡水流入に伴う塩分の変化などの実測はしておらず、運河の塩分勾配と植生の関係を論じたドイツの一論文を参考に推察したにすぎない。昨今、淡水流入が藻場に与える被害としては、塩分の変化よりも、海水の濁りや海底への浮泥の堆積の方が注目されている。

上記のように、日本では明治時代中頃から磯焼けの認識が高まる。図 3-7-1 には、20 世紀初頭（1900 年頃）、20 世紀末（1980 年頃）、2013 年頃に藻場の衰退やその継続が認められていた都道府県を示してある。

1990 年頃の日本沿岸の藻場面積は約 20 万 ha で、約 13 年前と比べて約 6,400 ha の藻場が減少した（環境庁自然保護局，1994）。減少要因の内訳は、埋め立て等の直接改変（1,942 ha，30 都道府県）、磯焼け（1,016 ha，9 道県）、乱獲（31 ha，1 道）、海況変化など（1,117 ha，16 道県）、不明（2,801 ha，17 道県）とされ、直接改変による藻場の消失原因の大半は磯焼けではないが、磯焼け以降の 4 項目の区分は極めて曖昧である。なお、この調査では、水深 20m 以深、一部の島嶼および 1 ha 未満の藻場が含まれていない。

最近では、ほぼ全都道府県で磯焼けが報告されている。1990 年代に入ってから、静岡県御前崎の 1 地先だけでも 8,000 ha の藻場が磯焼け現象として消失しており、急速に磯焼けが拡大したことを示している。21 世紀に入ってから、衛星写真などの活用も試みられているが、全国の藻場や磯焼けの面積が以前と同じ調査範囲や基準で、つまり継続可能な形で調べられていないので、どれくらい磯焼け域が増えたのかはわからない。あくまでも目安であるが、2008 年に一部（約 42%）の海域の資料調査に基づいて推定された結果では 1990 年頃と比べて 22% の藻場が減っているとされている（海洋生物環境研究所，2009）。

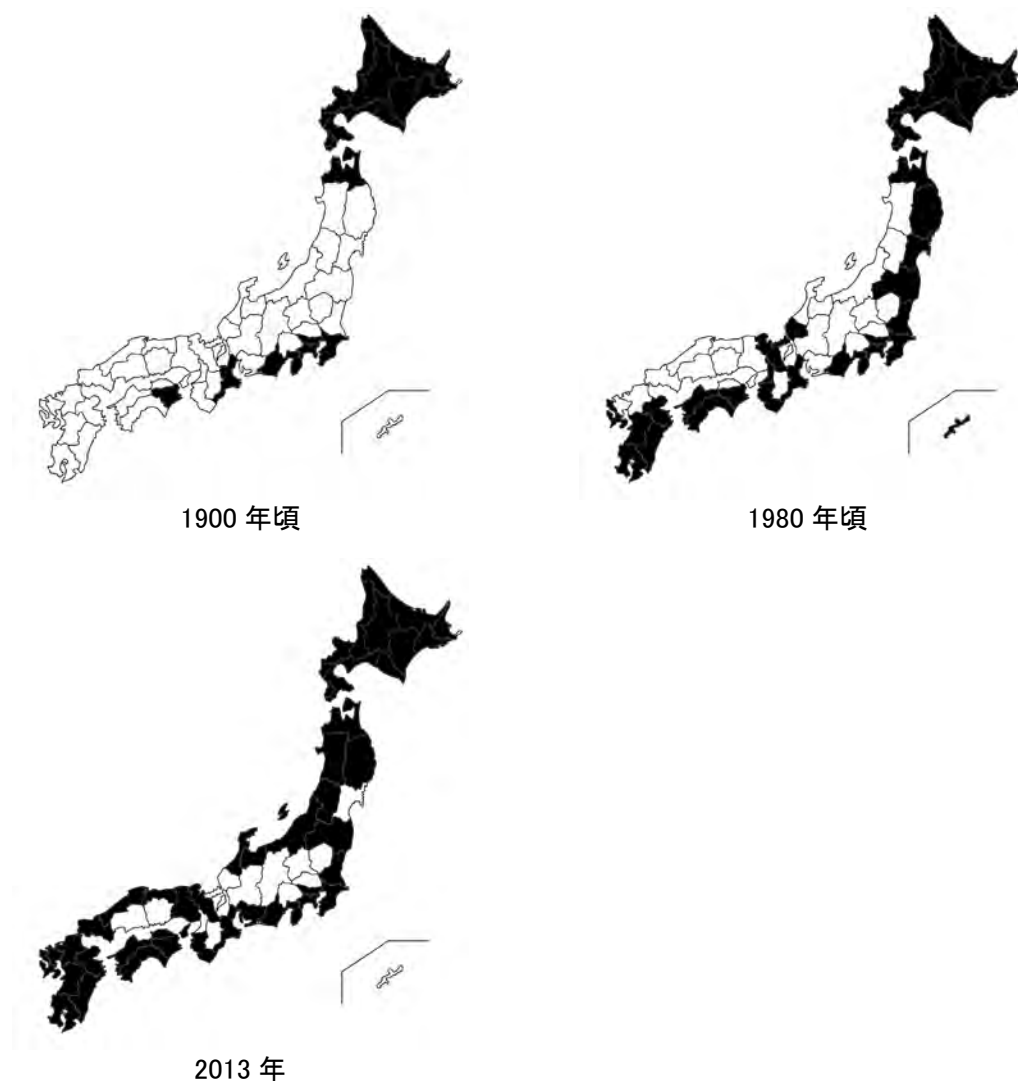


図 3-7-1 藻場衰退域を抱える都道府県の推移(藤田, 2006 を改変)

都道府県単位での整理であり、沿岸全域での衰退を示すものではない。2013 年はアンケート結果(水産庁, 2013)によるもの。

近年の磯焼けは、海藻が①植食動物に食われる、②枯れる、③芽生えなくなる、④流失する、のいずれか、もしくはこれらの組み合わせによることを先に述べたが、これらも含め、これまで日本で考えられてきた磯焼けの要因を表 3-7-1 に示した。古い時代には鉱山廃水の流入や海藻の乱獲、爆発した火山の周辺では火山灰や火山弾の堆積が藻場に深刻な影響を及ぼしてきた。中には、ほとんど実態が把握されていない項目や、国内では時代背景とともに姿を消しつつある項目もあるが、ここでは敢えてこれらの項目も掲げてある。

表 3-7-1 日本で考えられてきた磯焼けの発生または継続の要因

項目	要因例	備考
1. 海況の変化	黒潮・対馬暖流の優勢・接岸、親潮第一分枝の離岸、流水接岸	冬季または夏季の高水温が問題となり、夏季は貧栄養も伴う。流水接岸は「磯掃除」(雑藻駆除)効果の方が大きい。
2. 栄養塩の欠乏	イカゴロ海中投棄の中止、砂防ダムの増加、海岸道路の敷設、沢水・河川水の流入減少・拡散阻止	窒素・リン(・鉄?)の不足は、海藻の成長や体色、成熟に影響を及ぼしうる。沿岸・流域の改変や沿岸への栄養塩フィードバックの喪失により、富栄養域と貧栄養域の差が拡大し、水質規制域では栄養塩不足も懸念される。
3. 淡水流入の影響	山林伐採(河川氾濫、堰の一時放水)、原野開拓、豪雨・長雨、ダム排砂	古くは低塩分により外洋性の海藻を枯死させると考えられていたが、実際は出水時の浮泥堆積や海水の濁りの影響が深刻。出水時にはむしろ栄養塩供給効果が期待される。
4. 天候の異変	台風・暖冬	広域で台風の影響が考えられたのは相模湾西部のキティ台風(1949年)のみ。近年、アラメ・カジメ類の脱落を促している。
5. 植食動物の食害	ウニ、サザエ、アメフラシ、小型巻貝、植食性魚類(アイゴ、ブダイ、ノトリスズミ、ニザダイなど)	ウニ・魚以外は副次的であるが、サザエはテングサ場、アマクサアメフラシはワカメ場で時々問題になる。
6. 海底基質の占有	無節サンゴモ、ゴカイ類、サンゴ、サンゴイソギンチャク、ヒバリガイモドキ	無節サンゴモは、食害、波浪、海水の濁り、浮泥の堆積などに強く、海藻が少ない区域(衰退域も含む)で繁茂しやすいが、磯焼けの原因よりも結果である。サンゴやサンゴイソギンチャクの増加は南日本で顕著。
7. 海底基質の埋没	火山灰、漂砂、浮泥	火山灰の被害は、古くは駒ヶ岳、近年は普賢岳や三宅島で起きた。漂砂や浮泥は近年の沿岸・河川の改変と関係が深い。
8. 公害	鉱山・工業・生活排水、発電所温排水、河川改修、海岸道路・港湾・護岸工事(特に、埋め立てや沖出し構造物)、圃場整備、農業	現在、国内の鉱山は大半が閉山になり、高度成長期に比べて沿岸の汚染も改善されたが、沿岸構造物の増加により静穏化や浮泥の堆積、植食動物の定住が進んでいる。
9. 漁業・増養殖	漁場酷使、海藻類の過剰採取、漁場改良、ウニの深浅移植、ウニや貝の過剰放流、魚類養殖の残渣?	アワビ、テングサ、コンブなどの乱獲を経験している磯焼け域も多い。近年の不適切な漁場改良やウニ肥育のための深浅移植も磯焼けを持続・増大させている。
10. その他	温泉湧出、地下水利用による海底湧水の減少、細菌繁殖ほか	ここで挙げた例以外にも俗説は多い。南太平洋ではカジメ衰退域でカジメのウイルス感染などが報告されている。

3. 8 食害型の磯焼け

日本では、磯焼けに関する認識が早く、ウニの産地も古くから知られていたが、磯焼けとの関連でウニが注目されることはなかった。1908年に農商務省の田子勝彌技師が茨城県北部のウニだらけの磯焼け域で潜水観察記録を残し、1932年に北海道利尻島のリシリコンブ漁場でコンブ食害対策として漁業者からウニを買い上げた記録があるくらいである。

食害型の磯焼けについて、本格的な実験・観察が行われるようになるのは1960年代以降である。特に、カリフォルニア沿岸のケルプ場改良計画(KHIP)でウニの大発生によるジャイアントケルプ海中林の衰退が報じられてから、世界各地で報告が相次いだ。日本でも、1970年代に、東北海区水産研究所が「浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究」(1979)で海中林造成事業を実施し、東北地方太平洋沿岸や北海道日本海沿岸で研究が盛んになった。北日本で大規模な藻場(特にコンブ群落)の衰退を引き起こすのは主にキタムラサキウニ、南日本では、ムラサキウニ、ガンガゼ、ナガウニなどが問題になる。

なお、ウニが高密度となって生じた不毛域をウニ焼け(urchin barren)と呼ぶ。ウニ焼けと藻場はいずれも漸深帯における対極的な安定状態とされ、ウニ密度と海藻被度の関係が不連続フェーズシフト(図3-8-1)として説明される(Filbee-dexter & Scheibling, 2014; Ling *et al.*, 2014)。ウニの密度が増加してウニ焼けになる際のウニ密度と、ウニの密度が減少して藻場が回復する時の密度には大きな差がある。すなわち、藻場、ウニ焼けのいずれの状態にもウニが多い時と少ない時があり、藻場が一旦衰退してウニ焼けに陥ってしまうと、なかなか藻場には戻りにくいことを物語っている。

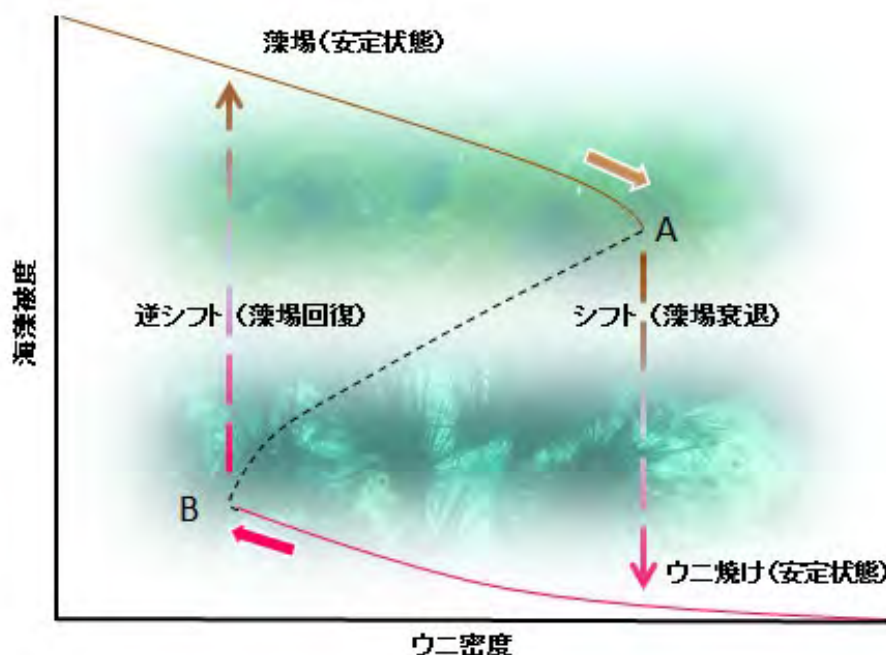


図 3-8-1 藻場とウニ焼けを対極的安定状態とする不連続フェーズシフト (A と B は閾値)
ウニが増加し A を上回るとウニ焼けになり、ウニが減少し B を下回ると藻場が回復。A と B のウニ密度の差は 10 倍前後。Filbee-dexter & Scheibling, 2014 等を改変。

一方、アイゴ、ブダイ、ニザダイ、イスズミなどの植食性魚類は、もともと熱帯・亜熱帯に起源を持ち、一部が日本のような温帯域にまで分布している。植食性魚類の存在は、ヨーロッパでは紀元前4世紀のアリストテレスの時代から知られているが、日本沿岸でも、南日本を中心に、少なくとも江戸時代から知られている。例えば、アイゴは飢饉をもたらす魚、ブダイは藻を食べる魚（モハミ）として知られ、元来、多少とも海藻を食べていたはずである。1990年頃から南日本沿岸を中心にアラメ・カジメ類の海中林やガラモ場の衰退要因としてしばしば報告されるようになってきた。植食性魚類による藻場の衰退が顕在化してきた原因は、沿岸水温の上昇に求められることが多い。しかし、それ以外にも、人工海岸の増加、天然藻場の消滅、魚礁・藻場造成、海藻養殖とその盛衰、捕食者（魚食性魚類、アオリイカなど）の減少、漁村の食文化や鮮魚流通の変化、発電所温排水など、検討すべき点が多い。

近年、植食性魚類による藻場の食害はグローバルな問題として注目され、水温の上昇傾向が顕著な大洋の西側（大陸の東側）の西岸境界流（黒潮もその1つ）の流域や、スエズ運河の開口により紅海由来の植食性魚類が流入し増加している地中海奥部などで深刻化している（Verges *et al.*, 2014）。

多くの磯焼けは、海藻の生育を制限する要因が取り除かれると、時間は要したとしてもいずれ藻場は回復する。黒潮の接岸、火山灰の堆積、鉱山廃水などによる磯焼けはその好例である。ここで取り上げた食害型の磯焼けのうち、ウニを実験的に除去、殺戮（ハンマーによる殴打や生石灰の散布）あるいは漁獲により生息数を減らした場合、ウニの捕食者であるラッコの個体群が回復した場合、ウニが高水温時に大量 斃死 した場合などに藻場が回復している。現在、世界の食用ウニは日本人の胃袋を目掛けて輸出されており、漁獲圧が高い地域では大規模な磯焼けは解消している。なお、漁獲圧が高いのにウニ焼けが回復しないのは、食用ウニの漁獲に伴って非食用ウニが増えた場合、ウニ以外に小型巻貝や植食性魚類の食害、または浮泥の影響など、別の要因が働いている場合である。

なお、本ガイドラインでは、阻害要因を取り除く手法として、ウニ・魚の植食動物を人為的に除去する方法を示しているが、植食動物が増えた原因から対策を考え、捕食者を利用して植食動物の密度を制御することも考えられる。その方法として、「捕食者を利用した藻場回復の手引き」を取りまとめているので参照されたい。海外では、ウニの捕食者の乱獲がウニを大量発生させ、磯焼けを引き起こすことが広く認識されており、全面禁漁区の設定によって、捕食者の個体群が回復すれば、その捕食によりウニが減少し、藻場も回復する事例が知られている。我が国では、地先の漁場が地元の漁協で排他的に分割管理されているため、海外と同じような大規模な全面禁漁区を設定するのは難しいが、漁協が自主的に設定している保護区であっても捕食の間接効果により磯焼け域の中に藻場が維持されている事例（コラム3-8-2）がある。植食動物の密度を人がすべて管理する従来の方法だけでなく、捕食者の保護を通じて、管理作業を軽減したり、解消したりすることも考えられる。漁業者の高齢化の進行、漁村の人口減少並びに魚価の低迷が予想される中においては、捕食者を利用した藻場回復手法は、人手を要しない手法として、今後推進することが期待される。

【コラム 3-8-1】★ウニの捕食者による藻場の維持

高知県沿岸では近年、水温上昇が顕著で、温帯性の大型褐藻類は消失し、岩礁は、波浪の影響の強い極浅所を除いて概ね、図 1A に示すようなウニの優占する磯焼け状態になっている。しかし、この海域に位置する X 湾は、ホンダワラ類などの大型海藻が水深の深いところまで広く生育する特異な場となっている（図 1 B、C）。当湾は、地元漁協が古くから湾全域をイセエビの保護区に設定している面積約 0.3 km²の小湾で、イセエビの資源保護のため、イセエビ漁の制限のほか、大規模な投石礁の整備や、小型エビ（自主規制により、県の規定 100g より大きい体重 180g 以下）の保護区への再放流により、イセエビの生息数の増加と大型化が図られている。夜行性であるイセエビは、日中隠れ場に潜んで、夜間そこから這い出して周辺を索餌し、ウニなどを捕食する。調査の結果、イセエビの主要な隠れ場となっている投石礁とその周辺では、ウニが非常に少ない領域が形成、維持され、藻場が持続的に維持されていること、ウニの捕食の大部分が超大型のイセエビによること、などが明らかになっている（Kawamata & Taino 印刷中）。この X 湾のように小規模で、漁業が続けられている保護区のウニの磯焼け域で藻場の維持に成功している例は、海外でもおそろくない。我が国では海外のように大規模な全面禁漁区を設定するのは制度上難しいが、地先単位で管理する保護区は多数存在する。X 湾の例は、それらを活かして捕食者を利用した藻場回復に可能性があることを示している。

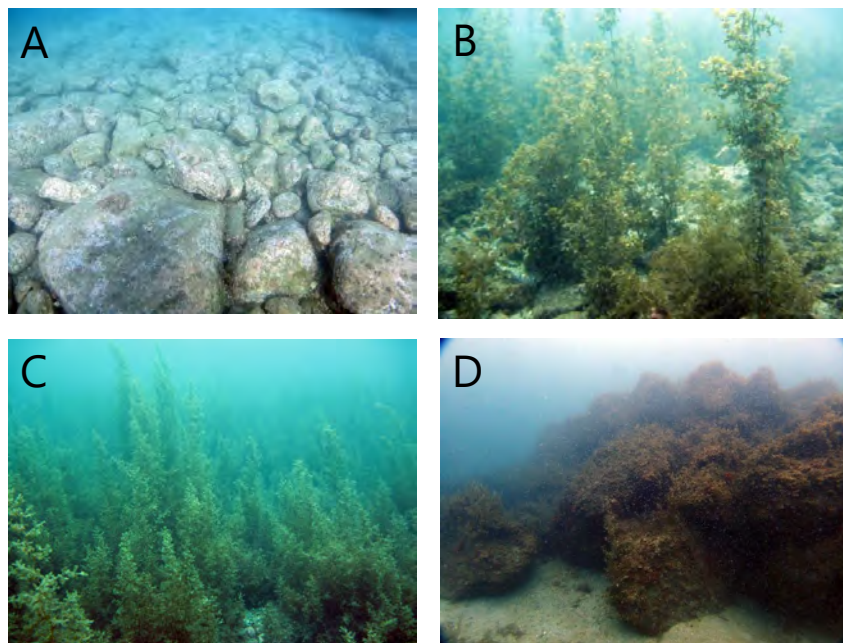


図 1 高知県沿岸の典型的な磯焼け場と保護区の X 湾内の海中景観

A: X 湾近隣の巨礫場 B, C: 湾内の深所まで広がる藻場 D: 投石礁

写真 A の巨礫の下にはウニが高密度に隠れ、夜間這い出してくる。保護区内の投石礁（写真 D）には大型のイセエビが比較的高い密度で生息し、ウニはほとんど生息せずに、海藻が繁茂していた。

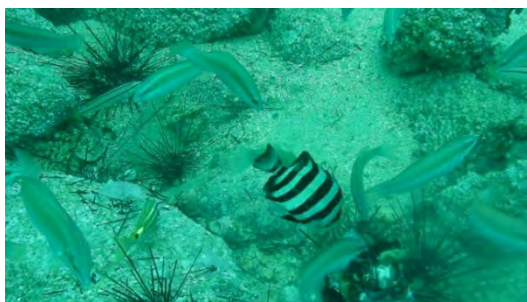
【コラム 3-8-2】イシダイーガンガゼー海藻の栄養段階カスケードはありうる!?

藻場など生物群集の調節の 1 つに、食物連鎖を通じたトップダウンコントロールがある。ウニの捕食者としては、ラッコ、ロブスター、カニ、ヒトデ、肉食魚などが知られ、これらが漁獲などの理由で減少すると、ウニが増え、磯焼けが拡大する。海外では、捕食者によるウニ捕食試験、海洋保護区（MPA）と非保護区の間での捕食者やウニの生息密度と植生を比較した研究が多く、生物多様性の維持とともにトップダウンコントロールの重要性が強調されている。

南日本に多いガンガゼの捕食者としてイシダイがよく知られている。海中での捕食がダイバーらに目撃され、イシダイ釣りの餌としてもガンガゼが使われる。イシダイはガンガゼの個体群を調節できるのか？ 伊豆半島でガンガゼへの影響を検討してみた（Fujita *et al.*, 2013）。

伊豆半島はイシダイ釣りが盛んで、半島先端部では全長 70 cm を超える大型魚の釣獲記録もあるが、磯焼け（ガンガゼが優占）が広がる内浦湾では、漁獲量も少なく魚体も小さい。年代毎に釣りガイドを調べると、大瀬崎以北の内浦湾の釣りスポットが近年は掲載されなくなっている。内浦湾ではもともとイシダイの大型魚はいないが、中小型魚も減っているのかもしれない。

水槽実験でガンガゼ稚ウニ（殻径 15 mm 未満）を底に沈めると、イシダイはヤドカリやヤツデヒトデと比べ大量に捕食した（～80 個体／日）が、全く食べないイシダイもいた。イシダイはガンガゼ以外の稚ウニも食べ、水温の下がる冬季（稚ウニの多い時期）には稚ウニ捕食量が減少した。実際の海底では、稚ウニは石の裏側や岩穴に隠れていてイシダイは捕食できない。健全な成ウニ（殻径 40～60 mm）は長い棘に防御されてあまり食われず、棘を全面、半面あるいは上面だけ除去、または上下を反転した場合に捕食され、海底で殻を割ると生殖巣を突いて食べる。以上のように、少なくとも内浦湾では、イシダイがウニ個体群を調節できるとは言い難い。近年のガンガゼの増加の原因としては、海岸構造物の増加による海域の静穏化、あるいは、水温上昇傾向にある中で稚ウニの発生量が増大したことによる可能性の方が高い。しかし、イシダイによるトップダウンコントロールの可能性については、他の海域も含め、もう少し検討すべきかもしれない。海況や地形の等しい海洋保護区と非保護区を設け、魚体のサイズと密度、ウニの密度や海藻被度や群落高の関係が明らかにされるべきである。



海底で潰したガンガゼを突くイシダイ幼魚

ヤツデヒトデに捕食されたガンガゼ稚ウニ

図1 ガンガゼを捕食する動物

【コラム 3-8-3】イセエビはウニだけを食べる食害対策の救世主!?

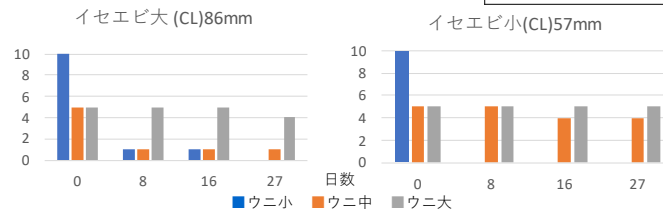
本州中部以南太平洋沿岸でウニの捕食者として最も期待されるのがイセエビである。磯焼けを持続させているサイズのウニを捕食できるのは大型のイセエビと考えられるが、主流漁獲サイズのイセエビ(頭胸甲長 60~90 mm)も小型・中型のウニを盛んに捕食する(図 1 上)。小さなイセエビが保護されて海底のウニを食べれば、わざわざ除去したり肥育したりしなくてもよい。

ここで留意点がいくつかある。イセエビはウニだけを食べるわけではなく、主に貝類や甲殻類を食べる。上記のイセエビに、ウニ(殻径 20~40 mm)とともに殻高 20~50 mm のサザエを与えると、ほぼ同様に捕食する(図 1 下)。小型サザエは殻ごと粉々にし、中型サザエは殻口から割って食べる(図 2 上)。実際に、イセエビの巣窟の前には殻が割られたサザエの死殻が散在している(図 2 下)。

また、イセエビも捕食者に食われることを十分に知っておく必要がある。代表的な捕食者はウツボとタ

コで、ウツボはイセエビを餌としておびき寄せたタコも食べるので、アワビやサザエの害敵も減る。このように、沿岸の生物群集は複雑に絡み合い、海藻-ウニ-イセエビという単純な図式ではなく、各海域の生物相に応じた食物網を形成する。したがって、イセエビを基軸に食害対策を考える場合は、サザエやアワビなど他の漁獲生物への影響や捕食者による被害も視野に入れて検討する必要がある。

ムラサキウニサイズ別捕食試験
(2019年6~7月)



ムラサキウニ・サザエ捕食試験
(2019年12~2020年3月)

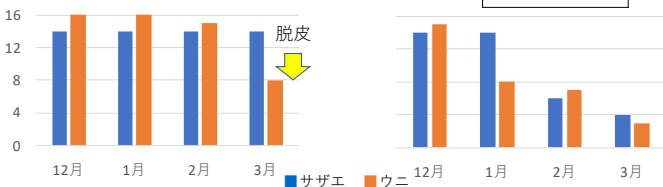


図 1 大小イセエビを用いたムラサキウニサイズ別捕食試験とムラサキウニ・サザエの摂餌試験



図 2 イセエビに割られたサザエ殻(上)とイセエビ巣窟の前に散在するサザエ殻(下)

3.9 栄養塩と攪乱

ウニを除去すれば藻場が回復するという結果は、藻場の生物群集が「ウニ－海藻」、すなわち、「食う－食われる」の関係（トップダウンコントロール）によって維持・決定されていることを示している。しかし、海水中の栄養塩、さらにはこれを直接利用する海藻などの基礎生産者が群集を支えており、「栄養塩－海藻」という逆の流れ（ボトムアップコントロール）の視点も欠かせない。そもそも、外海の貧栄養域で起こるウニ焼け域でも、河口や碎波帯では海藻がよく繁茂する。これは、単に河川水や波浪（および揺れる海藻による掃除作用）がウニを寄せつけないだけでなく、栄養塩を供給し、その摂取を助長するためである。人間は海の栄養塩をコントロールできないと考えている人もいるが、沿岸に限っていえば、排水規制や過疎化が進む以前、漁村の生活排水や水産加工残渣の海中投棄により、相当規模で栄養塩を供給していたと考えられ、昨今、栄養塩循環サイクルが弱体化していると考えられるべきである。事例は少ないが、近年、一部の沿岸域において魚かすや鉄鋼スラグ系施肥材などを用いた施肥が試みられているほか、大量取水・利用した後の海洋深層水（栄養塩に富む）の有効利用という観点からも注目されている。

トップダウンとボトムアップのいずれのコントロールが一次生産者たる海産植物の生育量を決めているのか。海外の報告ではあるが、人為的操作によって植食動物の除去と栄養塩の添加の効果を比較した世界各地の実験についてメタ解析が行われている (Burkepile & Hay, 2006)。ここでいう海産植物には、海藻だけでなく、珪藻や藍藻などの微細藻類、海草、塩生湿地植物が含まれ、必ずしも岩礁域（磯焼けが発生する場）だけを取り上げたものではないが、いずれの操作も有意に影響を及ぼす傾向が認められ、植食動物が不在の場合には栄養塩添加の効果が大きく表れる傾向にある。ただ、植食動物が及ぼす影響は、緯度、海産植物の種類、生態系の持つ本来の生産力によって大きく異なり、熱帯の海藻や海草では栄養塩添加よりもはるかに影響が大きく、サンゴから海藻群落へのフェーズシフト（例えば、カリブ海）では植食動物（魚類、ウニ、巻貝）の減少が大きな役割を果たしているようである。温帯域の海藻や微細藻類の群集に関しては、本来の生産力が高い場所では栄養塩添加の効果が大きく、生産力が低い場所では植食動物の影響が強く表れる。

もう一つ、近年、国内でも本州南部日本海側などで台風による海藻の流失が顕在化しているが、このような攪乱について、Reed *et al.* (2011) はカリフォルニア州中南部の 17 地点で 9 年間にも及ぶ調査結果を整理して興味深い考察を行っている。カリフォルニア南部ではウニが高密度で、栄養塩濃度が低いのに対し、カリフォルニア中央部ではラッコの捕食によりウニは低密度で、栄養塩濃度は安定して維持されている。この 2 地域でジャイアントケルプの純生産力を比較すると、南部で高く、中央部の 2 倍となっている。これは、攪乱（冬の嵐によって生じる波浪）が常に中央部で高く、ケルプのバイオマスの流失量が平均すると南部の 2 倍に達することによる。このように、攪乱（嵐）はトップダウンやボトムアップのコントロールよりも群集に大きな影響を与えうる。

第4章 代表的な植食動物

磯焼けを引き起こす代表的なウニ2種2分類群（キタムラサキウニ・ムラサキウニ・ガンガゼ類・ナガウニ類）と植食性魚類4種（アイゴ・ブダイ・ノトリスズミ・ニザダイ）の生態について、既往文献等より整理した。

4. 1 ウニ

1) キタムラサキウニ

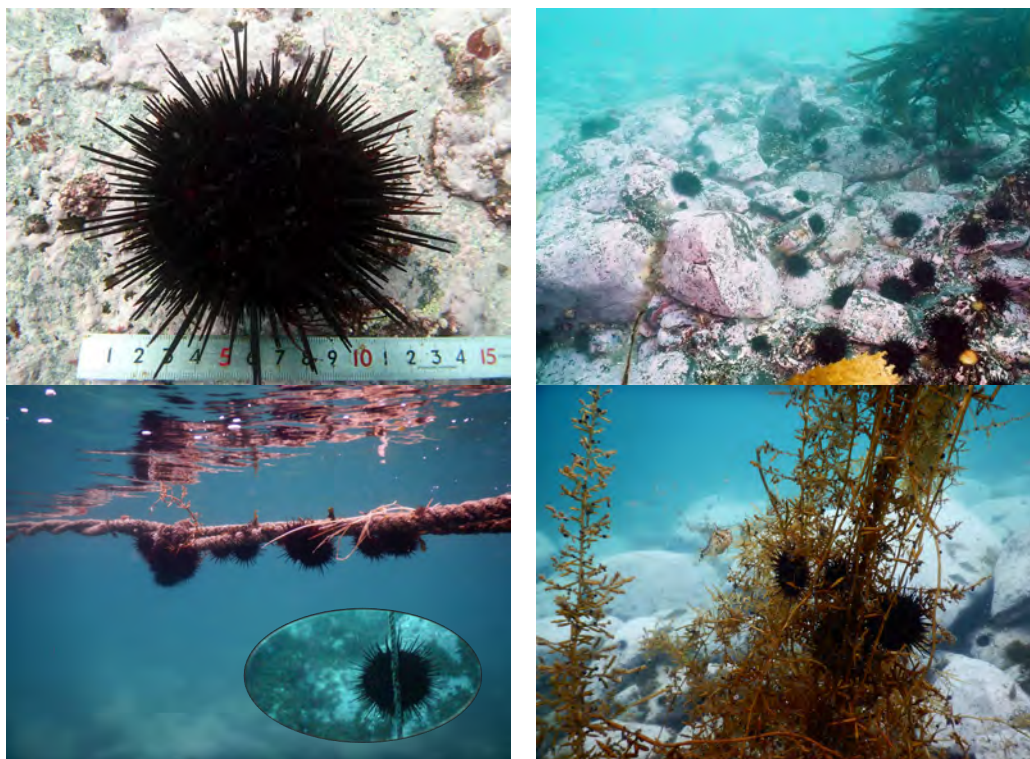


図 4-1-1 キタムラサキウニ *Mesocentrotus nudus*

(1) 分布

相模湾から襟裳岬にいたる太平洋側と山口県
青海島以北の日本海側からホーツク海にかけて
分布する。このうち藻場の衰退との関連が指摘
されているのは、太平洋側では茨城県以北、日
本海側では京都府以北である（藤田ら，2008）。
藻場の沖側に多く、藻場を沖側から岸側へ衰退
させるのが一般的であるが、極端なウニ焼け状
態では汀線付近まで分布する。



図 4-1-2 キタムラサキウニの分布

(2) 生態

表在性で、岩の表面に出ていることが多く、
コンブやアカモクなどの海藻に登って摂餌する

こともある。細いロープや網も登ることができ、海域が静穏化する時期には、ウニ侵入防止用のフェンス（立網タイプ）も乗り越える。成長は生育場所の餌料海藻の種類・量によって異なり、コンブ類やアラメ類などの大型海藻藻場で良く成長することが知られている。北海道三石町沿岸のコンブ場では1歳で殻径18 mm、4～5歳で漁獲サイズの殻径50 mmに達し、10歳で約70 mmとなる（吾妻，1997）。宮城県のアラメ場では3歳で殻径6 cmに成長するが、無節サンゴモ場では成長が悪く1年遅れる（佐野ら，1999）。寿命は14～15歳である（吾妻，1991）。ウニは一般的に夜行性であるが、本種は例外的に夜間よりもむしろ、日没と日の出前後の比較的明るい時間帯に行動が活発になる（橘高ら，1983）。冷水性のため高水温（25℃以上）に弱く、深所への避難（辻ら，1994）や砂礫底への潜砂のほか、京都府や富山湾では大量 斃 死（藤田，1994；辻ら，1994）も報告されている。

（3）繁殖

産卵期に地域差が少なく、北海道、青森県、京都府沿岸の広域にわたる海域において、水温が低下する9～10月に行われる。浮遊期間は、種苗生産では約15日間、北海道日本海側では1～2カ月に及ぶとされ、水深3～9mの無節サンゴモ群落に着底する。満1歳以降は徐々に生活場所を拡大し、2～5月には深所の無節サンゴモ群落へ、7～12月には浅所の海藻群落の周辺へと深浅移動を行う（吾妻，1997）。

（4）摂餌

雑食性であるが、主に海藻を食べる（川村，1964）。摂餌選択性（嗜好性）が強く、コンブ類など好む海藻を食べ尽くしても、アカバなど嫌いな海藻はあまり食べない（町口，1994）が、他に餌がなければフクリンアミジやアカバも摂餌する。コンブ類で調べた実験では、摂餌量は水温によって変化し、2～22℃では水温上昇とともにほぼ直線的に増加し、22℃で最大となり、26℃では低下した（町口，1997）。海水の動きに影響を受け、外洋に面する浅所では通常の波でも摂餌活動が抑制される（川俣，2008）。

（5）その他

エゾバフンウニとともに生産量が多く、北海道、青森県、岩手県、宮城県で、多く漁獲される。ムラサキウニとは属レベルで異なり、管足の骨片の形状や孔対（管足孔）の配置等で分類査定される。外観では、キタムラサキウニの棘はザラザラして短く、出方に偏りが無い。

2) ムラサキウニ

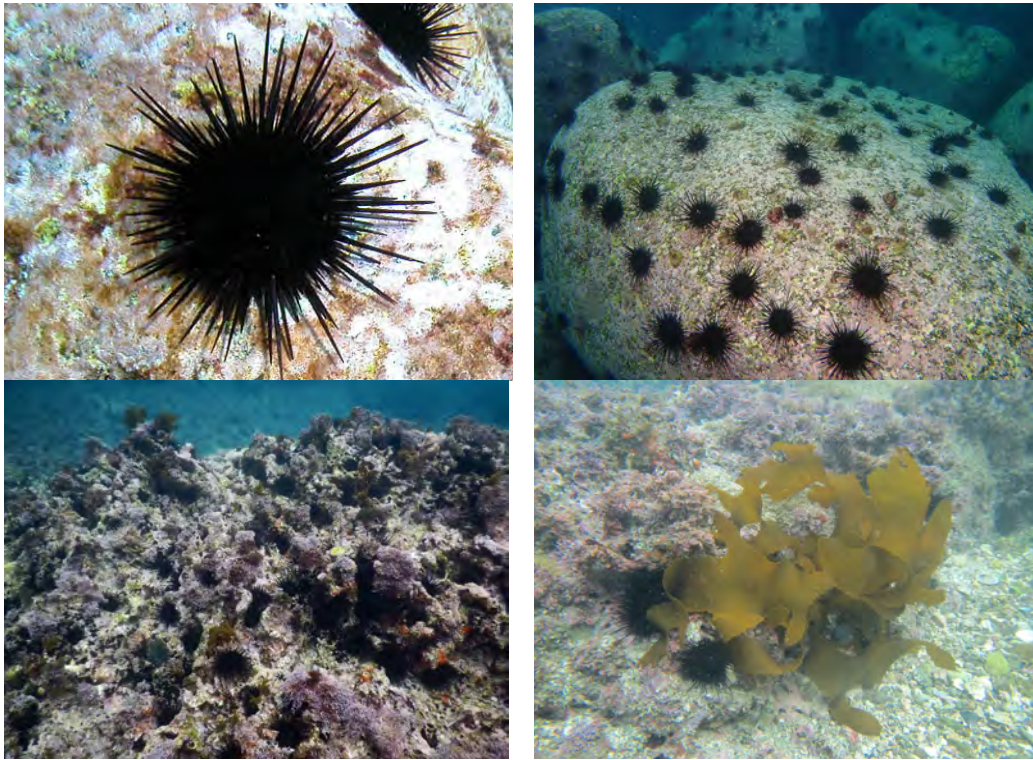


図 4-1-3 ムラサキウニ *Heliocidaris crassispina*

(1) 分布

本州と九州の沿岸に分布し、太平洋側の北限は茨城県大洗付近、日本海側の北限は青森県深浦付近である(重井, 1994)。秋田県男鹿半島沿岸では、ムラサキウニが増加する一方で、キタムラサキウニが減少し、種の交代が起きている(Feng *et al.*, 2019)。

(2) 生態

岩穴や溝、消波ブロックの重なった部分などに多く生息するが、場所によって、あるいは季節によって岩の表面に出ていることも多い。

成長は、地域によって若干異なり、神奈川県では1歳で殻径 18 mm、2歳 33 mm、3歳 44 mm、4歳 52 mm、5歳 58 mm (今井, 1980)、長崎県で

は1歳で殻径 20~30 mm、2歳 33~37 mm、3歳 38~40 mm、4歳 43~45 mm (清本ら, 2003) の報告がある。寿命は11年以上である(Yatsuya *et al.*, 2004a ; 渡邊ら, 2015)。成長は餌条件で異なり、京都府では有節サンゴモ場よりガラモ場で成長が良く(Yatsuya *et al.*, 2004a)、有節サンゴモ場でも流れ藻のホンダワラ類が主な餌料となっている



図 4-1-4 ムラサキウニの分布

(Yatsuya *et al.*, 2004b)。1 歳未満の個体の加入は浅所に限られ、台風時を除き、大きな季節移動はないため、浅所に多く生息する(清本, 2011)。昼間も若干は動くものの、夜間に長距離を移動する(伊藤, 2008)。水温 11℃では 72 時間後も活力の低下は認められないが、8℃では 48 時間以降に棘の脱落が起きる(山下ら, 1996)。

(3) 繁殖

産卵期は 5～9 月(主に 6～8 月、20～28℃)である。産卵期に複数回産卵し、1 月齢で 1 回産卵する(堀井, 1997)。幼生の浮遊期間は約 2 週間である(伊東, 1984)。

(4) 摂餌

ムラサキウニの餌は主に海藻で、生育量の多い種や寄り藻を摂餌している(今井ら, 1986)。海藻によじ登って摂餌することはほとんどなく、大型海藻は岩穴に引っ張り込むようにして食べる。アラメとホンダワラ類(主にヨレモク)を餌とした選択試験では、ホンダワラ類を多く摂餌した(金丸ら, 2007)。日間摂餌率は低水温期に低く、20～25℃で最も高くなる(内場, 1985)。年間摂餌量(アラメ)は、1～2 歳で 34g、2～3 歳で 96g、3～5 歳で 220g 程度と試算されている(内場, 1985)。

(5) その他

磯焼け域から除去したムラサキウニは身入りが 1～2%と低く、有効利用されていない。神奈川県水産技術センターは、痩せたムラサキウニを陸上水槽でキャベツ等を餌として肥育して、2 カ月で身入りを 15%程度に向上させた(臼井, 2019)。その後、除去ウニの陸上肥育が各地で行われるようになってきているが、磯焼けを回復させるほどの個体数は処理できていない。

3) ガンガゼ類

国内に分布するガンガゼ類はガンガゼとアオスジガンガゼの 2 種だけとされていたが、遺伝学的・形態学的な再検討により、アラサキガンガゼが別種として認識され、3 種となった(Chow *et al.*, 2016)。多くの図鑑でアオスジガンガゼとされてきたウニのうち、本州に生息するガンガゼ類はほとんどがアラサキガンガゼである。3 種の判別は、張(2019)、田中ら(2019)に詳述されている。

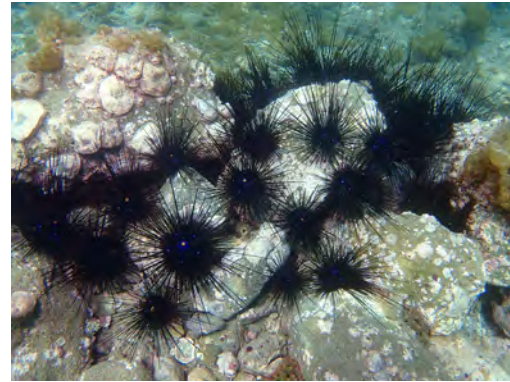


図 4-1-5 ガンガゼ *Diadema setosum*
間歩帯に 5 つの白い斑点があり、肛門突起にオレンジ色の輪を持つ。

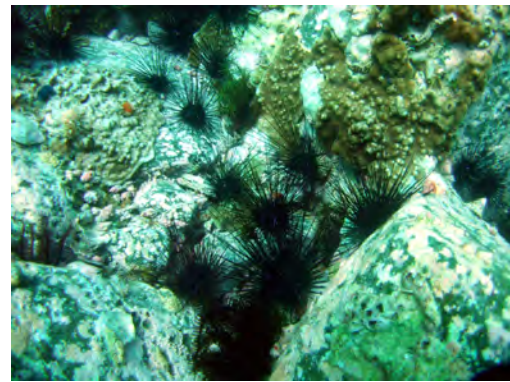
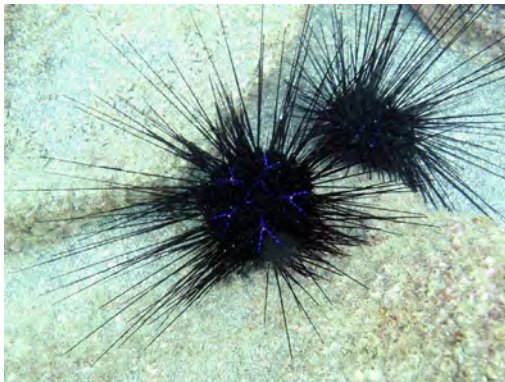


図 4-1-6 アラサキガンガゼ *D. clarki*
間歩帯に白色以外の斑点があり、肛門突起にオレンジ色の輪を持たない。似ているア
オスジガンガゼ (*D. savignyi*) は、Y 字型の青線を持ち、I 字部は明瞭で 2 列である。

(1) 分布と特徴

ガンガゼ類の分布と形態の特徴は、図 4-1-7 のとおりである。



◆ ガンガゼ類の分布域の特徴(張, 2019)

ガンガゼ: 太平洋側の房総半島以南、日本海側の能登半島以南に分布する。

アラサキガンガゼ: 太平洋側では房総半島以南、日本海側では能登半島以南、九州南端までの沿岸に分布する。

アオスジガンガゼ: 伊豆半島以南にみられる。沖縄に多く、本州周辺では稀(和歌山県串本町、愛媛県内泊など)で、日本海側には分布しない。

図 4-1-7 ガンガゼ類の分布

(2) 生態

ガンガゼは、静穏域を好み（道津ら，2002；諏訪，2005）、波浪の影響を受けにくい水深 10m 付近の天然岩礁や、大礫から中礫の大きな生息空間のある転石域に多く分布する（秋本ら，2008）。飼育下では約 3 週間の浮遊期を経て、着底後 120 日で 殻径 6 mm（野口ら，2012）、天然の稚ウニを飼育した結果では 1 歳で約 25～30 mm（清本ら，2011）、静岡県天然海域で 30～40 mm（Fujita *et al.*, 2013）になる。2 歳以降の成長については報告がない。水槽内での飼育実験では図 4-1-8 の結果を得た。

成体の室内試験での致死水温（低温側）は 9℃であった（海洋生物環境研究所，2012）。熊野灘では 12℃以下で大量斃死が起きた（小井ら，2008）。アオスジガンガゼはガンガゼ、アラサキガンガゼに比べて低温耐性が低く、和歌山県串本町においてアオスジガンガゼのみが冬季に大量斃死した（石川，2020）。低塩分に弱く、飼育試験では 1/3 に薄めた海水中（塩分濃度 17）では 3 時間後に全滅した（小澄ら，2005）。

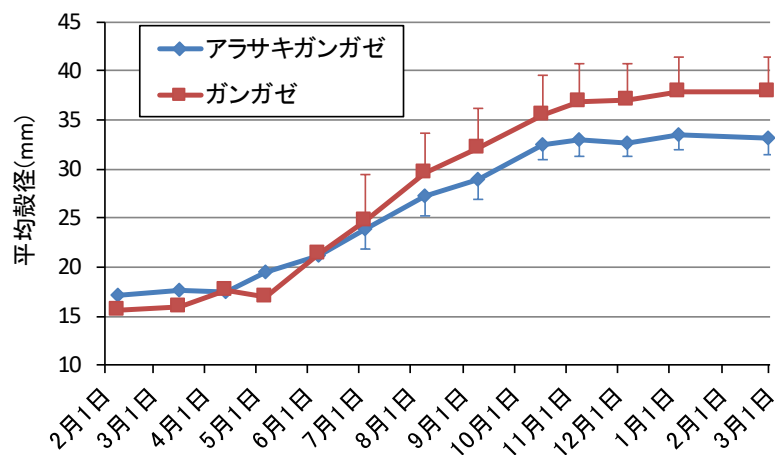


図 4-1-8 ガンガゼ類 2 種の成長曲線（清本ら，2011 を改変）
2 月に殻径 15 mm 前後の個体を採集し、水槽内で塩蔵ワカメを餌として飼育した。上下のバーは標準偏差。

(3) 摂餌

ガンガゼは海底（付近）の藻体や動物を摂餌する傾向があり、藻場域では消化管内に海藻、石灰藻、岩石基質、堆積物および動物がみられた（完山ら，2008）。一方、磯焼け域では消化管内に有節サンゴモ、付着珪藻や糸状の小型藻類、ソコムジンコなどの底生甲殻類などがみられた（諏訪ら，2004）。海藻が少ない海域では珪藻や有機物を重要な餌としており（Kamura *et al.*, 1986）、安定同位体比による研究から海藻を主な窒素源としていないことが報告されている（丹羽ら，2020）。

摂餌量は水温との間に正の相関があり、低水温時に最も低く、水温上昇とともに高まり、高水温時にピークとなる（完山ら，2008；石川，2018；丹羽ら，2020）。ノコギリモクを餌とした試験ではガンガゼの日間摂餌量は高水温時（27℃）に高く、低水温時（17℃）の約 5 倍であった（道津ら，2002）。アラメとホンダワラ類（主にヨレモク）を餌とした選択試験では、ホンダワラ類を多く摂餌した（金丸ら，2007）。同じ殻径であ

れば、ムラサキウニ、バフンウニ、アカウニの1.5～2倍の摂餌量を示し（金丸ら，2007；福田，2013）、藻場に与える影響はこれらのウニより大きい。

（４）繁殖

ガンガゼは、室内実験では水温約23℃前後で成熟・産卵し、孵化後約3週間の浮遊期間を経て、着底した（野口ら，2012）。産卵期は、7～9月（沖縄では4～10月）である。

（５）その他

ガンガゼは、殻に1 cm程度の穴をあけても生存することが報告されている（小澄ら，2005）。生殖腺は、甘味アミノ酸の組成比が低く、苦味アミノ酸の組成比が高いため不味いとされているが（金子ら，2009）、鹿児島県や熊本県では地場産のウニとして販売され、甘味が強い醤油とともに食べる。また、イシダイなどの磯釣りの餌としてネット通販も行われている。

４）ナガウニ類

日本近海のナガウニ属はホンナガウニ1種とされてきたが、形態とDNAを用いた解析の両方からツマジロナガウニ（図4-1-9）、リュウキュウナガウニおよびヒメクロナガウニの3種が識別された（平塚ら，2009；田中ら，2019）。ツマジロナガウニは棘の先端が白く、他の3種は多孔板の小疣の数や周口部の色彩などの点で区別される（平塚ら，2009）。

（１）分布

ツマジロナガウニが房総半島以南、他の3種は紀伊半島以南に分布する。

（２）成長

ナガウニ属4種は、室内実験で20～25日間の浮遊期を経て着底・変態し、1歳（殻径20～29 mm）で成熟した生殖腺を持つ。野外における生活史はほとんど解明されていない（平塚ら，2009）。ツマジロナガウニは、沖縄のサンゴ礁ではタイドプール・礁池・礁斜面に生息し、他の3種は潮間帯付近に分布する（平塚ら，2009）。室内実験では、ツマジロナガウニは、低温耐性（3～5℃）、高温耐性（34～37℃）、塩分変化および乾燥耐性のいずれも他の3種に比べて低かった（Arakaki *et al.*, 1991）。



図4-1-9 ツマジロナガウニ
Echinometra sp. A

（３）摂餌

ナガウニ属4種の消化管内容物の40～80%は大型藻類、芝状小型藻類、海草で占められ、それぞれの生息場所で得られる植物である（平塚，2009）。ヨレモクモドキを餌とした飼育実験で、ナガウニ属の摂餌量はムラサキウニの0.7倍であった（福田，2013）。

(4) 繁殖生態

産卵期は 7～9 月（沖縄では 5～12 月）である。

5) 除去しないウニ

エゾバフンウニとアカウニは、高価な水産有用種で、除去されることはない。キタムラサキウニやムラサキウニも、漁場となっている海域では除去されないことがある。

タワシウニ、ラップウニ、コシダカウニなどは、直立海藻に及ぼす影響が小さいので、除去する必要はない。これらのウニを除去しても、藻場の回復に寄与せず、無益な殺生となるだけでなく、生物多様性の維持の観点からも望ましくない。



図 4-1-10 タワシウニ *Toxopneustes pileolus*

タワシウニ（図 4-1-10）は、房総半島・相模湾以南に分布し、岩に穴を掘って群生する（重井，1995）。外形がムラサキウニやガンガゼに似ていることもあり、磯焼け対策で除去されたことがある（田井野，2008）。タワシウニは、上側（反口側）の長い棘を巣穴から伸ばして、流れてくる海藻片などのデトリタスを引っ掛け、管足で回収して食べる濾過食性である（西村，1972；田中，2019）。タワシウニが密集していても、パッチ状磯焼けにはならない。



図 4-1-11 ラップウニ *Echinostrephus aciculatus*

ラップウニ（図 4-1-11）は、相模湾・隠岐島以南に分布し、ラップ部（腺囊叉棘）に猛毒を持つ（田中，2019）。大型のウニであり特異な色彩・形態が海底で目立つためか、ウニ除去時に一緒に潰されることがある。過密に分布する場合を除き、除去する必要はない。

4. 2 植食性魚類

1) アイゴ



図 4-2-1 アイゴ *Siganus fuscescens* (出所：水産研究・教育機構)

(1) 分布域および大型海藻への食害が報告されている海域

青森県から九州南岸の日本海・東シナ海・太平洋沿岸（有明海、瀬戸内海を含む）、琉球列島等に分布している。食害は、千葉、神奈川、静岡県、徳島県、山口県蓋井島、福岡県小呂島、壱岐・五島を含む長崎県、宮崎県と南日本の広い範囲で報告されている（吉村ら，2005；桐山ら，2007ab；野田ら，2018）。



(2) 移動性と蟄集性

長崎県野母町でのバイオテレメトリー調査では、半数程度の個体は放流された藻場に留まることが報告されている。一方で、一部の個体は 10 km 以上離れた場所で再捕されている（山口ら，2006）。瀬戸内海では、11～12 月にかけて播磨灘から紀伊水道に移動している可能性が示唆されている（山本ら，2020）。しかし、アイゴの移動には不明な点が多い。アイゴ成魚は通常 1～3 個体の小さな群れを形成するが、大きな群れも観察されている（野田ら，2018；図 4-2-3）。群れの場合は、単独の場合とは異なり、海藻を食い散らかすように食べるため、短期間の来遊でも藻場に及ぼす影響は大きいと考えられている（野田ら，2004）。

図 4-2-2 アイゴの分布

(3) 摂餌生態

TL（全長）30～40 mm 前後の稚魚は、主にホンダワラ類に着生する大型の付着珪藻を摂餌し、TL 50 mm 以上になると、消化管内容物はホンダワラ類の藻体上の着生藻類や岩

上の小型藻類の割合が増大し、TL 60 mmを超えるとホンダワラ類が優占する（水産庁，2015）。

山口県（周年海藻が生える四季藻場域）では、成魚が夏にホンダワラ類などの大型海藻と小型および着生藻類を食べる。秋にはホンダワラ類などの大型海藻を食べる量が増え、小型および着生藻類が減少する。カイメンやホヤなどの動物も食べる（野田ら，2011）。

日間摂餌量は、26～29℃の間で多く、この範囲を外れると低下することが水槽実験で明らかにされている。本種は昼行性で、夜間の摂餌は確認されていない（山内ら，2006）。



図 4-2-3 徳島県で観察されたアイゴの群れ

（４）年齢と成長の関係

千葉県沿岸では、SL（体長）35 cm程度に成長し、最高齢個体は13歳。雄は1歳でSL 9 cm、5歳でSL 26 cm、10歳でSL 27 cmとなり、雌は1歳でSL 9 cm、5歳でSL 27 cm、10歳でSL 30 cmとなる（片山ら，2009）。

（５）繁殖生態と初期生態

SL 17 cm以上で生殖腺が発達する（片山ら，2009）。繁殖期は千葉県や長崎県では7～8月の夏（片山ら，2009；山田ら，2006）、沖縄県では5～6月の春～初夏である（山田ら，2006）。稚仔魚の回遊生態に関しては、石垣島周辺では浮遊期も含めて大規模な分散・移動は行わない可能性が示唆されている（山田・馬場，2009）。

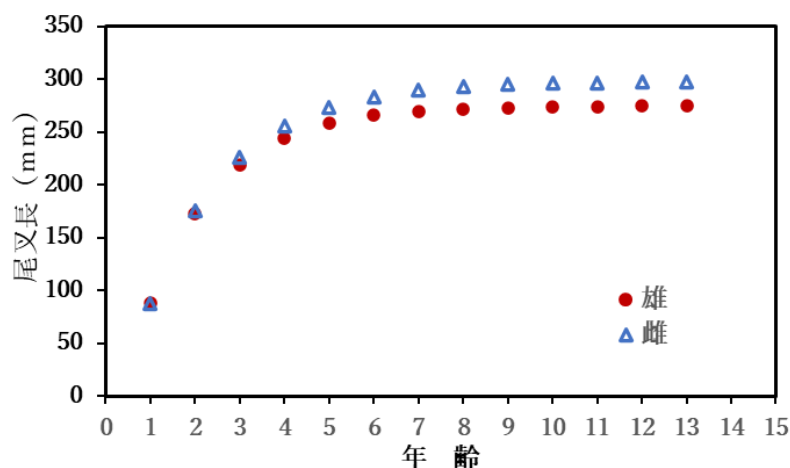


図 4-2-4 アイゴの年齢と成長の関係（片山ら，2009 に基づき作成）。

（６）その他

^{ひれ} 鰭の棘に毒を持ち、刺されると痛むので、ハサミなどで棘を切断するとよい。

【コラム 4-2-1】★アイゴの採食生態の調査事例

2004 年 7～10 月に、和歌山県田辺市沿岸の 3m×3m×3m の生け簀にアイゴ 8 尾を収容してカジメを給餌し、摂餌量を求めた。図 1 にこの間の水温とカジメの日間摂餌率を示す。これによると、7～8 月は同程度のカジメ日間摂餌率であるが、9 月頃から上昇し水温が約 27℃になる 9 月末に盛んとなった。

2004 年 12 月には、水温を変えた 100ℓ の水槽に、アイゴ各 3 尾を収容し、カジメを給餌して日間摂餌率を求めた。図 2 に水温と摂餌率の関係を示す。これによると、26～29℃で日間摂餌率は高く、これより低くても高くても極端に低下した。

2004 年 11 月には、1t の水槽を用意してアイゴ 8 尾を収容し、カジメを給餌して 2 時間毎の摂餌率を求めた。図 3 にアイゴのカジメ摂餌率の日周変化を示す。これによると、周囲が明るくなり始める 5～7 時の間に摂餌が始まった。その後、徐々に摂餌率は上昇し、13～15 時に最も高くなった。

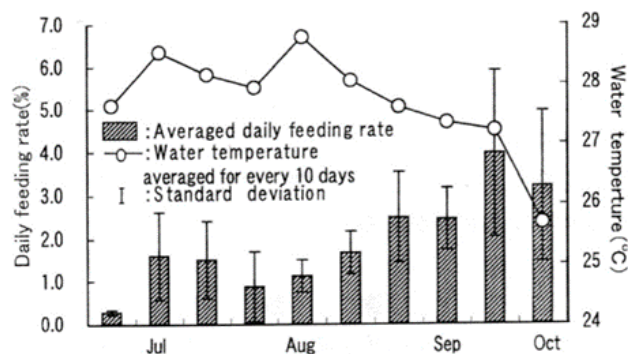


図 1 アイゴのカジメ日間摂餌率と水温変化
(日間摂餌率(%)=日間摂餌量(g)/総魚体重(g)×100)

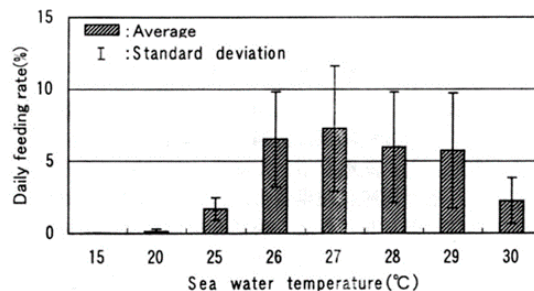


図 2 アイゴの水温とカジメ摂餌率の関係

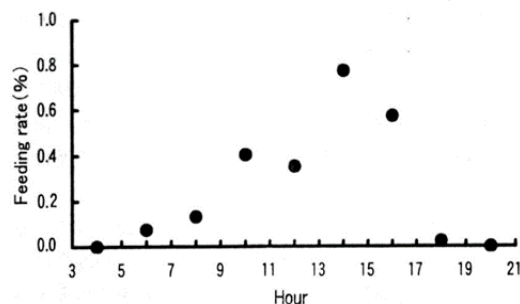


図 3 アイゴのカジメ摂餌率の日周変化

【コラム 4-2-2】アイゴの群れの大きさと採食速度

野田らは、1.8t の水槽（25℃）内に平均体重 334g のアイゴを 5、10、20 個体と個体数を変えて収容した。朝 9 時にアラメ 1 株を設置して 17 時に回収し、この間の採食行動をビデオカメラで撮影した。この実験で、アラメの葉状部の欠損量、脱落量および採食量を測定した。その結果、アイゴの個体数が多いほど、アラメの葉状部の欠損速度（アイゴ 1 個体、1 時間当たり）は大きくなることが判明した。さらに、アラメ全体の欠損量に占める摂食量と脱落量の割合を群れの大きさと比較した（図 1）。採食量の割合は、5 個体区で多く、20 個体区で少なかった。アラメの脱落量は、アイゴの群れが大きいほど多い結果となった。

このように、多量の葉状部の脱落を引き起こすアイゴの採食行動は、群れサイズが大きくなるほど顕著になることがわかった。したがって、群れで生活するタイプのアイゴの密度を低くできれば、藻場への食害の影響をかなり小さくできる可能性がある。

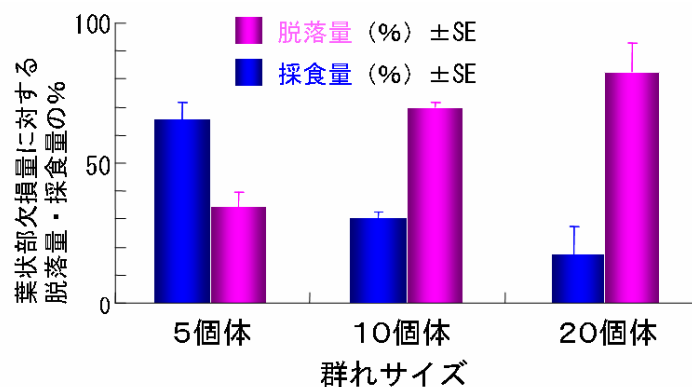


図 1 アイゴの群れの大きさに伴うアラメの採食量と脱落

【コラム 4-2-3】★アイゴの天敵

アイゴは背鰭などに毒がある鋭い棘をもっており、自然界において捕食者（天敵）は少ないとされているが、生活史の一部を藻場で過ごすアオリイカは、アイゴなどの磯魚を捕食することが知られている（図 1）。アイゴはアオリイカに対して逃避行動を示すだけでなく、アオリイカの存在自体によってアイゴの採餌行動等が影響される可能性がある。

アオリイカとアイゴの飼育試験を行い、両者の行動パターンを確認した（図 2）。アオリイカは成体、幼体ともアイゴを水槽に投入するとすぐに捕食行動がみられた（図 3）。アオリイカは捕らえたアイゴの内臓を必ず食べていたが、胴体部分はほとんどの場合、食べ残していた。アオリイカは動く物に対して素早く捕食行動を起こすが、水槽底に横臥している個体、あるいは密な群れを作ってあまり動かない個体は、単独で遊泳している場合よりも捕食しない傾向がみられた。

アイゴの防御的行動は、試験期間を通じて観察されたが、試験開始 2 日目以降の捕食はほとんど暗期に起こっており、暗期はアオリイカ側に有利な状況と考えられる。また、アオリイカの胴長よりも大きなアイゴは、捕食されなかったが、アオリイカの

存在下では密な群れを作るなどの行動がみられ、捕食されないサイズのアイゴにおいても、アオリイカの存在はプレッシャーを与えることが確認された。アオリイカ幼体は1日当たり最大7～8.5尾、平均4～4.8尾のアイゴ稚魚を捕食した。水槽内にアイゴが逃避できる場所を設定してもアオリイカのアイゴ捕食数への影響は認められず、アオリイカがアイゴの個体数を減らす効果は非常に高いと考えられた。

アオリイカがアイゴを頻繁に攻撃している場合には、アイゴの海藻採食量は顕著に減少したが、アオリイカが飽食して攻撃しない場合には、海藻採食量は影響されないことが示された。本試験では空間的に制限された水槽内の実験であり、海域においてアオリイカの攻撃を受けたアイゴは藻場から離れ逃避するのか、個体数を減らしながらも藻場に留まるかは今後の課題である。

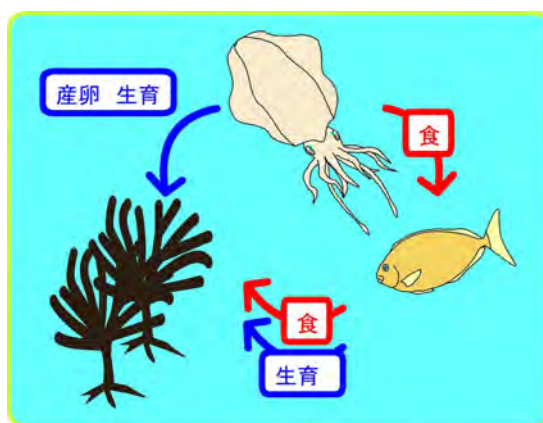


図1 藻場とアイゴとアオリイカの関係



図2 アイゴを捕食するアオリイカ



図3 アオリイカに内臓を食べられたアイゴ

2) ブダイ

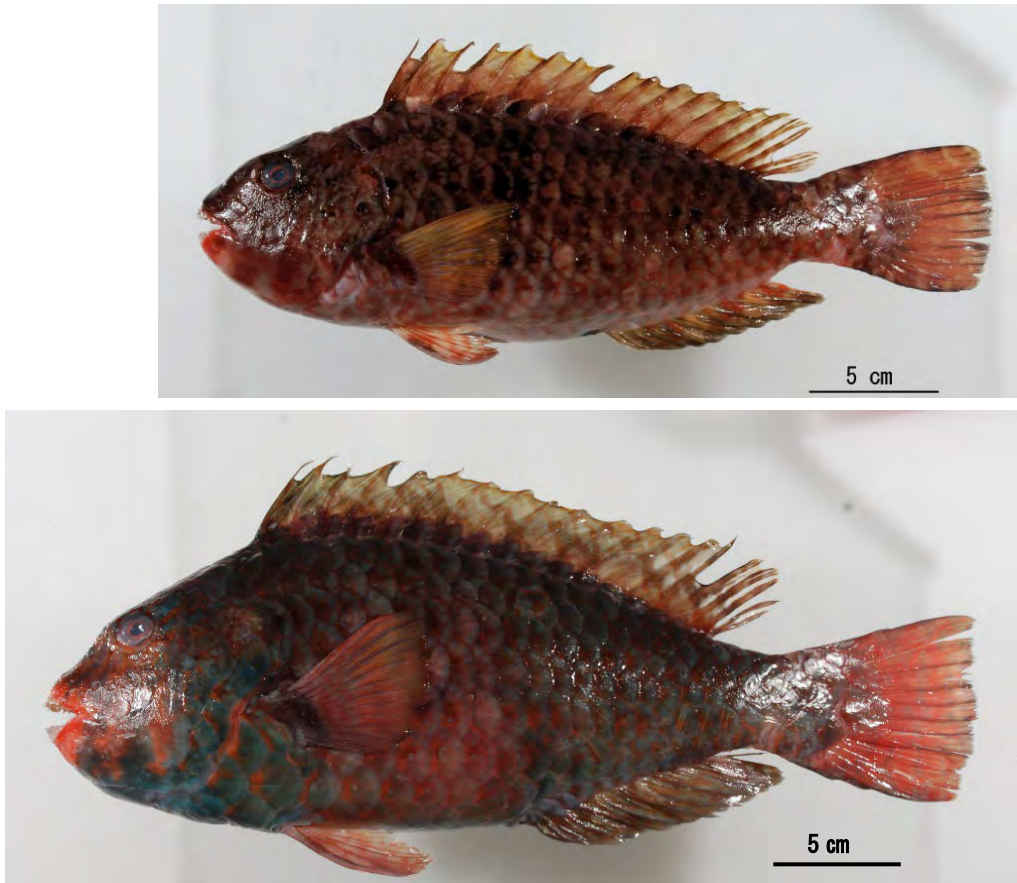


図 4-2-5 ブダイ *Calotomus japonicus* (出所：水産研究・教育機構)
小型個体の体色は地味な赤色であるのに対して(上)、大型個体は口の周りや
尾鰭が鮮やかな赤色となり、体色には青色が混ざる(下)

(1) 分布域および大型海藻への食害が報告されている海域

千葉県から九州南岸の太平洋側、九州西岸等に分布している。食害は、静岡県、和歌山県、長崎県、大分県などの南日本の太平洋側が多い(桐山ら, 1999, 2006a; 吉村ら, 2005, 2006; 尾上ら, 2005; 木村, 2006)。

(2) 移動性と蜆集性

大分県佐伯市沿岸でのバイオテレメトリー調査では、本種は定住性が高く、移動範囲は概ね 2 km 前後であった。蜆集性は報告されていない。

(3) 摂餌生態

鹿児島県口永良部島(5～8月にホンダワラ類が繁茂する海域)では、ホンダワラ類を主に摂



図 4-2-6 ブダイの分布

餌する（具島，1981）。高知県の春藻場（第2章の2.5参照）では、褐藻だけでなく、紅藻も摂餌することが報告されている（Terazono *et al.*, 2012）。夏には底生動物も摂餌するとされるが（藤田ら，2006；中坊，2018）、周年を通じた調査は十分に行われておらず、どの程度、季節的な変化があるかは不明である。

（4）年齢と成長の関係

長崎県沿岸では、TL（全長）50 cmまで成長し、最高齢は8歳。雌から雄へ性転換する雌性先熟魚である。小さい時は体全体が地味な赤色で（図4-2-5 上）、大きくなると口の周りや尾鰭は鮮やかな赤色となり、体色には青色が混ざる（図4-2-5 下）。地味な体色の個体は多くが雌であるが、雄も存在する。派手な体色の個体はすべて雄である。1歳でTL 12 cm、3歳でTL 29 cm、5歳でTL 39 cmになる（Kume *et al.*, 2010）。

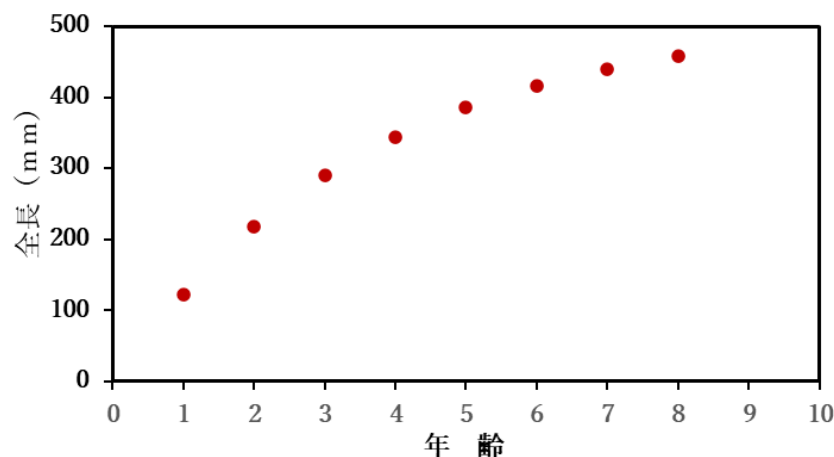


図4-2-7 ブダイの年齢と成長（Kume *et al.*, 2010に基づき作成）。

（5）繁殖生態と初期生態

TL 25 cmの個体で成熟が確認されている。それより小さい時から成熟している可能性もある（Kume *et al.*, 2010）。繁殖期は、長崎県では7～10月（Kume *et al.*, 2010）、鹿児島県口永良部島では5～8月である（渋野ら，1994）。複数の雄が縄張りを形成し、そこに雌が訪れて放精・放卵する（渋野ら，1994）。また、ブダイを含むベラ科魚類では密度により繁殖行動が変化することが知られており、今後、より詳細な調査が必要である。稚仔魚の分布域に関する知見はない。

3) ノトイズズミ



図 4-2-8 ノトイズズミ *Kyohosusu bigibbus* (出所：水産研究・教育機構)

(1) 分布域および大型海藻への食害が報告されている海域

能登半島から九州南岸の日本海・東シナ海沿岸、千葉県外房から九州南岸の太平洋沿岸、琉球列島等に分布する。食害は、福岡県小呂島、対馬・壱岐島・五島を含む長崎県、静岡県で報告されている（吉村ら，2005；増田ら，2006；桐山ら，2006ab；日高ら，2016；清本ら，2016）。

(2) 移動性と蟄集性

長崎県壱岐島郷ノ浦町でのバイオテレメトリ調査では、半年以上追跡できた個体のうち、半数程度が郷ノ浦町地先の全域（24 km）を移動したことが報告されている。本種の移動範囲は冬～春に狭く、夏～秋にかけて広がる傾向がある（清本ら，2019）。移動性の季節的変化の理由については明らかにされていない。



図 4-2-9 ノトイズズミの分布

長崎県や宮崎県では冬～春（1～6月）にかけて数百個体が消波ブロックに蟄集することが確認されている（図 4-2-10）（桑原，2015；門田ら，2017）。これらの個体は、日中は消波ブロックに留まり、夜間になると消波ブロックから離れる（吉村ら，2013）。夏や秋においても本種が蟄集する事例はあるが、冬や春に比べると蟄集の規模は小さい。この蟄集性を利用して、刺網等を用いて本種を多量に除去した事例がある。

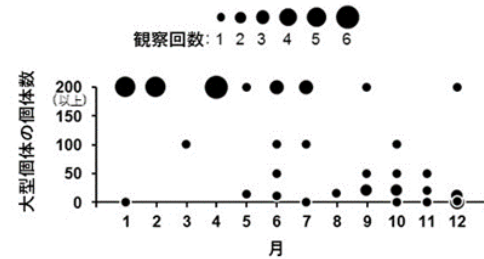


図 4-2-10 長崎県壱岐市和歌漁港の消波ブロックに集まるノトリスズミ（左）とノトリスズミ大型個体（全長 30 cm 以上）の月別出現数（右）（門田ら，2017 を改変）

（3）摂餌生態

長崎県では、春にはホンダワラ類やワカメ等の大型褐藻を、夏～冬にはウミウチワやシマオウギなどの小型褐藻を、晩冬～初春にはカヤモノリ科や小型紅藻などを主に摂餌する（Yatsuya *et al.*, 2015）。摂餌量は、12～30℃の範囲で調べた結果、30℃で最も高く、水温が 16℃以下になると減少し、12℃以下ではほぼ停止することが水槽実験で明らかにされている（野田ら，2016）。水槽内では昼間だけでなく夜間も摂餌することが確認されている（Noda *et al.*, 2016；野田ら，2016）。夜間に海藻が消失する場合は、食害原因種として本種を検討する必要がある。

（4）年齢と成長の関係

長崎県では、FL（尾叉長）60 cm まで成長し、最高齢は 46 歳。雄は 1 歳で FL 16 cm、5 歳で FL 38 cm、10 歳で FL 46 cm、15 歳で FL 48 cm となり、その後、成長は緩やかとなる。雌は 1 歳で FL 16 cm、5 歳で FL 39 cm、10 歳で FL 48 cm、15 歳で FL 50 cm と、雄よりやや大きい（Ogino *et al.*, 2019）。

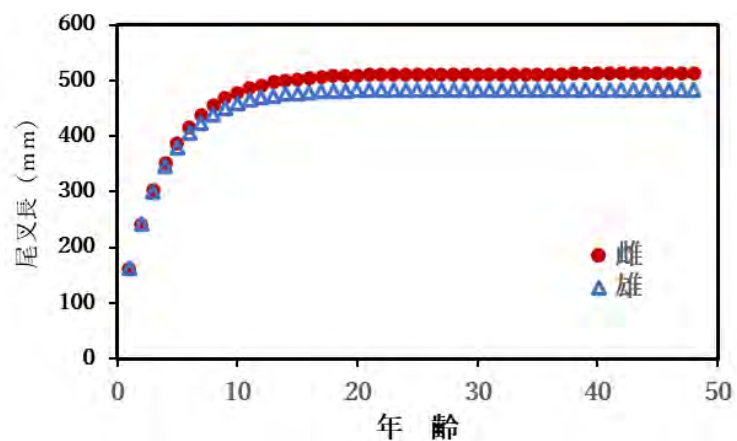


図 4-2-11 ノトリスズミの年齢と成長の関係（Ogino *et al.*, 2019 に基づき作成）

（5）繁殖生態と初期生態

成熟は、雄が FL 28 cm 以上、雌が FL 34 cm 以上（Yamaguchi *et al.*, 2011）である。繁殖期は、長崎県では 6～10 月である（Yamaguchi *et al.*, 2011）。稚仔魚の分布域は知見がないが、同属のイスズミとテンジクイサキの稚魚は流れ藻につくことが報告されている（池原，2006）。

【コラム 4-2-4】★宮崎県で見られたイスズミ類の魚群

宮崎県北部の日向市地区と南部の串間市地区における 2 つの消波構造物において、冬季にノトイスズミの 100～300 個体の群れが確認された（図 1）。群れが確認された年に近隣の定置網に入網したイスズミ類を採集したところ、1 回当たりの最多採集尾数は 23 個体で、両地区とも 9 割以上をノトイスズミ、残りをイスズミが占めた。同じ時期に、消波構造物に隣接するクロメ場において過剰採食が顕著に見られ、ノトイスズミはクロメに対する影響の大きい種と考えられた。



図 1 ノトイスズミの群れ



図 2 クロメに見られた食痕

群れが見られなかった年の 6～9 月と 1～2 月に浅瀬や消波構造物など（水深約 3～15m）の周りで実施した刺網漁獲試験では、8 月以前の漁獲は見られなかったが、9 月以降は最多で 3.4 個体／日を漁獲した。9 月以降に刺網を繰り返すことで比較的効率よく除去できることが示唆された。刺網では、定置網では見られなかったテンジクイサキが 6 割以上を占め、ノトイスズミ、イスズミの順でこれに次いだ。また、胃内容物中の優占する海藻は、ノトイスズミでは褐藻、イスズミでは緑藻、テンジクイサキでは紅藻で、魚種によって傾向が異なった（図 3）。これらのことから、宮崎県の藻場では、ノトイスズミだけでなく、他の 2 種による影響も無視できないと考えられた。

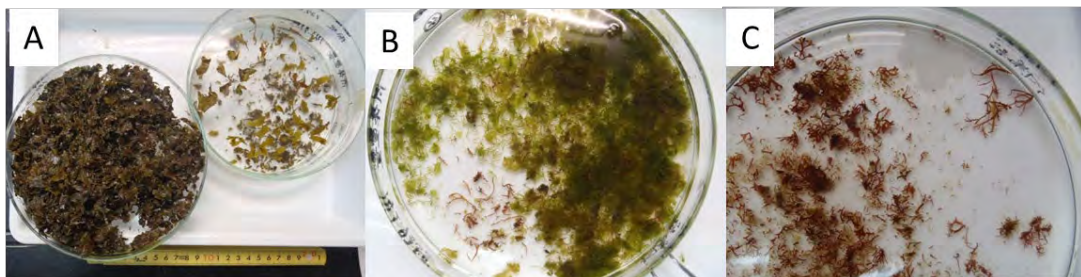


図 3 胃内容物の例

A: ノトイスズミ B: イスズミ C: テンジクイサキ

【コラム 4-2-5】千葉県で撮影された大規模なノトリスズミの魚群

藻場への負荷が注目されているノトリスズミは、主に冬季に大型の消波ブロックに集まることが知られている（吉村ら，2015；門田ら，2017）が、長崎県と宮崎県以外での観察例がなかった。ところが、本邦におけるスクーバ潜水の先駆者である日本水中科学協会代表の須賀次郎氏が、2008 年 1 月に千葉県外房の乙浜漁港で大きな群れを撮影されていたことがわかり、2020 年 11 月より「植食魚であるイスズミの大群」

(<https://youtu.be/ssh3o0ZQ6L4>) として動画配信サイトに公開された。魚体の特徴からノトリスズミと推定され、映像では 500 個体程が確認できるが、実際数はそれを遥かに上回っていたとのことである。

須賀氏によると、もともとこの水域でイスズミ類を見かけることは稀だったそうだが、その後は現地を見ていないため、最近の状況はわからないそうだ。しかし、ノトリスズミの大きな群れが千葉県でも観察されたことは、太平洋側の黒潮流域各地でも本種に留意し、分布実態や藻場への影響度を早急に解明すべきであることを示唆する。



図1 消波ブロックに集まるノトリスズミの魚群（2008 年 1 月 千葉県南房総市千倉町乙浜）撮影：須賀次郎

4) ニザダイ

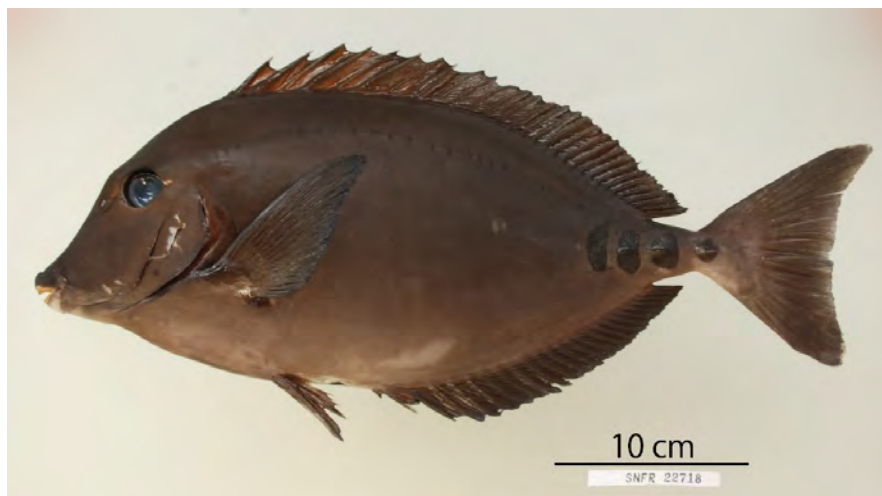


図 4-2-12 ニザダイ *Prionurus scalprum*（出所：水産研究・教育機構）

(1) 分布域および大型海藻への食害が報告されている海域

千葉県から九州南岸の太平洋側、九州西岸などに分布する。本種がカジメやクロメなどの藻体をつつく様子は観察されているが（中山ら，1999；竹内，2007）、大型海藻藻場の衰退の原因となったという報告はみられない。

(2) 移動性と蟬集性

移動性に関する知見はない。単独や 2～3 個体で海藻を食べている様子は観察されるが、その一方で大きな群れも形成する（奥野，1964）。



図 4-2-13 ニザダイの分布

(3) 摂餌生態

静岡県初島、高知県および鹿児島県口永良部島では、紅藻等の小型海藻や糸状海藻を主に摂餌する（具島，1981；神田，1996；Terazono *et al.*, 2012；小池ら，2020）。水槽実験におけるニザダイのクロメに対する摂餌量は、アイゴ・ブダイ・イスズミ類と比べ極めて少ない（桐山ら，2001）。ニザダイが大型海藻の幼体を摂餌している可能性はあるものの、現時点では除去対象種とするかについては慎重に検討する必要がある。

(4) 年齢と成長の関係

知見がない。

(5) 繁殖生態と初期生態

知見がない。

4. 3 腹足類

軟体動物では、多板類（ヒザラガイ）や腹足類に植食動物が含まれる。腹足類では、カサガイ類、古腹足類（アワビやサザエなど）、アマオブネ類、タマキビ類、アメフラシ類などがこれに相当する。ヒザラガイ類やカサガイ類は殻状の海藻を摂餌し、北日本に多いユキノカサ（図 4-3-1）は磯焼け域に多く生息し、無節サンゴモを食べている（藤田，1992）。アマオブネ類やタマキビ類は潮間帯に生息し、海藻の芽生えなどを食べる。



図 4-3-1 ユキノカサ *Niveotectura pallida*

漸深帯の藻場への影響が大きいのは、大型貝ではサザエ、小型貝ではバテイラ、クボガイ、コシダカガンガラ、ギンタカハマなど、微小貝ではエゾチグサ、エゾサンショウなど

である。サザエはカジメやテングサなどを盛んに摂餌し（図 4-3-2）、種苗放流が行われている地域では高密度に蛸集すると「磯焼け状態」になる（岡部ら，1989）。多様な海藻が豊富に生えている場合には特定の海藻を集中して食べることはないが、洗濯ネットに海藻の生えた転石とともに入れておくと、無節サンゴモ以外はすべて摂餌される（図 4-3-2）。



図 4-3-2 サザエ *Turbo sazae* によるカジメの摂餌（上段）とテングサの摂餌（下段）
下段は洗濯ネットにテングサなどが生えた転石とサザエを入れた試験の前後の様子

小型巻貝のうち、クボガイ（図 4-3-3 上段左）やコシダカガンガラは北海道日本海岸や東北地方太平洋岸の浅所で高密度に生息し、海藻の芽生え（コンブ配偶体など微小世代を含む）や珪藻（中田ら，2006a）を摂餌する。コシダカガンガラは水温 5～15℃でコンブ配偶体を摂餌し、水温が高いほど摂餌量は多くなるが、幼孢子体（葉長約 3cm）はほとんど摂餌せず、これを食べるのはクボガイである（中田ら，2006b）。この 2 種では成熟時期や季節的な分布パターンも調べられている（Ishida A *et al.*, 2002；小野寺ら，2018）。

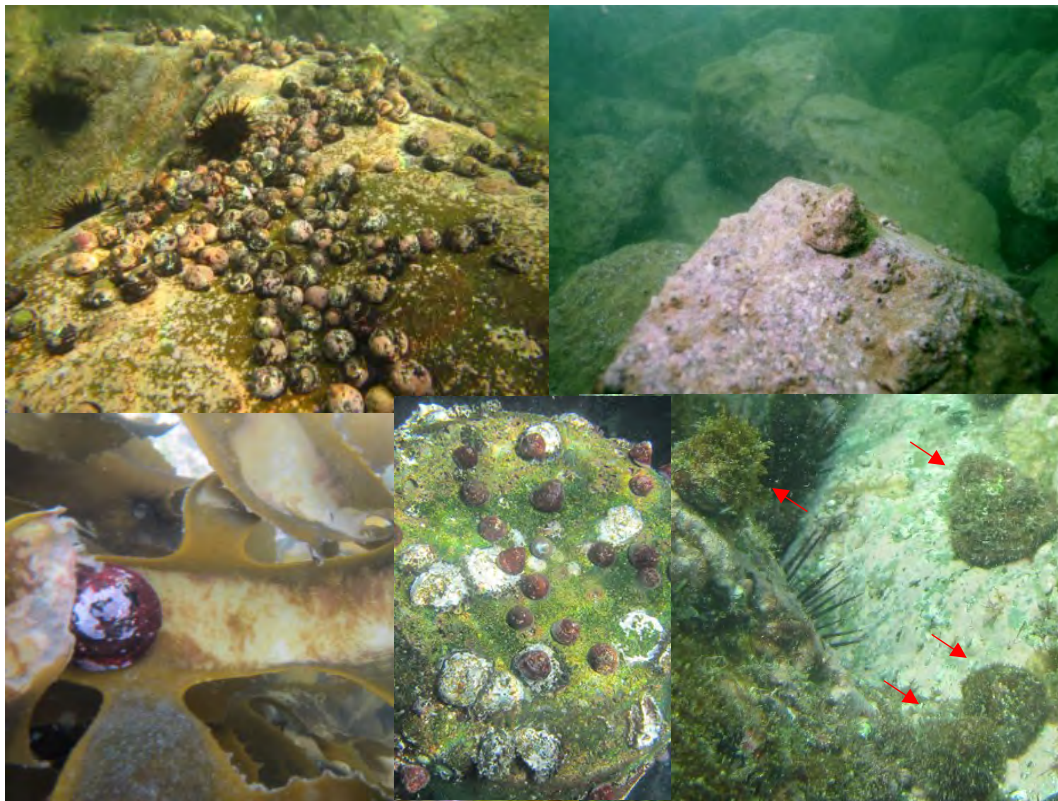


図 4-3-3 植食性小型巻貝

上段左:クボガイ *Chlorostoma lischkei*

右:オオコンダカガンガラ *Omphalius pfeifferi carpenteri*

下段左・中:バテイラ *Omphalius pfeifferi pfeifferi* (カジメ子嚢斑やアオサ芽生えを摂餌) 右:ギンタカハマ *Tectus pyramis*

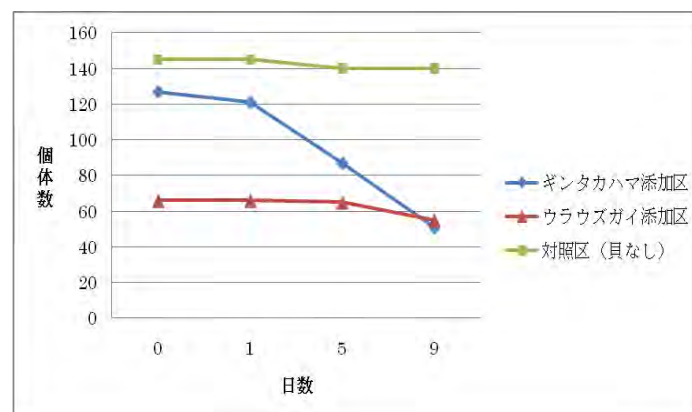


図 4-3-4 ギンタカハマを用いたマメタワラ発芽体 (麻袋に着生) の摂餌試験

バテイラは、カジメの葉の表面、特に子嚢斑を削り取って食べる (図 4-3-3 下段左) ほか、海底の岩やコンクリートブロックの表面で海藻の芽生えや付着珪藻を食べる (図 4-3-3 下段中)。尾形ら (2016) は、伊豆半島内浦湾に普通に見られるサイズのギンタカハマ (殻高 35 mm) とウラウズガイ (同 15 mm) を水槽に入れ、海底でマメタワラ幼体 (全長 7 mm) を着生

させた麻袋を切り取って摂餌の有無を調べた結果、ギンタカハマが盛んに幼体を摂餌することを示した(図 4-3-4)。なお、伊豆半島では、クボガイ、クマノコガイ、バテイラなど、地元で磯物と呼ばれる小型巻貝が 2018 年頃から大量斃死したという(鈴木, 2019)。

微小貝では、エゾサンショウ(図 4-3-5 右)やエゾチグサ(同左)など殻高 1cm 未満(体重 1g 未満)が海藻の芽生えを食べる。浅野ら(1990)は三陸海岸の磯焼け域の海底に少なくとも 100 個体/㎡(総重量 50g/㎡)以上の密度でこれらの微小貝が分布していることを指摘した。また、河村ら(1997)は宮城県江島沿岸の殻状海藻が優占する磯焼け域において、周年にわたりエゾサンショウとエゾチグサが優占種として高密度(20g/㎡以上)に生息していることを報告した。

ここで紹介した小型貝や微小貝は、ウニが優占する磯焼け域でも水深の浅いところに多く、波により岩から脱落しても速やかに起き上がり活動できる。おびただしい量が存在するので、徒手での除去は極めて困難であるが、ポンプを使うと効率上がる。

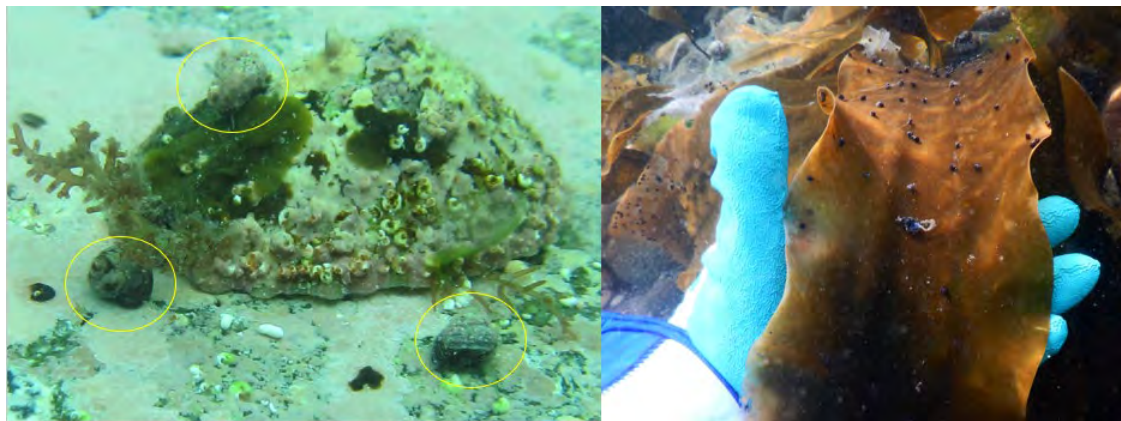


図 4-3-5 微小貝

左:エゾチグサ *Gantheridus jessoensis* 右:エゾサンショウ *Homalopoma amussitatum*

左写真のエゾチグサの脇にある白い繭状の塊はユキノカサが無節サンゴモを食べて出した糞

アメフラシ類(図 4-3-6)は藻体の柔らかい海藻を食べ、種により好む海藻が少しずつ異なる。大型のアメフラシとアマクサアメフラシの摂餌量が多く、後者はワカメの養殖場や天然群落で大発生して葉状部を食い荒らす(図 4-3-6 左上)。中肋、孢子葉および付着器は残ることが多く、ワカメの再生産に及ぼす影響は明らかではないが、褐藻を広く摂餌し、コンブやアラメ・カジメ類の幼体の摂餌が問題になることがある。クロヘリアメフラシは紅藻をよく食べる。ミドリアメフラシは緑藻やフクロノリをよく食べるが、写真のように流水水槽に侵入してカジメ種苗を食べつくしたことがある。



図 4-3-6 アメフラシ類

左上:アマクサアメフラシ *Aplysia juliana* 右上:アメフラシ *Aplysia kurodai*

左下:クロヘリアアメフラシ *Aplysia parvula* 右下:ミドリアメフラシ *Aplysia oculifera*

第5章 我が国沿岸の磯焼けの現状

5. 1 全国の岩礁性藻場の状況

2020年に全国の岩礁性藻場の衰退状況について、沿海39都道府県にアンケートを行った。その結果、2013年頃に比べて藻場の衰退件数は減り、衰退がないと回答したところが増えてきた。しかし、相変わらず衰退している都道府県は8割近くと高い傾向にある（図5-1-1）。藻場の衰退の持続要因としては、ウニの食害（26%）が最も高く、次に植食性魚類の食害（21%）と海水温の上昇（21%）が続き、すべて気候変動による影響が上位を占めている（図5-1-2）。前回から変わって、衰退がないと回答した県は、局所的な回復はみられるものの以前の藻場には戻っていない。また、衰退していない理由としては、高水温によるキタムラサキウニの激減、核藻場づくり、保全活動などが影響したと回答があった。

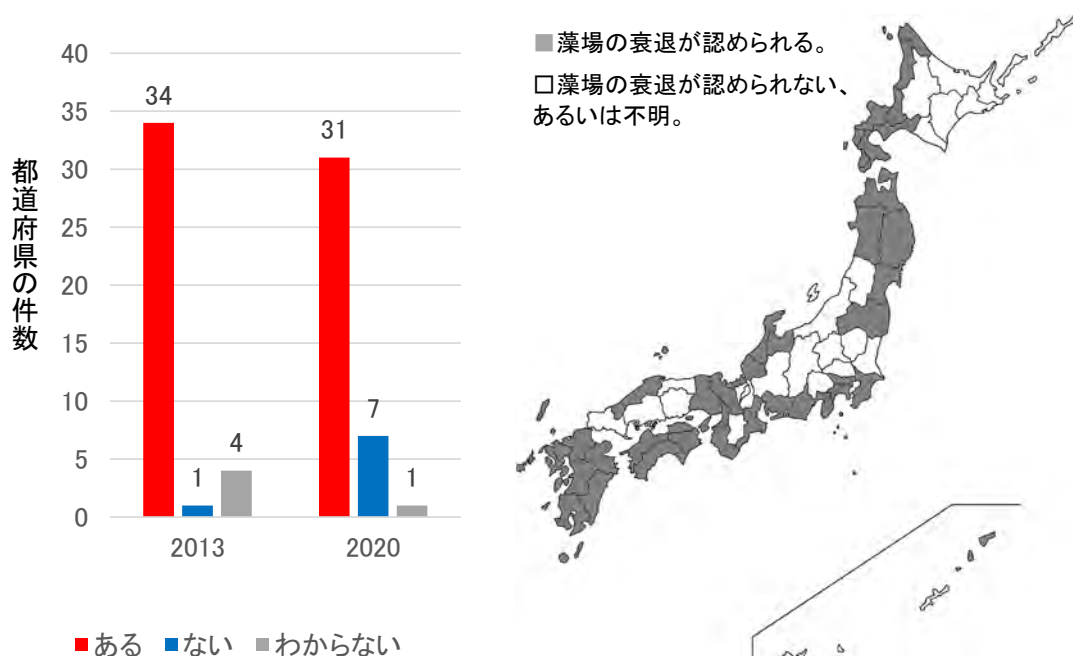


図 5-1-1 藻場の衰退が認められる都道府県

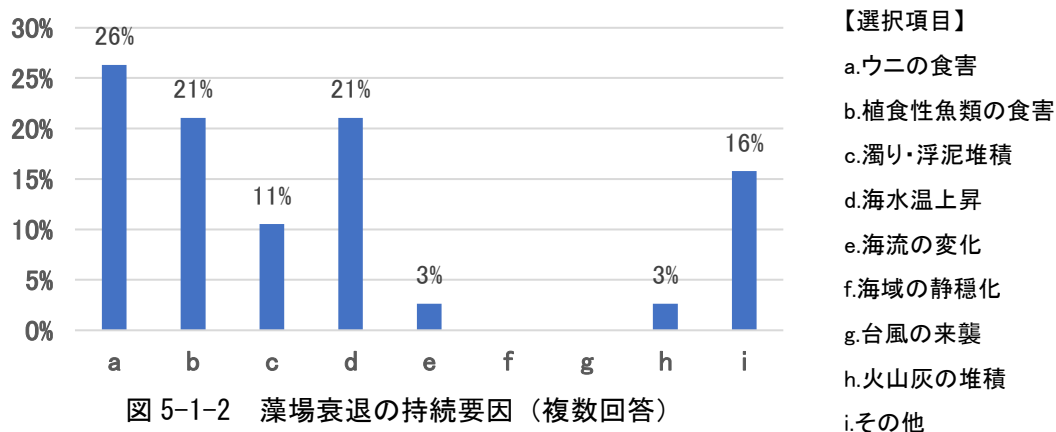


図 5-1-2 藻場衰退の持続要因（複数回答）

藻場の衰退は、磯根資源の減少にも影響していることがうかがえる（図5-1-3）。

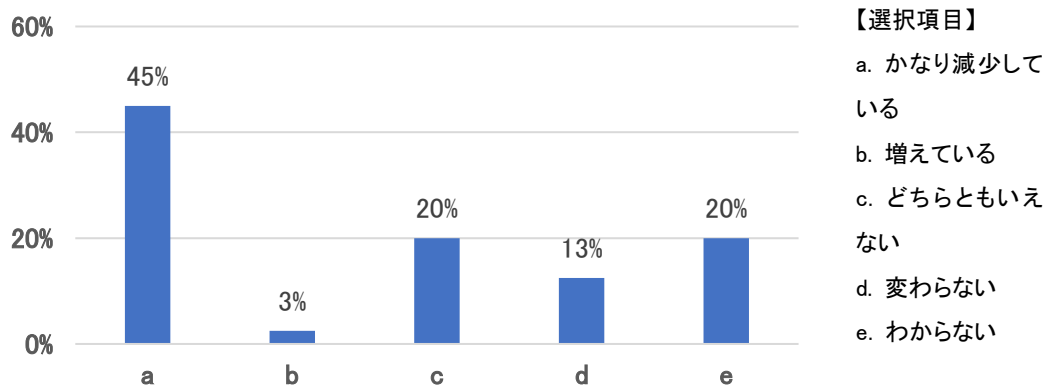


図 5-1-3 藻場衰退に伴う磯根資源の状況

海水温の上昇による海底の異変が起きており、基質が「固着性付着動物（有節サンゴモ、フジツボ、ホトトギスガイ、イソギンチャク、ソフトコーラル）に占有」（25%）が最も高く、次に「大型海藻から小型海藻へ遷移」（21%）、「大型海藻種の変化」（19%）と続いている（図 5-1-4、図 5-1-5、図 5-1-6、図 5-1-7、図 5-1-8）。

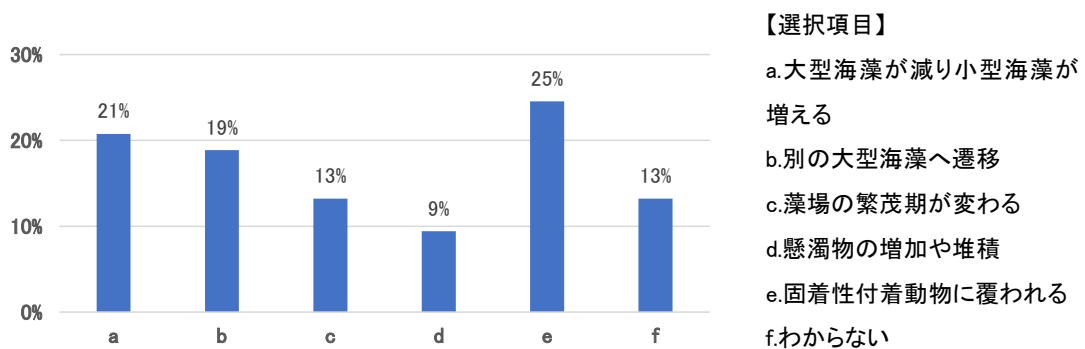


図 5-1-4 海水温上昇に伴う海底の変化の様子（複数回答）



図 5-1-5 固着性付着動物に覆われるようになった都道府県



図 5-1-6 大型海藻が減り小型海藻が増えている都道府県

図 5-1-6 に示す増えている小型海藻種とは、東日本ではサンゴモ類やエゾヤハズ、西日本では、テングサ、フクロノリ、ウミウチワ、アオサ、ツノマタである。



図 5-1-7 別の大型海藻種へ遷移した都道府県



図 5-1-8 海藻の繁茂時期が変化した都道府県

図 5-1-7 に示す遷移した大型海藻種とは、東日本ではコンブからツルアラメやホンダワラ類に、西日本ではクロメからホンダワラ類、さらに南方系ホンダワラ類である。図 5-1-8 に示す海藻の繁茂時期については、繁茂時期の変化に加え、繁茂期間が短くなった、ワカメの成育時期が短くなった、四季藻場から春藻場へ変わったと回答があった。

5. 2 各地の藻場・磯焼けの現状

各地域を農林水産統計で用いられる 9 海域（図 5-2-1）に分けて、近年の藻場の状況を近年の現場観察や既往文献から整理した（表 5-2-1）。日本沿岸の大半は暖流域であることから、温暖化の影響を理解しやすいように、日本海側、瀬戸内海、太平洋側の順に、南側から述べる。なお、北海道太平洋区のうち、知床半島以西のオホーツク海沿岸は北海道日本海側に続く対馬暖流影響域である。また、対馬暖流の一部は津軽海峡を経て、北は噴火湾に入り襟裳岬まで、南は津軽暖流として三陸沿



図 5-2-1 海域区分

岸を南下する。

表 5-2-1 海区別の藻場の特徴

海 区		藻 場		磯焼 けの 有無	食害の有無		
		タイプ	変化		ウニ	魚	小型巻貝
九州南部・日本海・オホーツク海	東シナ海	②③	①②③	○	○	○	○
	日本海西部	②③	①②	△	○	○	○
	日本海北部	①②③	①②	△	○		○
	北海道日本海	①③	①	○	○		○
九州東部・太平洋	太平洋南部	②③	①②③	○	○	○	
	瀬戸内海	③	①②	□		○	
	太平洋中部	②③	①③	△	○	○	
	太平洋北部	①②③		△	○		○
	北海道太平洋	①②③	①	△	○		

【凡例】藻場のタイプ ①コンブ場、②アラメ・カジメ場、③ガラモ場
藻場の変化 ①大型海藻から小型海藻に遷移、②海藻種の変化、
③基質が競合付着動物に覆われる
磯焼け状態 ○海域において広域に磯焼けが発生、△局所的に磯焼けが発生、
□磯焼けはない

1) 東シナ海

海中林はカジメ（ツルアラメ、アントクメ）場かガラモ場である。藻場は衰退傾向にあり、磯焼けが全域で起こっている。海水温上昇の影響を受け、南方系ホンダワラ類を主体とする春藻場やサンゴ優占域のほか、カジメ場からガラモ場や小型海藻藻場に変化した場所、ガラモ場の構成が南方系種に変化した場所がある。藻場を衰退させている植食動物には、ムラサキウニとガンガゼ、魚類（アイゴ、ブダイ、ノトイヌズミなど）、小型巻貝（ギンタカハマ）があり、サンゴやサンゴイソギンチャクとの基質を巡る競合が問題となっている海域もある。

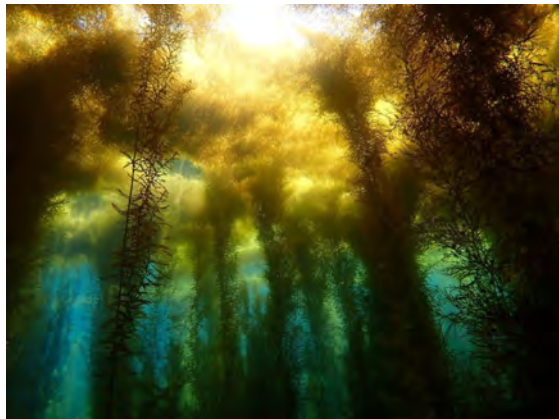
なお、この海域でクロメとされてきた海藻は、カジメの1亜種となったツルアラメのクロメ型として位置づけられる。



カジメ（クロメ型ツルアラメ）場



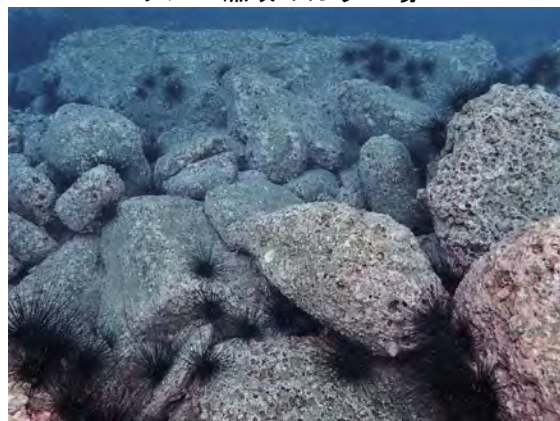
カジメ（同左）とホンダワラ類の混生藻場



ガラモ（アカモク）場



サンゴ礁域のガラモ場



磯焼け（左：ムラサキウニ、右：ガンガゼ類）

図 5-2-2 東シナ海の藻場景観と磯焼けの景観

2013 年夏の高水温期に、台風接近に伴う波浪により、図 5-2-3 に示すように、大量のアラメ・カジメ類が茎部の根元付近から脱落・流失した（八谷ら，2014）。その後の藻場の回復状況は地先によって様々で、回復に向かった地先がある一方で、幼体がほとんど発生せず磯焼けに至った地先もある。

長崎県壱岐市西部では、2013 年夏以前までは、夏季の高水温に伴ってアラメ・カジメ類の成体が被害を受けて減少しても、幼体の加入があり回復していた。しかし、2013 年夏以降は、幼体が加入しても、被食期間の長かった北側では 2016 年初頭までにカジメ類が消

失した。被食期間の短かった南側では、2016 年までは藻場が維持されたが、2016 年の高水温後に消失してしまった（図 5-2-4）。カジメ類は、夏季の高水温だけでなく、秋にかけての被食期間の長期化によって母藻が消失すると、回復が難しくなる。

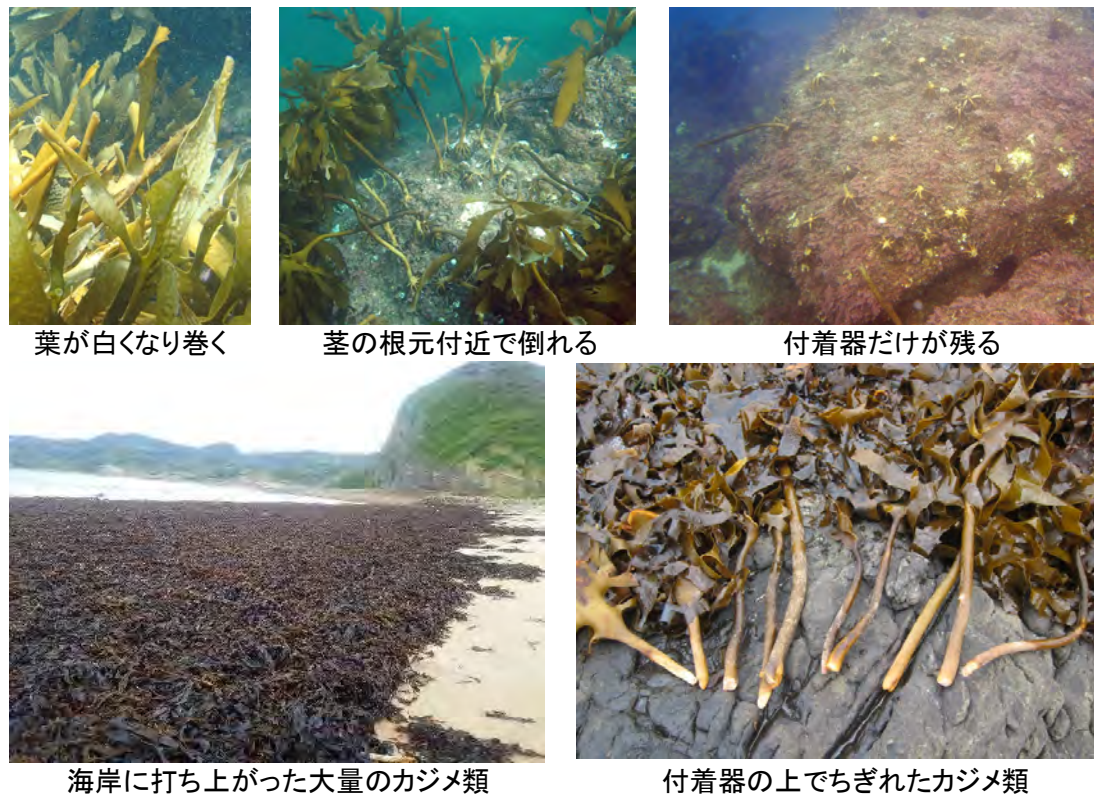


図 5-2-3 カジメ類の大量流失

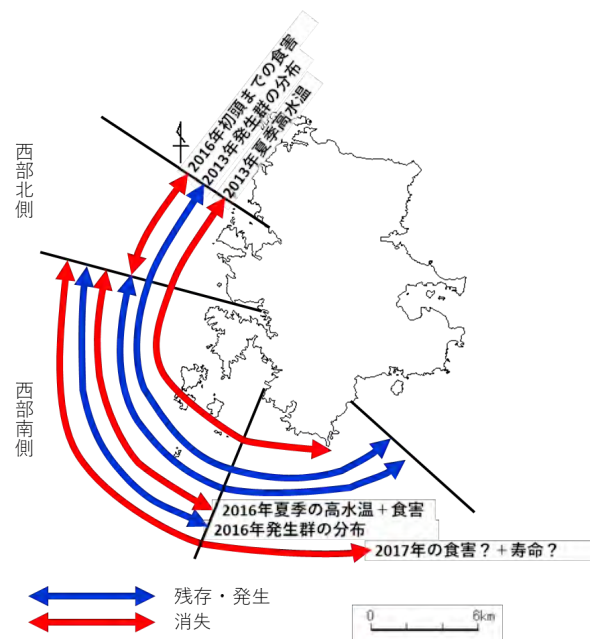


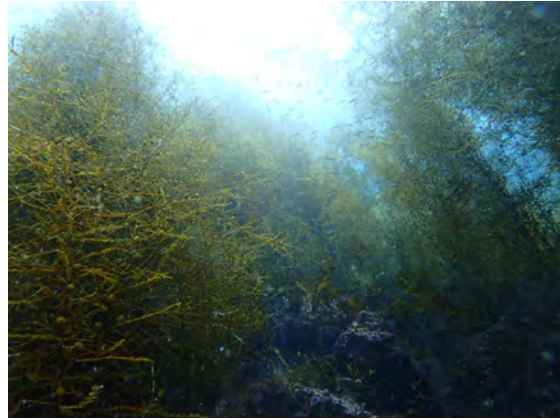
図 5-2-4 梶崎市のアラメ・カジメ類の衰退の経時変化

2) 日本海西部

主な藻場のタイプは、ガラモ場とカジメ（ツルアラメ）場で、丹後半島以南にアラメ場もある。藻場は衰退傾向にあるが、磯焼けは局所的に確認される程度である。植食動物としては、ムラサキウニとガンガゼ、小型巻貝（クボガイなど）、アイゴが問題になるが、丹後半島以北ではキタムラサキウニの食害も認められている。



カジメ(ツルアラメ)場



ガラモ場

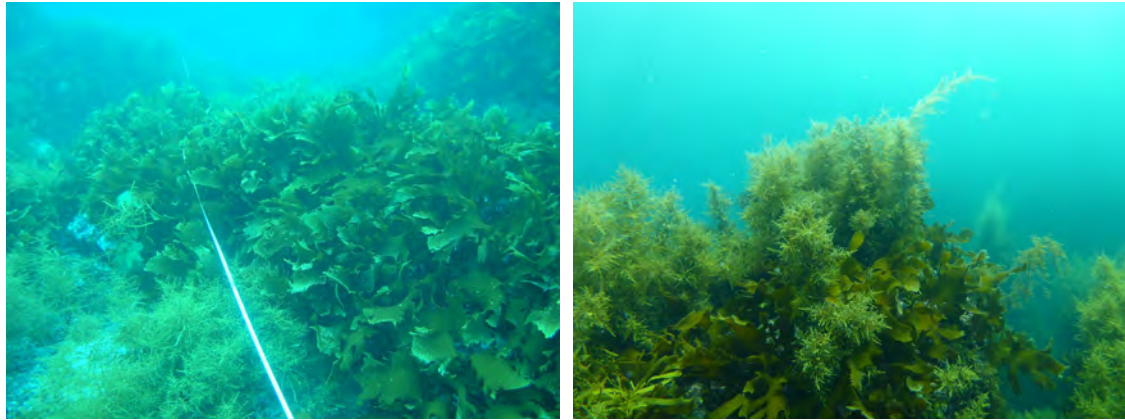


磯焼け(左:小型巻貝、右:ムラサキウニ)

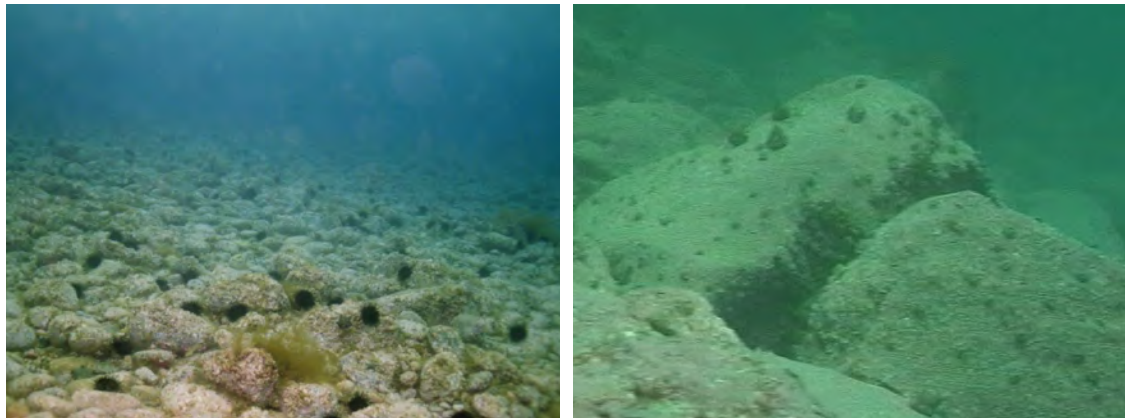
図 5-2-5 日本海西部の主な藻場景観と磯焼けの景観

3) 日本海北部

主な藻場のタイプは、ガラモ場とカジメ（ツルアラメ）場であり、津軽半島先端付近にはコンブも若干生育する。富山湾ではテングサ場の衰退が著しい。その他の県でも藻場は衰退傾向にあるが、顕著な磯焼けや藻場構成種が変化した場所は局所的である。問題となる植食動物は、ムラサキウニ、キタムラサキウニ、小型巻貝（オオコシダカガンガラ）などであるが、佐渡以南ではしばしばアイゴの食害も認められる。



ホンダワラ類とツルアラメの混生藻場



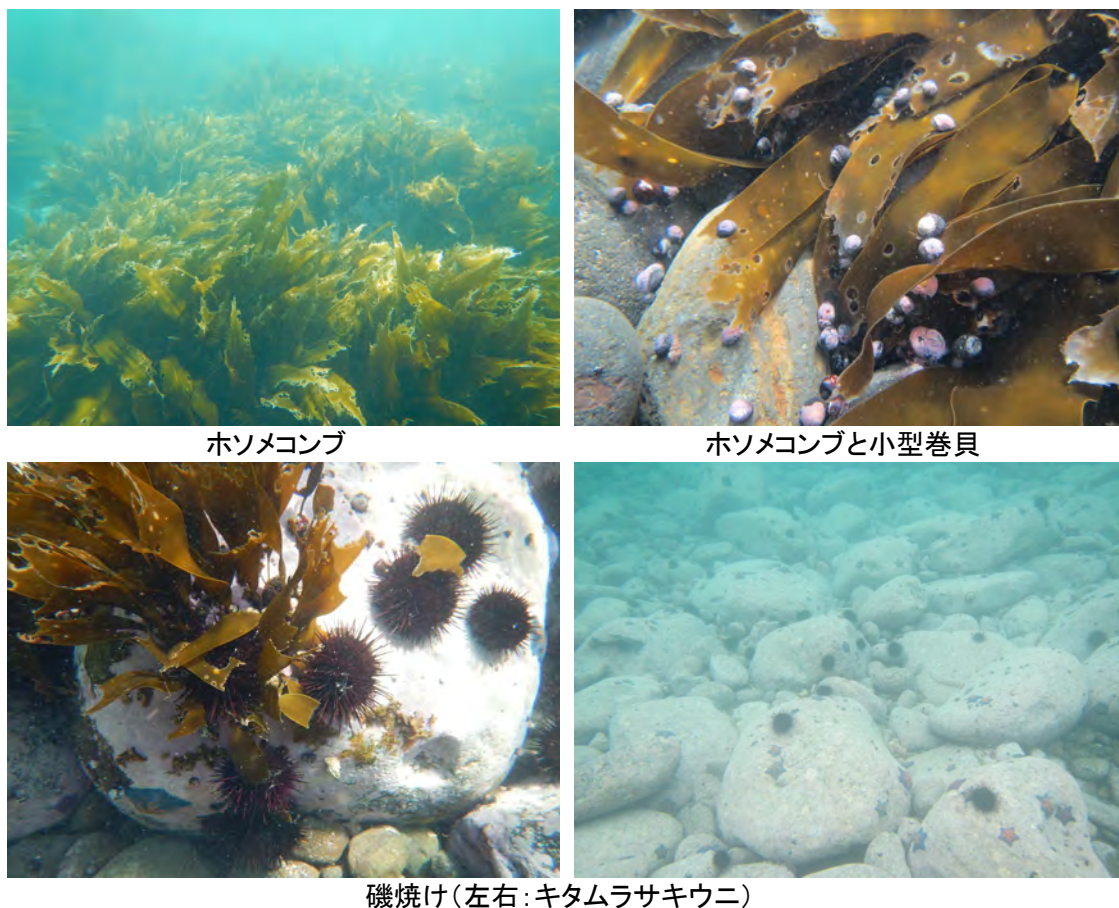
磯焼け(左:キタムラサキウニ、右:小型巻貝)

図 5-2-6 日本海北部の主な藻場景観と磯焼けの景観

4) 北海道日本海

主な藻場のタイプは、コンブ場（中南部は一年生のホソメコンブ、北部は二年生のリシリコンブが主体）とガラモ場（フシスジモク、スギモク、ウガノモクなど）である。特にホソメコンブは豊凶の変動が激しい。この海域で問題となる植食動物はキタムラサキウニとクボガイなどの小型巻貝で、大河川から離れた地域では栄養塩不足も問題視されている。

キタムラサキウニの生息密度が概ね 5 個体／㎡以上になると磯焼けが持続し、植食性小型巻貝（クボガイなど）は、海藻の幼体を摂餌するほか、成体の葉上部に穴をあけてちぎれやすくするため、生息密度の高い地域では影響が大きい（第 3 章の図 3-3-3 参照）。



ホソメコンブ

ホソメコンブと小型巻貝

磯焼け(左右:キタムラサキウニ)

図 5-2-7 北海道日本海の主な藻場景観と磯焼けの景観

5) 太平洋南部

主な藻場のタイプは、アラメ・カジメ場 (カジメ、クロメ)、ガラモ場 (南方系ホンダワラ類を含む) である。藻場は衰退傾向にあり、局所的に顕著な磯焼けが起こっている。

高知県沿岸では、小型海藻藻場や春藻場とみられる場所、基質がサンゴ類に覆われている場所、海水温上昇の影響を受けて、カジメ場がガラモ場に変化した

り、ホンダワラ類の種類が南方系の種に変化したりしている場所が見られる(図 5-2-8)。

植食動物には、ムラサキウニとガンガゼ、アイゴ、ブダイ、ノトイヌズミなどがあり、サンゴやサンゴイソギンチャクとの基質を巡る競合が問題となっている海域もある。

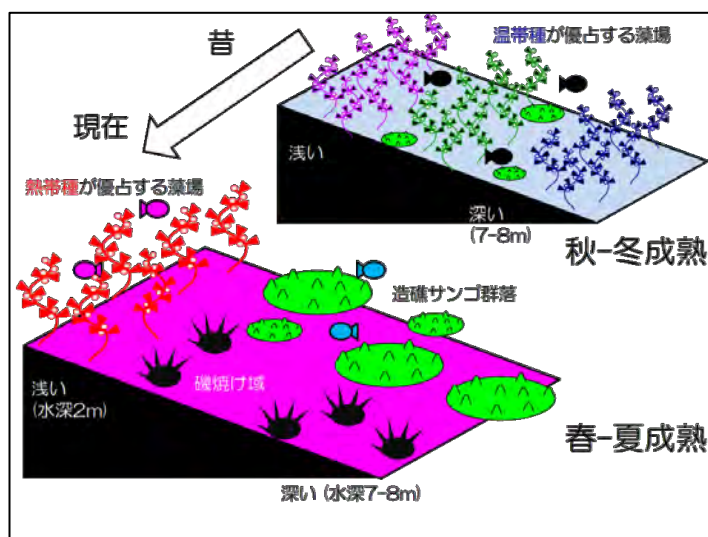


図 5-2-8 高知県沿岸の藻場構成種の変移 (田中, 2020)



カジメ、ホンダワラ類の混成藻場



南方系ホンダワラ類の藻場



磯焼け(左:植食性魚類、右:ムラサキウニ)



図 5-2-9 太平洋南部の主な藻場景観と磯焼けの景観

6) 瀬戸内海

主な藻場のタイプは、ガラモ場、アラメ場、カジメ（クロメ※）場で、水温環境や海藻相は日本海西部と似ている。一部にアイゴ、ガンガゼ、ムラサキウニなどによる食害があり、海域全体として養殖ノリの色落ちに代表されるような栄養塩の不足も指摘され、藻場も衰退傾向にあるが、顕著な磯焼けは起こっていない。ホトトギスガイやサンゴが優占する場所、ガラモ場の構成が南方系種に変化している場所が見られている。



ガラモ場



カジメ(クロメ)場

図 5-2-10 瀬戸内海の主な藻場景観

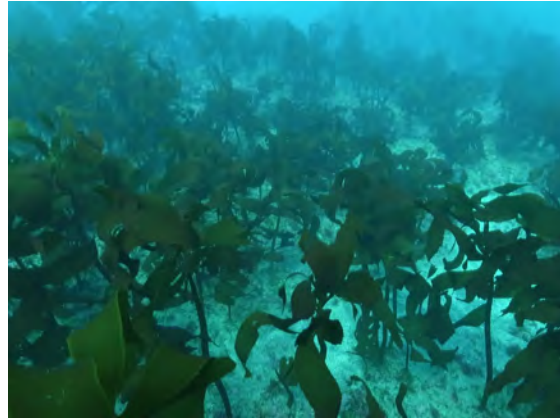
※この海域のクロメは、独立した種ではなく、カジメの1亜種クロメとして位置づけられる。

7) 太平洋中部

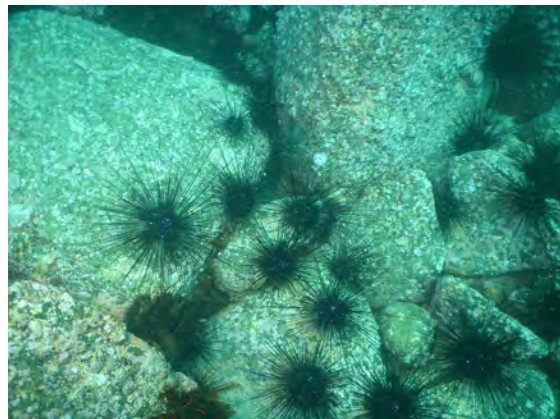
主な藻場のタイプは、アラメ・カジメ場（アラメ、カジメ）、ガラモ場である。外海域を中心にアラメ・カジメ場の海中林が広く分布し、内湾域を中心にガラモ場が分布する。魚類（アイゴ、ブダイ、ノトリスズミなど）とガンガゼによる食害で、局所的に藻場の衰退や磯焼けが確認されている。



アラメ場



カジメ場

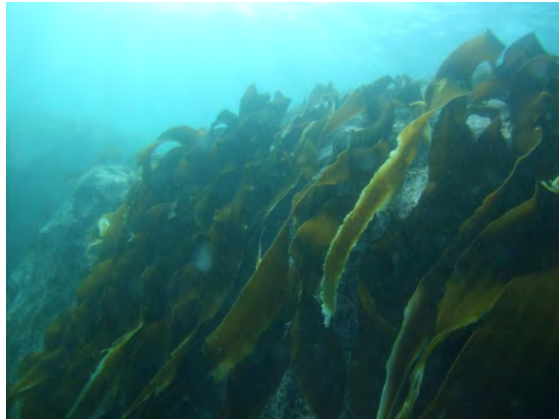


磯焼け(左:植食性魚類、右:ガンガゼ類)

図 5-2-11 太平洋中部を代表するカジメ場と磯焼けの景観

8) 太平洋北部

主な藻場のタイプは、コンブ（マコンブ）場、アラメ・カジメ場、ガラモ場である。親潮と黒潮の影響を受けて、茨城県から岩手県南部までアラメの海中林が点在し、宮城県から北海道噴火湾までマコンブが優占する。植食動物はキタムラサキウニとクボガイによる食害が各地で見られている。



コンブ場



アラメ場



磯焼け(左:キタムラサキウニ、右:キタムラサキウニと小型巻貝)

図 5-2-12 太平洋北部を代表するコンブ場とアラメ場と磯焼けの景観

図 5-2-13 は、南三陸沿岸のアラメ分布がキタムラサキウニの食害に制限されていることを示している（村岡，2018）。東日本大震災前のアラメの分布は水深 2.4m までで、それより深い場所はキタムラサキウニが高密度で分布していた。ところが、震災 4 カ月後の調査では、キタムラサキウニが津波で沖に流され、その生息密度が震災前の約 1 割にまで激減したことで、深い場所にアラメの幼体が大量発生した。この現象は、激減したキタムラサキウニの摂餌圧低下によるものと考えられる。

アラメの幼体の一部は、成体（1 歳以上）まで生残し、水深 7m の深さまで分布域が拡大したが、震災 3 年半後からキタムラサキウニが再び増えて、アラメの分布域は再び岸側に退行している。



図 5-2-13 東日本大震災前後のアラメとウニの関係（村岡ら，2017）

9) 北海道太平洋

岩礁藻場のタイプは、コンブ場とガラモ場（主にウガノモク）である。コンブ漁が盛んな海域であるため、コンブ場がガラモ場やスガモ場に遷移しないように雑海藻駆除が行われている。近年はコンブが不漁で、主な理由として、2004年に連続して来襲した4つの台風により大規模に天然コンブ場が衰退したことが挙げられる。現在は回復傾向にあるものの、南東部だけは、2005年の爆弾低気圧の影響で回復が遅れている。

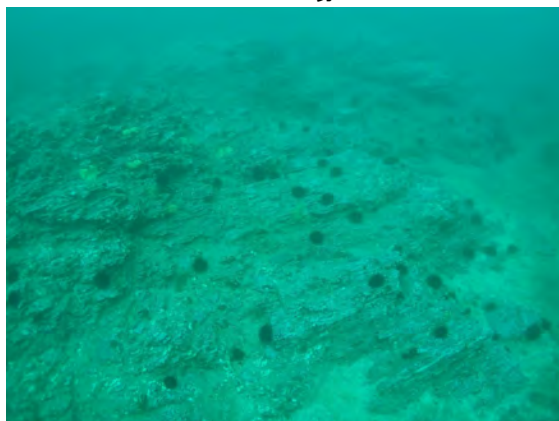
道南を中心に、局所的に磯焼けが起きている。その原因として、小型紅藻の占有と漂砂による着生阻害、キタムラサキウニの食害などが考えられている。



コンブ場



ガラモ場



磯焼け(左右:キタムラサキウニ)

図 5-2-14 北海道太平洋を代表するコンブ場とガラモ場と磯焼けの景観

第6章 磯焼け対策の基本的な考え方と計画・設計

6. 1 実効性の高い磯焼け対策の視点

磯焼けは、第3章で解説されているとおり、多くの要因が複合的に絡み合っ起こる現象である。このため、適切に対策を実施したとしても予想と異なる状況が起こりうるので、予想に反した結果が生じることも想定しながら対策に取り組むことが重要である。

このための対策手法として、PDCA サイクル（順応的管理手法）を回す方法が有効である。PDCA サイクルとは、Plan（計画）・Do（実行）・Check（評価）・Action（改善）を繰り返し、物事を継続的に改善しながら進めていく手法である。これを磯焼け対策に当てはめると、磯焼けの現状を把握し設定した目標に応じて具体的な計画を作成する（Plan）→ 計画に基づいて実際に磯焼け対策を実行する（Do）→ 活動の結果をモニタリング・評価する（Check）→ 評価内容に応じて計画を見直し次の計画を立てて（Action）、改めて PDCA サイクルを回すこととなる。なお、藻場を回復させるにはある程度の時間を要する。図 6-1-1 に示すとおり、螺旋を描くように PDCA サイクルを回し続けていくことが重要であり、それこそが水産資源の増大へとつながる磯焼け対策である。

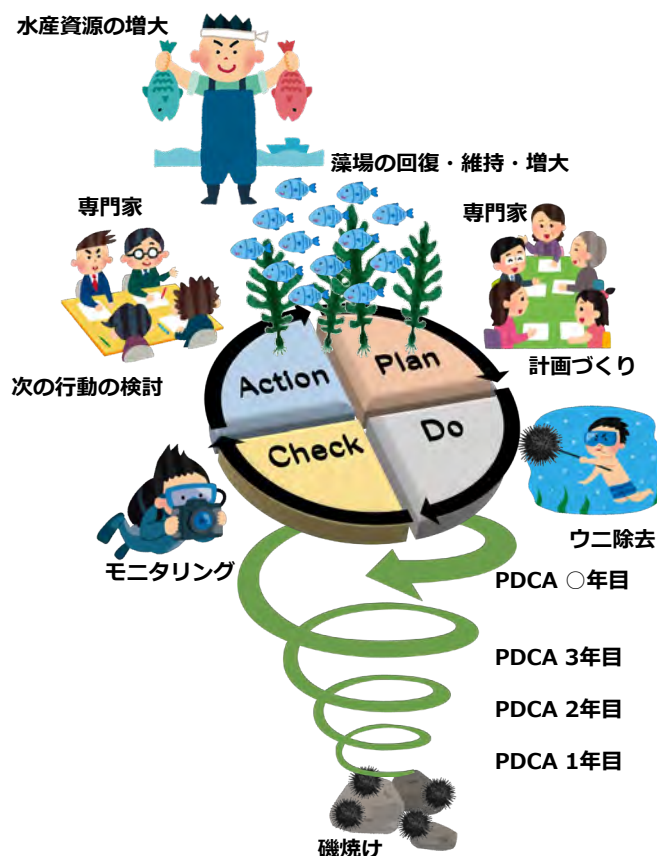


図 6-1-1 PDCA サイクルを回す実効性の高い磯焼け対策

この PDCA サイクルを着実に回すためには、最低限下記の事項に留意する。

① 目標を明確にする

PDCA サイクルでは、具体的な目標を立てることが一番重要である。目標を明確にすることにより、共通認識を高め、目標を見失う恐れを防ぐことができる（本章の 6.2 参照）。

② 日常的に藻場や磯焼けの状況を観察する

日々の漁場への行き帰りに、磯焼け対策を行った場所やその周辺の状況を観察する。例えば、海藻の生育状況、食害の有無、魚介類の産卵、流れ藻の浮遊、打ち上げ藻の漂着、魚探に表示される水温などを意識しながら観察し、必要に応じて記録する。

③ 成果を記録しておく

日常的な観察のメモやモニタリングの結果（例：ウニ除去数・藻場の被度などの経年変化グラフなど）を記録しておく、磯焼け対策の成果や藻場が回復する過程を具体的に分析することができる。また、前回の対策記録と比較しながら次の活動を改善し実行すれば、効果の維持や拡大につながる。

④ 人材を育成する

活動組織には核となるリーダーが必要である。リーダーには、情熱を持って新しいこと、経験したことがないことにも積極的に取り組める行動力や実行力、情報収集能力、コミュニケーション能力などが求められる。また、活動組織および関係者においては、次世代のリーダーを育成できる体制づくりが重要である。

⑤ リーダーを支援できる管理体制をつくる

行政や地元の研究者・専門家（サポーター）の方は、リーダーを支援できる管理体制を整え、継続的に組織の体制の強化に取り組む必要がある。

6. 2 計画づくり

1) 目標の明確化

目標では、長期的な目標及びそれを達成するための当面・中期の目標、並びにそれらの達成時期等を明確にして設定する。長期目標では、自分たちが磯焼けによって困っていることを明確にし、あるべき藻場の姿を目標に設定する。

また、短期（当面）・中期の目標では、長期目標の達成に向けて、具体的かつ達成可能な数値（被度、面積）を設定する。例えば、水産多面的機能発揮対策事業（以下、水産多面的事業）では、5年間の目標値を「対象生物量を20%以上増加」とし、成果指標には「対象水域における生物量の増加」としている。ここで言う「対象生物量」の対象とは、海藻であり、生物量は海藻の被度や藻場の面積のことである。

海藻の被度や藻場面積を目標値とした場合、活動に対する達成感が得にくいので、目標値とは別の指標値を設定しておくとうりやすい。例えば、目標値が「海藻被度を5%/年以上増加」の場合で、活動内容がウニの除去であれば、年間のウニの除去数を指標値に設定し、除去した数量から達成状況を把握した方がわかりやすい。活動メンバーに対してモチベーションを高められる指標値を設定することも活動の持続には有効である。

表 6-2-1 目標別に設定する内容

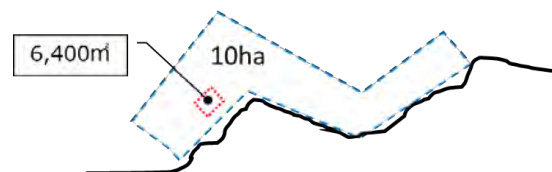
長期目標	短期(当面)・中期目標・指標
■ シンプルで覚えやすい表現 ■ チャレンジングな内容 ■ 定量的な指標に細かい数字を入れない	■ 数値で測れるもの ■ 実際に達成できるもの ■ 許容範囲を設定する ■ 達成期間を設定する

○ ケーススタディ

① 阻害要因がウニのみの場合

1) 設定条件

- ◆ 磯焼けの発生：1993 年
- ◆ 海藻種：ホンダワラ類とクロメの混成藻場
- ◆ 藻場保全活動エリア：10ha
- ◆ 実対策面積：6,400 m²
- ◆ 藻場形成阻害要因：ウニ
- ◆ 実施体制：10 人



藻場保全活動エリア

2) 目標設定と指標値の設定

【短期 1-2 年】

目標：海藻被度 5%/年増加させる

活動内容：ウニフェンスの設置、ウニの除去、母藻の投入

ウニ除去の指標値：ウニ 55,000 個を除去する。

(指標値の根拠)

事前調査でウニの密度が 7.8 個/m²であったことから、実対策面積に生息するウニの生息数を予測する。なお、予測にあたっては、除去後の自然増加率（経験則：当初の生息予測数の 10%）を加味する。

$$\text{ウニ生息予測数} = 6,400 \times 7.8 + 4,992 = 54,912 \div 55,000 \text{ 個}$$

55,000 個を指標値にしてウニの除去をすることで、除去活動の達成状況がわかりやすくなる（ウニ密度が 0 個/m²になる）。

【中期 3-5 年】

目標：2 年間の結果を踏まえ、活動を継続するとともに、アワビの種苗が放流できるまでにする。

【長期 10 年】

目標：継続的な藻場保全活動によって藻場が維持・拡大し、昔のようにアワビが漁獲できるまでにする。

② 阻害要因がウニと植食性魚類の場合

1) 設定条件

- ◆ 磯焼けの発生：1993 年
- ◆ 海藻種：ホンダワラ類とクロメの混成藻場
- ◆ 藻場保全活動エリア：10ha
- ◆ 実対策面積：6,400 m²
- ◆ 藻場形成阻害要因：ウニと植食性魚類
- ◆ 実施体制：10 人



藻場保全活動エリア

2) 目標設定と指標値の設定

【短期 1-2 年】

目標：海藻被度 5%/年増加させる

活動内容：ウニフェンスの設置、ウニ・植食性魚類の除去、母藻の投入

(1) ウニの指標値：ウニ 55,000 個を除去する。

①のウニのみの場合と同じ。ここでは省略。

(2) 魚の指標値：イスズミを 100 尾/年を除去する。

指標値の考え方

- ◆ 活動エリア内の植食性魚類の目撃情報を夏までに収集し、魚類が目撃された場合は、年間の除去数を例えば 100 尾/年と決めて、これを指標値とする。
- ◆ エリア内で定置網漁などが実施されている場合は、活動に協力してもらい、協力が得られた場合には、定置網による捕獲数もカウントに加える。
- ◆ 活動メンバーからは除去数を申告してもらい、除去数が達成した時点で終了とする。
- ◆ 達成しなかった場合は、残数を繰り越さず、達成できなかった原因を究明し、実施場所や体制強化などにフィードバックする。
- ◆ 目撃情報は毎年確認し、その年指標値を決定する。

植食性魚類は、移動範囲と生息数がわからないので、PDCA サイクルを回し除去活動を継続的に実施して、かつ柔軟に対応することが重要である。

達成！

	実対策面積	ウニ除去数（指標値）		魚類除去数（指標値）		目標値	
		年間実績	累積	年間実績	累積	海藻被度	増加量
活動前	—	—	—	—	—	20.0%	—
1年目	6,400m ²	30,000	30,000	70	70	24.0%	4.0%
2年目	"	27,000	57,000	80	150	28.0%	8.0%
3年目	8,000m ²	15,000	72,000	100	250	32.0%	12.0%
4年目	"	18,000	90,000	100	350	36.0%	16.0%
5年目	10,000m ²	10,000	100,000	80	430	40.0%	20.0%

【中期 3-5 年】 【長期 10 年】

①のウニのみの場合と同じ。ここでは省略。

2) 対象とする藻場

磯焼け海域にかつて存在していた藻場、あるいは現在、近傍にある藻場を目標とする。河川や沿岸域の開発、気候変動による水温・水位上昇などの環境変化により、以前存在した藻場を回復させることが困難な場合も想定される。このため、磯焼けとなった場所だけに注目するのではなく、近傍の健全な藻場、海面の利用状況を踏まえ、試験研究機関や専門家の意見を参考に対象とする藻場を決めるとよい。

3) 実施場所

できるだけ天然藻場の近傍の磯焼け域で、安全かつ無理なく実施できる場所を選ぶ。実施場所を選ぶ際には、インターネットの地図情報等を活用するとよい(第7章のB1参照)。磯焼けした場所だけに注目するのではなく、近傍の健全な藻場、海面の利用状況も踏まえる必要がある。

4) 磯焼け対策の実施フロー

磯焼け対策は、PDCA サイクルを回し続けることになる。毎年、PDCA サイクルフローのA～Gの作業を実施する(図6-2-2および次頁、第7章参照)。具体的な磯焼け対策手法は、第7章(D1～D9)で紹介している。対象海域の実態に応じて適切な手法を選び、組み合わせて実施する。

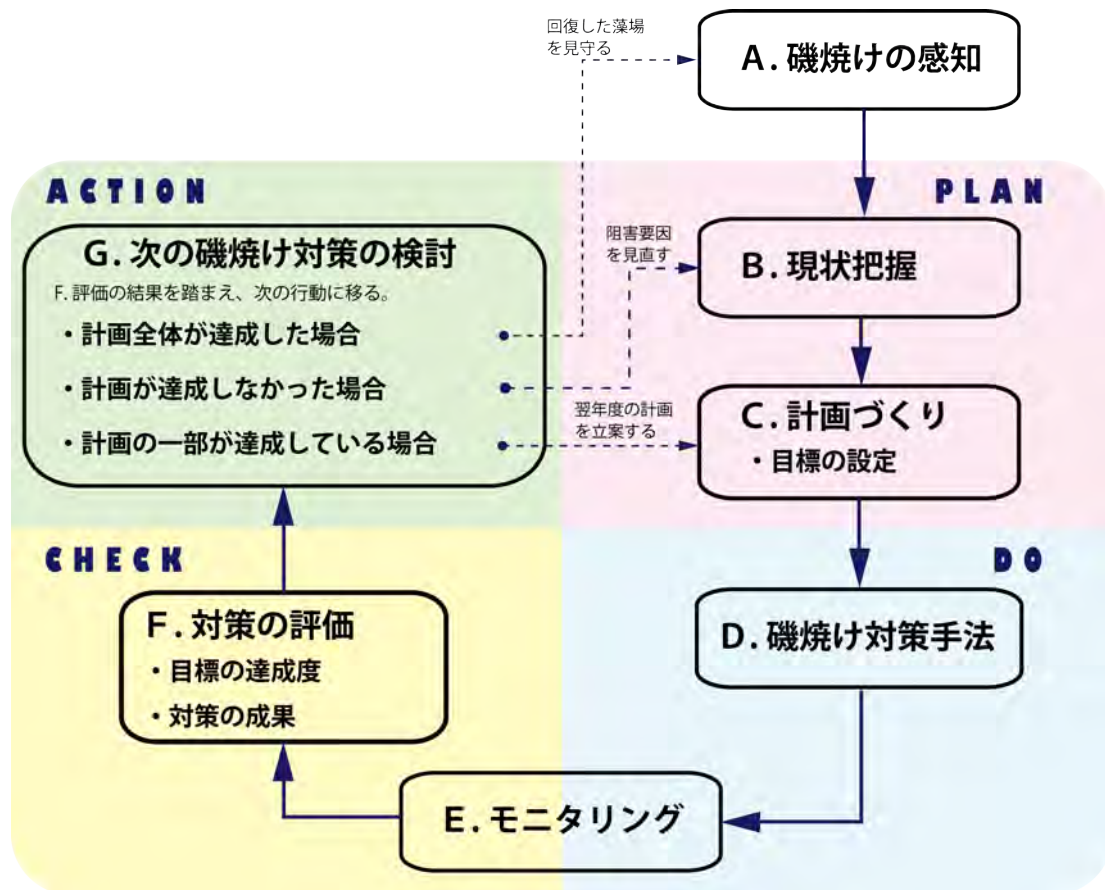


図 6-2-2 PDCA サイクルで回す磯焼け対策フロー

A. 磯焼けの感知

日頃から藻場の状況を観察し、海底景観の変化（例えば、岩肌の露出や食害）、アワビ等の漁獲量の急な増減などから磯焼けを感知する。

B. 現状把握（阻害要因の特定）

磯焼けが感知された場合は、藻場形成の阻害要因を特定する調査を実施する。阻害要因が特定できない場合には、簡単な実験的な調査を行うことも必要である。

C. 対策手法の検討と計画づくり

阻害要因が特定されたら関係者同士で話し合い、取り組み方針、活動内容・スケジュールなどの計画づくりを行う。計画立案にあたっては、目標設定、役割分担、作業の安全性、活動スケジュール、必要経費、利害関係者との調整など詳細まで検討する。

D. 対策の実施

計画した内容を着実に実施する。必要に応じて複数の対策手法を効果的に組み合わせて実施する。食害に対する磯焼け対策の実績では、「植食動物の除去」と「海藻のタネの供給」の組み合わせの効果が大きい。なお、海での作業は危険を伴うことから、気象・海象に留意し、作業の安全性を確保する。

E. モニタリング

磯焼け対策の実施後は、対策箇所、および周辺海域を定期的にモニタリングして状況の推移を把握する。モニタリング項目やその方法は、専門家（サポーター）に相談して決定するとよい。

F. 対策の評価

モニタリングの結果から目標が達成できているかどうか、実施した対策は効果があったか、専門家（サポーター）を交えながら結果を判定する。また、その結果については、活動メンバー等関係者間で共有する。

G. 次の磯焼け対策の検討

目標が達成（例えば、藻場が回復した）していれば、回復した藻場を見守りつつ別の場所の磯焼け対策を計画する。また、対策に効果がみられている場合は、その対策が次回も実施できるように計画する。実施した対策に効果がみられなかった場合には、その失敗の要因を分析し、計画と実施体制などの見直しを行う。

6. 3 体制づくり

1) 実施体制の整備

磯焼け対策を効果的に実施するには、協議会を開き、様々な立場の関係者との合意形成を図り、活動を持続的に実施することが必要である。

最近の環境変化の世論調査（国立環境研究所，2016）では、59%の人が「（環境が）悪く

なっている」と回答し、気候変動や温暖化については、90%の人が「心配している」と回答している。このような地域住民の環境問題に対する関心の高まりから、藻場の保全活動（磯焼け対策を含む）においても、全国各地で地域住民の参加が目立つようになってきた。一方、これまで主体的な役割を果たしてきた漁業者は、高齢化・後継者不足などの不安を抱えている（図 6-3-1）。今後は、漁業者と行政と専門家（サポーター）だけではなく、地域住民や NPO 等の参画を積極的に受け入れ、地域全体で取り組める体制づくりも考えていくことが重要である。このような取り組みが発展すれば、都市漁村交流の推進や漁村の活性化にもつながる（図 6-3-2、表 6-3-1）。

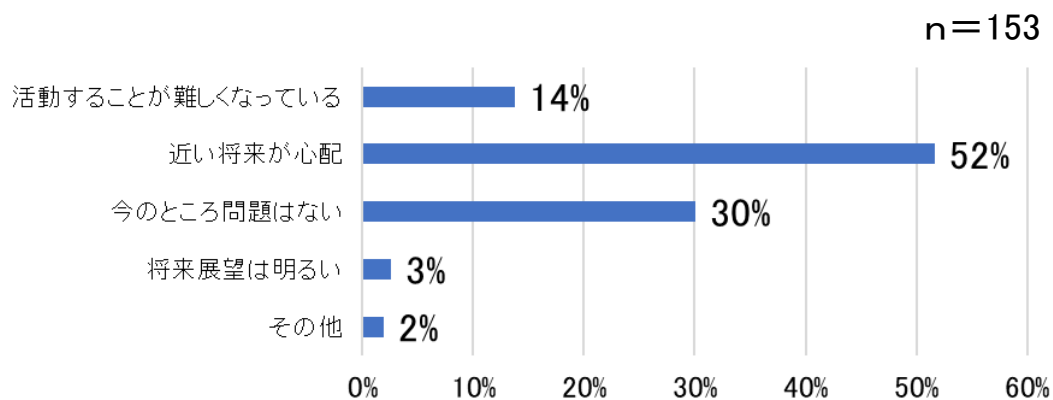


図 6-3-1 実施体制の状況

注)水産多面的事業の藻場保全活動の活動組織を対象に行ったアンケート結果(水産庁, 2020)



図 6-3-2 磯焼け対策の理想的な実施体制

表 6-3-1 各機関の役割分担

漁業関係者	地域住民・NPO 等
・現状把握調査、モニタリング ・計画立案 ・磯焼け対策の実施 ・活動報告、報告会等の運営 ・情報発信(SNS)	・対策実施の協力 ・報告会への参加
専門家(サポーター)・研究者	行政担当者
・藻場や磯焼けに関する情報提供 ・計画立案のためのアドバイス ・調査に関するアドバイス ・対策手法の技術サポート ・報告会への参加	・藻場や磯焼けに関する情報提供 ・財政支援 ・計画立案のアドバイス ・リーダー育成の支援

磯焼け対策で着実に PDCA サイクルを回すには、専門的な知識と解決能力等を備えた専門家（サポーター）の協力が欠かせない。専門家（サポーター）としては、対象海域の実態に通じ、藻場回復の実践経験が豊富で、PDCA サイクルの各場面でアドバイス等を行うことができる人物が望ましい。

水産多面的事業では、藻場の保全活動等に取り組む活動組織を対象に、活動の技術的な指導やモニタリング等に関して、専門家（サポーター）が直接現地に出向いてサポートを行っている。このような専門家（サポーター）のサポート体制を上手に利用して磯焼け対策に取り組むべきである。

水産多面的事業の情報サイト「ひとつみ.jp」の個別サポートのページ

<https://www.hitoumi.jp/support/support.php>

2) 情報の共有化

リーダーが講習会等で得た情報や技術を組織全体で共有することにより、組織力を強化する。また、ベテラン漁業者の知識や経験を共有することにより、計画づくりを効率的に進める。活動の課題やトラブルにも、経験豊富な専門家（サポーター）からのアドバイスによって解決の糸口が見つかる。

情報の共有化を図るためには、メンバー同士の日頃のコミュニケーションだけではなく、水産系研究機関、「磯焼け対策全国協議会」（水産庁）や「水産多面的機能発揮対策講習会」（水産庁）、あるいは優良な取り組みを実施している組織との交流を通じ、積極的に新しい情報を収集する。集積した情報は、「現場で使いやすい」、「管理や設定がしやすい」形で導入し、SNS（著作権などの問題に注意）を活用して情報を蓄積・発信する。

全国各地の取り組みについては、水産多面的事業の情報サイト「ひとつみ.jp」で公開されている。

水産多面的事業の情報サイト「ひとつみ.jp」の全国の実践情報のページ

<https://www.hitoumi.jp/torikumi/>

3) ハード整備とソフト対策の連携

藻場の形成阻害要因には、植食動物だけではなく、岩礁（基質）の埋没、浮泥の堆積などがあり、そのためにブロックや藻場礁（または、藻礁）などを設置することがある（第7章のD5、D6、D8参照）。また、海藻のタネや種苗をつくり、タネを着生しやすくするための基質の設置、成長を促進させるための栄養塩の添加がある（第7章のD4、D7 参照）。これらの多くは藻場造成で培われてきた手法である。ただし、海水温の上昇や植食動物の活発化により、効果が発現・持続し難くなっているため、水産庁では、広域的な観点からハード整備とソフト対策を組み合わせた計画を策定し、両者が連携した藻場の保全・創造対策を推進している（水産庁 藻場・干潟ビジョン、2016）。

ハード整備とソフト対策の連携とは、例えば、天然藻場から放出される海藻のタネ（孢子・種子等）が、潮流によって広域に移動する先に、予め藻場礁を設置して藻場を創出させ、同時に藻場が維持されるようにウニ除去などのソフト対策を実施するなどが考えられる（図 6-3-3、図 6-3-4、図 6-3-5、図 6-3-6）。このような連携を行うには、先に示した体制づくりと情報の共有化が重要であり、両方の計画づくりを上手に合体させる必要がある。

三重県では、『藻場造成ガイドブック 2013 改訂版』を作成し、併せて「三重県干潟・藻場等沿岸漁場保全懇談会設置要領」を定め、懇談会を開催しながら、計画から設計、施工、モニタリング、事業後の検証について、地区ごとに取り組み状況を説明し、意見交換を行いながら、効率的・効果的な事業実施を続けている。

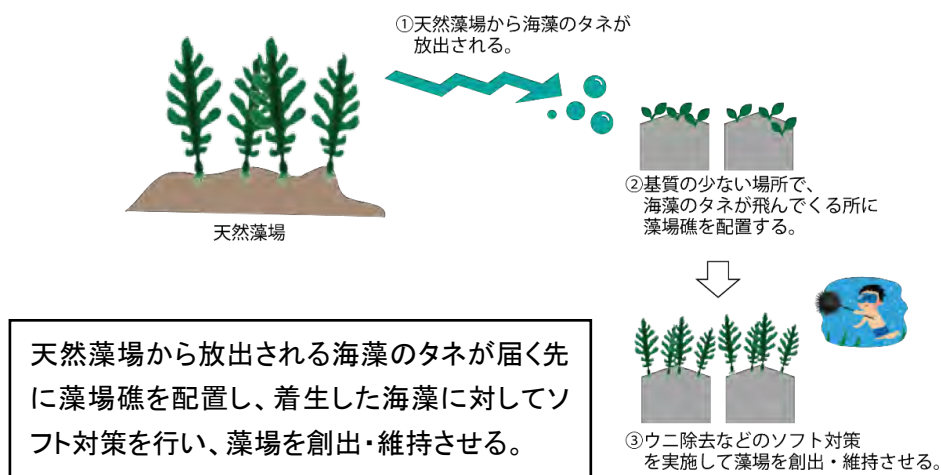


図 6-3-3 ハードとソフトの連携イメージ（例 1）

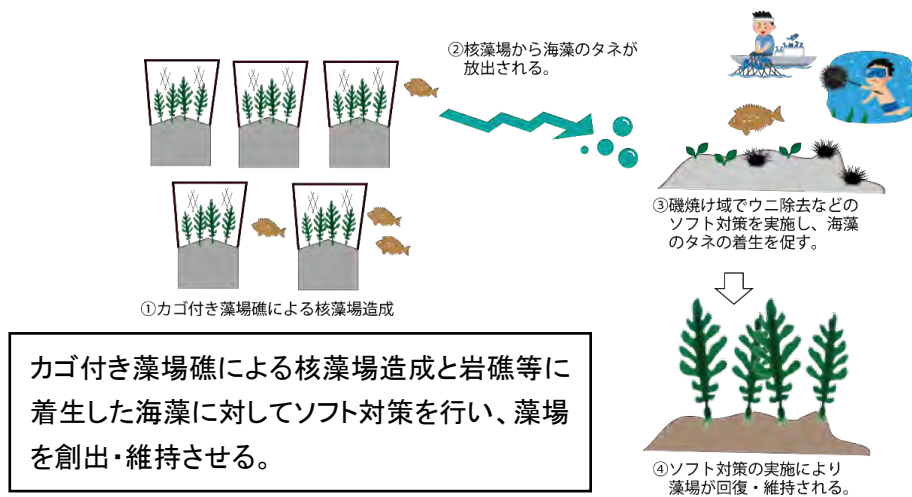


図 6-3-4 ハードとソフトの連携イメージ（例 2）

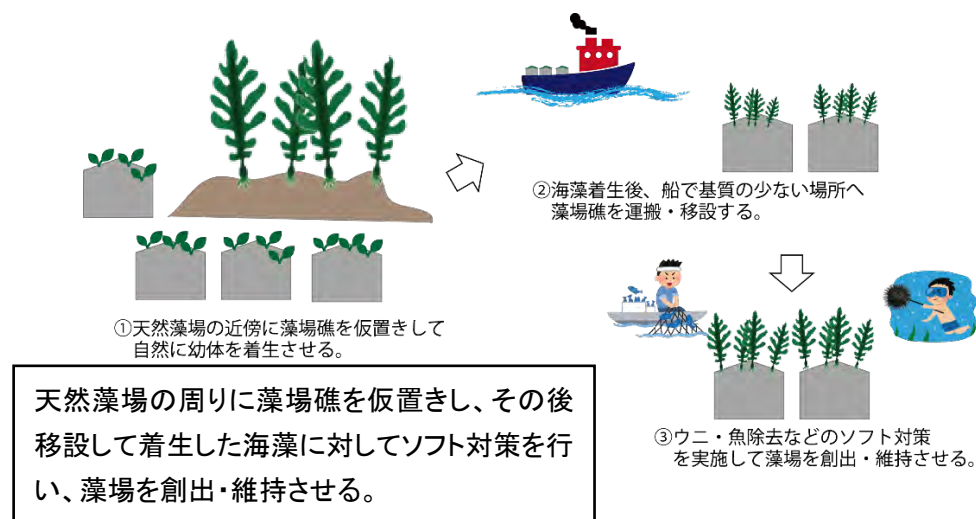


図 6-3-5 ハードとソフトの連携イメージ（例 3）

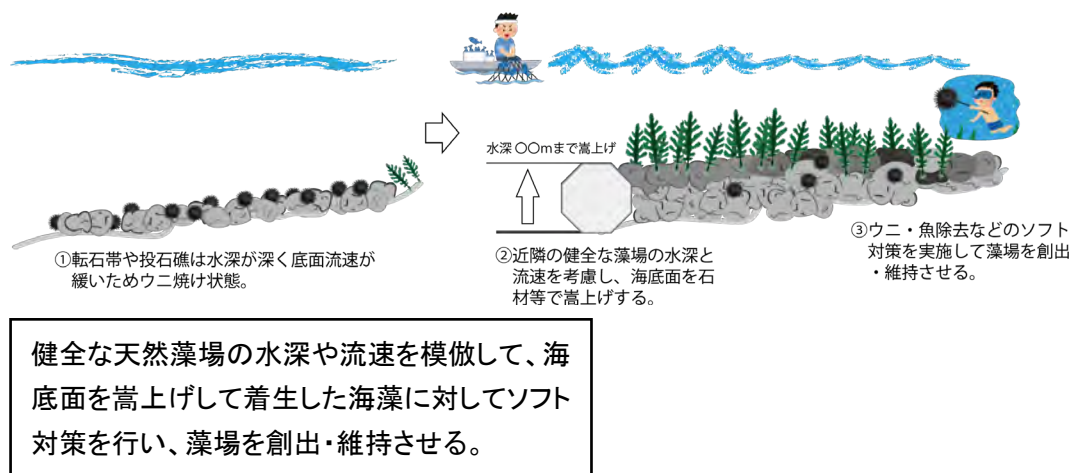


図 6-3-6 ハードとソフトの連携イメージ（例 4）

6. 4 維持管理

PDCA サイクルを回し藻場が回復した後も、藻場が維持され機能が継続的に発現できるように見守る（管理する）ことが重要である。例えば、広域の磯焼け海域に出現した小規模な藻場は、周囲に植食動物が多く存在することから、再び食害によって藻場から磯焼けへ戻ってしまうことが懸念される。一度藻場が回復した場所は、藻場の維持や磯根資源の増大を目標とする。維持管理の重要性が認識されていなかったり、別の場所の磯焼け対策で手一杯であったりなど、回復した藻場へのフォローが疎かにならないようにする。

水産多面的事業では、5 年間で藻場の保全、再生のための活動を行う範囲を「協定面積」（面積単位：ha）として設定し、磯焼け対策等を実施する範囲を「活動面積」（ $\leq$ 協定面積）として区分している。定期モニタリングでは、「活動面積」の対策効果を把握するとともに、「協定面積」全体の環境や資源の状況を毎年把握することになっている。協定面積では、対策によって藻場が回復した場所にモニタリング定点を設定し、継続的にモニタリングを実施しながら、磯焼けに戻らないための対策を適宜実施することが可能である。第 8 章に示す取り組み事例を参考にするとよい。

6. 5 事後評価と次の磯焼け対策の検討

活動後の事後評価とは、活動の過程や成果を記録やモニタリングを通して評価することで、PDCA サイクルの Check（評価）のステージにあたる。また、その評価を踏まえて次の磯焼け対策を計画し進めることが、PDCA サイクルの Action（改善）のステージである。事後評価と次の磯焼け対策では、次の点に留意して評価する。

- ◆ 事前に設定した数値目標の達成状況を検証する。そして、その評価は活動メンバーに公表し情報を共有する。
- ◆ 磯焼け対策は長期にわたって持続的に取り組まれるべきものであるため、評価結果はレポートに取りまとめておく。
- ◆ 評価結果を踏まえ次の対策を計画し、活動を持続させるようにする。
- ◆ 事後評価と次の対策の計画は、漁業関係者と市町村が主体となって行い、必要に応じて専門家（サポーター）のアドバイスを受ける。

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^{じょうらん}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

静岡県のはいなん 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。

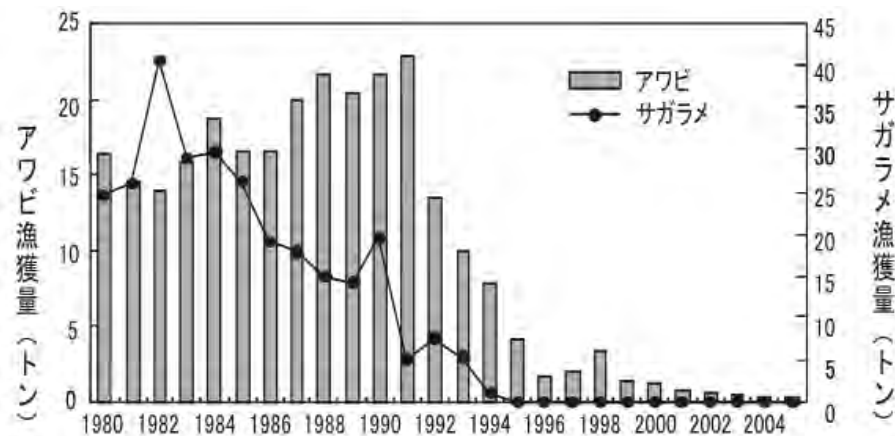


図 7-A-3 静岡県榛南地区におけるアワビとサガラメの漁獲量の推移

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。

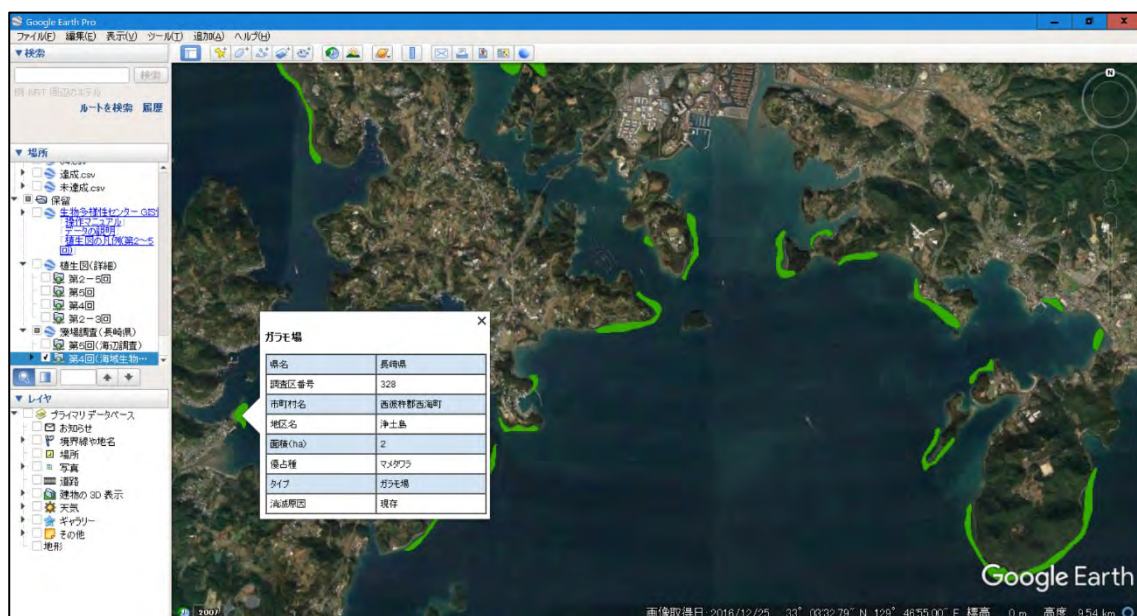


図 7-B1-1 第 4 回自然環境保全基礎調査の KLM データを読み込んだ藻場分布（例）

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「ひとうみ.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「ひとうみ.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80km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。

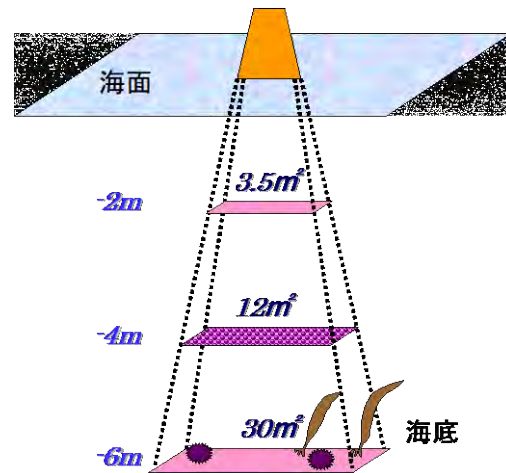


図 7-B1-3 水深と観察面積の関係

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。

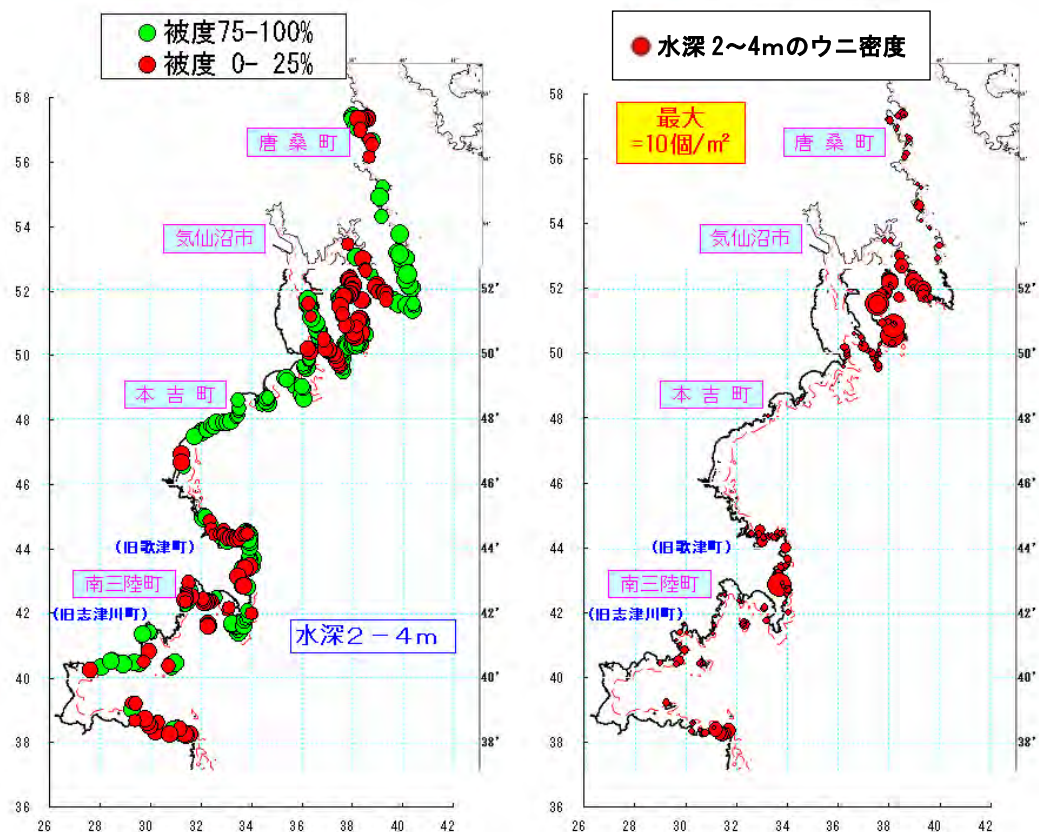


図 7-B1-4 宮城県沿岸の水深2~4mの海藻の被度（左図）とウニ密度（右図）

(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。

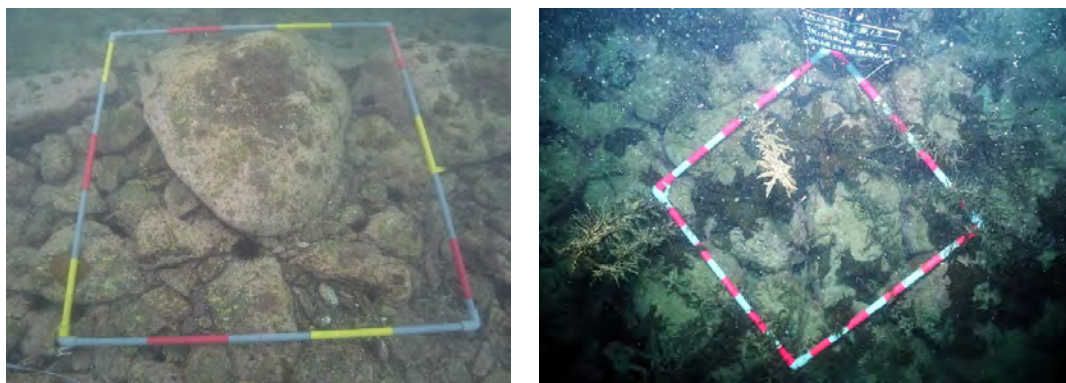


図 7-B1-5 コドラート枠（1m×1m）を用いた観察

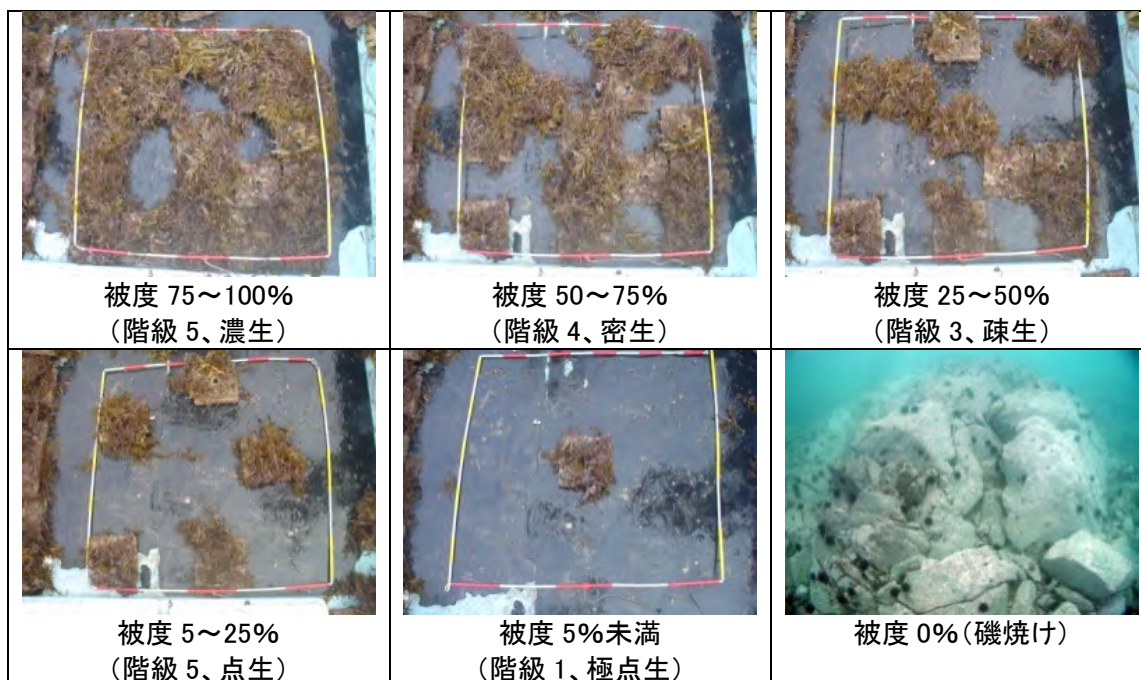


図 7-B1-6 海藻の被度階級

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	2			2			1			2		
水深	3m	6m	9m	3m	6m	9m	3m	6m	9m	3m	6m	9m
観測時刻	15:15	:	:	15:45	16:00	20	16:34	20	23	16:40	48	48
測定水深 (m)	3.3			3.5	6.5	9.5	3.6	7.0	9.7	3.5	6.5	9.5
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	45	40	70
	無節サンゴ類	10		+	10	10	10	10	10	5	10	20
	固着動物等	5		+	+	5	20	10	+			
%	裸面・砂地	5		20	10	30			10			10
	クロム	0		0	0	0						
	ノコギリモク											
	ヨレモクホドネ											
主な海藻等 ○印	アカモク											
	ヒジキ											
	ヒロメ (ノコ)											
	ワカメ											
	テングサ	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	有節サンゴ類	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
	オオノリ類	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
	イソサンゴ類	+		0	0	0	0	0	0	0	0	0
食害状況	海藻類											
	程度											

海藻用

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 m ²	5 m ²	10 m ²	5 m ²	5 m ²	10 m ²	5 m ²	5 m ²	10 m ²	5 m ²	5 m ²	10 m ²
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	1	17		6.10		T	1				
	アカウニ									正		
	サザエ						712	30cm				
特記事項			砂		砂							

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-B1-9 の結果から、以下のような検討を行い、要因を特定する。

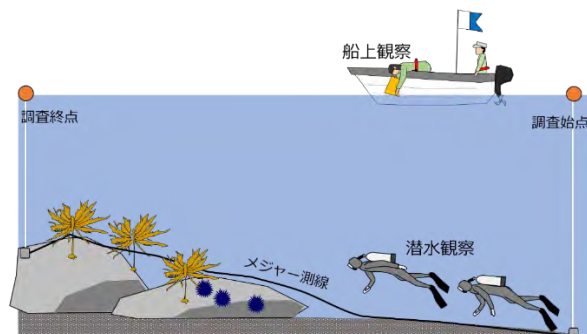


図 7-B1-8 ベルトトランセクト調査

- ◆ 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。

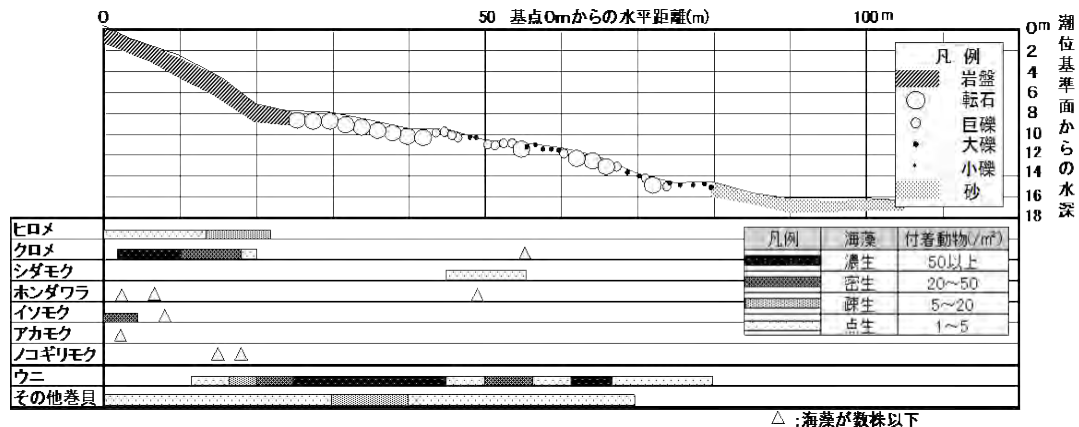


図 7-B1-9 ベルトトランセクト調査の結果（例）

（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。

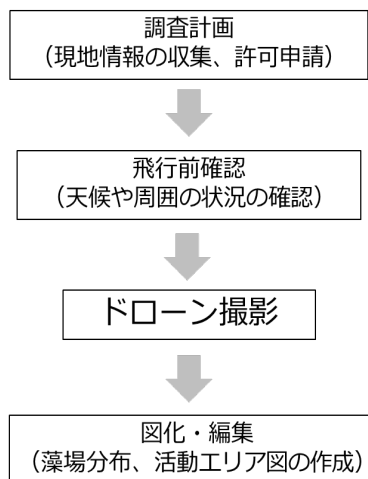


図 7-B1-10 無人航空機（ドローン）による藻場調査の手順



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。

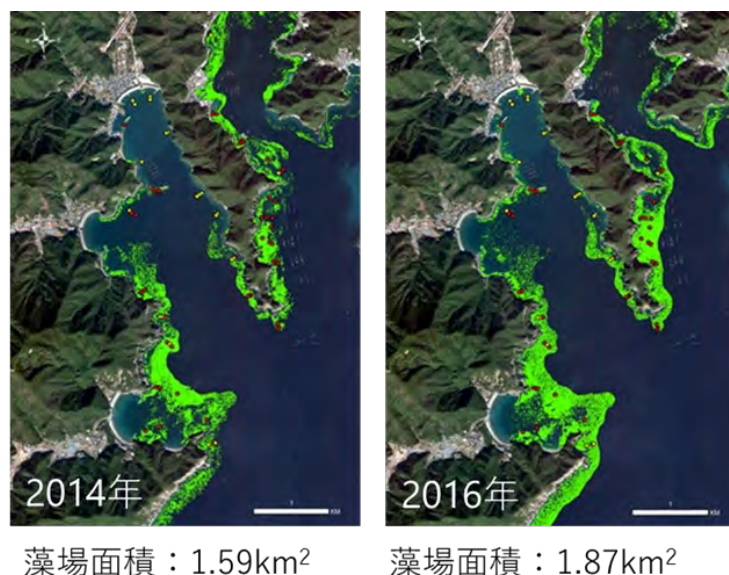


図 1 衛星画像から判読した 2014 年と 2016 年の大分県佐伯市名護屋湾の藻場分布

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。

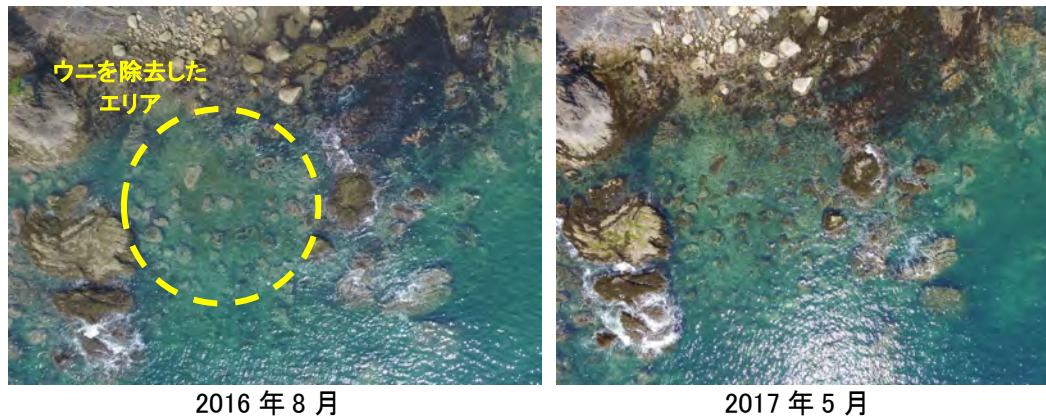


図2 ドローンによる藻場の確認事例（三重県尾鷲市，撮影：石川）

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、海藻綱別の判読が可能となった。

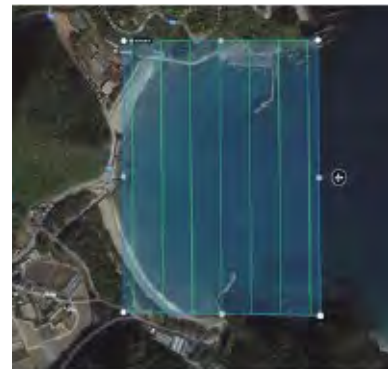


図3 飛行ルート

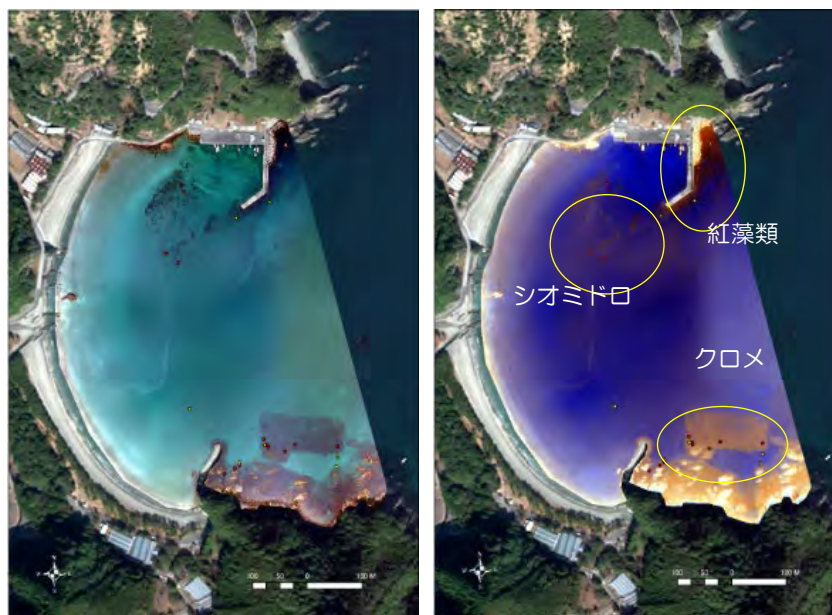


図4 ドローン撮影画像（左）と画像から判読した藻場分布（右）

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。

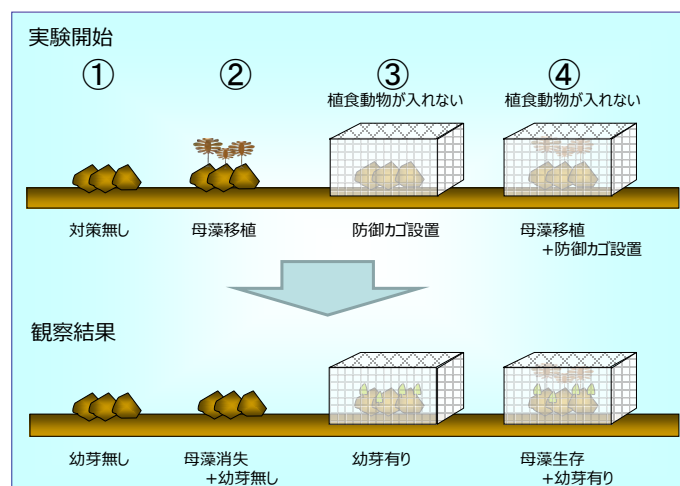


図7-B2-1 藻場形成の阻害要因の確認

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

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

ブダイ(全長 42 cm)の採食痕

- A: 側葉と中央葉を採食されたクロメ
 B: 深く湾入した楕円弧
 C,D: 葉・茎状部表面の筋状の痕跡
 E: 葉状部表面の歯形
 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。

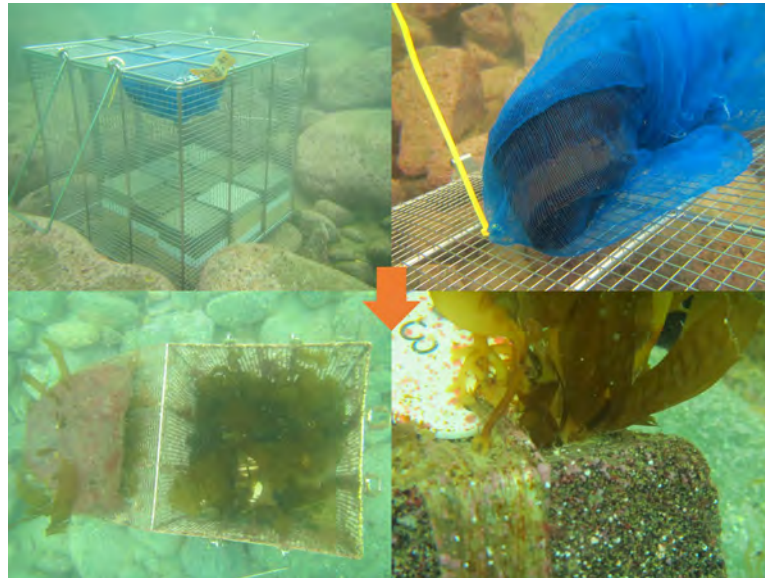


図 7-B2-3 ステンレス製カゴを用いたコンブ遊走子播種実験（宮城県女川町）
ステンレス製カゴの蓋の裏側に成熟したマコンブのスポアバッグを固定し、海底に設置。半年後に、底に敷いたブロックやスポアバッグの表面に藻体が着生していることを確認。



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

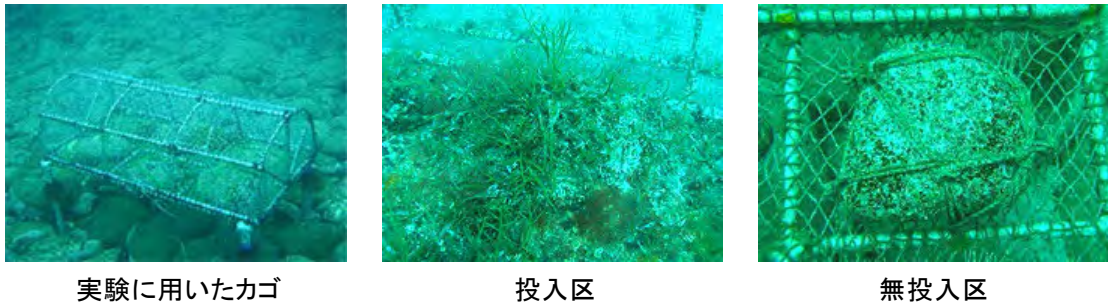


図 7-B2-6 母藻投入の有無による移植ホンダワラ類の生育の違い

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。

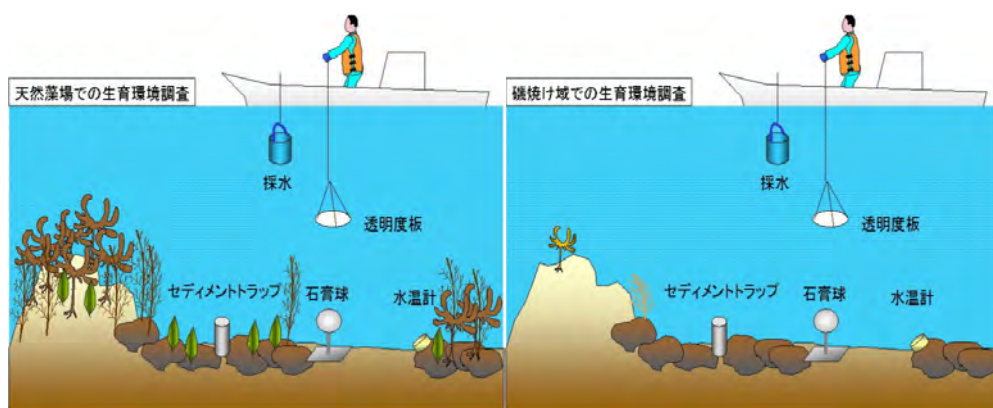


図 7-B2-11 比較現地調査による方法（近隣藻場（左）、磯焼け域（右））

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	・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。	・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。	○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。	○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	・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。	・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。	○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。	○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	・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。	○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。	○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。	○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	・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。	・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。	○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。	○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	・海岸・流域の人工化(垂直護岸や河床の三面張り)。 ・特にダムの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。	・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。	○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)。	○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:珊内漁港)

施肥区内(左)と外(右)の
キョウノヒモ

図 1 紅藻の黄化の例

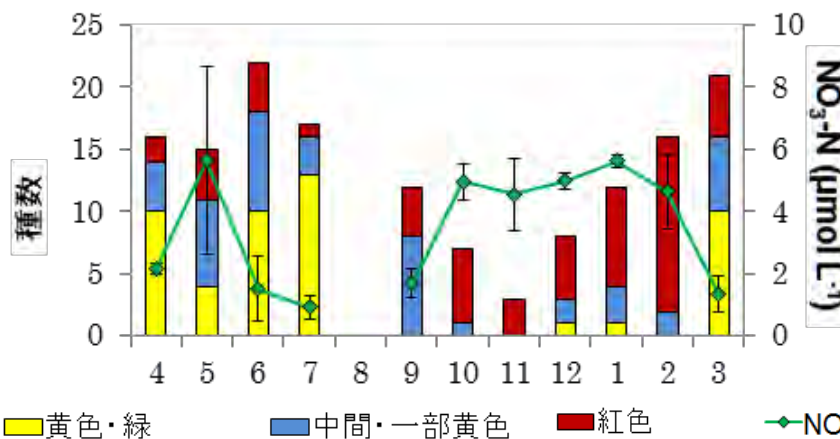


図 2 静岡県内浦湾の硝酸態窒素濃度と紅藻の体色の関係 (Kobayashi *et al.*, 2014)

【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とき空気が抜けやすい。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。

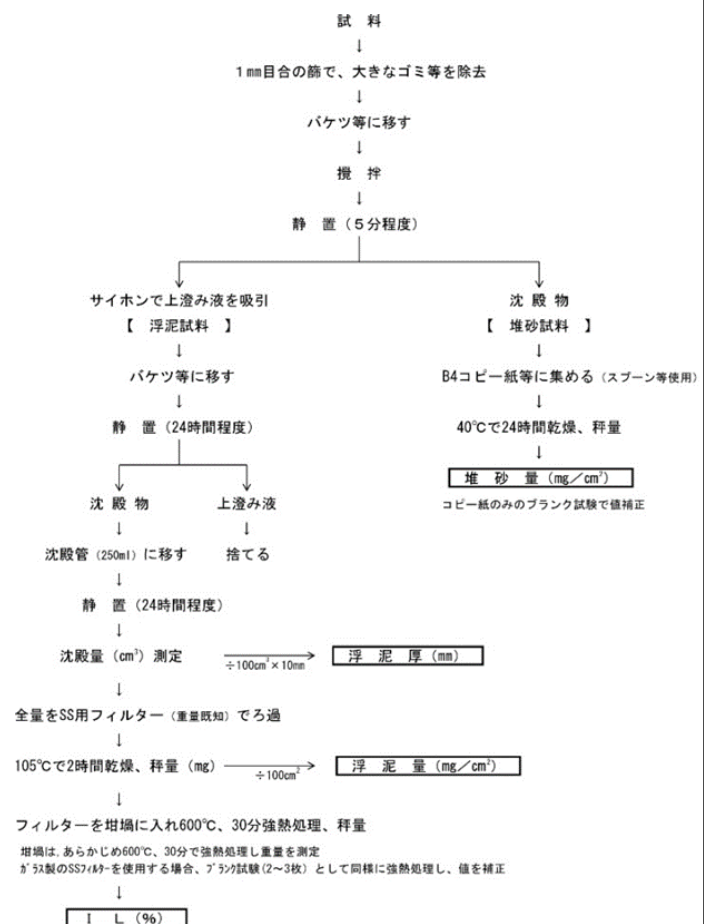


図 2 浮泥の分析法

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（第 8 章の 8.7、8.8、8.9 参照）。

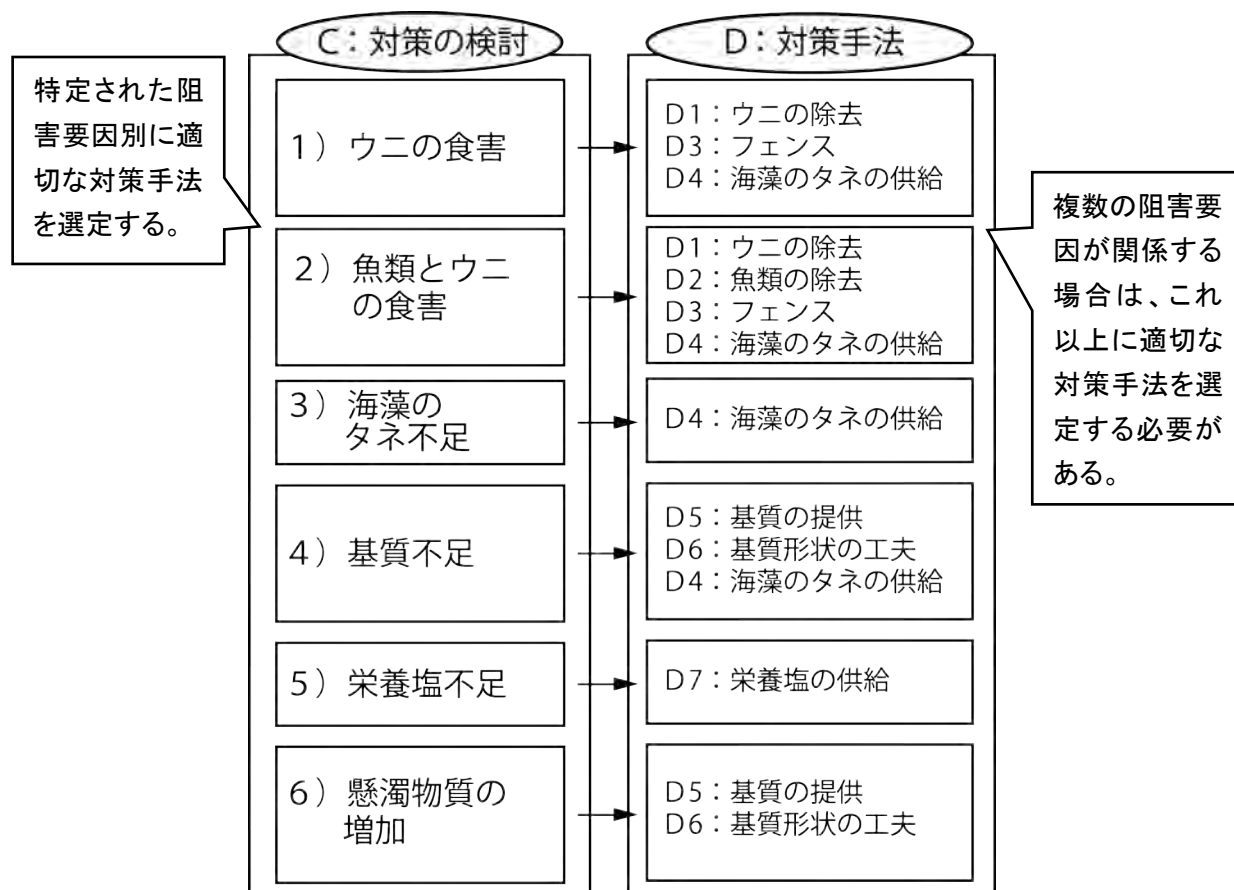


図 7-C-1 磯焼け対策手法の検討フロー

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だけ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ポンアバッグの設置（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）。

	① ウニの食害が阻害要因となっている磯焼け海域。
	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。
	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。
	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。

図 7-C-2 ウニの食害対策の効果的な組み合わせ

	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。
	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。
	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。
	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。
	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。

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。

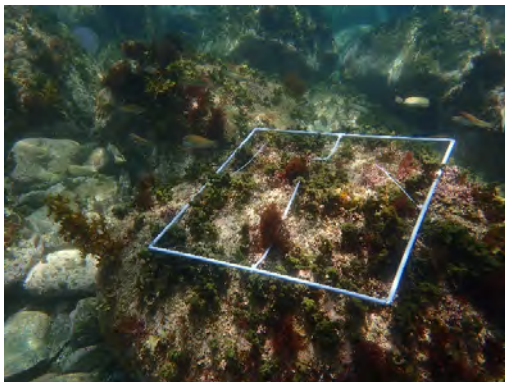


図1 ウニ除去で形成した小型海藻藻場



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）も併せて行くと、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。

D 1. 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といよい。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こり、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/㎡」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ので、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。

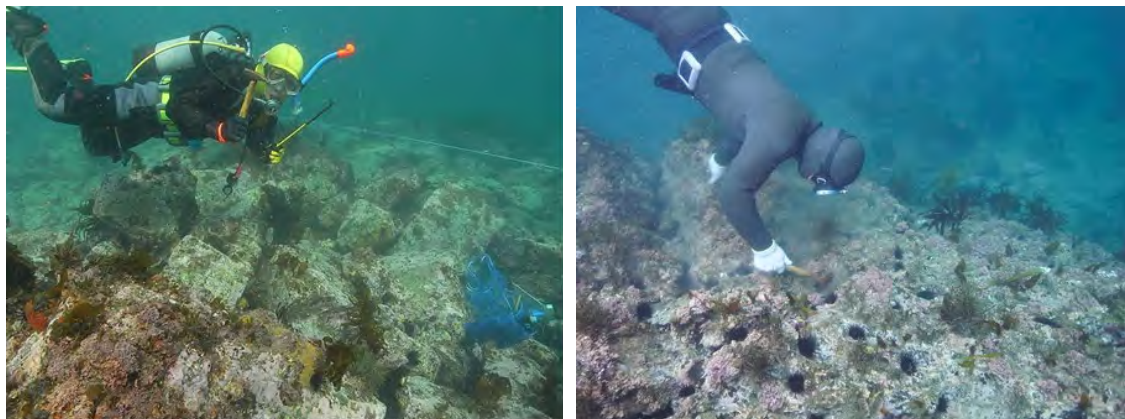


図 7-D1-1 ウニの潰し作業

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。



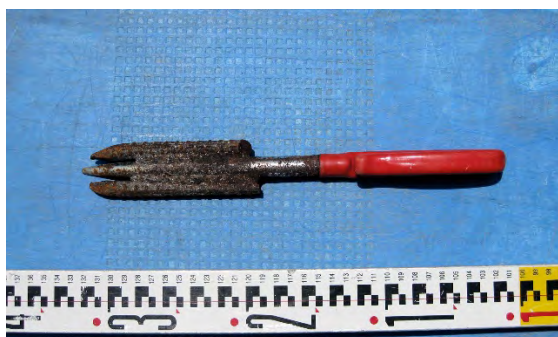
先端部をT字型、あるいは十字型にしたガンガゼ用の道具。



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、磯カギで掻き出し、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。

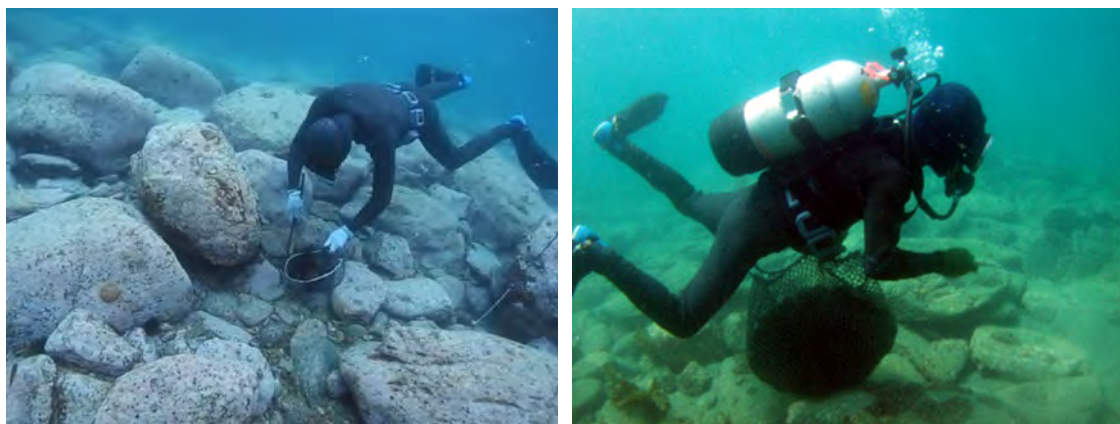


図 7-D1-3 潜水によるウニの回収作業



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といよい（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。

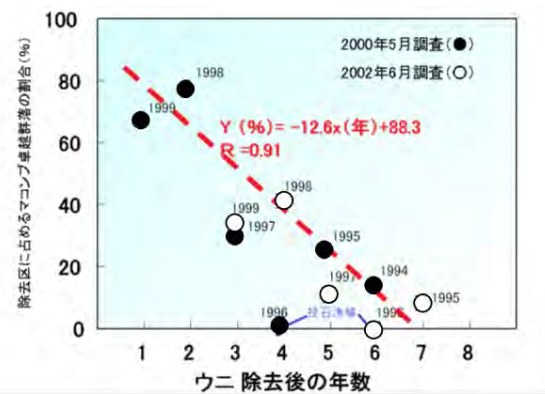


図1 ウニ除去区とマコンブ卓越群落の割合

【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、

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）。

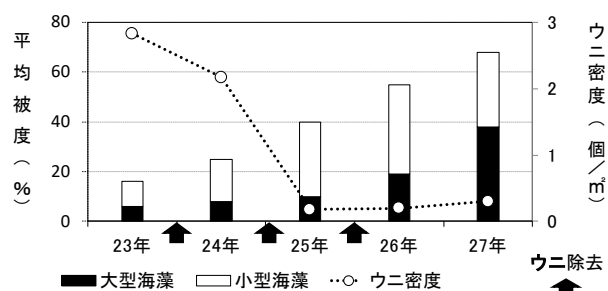


図1 ウニ密度と海藻被度の関係

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^{はえなわ}」、「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リ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えない場合がある。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。

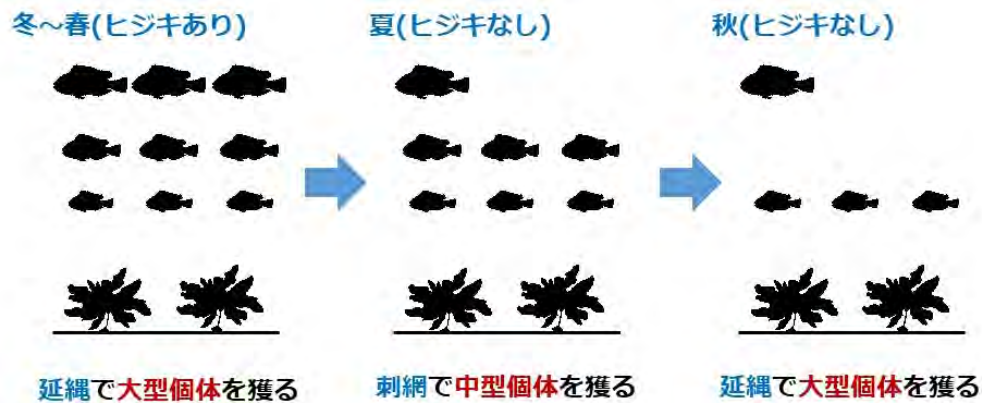


図 7-D2-1 延縄と刺網を組み合わせたブダイの除去手法

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鉤に掛ける（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。

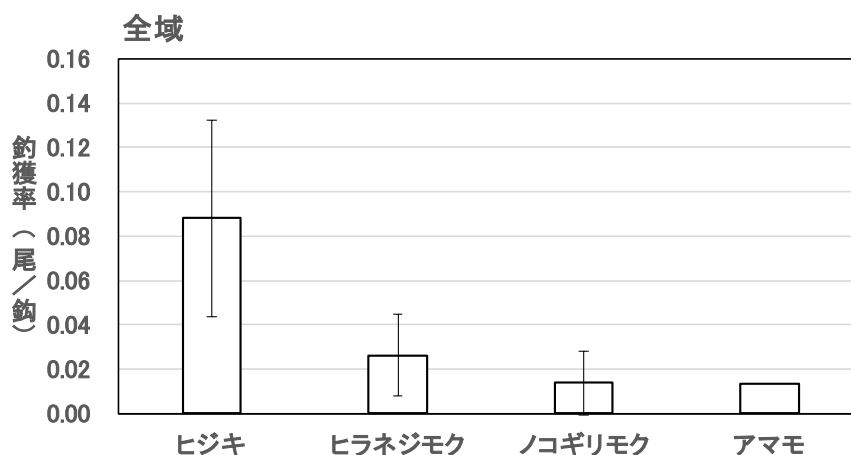


図 7-D2-3 餌の海藻別釣獲率

- ④ 延縄の枝鉤（エダス）の間隔は、枝鉤の長さの2倍以上とし、作業時の枝鉤同士の絡みを少なくする。幹縄と枝鉤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、縁に鉤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）。

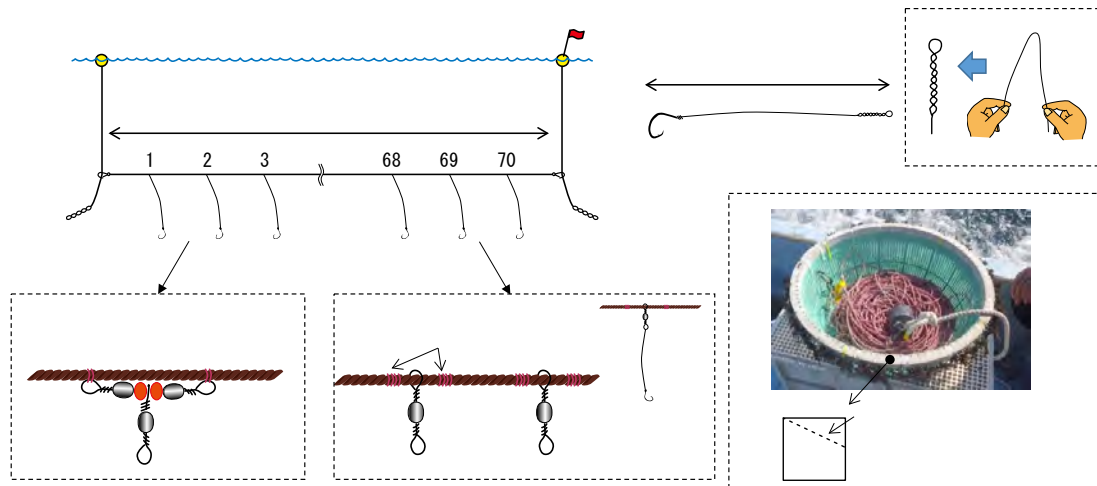


図 7-D2-4 延縄の仕掛け図

表 7-D2-3 100m 長の延縄に 70 鉤の規格

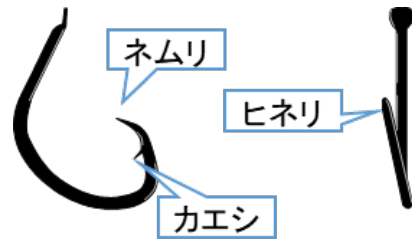
名 称	規 格
幹 縄	ポリクレ、長さ 100m、強度があり沈む材質
枝 縄	ナイロン、太さ 10～12 号、40～80 cm、間隔は枝縄長の 2 倍以上、1 縄で 70～90 本位
鉤	魚が外れにくい「カエシ」（鉤先端内側の突起）付きで、「ネムリ」（鉤先が極端に内側向き）と「ヒネリ」（鉤先がひねってあるもの）が入った鯛鉤（10 号）
鉢	直径 80 cm 位の大型プラスチックザルの上縁に鉤を掛けるラバーを取付けたもの。1 鉢に 1 式の延縄を収める
その他	餌海藻は餌巻き糸で長さ 3～5 cm 位に束ねて鉤に掛ける

- 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 38 cm 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 20～50 cm 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、網揚げを昼過ぎす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：45 cm、内網の目合：9 cm）を用いた場合、全長 20 cm 以上のブダイが漁獲され、特に全長 26～36 cm の中型が効率良く漁獲することができた。

欠 点：全長 25 cm 未満の小型魚や 36 cm 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を実施する場合は、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）

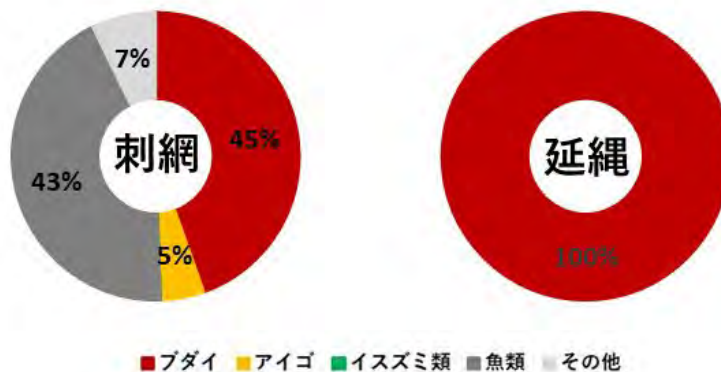


図 2 刺網と延縄の漁獲物

3) ノトイズミ

ノトイ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。ノトイズミは行動圏が数十kmと広いので、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 30 cm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リス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リスズミの尾叉長の 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。ノトリス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、ノトリスズミ 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った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、ノトリス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。

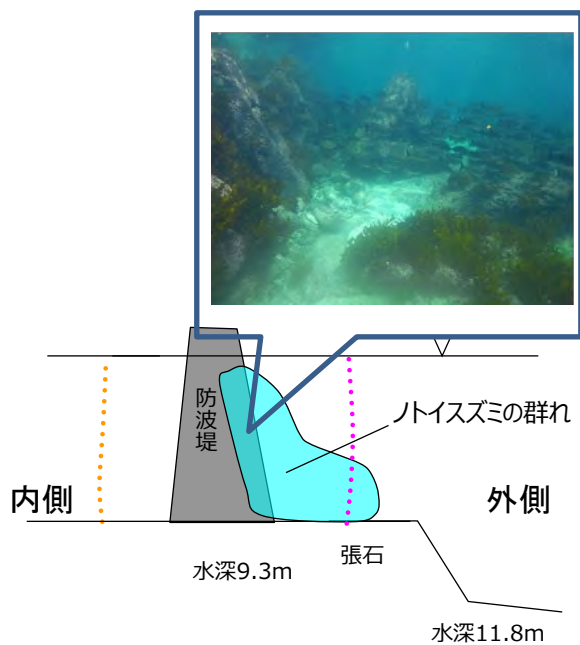


図 7-D2-6 長崎県壱岐市初瀬漁港で実施した刺網の設置方法



図 7-D2-7 捕獲されたノトイズミ

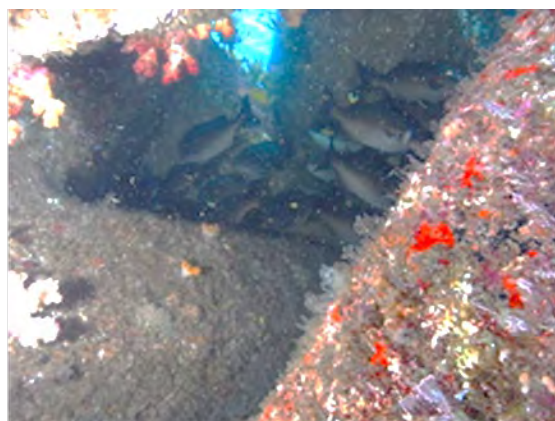
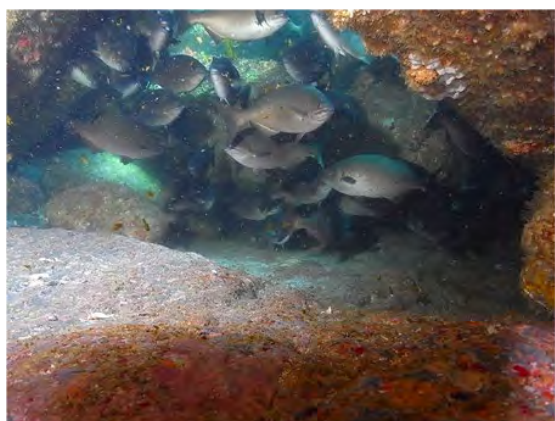


図 7-D2-8 ブロックの奥に逃げ込んだノトイズミの群れ

(2) トラップ

場 所：ノトリスズミが蛸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ノトリスズミが蛸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口を設けたトラップ（竹野・西水研型）を設置する（図 7-D2-9、図 7-D2-10）。

②出入り口を閉じた状態で、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トラップにノトリスズミが入ったら、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リスズミは全て水揚げせず、罔として数尾を残す。

⑤ノトリスズミの蛸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：消波ブロックに蛸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：ノトリ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

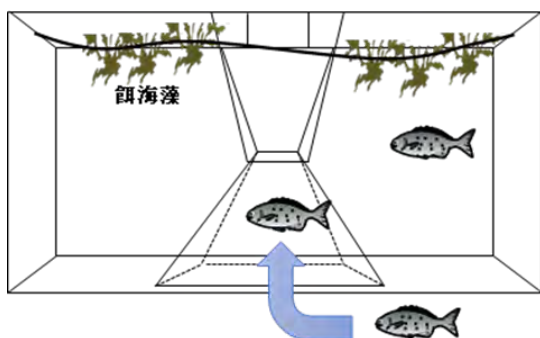


図 7-D2-9 植食魚トラップの模式図
(竹野-西水研型)



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）。

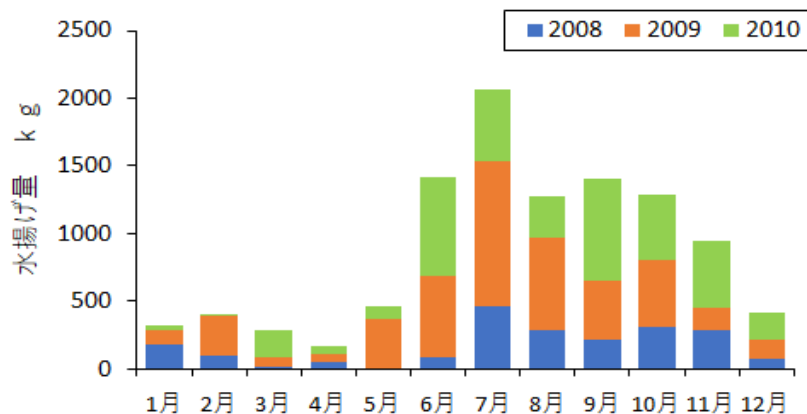


図 7-D2-12 長崎県平戸市のイスズミ類の月別水揚げ量

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えない場合がある。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のため、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

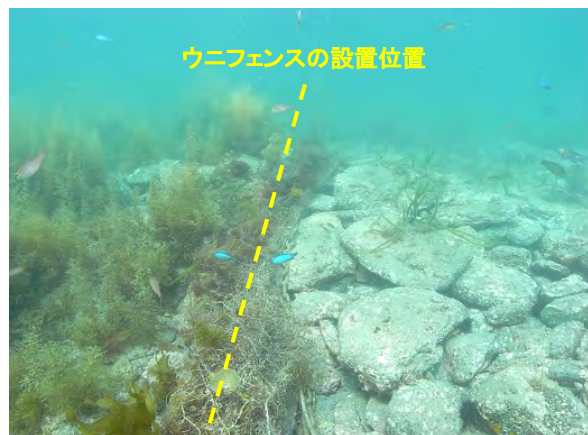


図 7-D3-2 ウニフェンスを挟む景観の差異

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）。

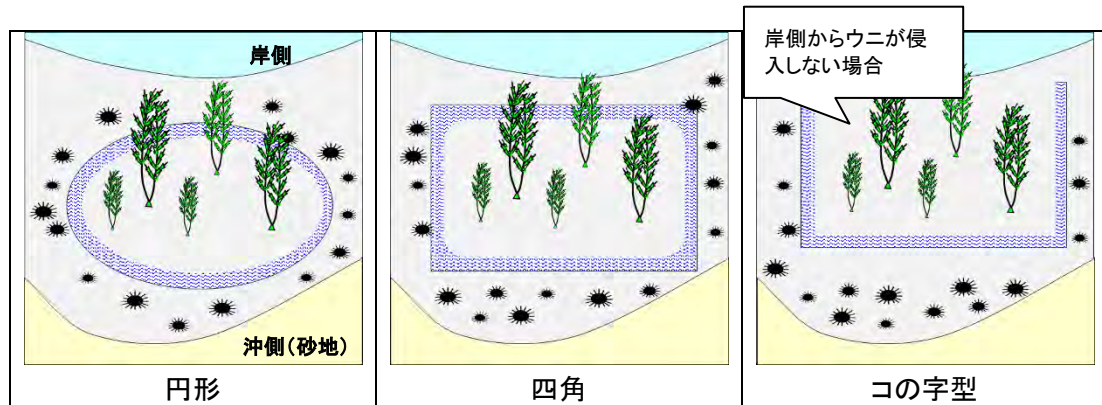


図 7-D3-3 ウニフェンスの設置方法

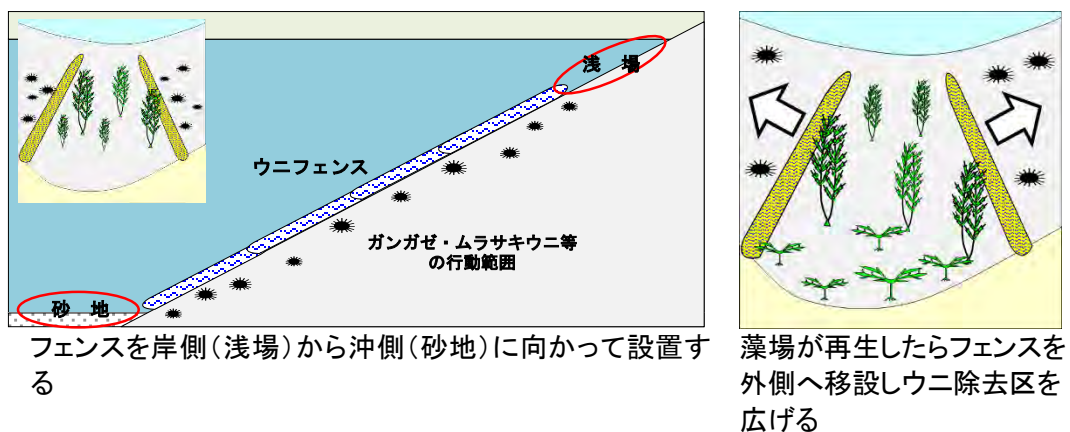


図 7-D3-4 瀬切方式の設置

(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。

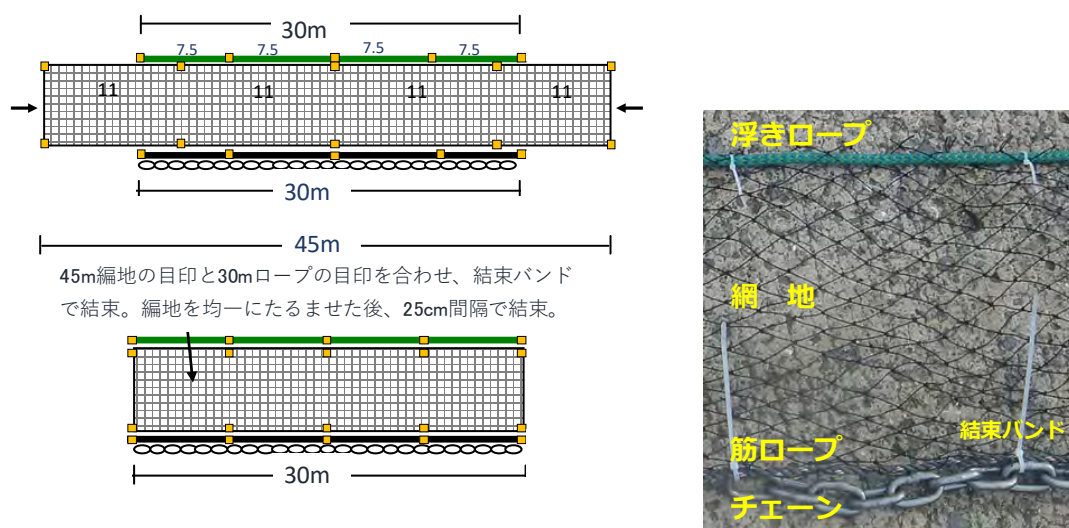


図 7-D3-5 ユニフェンス

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、定期的に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		◆ 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		◆ 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		◆ 漁業者でも設置できる。 ◆ 小規模範囲(数m²)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。

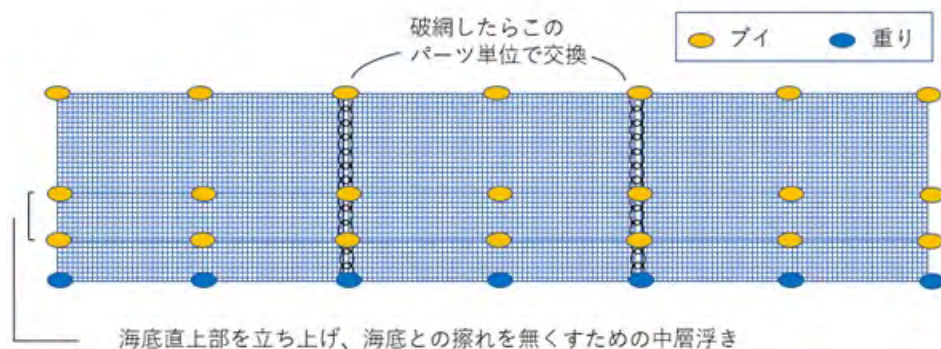


図 7-D3-7 仕切網の構造

(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リス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。

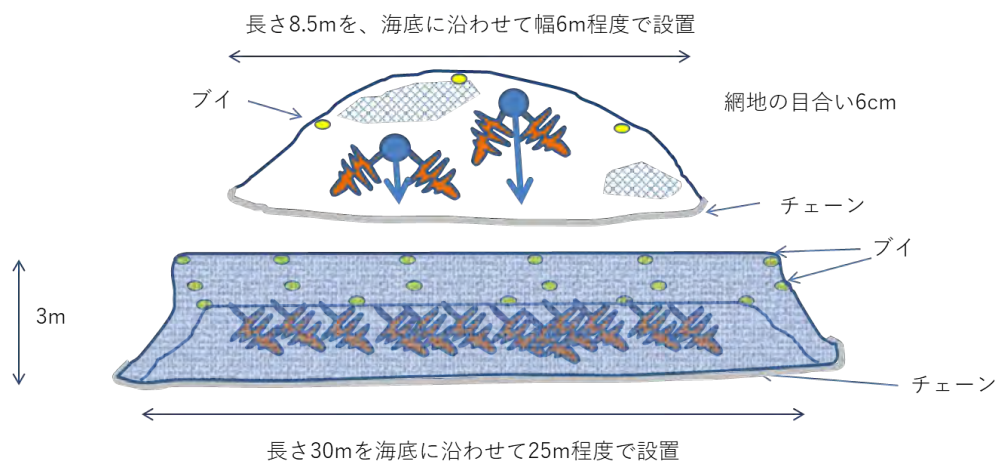


図 7-D3-8 母藻防護ネットの設置イメージ

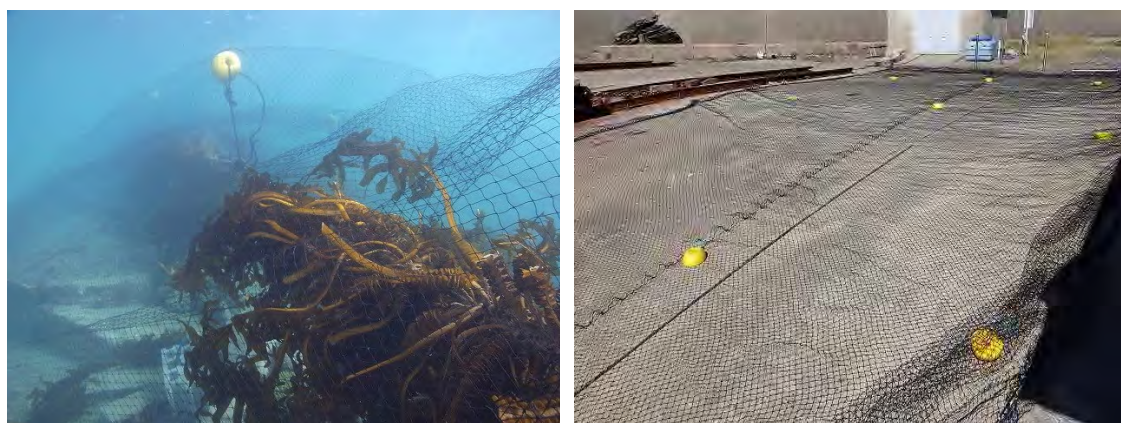


図 7-D3-9 母藻防護ネット（左：水中の設置状況 右：陸上で広げた様子）

（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=6 cm)、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	φ 8 mm、長さ 30m×2、8.5m×2 ポリエチレン系ロープ
チェーン	φ 8 mm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 15 cm、耐候性 筋ロープとチェーンの結束に使用(10 cm間隔)768 本
ブ イ	浮力 2 kg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。

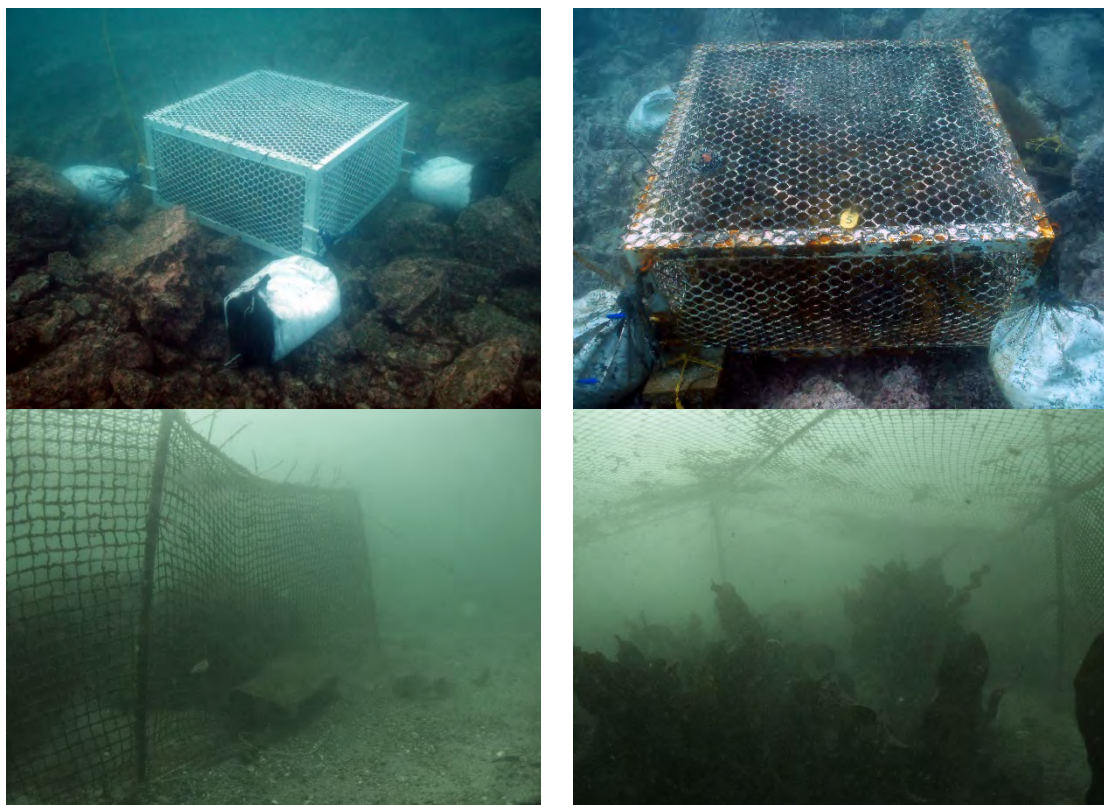


図 7-D3-10 簡易型藻場礁

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。

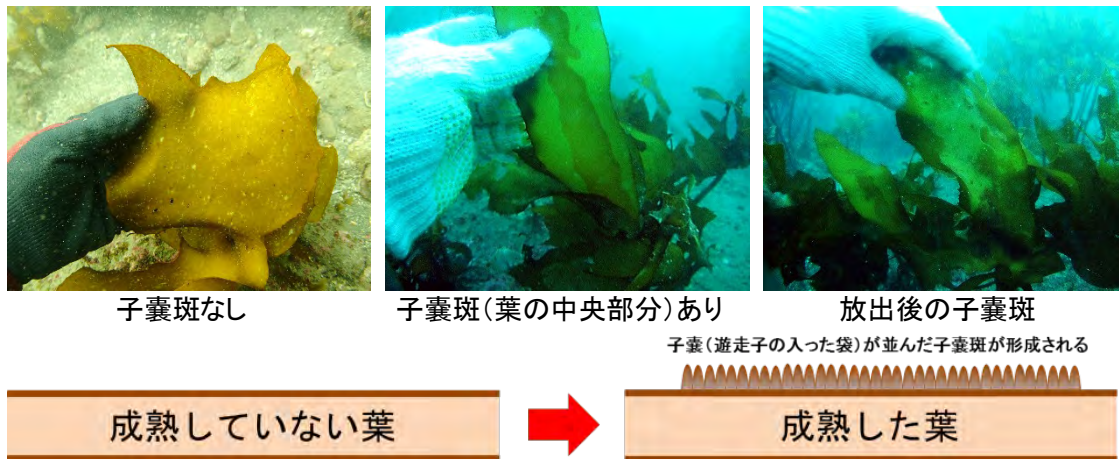
同じ種類であっても、海域により成熟時期は異なることがあるので、試験研究機関や専門家から情報を入手する。

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-

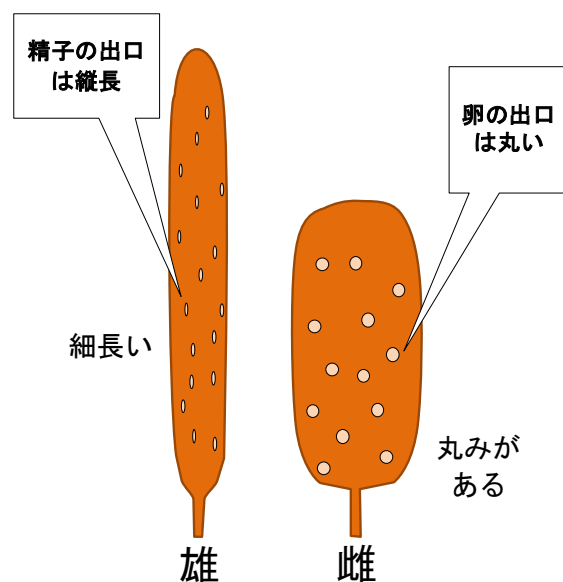


図 7-D4-2 生殖器床イメージ

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

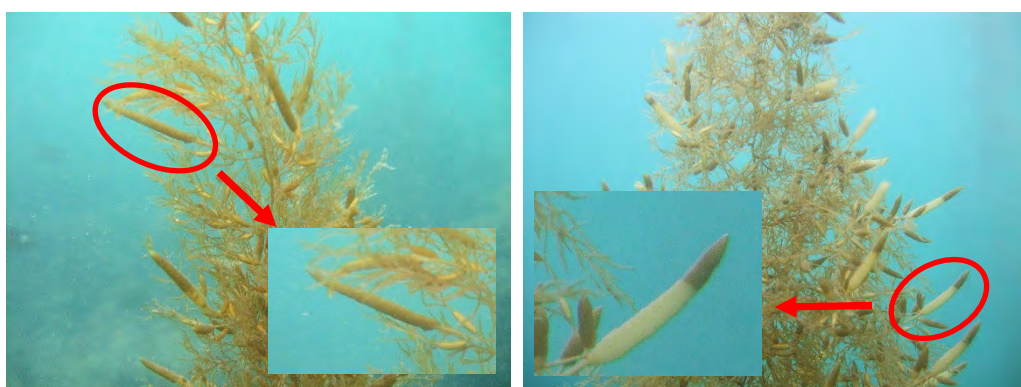


図 7-D4-4 アカモクの生殖器床の例（左：幼胚放出前 右：幼胚放出後）

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）。

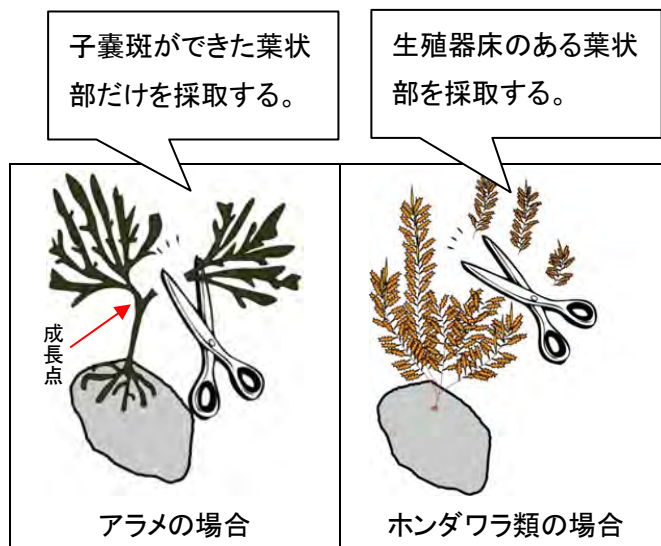


図 7-D4-5 母藻の採取部位

(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。袋は氷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。

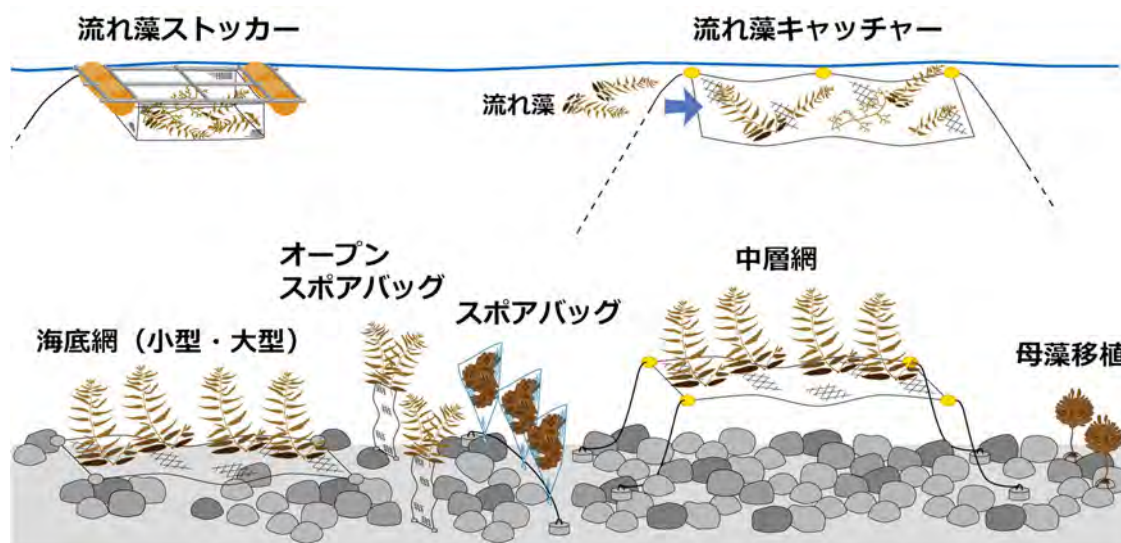


図 7-D4-7 母藻利用によるタネの供給方法

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	アラメ・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



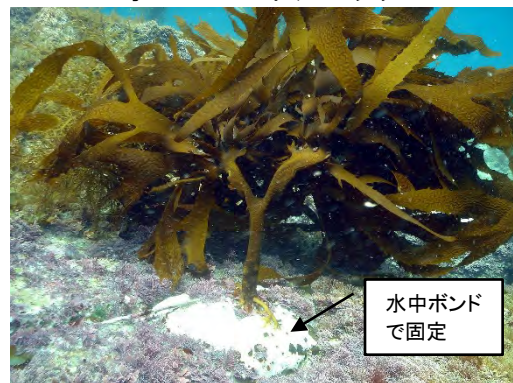
スポアバッグ (連結型)



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）でみ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冲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。

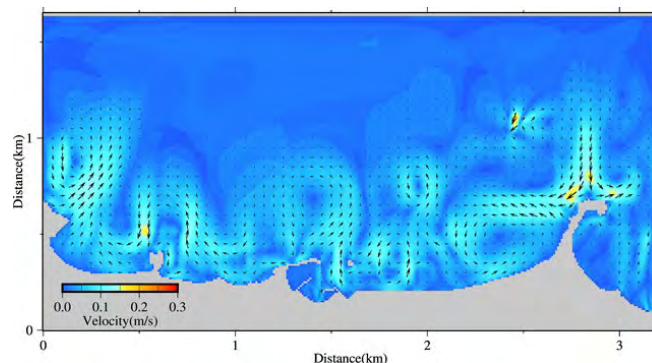


図 3 コンピュータが予測した平均流速分布（例）

(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／㎡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 ㎡以上）は半径 2.5～5m 以内で、その面積は約 30 ㎡であった。

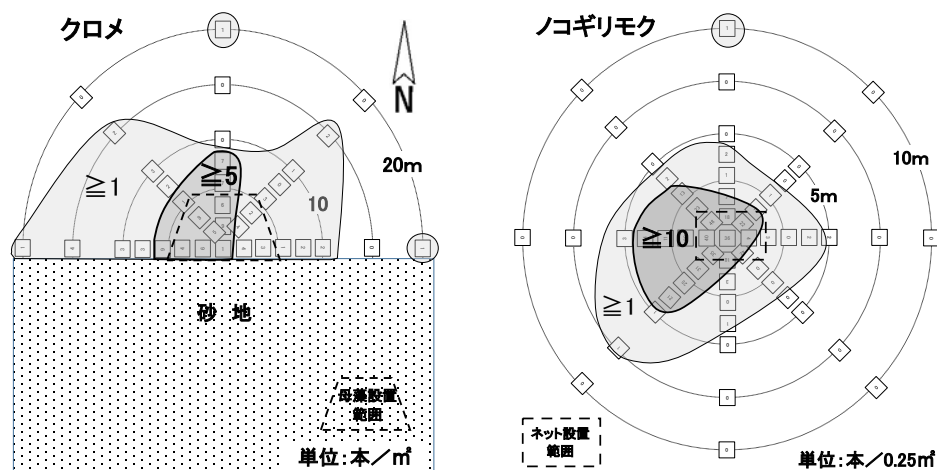


図 1 母藻移植 1 年後の藻体の分布状況

（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。

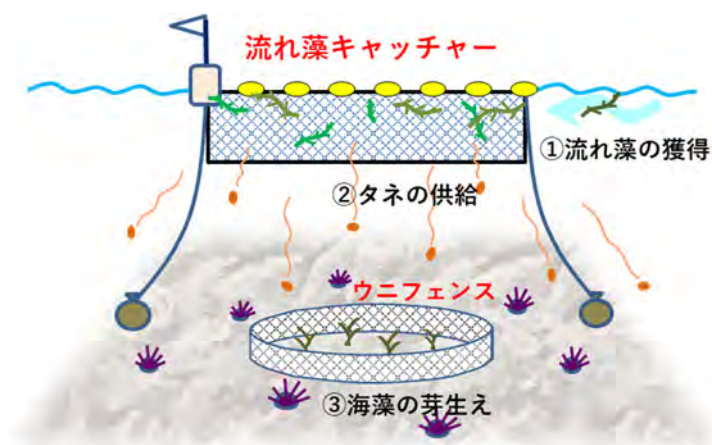


図 7-D4-11 流れ藻キャッチャーを用いた磯焼け対策のイメージ図

(5) 母藻の下流側にタネを拡散させる

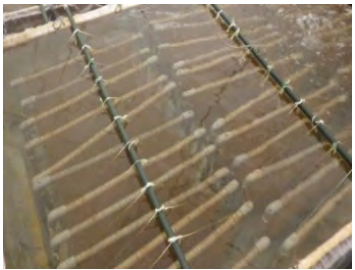
磯焼けとなっている場所の卓越する流向の上流側に、スポアバッグや小型ネットを設置することにより、タネを下流側に供給する。ただし、拡散範囲は狭いため、スポアバッグ等の設置位置には留意が必要である。また、タネの供給不足以外の阻害要因がある場合は、予めその要因を排除し、タネが着生・育成しやすい環境を整えておく。

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	・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	・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	・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。

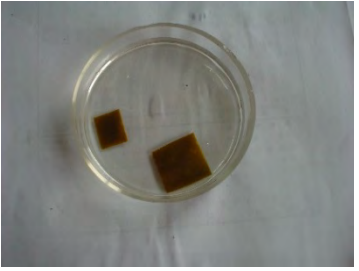
①子嚢斑の選別  色の濃い部分が子嚢斑。 白くなっている場合は遊走子 放出後なので使わない。	②陰干し  日陰で1～3時間干す。 乾燥し過ぎに注意する。	③遊走子の確認(1)  30分毎に海水に漬ける。遊 走子が泳ぎ出すと葉の表面 に茶色い雲が浮かぶ。
④遊走子の確認(2)  茶色い海水をスポイトで吸い 取り検鏡し、泳ぎ回る遊走子 を確認する。	⑤遊走子液づくり  陰干しした葉を海水に漬け、 棒などで強にかき混ぜる。	⑥注 入  基質上に遊走子液を注入す る。
⑦静 置  翌日まで止水で静置する。 軽くエアレーションし、海水を 緩く動かす。	⑧運 搬  着生基質は、乾燥しないよう に、海水に漬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

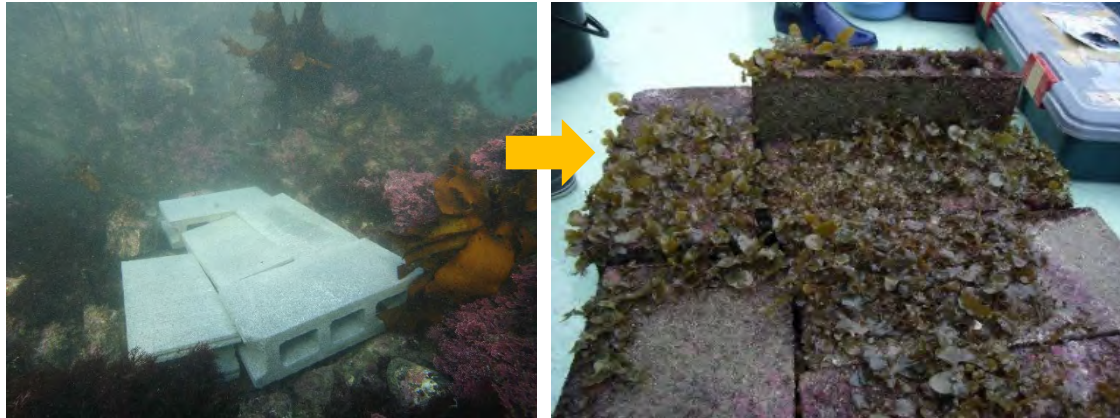
図 7-D4-12 コンプ科海藻（コンブ・アラメ・カジメ）の遊走子によるタネ付けと海底への設置の手順

①着生基質の準備  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。	②良い主枝の選別  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。	③成熟主枝の取り付け  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。
④水槽に浮かべる  流水水槽に③のネットを浮かせる。	⑤卵放出チェック  毎日または隔日、生殖器床を観察し、卵の有無を確認する。	⑥卵放出後  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。
⑦静置  幼胚が生殖器床から脱落したら、止水で数日間静置する。	⑧幼胚が着生した基質  基質の表面に幼胚が着生しているのが確認できる。	⑨運搬  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。

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

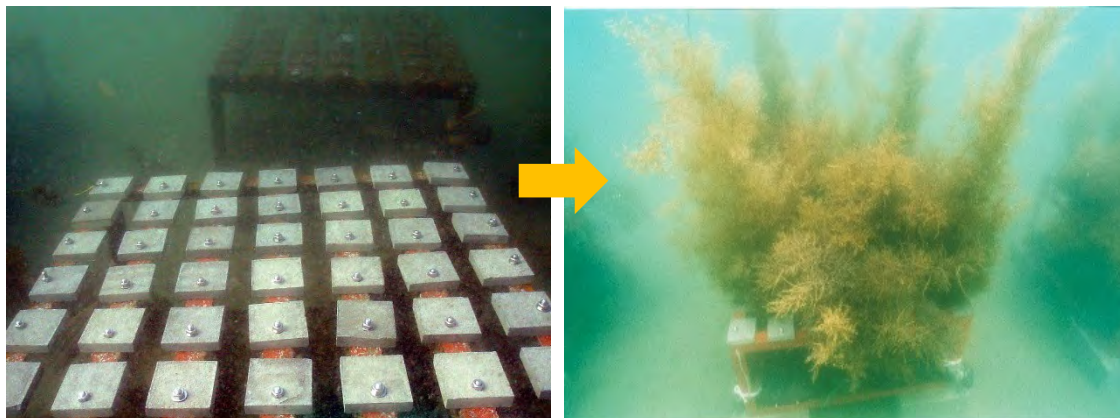
採苗のための水槽等を準備できない場合、藻場内に着生基質（玉石・小礫、建材用コンクリートブロック、網など）を設置して、天然採苗を行う（図 7-D4-14）。藻場がない場合は、基質の上部に成熟した主枝を設置する。砂地で採苗した場合、ウニの食害を避けて、育苗することができる（図 7-D4-15）。



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。

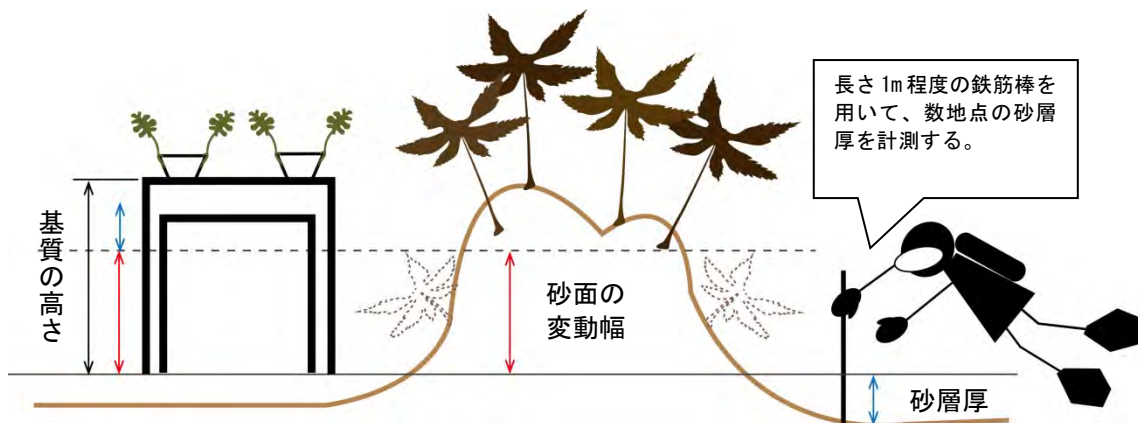


図 7-D5-1 海藻の着生と砂面からの高さの関係

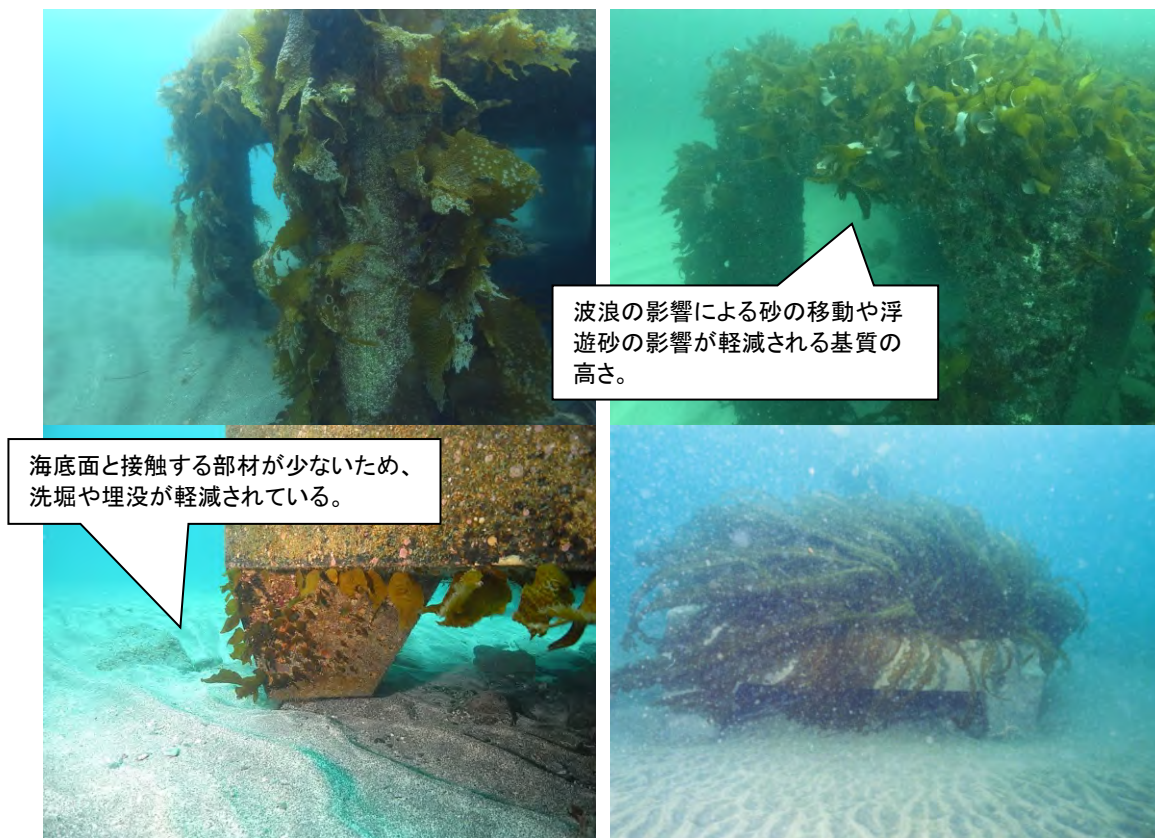


図 7-D5-2 脚式構造の藻場礁の設置例



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

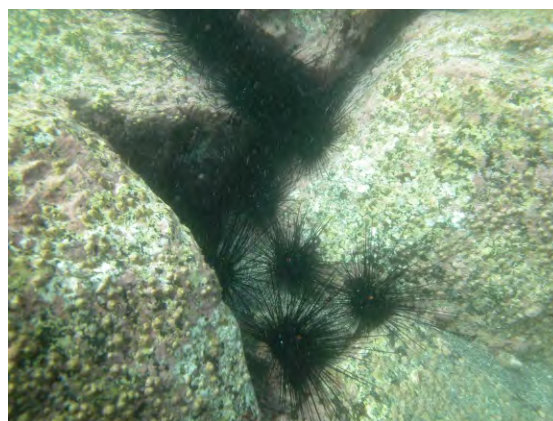


図 7-D5-4 石の隙間に生息するガンガゼ

【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



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



図 7-D5-7 岩盤清掃後のヒジキのタネまき（スポアバッグ）



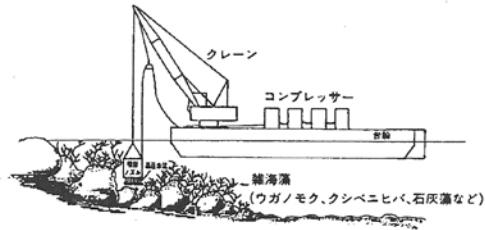
図 7-D5-8 ダイバーによる岩盤清掃



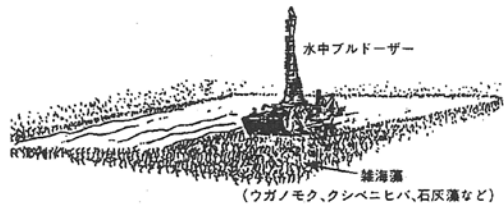
図 7-D5-9 潜水による岩盤清掃の道具

< 機械式駆除 >

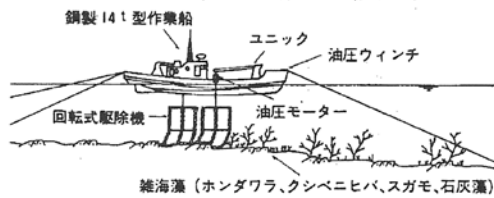
ウォータージェットカッター工法による雑藻駆除



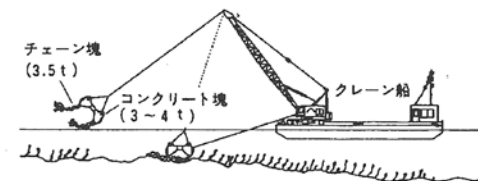
水中ブルドーザーによる雑藻駆除



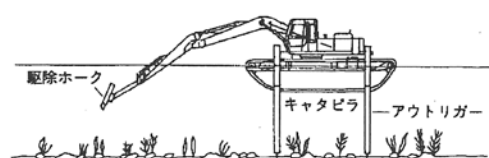
SKフープ型回転式駆除機による雑藻駆除



流水システムによる雑藻駆除

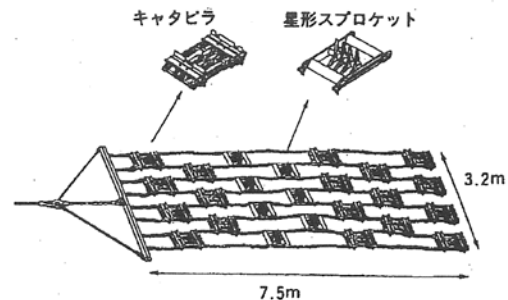


雑海藻磯焼駆除機による雑藻駆除

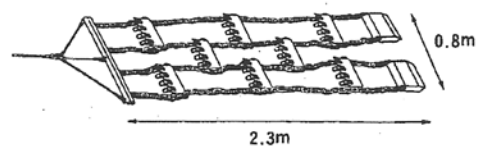


< 自営型駆除 >

ボトムスクレーパー

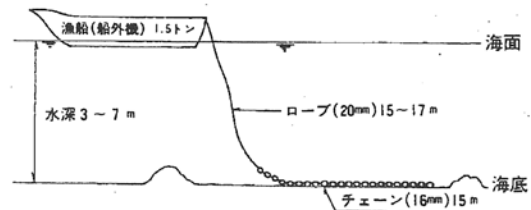


大型洗耕機構造図

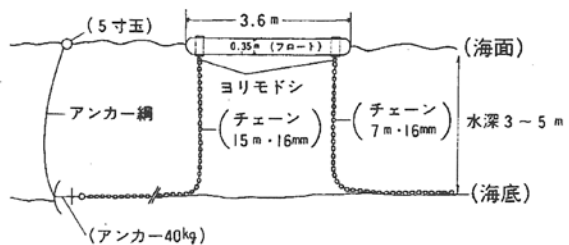


小型洗耕機構造図

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 $1\ \text{mm}$ 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し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): 電力マンスリー, 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

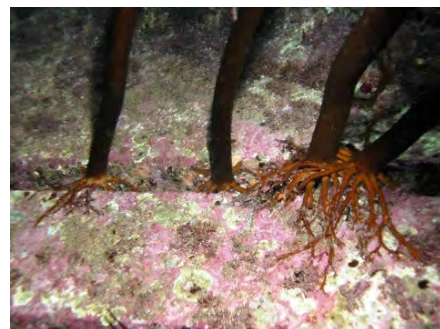
5) 溝付きブロックの例

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。

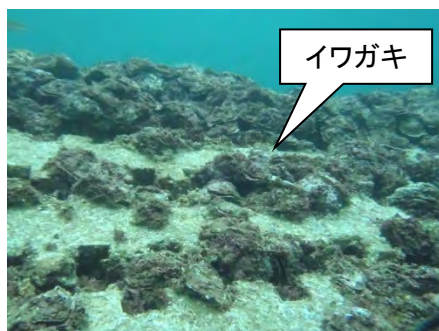


ブロックの溝加工の例

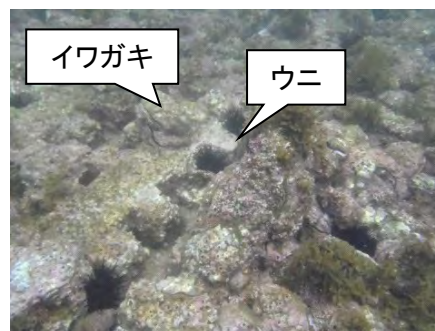


溝で形成された稜角部にカジメが着生

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り落とされる。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。

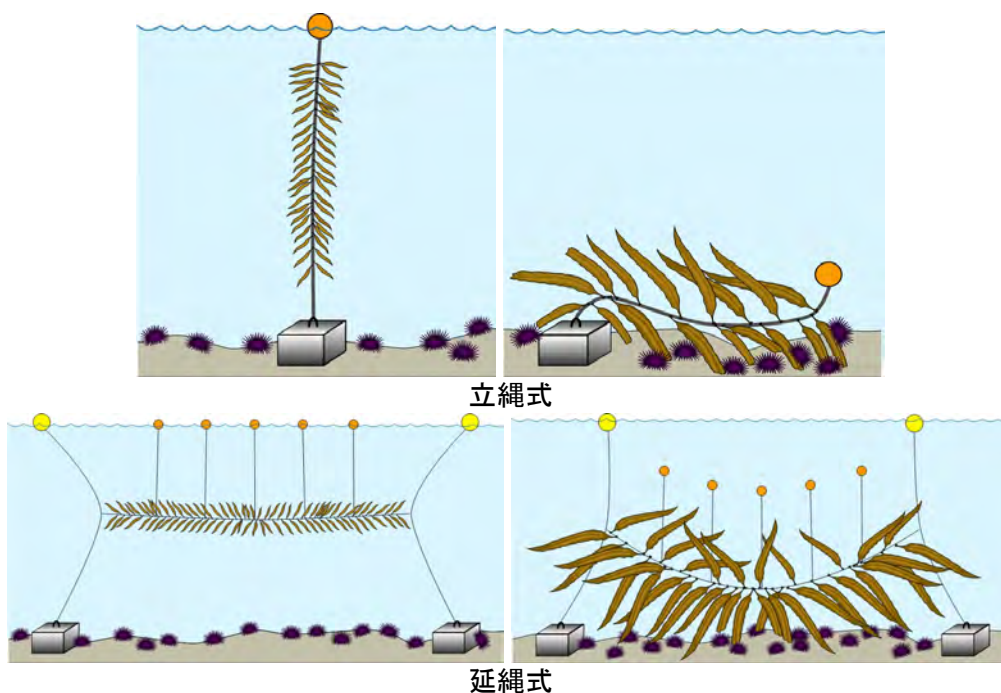


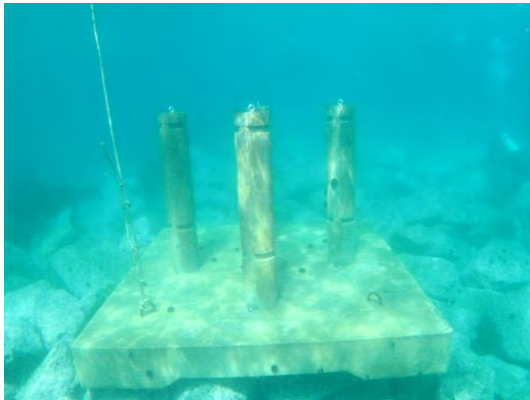
図 7-D6-5 海中林施設

【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コ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/sehigijutsusiryou.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。

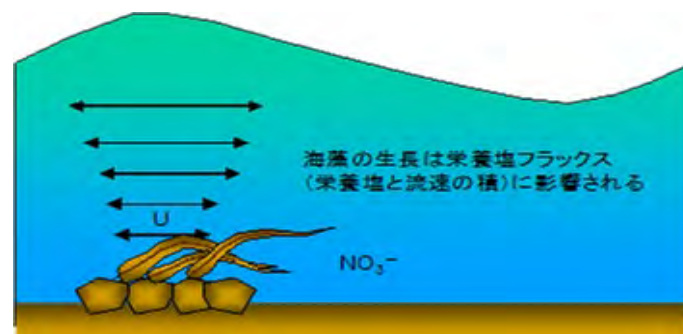


図1 海藻の成長における栄養塩と流れの関係

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。

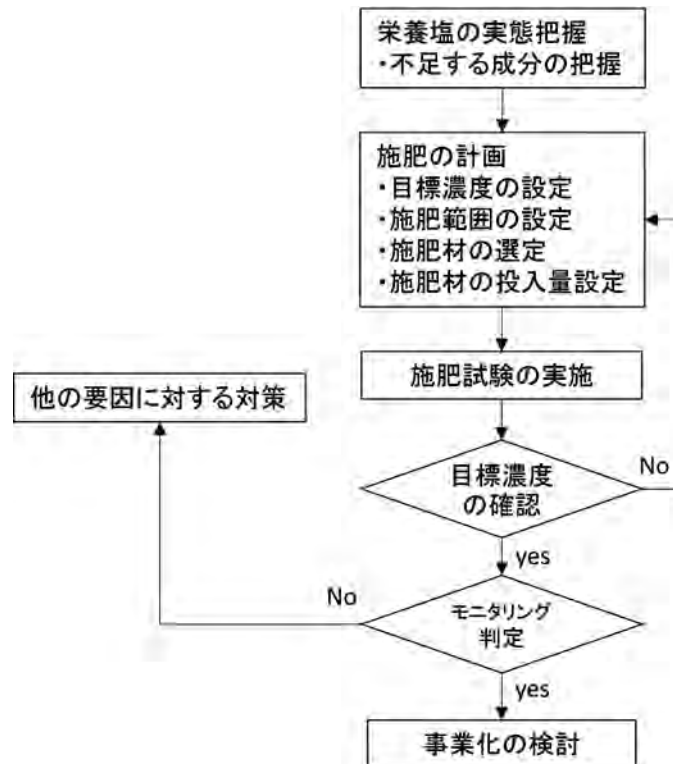


図 7-D7-1 施肥の検討フロー

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 (μM)	溶存無機態リン DIP (μM)
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、事業化の可能性はある。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に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。

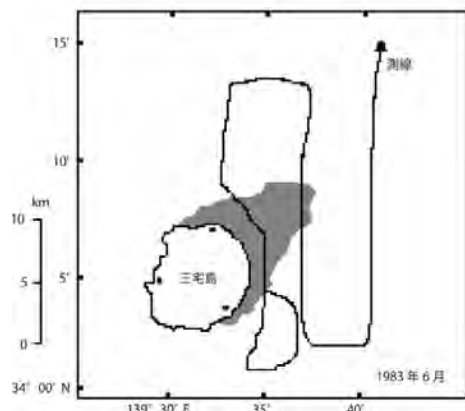


図 1 三宅島東岸の湧昇プルームの分布（影部）

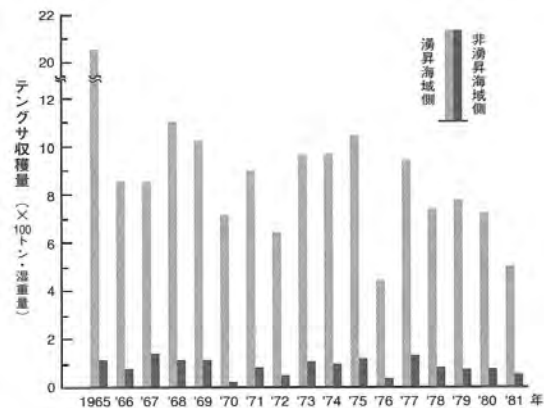


図 2 湧昇海域側と非湧昇海域側におけるテングサの年間収穫量（三宅島漁業協同組合漁獲資料から作成）

【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、埋設により嫌気的低 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。

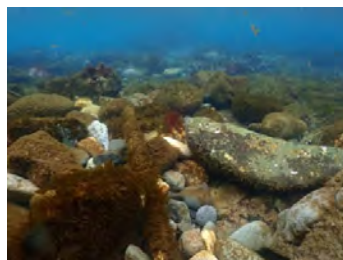
同様の施肥試験は、積丹半島南側の泊村でも実施されている。場所は小さな礫浜や離れ岩がある岩礁域（図 1）で、ウニや無節サンゴモが優占する区域は離れ岩の沖側に限られ、ホンダワラ類やスガモ、小型海藻も点在する。初年度（2018 年）は、8 月に事前調査を行い、礫浜の北側にはコンブがほとんどないことを確認した後、10 月に 4t を埋設し（青色）、コンブのスポアバッグも設置した。翌年（2019 年）、埋設地の北側（水色）の安定した巨礫の上にコンブが点在した（図 2、写真は 7 月）。10 月には礫浜南側に流入する用水の河口域と礫浜先端の配管残骸の 2 箇所（赤色）に合計 3t の施肥材を埋設した。翌年（2020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

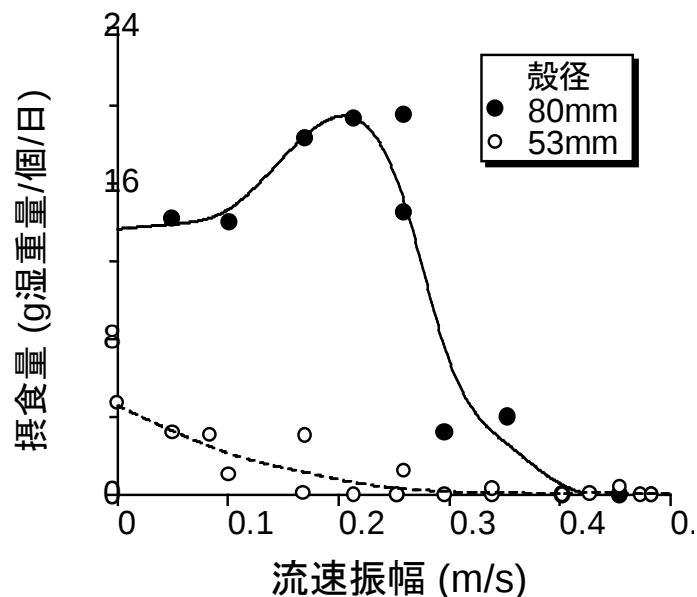


図 7-D8-1 キタムラサキウニのコンブ摂餌量と振動流速との関係

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。

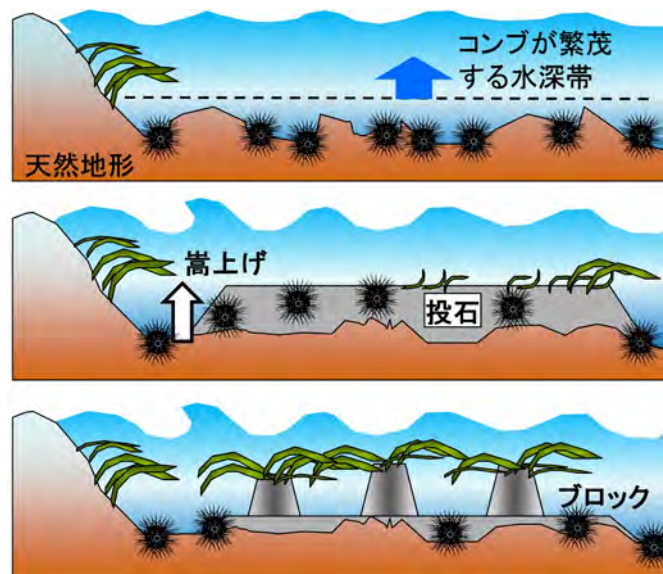


図 7-D8-2 嵩上げ工法の提案（綿貫，2014）

【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）。

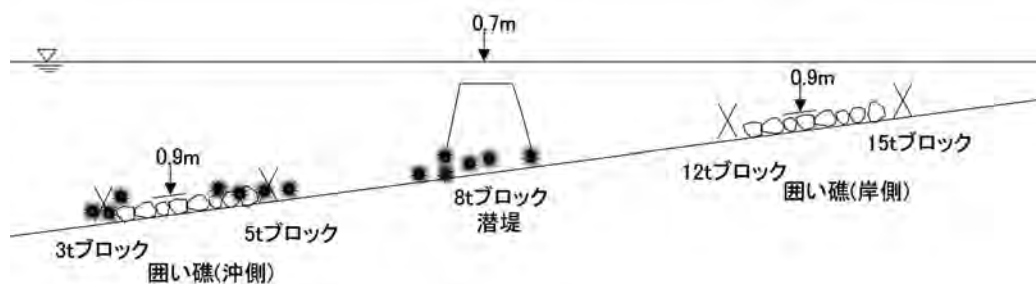


図1 藻場造成礁の断面模式図

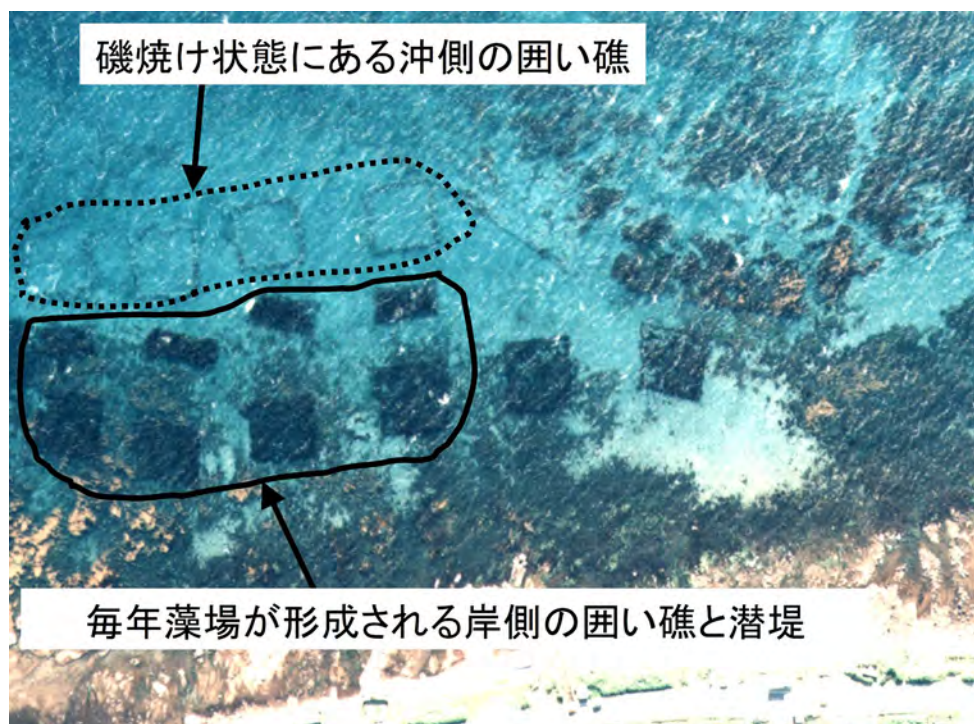


図2 北海道寿都町地先に設置した藻場造成礁（囲い礁と潜堤）

【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。

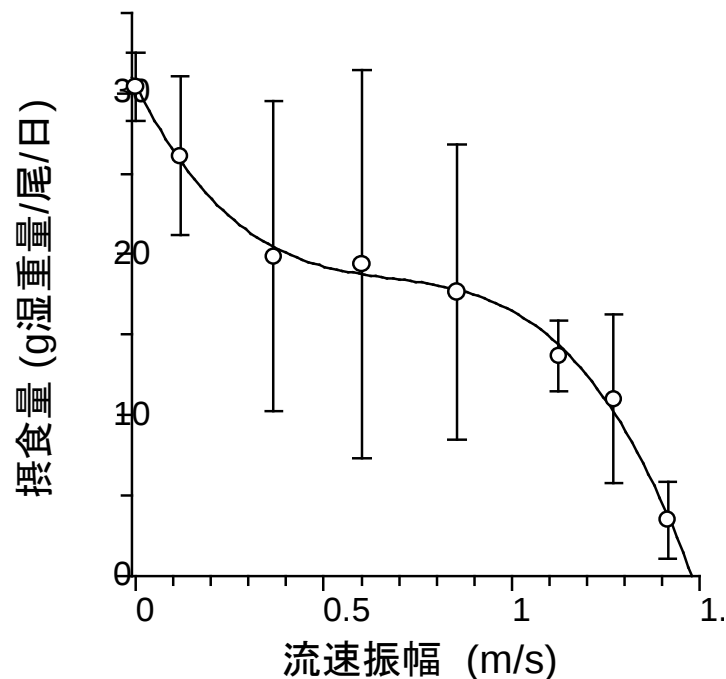


図 1 振動流中でのアイゴによるアラメ摂餌量（川俣・長谷川，2006 を一部改変）

【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 $6\sim 7\text{m}$ ）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 年で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。

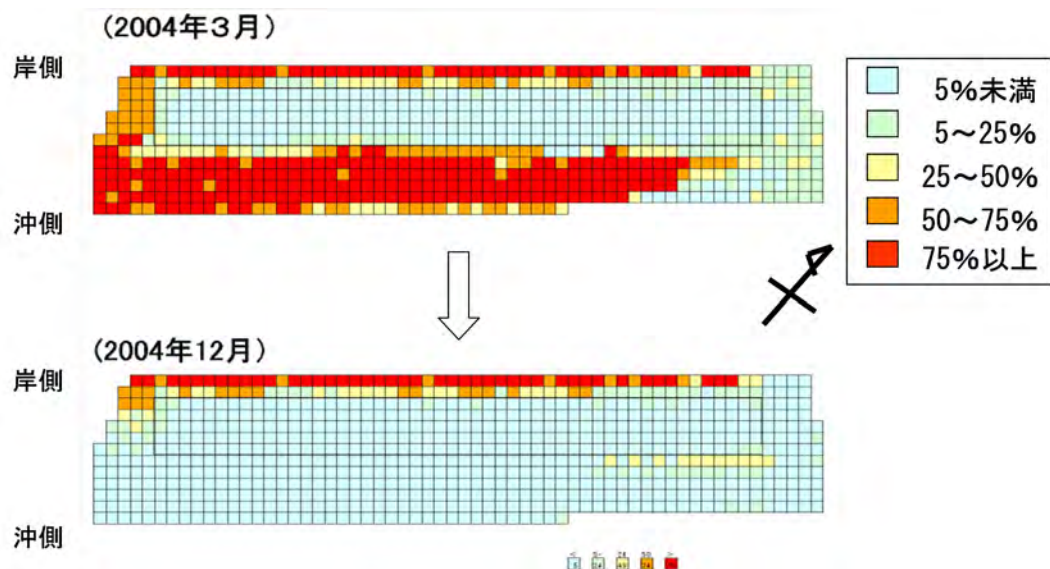
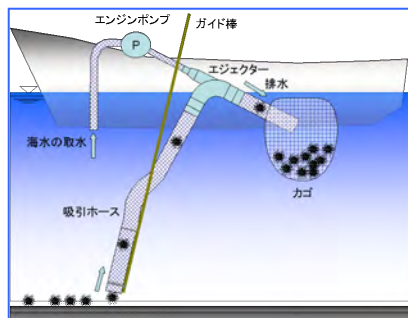


図1 食害によるカジメ分布の変化（凡例の数字は被度）

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。



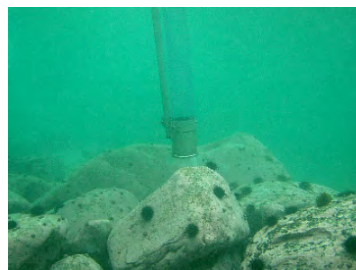
ウニ吸引ポンプの模式図



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。

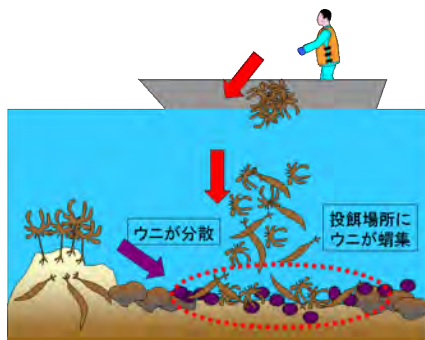


図 7-D9-2 ウニ対策の投餌

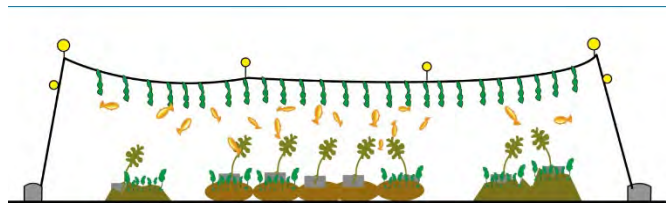


図 7-D9-3 魚対策の投餌

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。

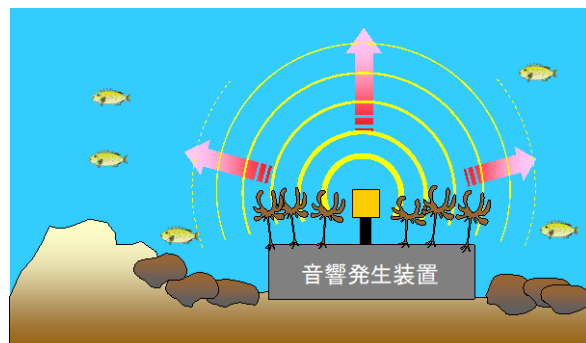


図 7-D9-4 音による威嚇

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。

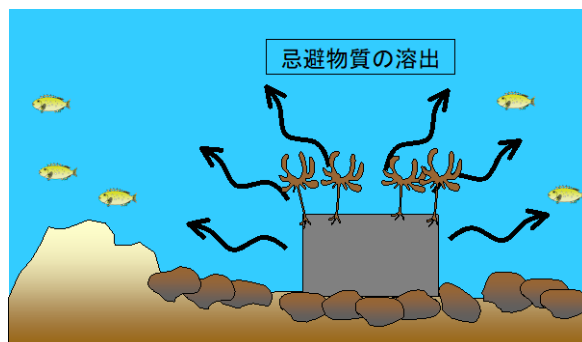


図 7-D9-5 化学的防御

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。

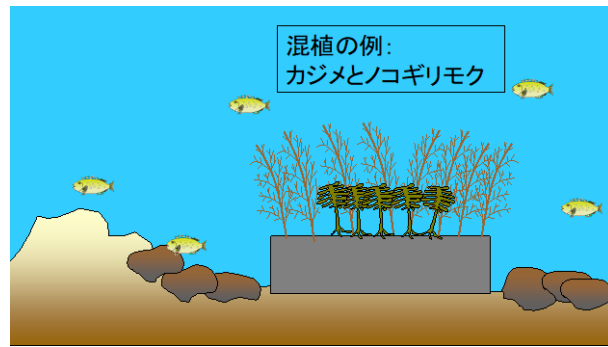


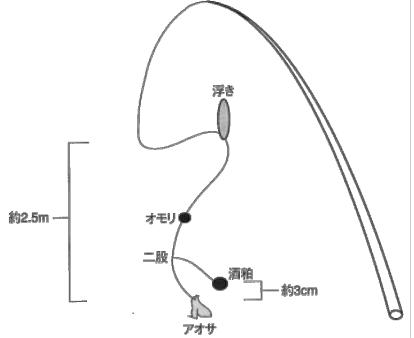
図 7-D9-6 混植

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。	・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。	 (山内, 2006) ・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。	・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。	・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。鍾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。

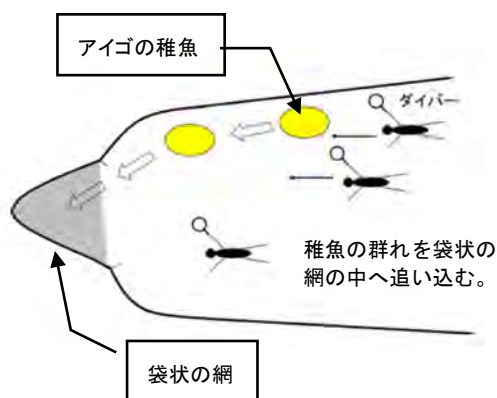


図 7-D9-7 袋網への追い込み方法

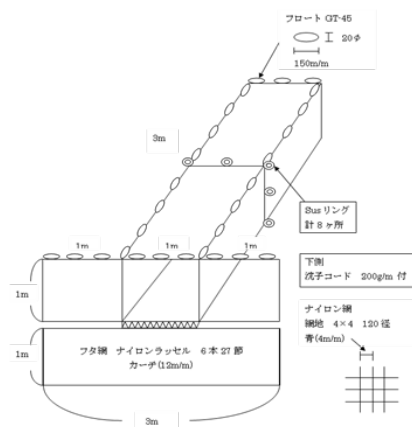


図 7-D9-8 袋網の仕様



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）。

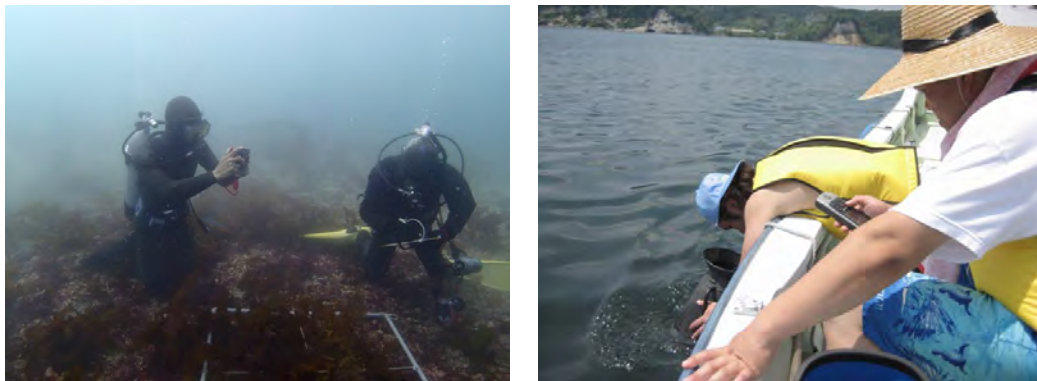


図 7-E-1 漁業者自らが行うモニタリング

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、海藻の被害、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

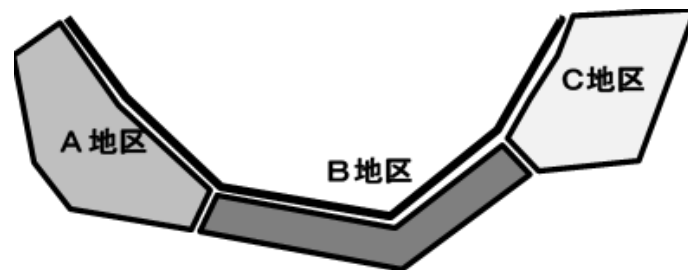
藻場は海藻が密生していても、疎らであっても、同じ面積として扱われている。そのため、磯焼け対策で藻場が疎生から濃生に改善されても、面積的には評価が同じとされてしまう。そこで、藻場の変遷を適正に把握するため、磯場の面積に海藻の被度を乗じた「藻場の実勢面積」を算出する方法が使われている。

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。

$$\text{藻場の実勢面積} = \text{磯面積 (ha)} \times \text{平均被度 (\%)} \quad (7-E-2)$$

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。

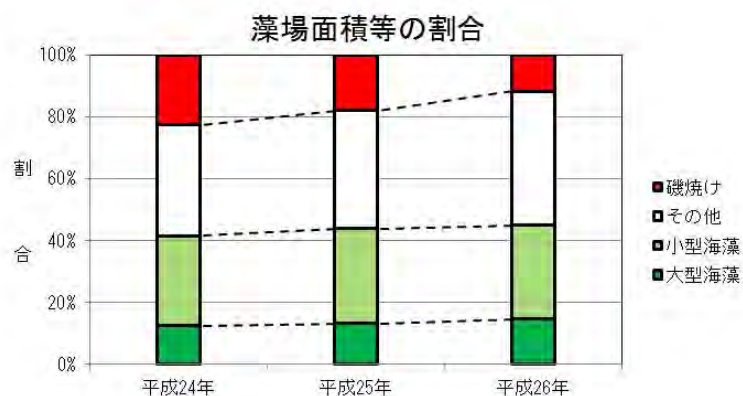


図 7-E-4 再生藻場の変遷

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。

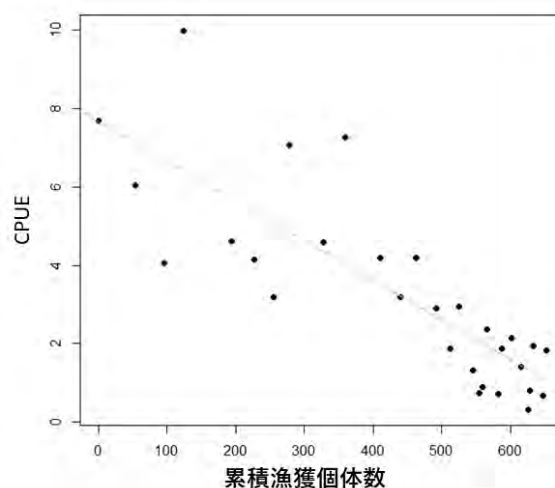


図 1 DeLury 法による除去前個体数の推定

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。

第8章 磯焼け対策の実施事例

8. 1 食害対策の基本的な取り組み

1) はじめに

長崎県北西部に位置する佐世保市浅子地区は、1998 年頃より磯焼けが発生し、カサゴやアワビなどの資源が減少した。このため、2013 年 5 月に藻場保全活動組織を発足したが、初めての磯焼け対策であったため、どのような対策を行えばよいかわからなかった。当地区の磯焼けを持続させる要因は、①ウニの食害、②海藻のタネの不足、③魚の食害の 3 つが考えられ、対策方法を専門家等に相談しながら実施した。ここでは、磯焼け対策の基本的な手法を用いて、ヒジキやワカメなどの海藻の回復を目指した長崎県佐世保市浅子地区の事例を紹介する。

2) 活動前の海藻植生

海域の浅場は岩盤帯で水深 1m 未満までは、ほとんど海藻が生育せずカキ類が優占した。深くなるにつれて巨礫が散見され、ヒジキやヤツタモクの残存個体がわずかに確認されるようになる。さらに深くなると大礫などが混在する礫帯へと変わり、点在する大礫にはヤツタモクやマクサが確認される。いずれにも少量の浮泥が観察され貧相な植生であった。

3) ウニフェンスの製作と設置

活動域は、以前ヒジキが生えていた磯場で、漁港から近く水深が 5m 程度と管理のしやすい場所である。専門家からは、その場所のウニの侵入を抑制することと対策域の明確化を図るため、ウニフェンスの製作を提案され、指導を受けながらウニフェンス（高さ 1m×長さ 30m×6 本）を製作した（図 8-1-1）。



図 8-1-1 ウニフェンスの製作

設置場所は、海底地形の確認と活動メンバーの人数と能力を勘案して活動面積を決定し、GPS でその岸側と沖側の 4 点の位置を調べた。活動域は、岸側が波当たり強く、沖側が砂地であるため、岸側と沖側からのウニ類の侵入が少ないと考えられるので、ウニフェンスの設置方法は瀬切り方式（第 7 章の D3 参照）とした。なお、ウニフェンスは台風時期の終了後に設置している。

ウニフェンスの設置は、まず沖側の位置に目標ブイを設置し、次に岸側の位置に船を岸に近づける所まで前進させ、船首からウニフェンスを海へ落とし、バックで沖側の目標ブイに向けてゆっくり後進しながら投入していった。最後に、ダイバーが沖側から海へ入り、チェーンを少したるませたような状態で、海底とウニフェンスの間に隙間ができないように石で間詰めした。

4) ウニの除去

当初、ウニフェンスに挟まれた活動域に生息するガンガゼの密度は高く、多い所では 12 個体／㎡であった。活動域の摂餌圧を下げるため、活動メンバーの体力・能力に応じて、岸側の浅い岩場のウニを潰す者（図 8-1-2）、船上からウニを鉾で潰す者、潜水をしてハンマー等でウニを潰す者に分かれてウニ除去が行われた。



図 8-1-2 岸からのウニの除去活動

5) 海藻のタネの供給

最初はカゴを被せたクロメ（母藻）を設置してみたが、初夏には、ホンダワラ類の着生したブロックを海底に設置した。

6) 活動の成果

対策活動の成果は翌春からみられ、ワカメやアカモクを主体とした藻場が形成された。その後はウニフェンスを移動させ当初の 3 倍の活動面積としている。活動域が広がっても、回復した藻場の生産力が後押しとなり、当初と変わらないウニ除去と海藻のタネの供給を継続的に実施することができた。その結果、活動 3 年目までにウニは 0.6～3.4 個体／㎡と低く抑えられ、多年生海藻のヒジキ、マメタワラ、ヤツマタモク、イソモクが確認されるようになった（図 8-1-3）。

浅子地区では、将来のあるべき藻場の姿を目標に立てて、自分たちができる小規模な活動域から始めたこと、専門家のアドバイスを受けたこと、効果を確認しながら活動域を広げることが成果につながっており、成果が見えたことにより活動が持続できるようになった。



図 8-1-3 ウニフェンスとウニ除去活動による成果（長崎県佐世保市浅子地区）

8. 2 流れを考慮した磯焼け対策

1) はじめに

食害型の磯焼けの場合、ウニを除去すれば藻場が回復することは知られており、実際に取り組みやすい活動であるため、全国的に広く実施されている。多くの地先から藻場回復の報告が聞かれる一方で、継続的に活動をしているのに藻場が回復しない事例も多い。その原因の1つが、海藻のタネの供給不足である場合が多い。タネの供給不足の場合は、母藻移植やスポアバッグの設置、あるいは人工種苗の移植が効果的である（第7章のD4参照）。ここでは、ウニを除去した場所に直接タネを供給するだけではなく、広域的視点に立ち、流れによって海藻のタネが移動することを考慮して藻場を回復させた事例と、流れ藻キャッチャーを設置して、流れ藻を特定の場所に留めることで、その直下の基質に海藻のタネを供給して藻場を回復させた事例を紹介する。

2) 福岡県新宮町相島の事例

(1) これまでの取り組みと成果

福岡県新宮町相島は、アラメとホンダワラ類が混生する藻場が形成されているが、南側だけはガラモ場が消失して磯焼けの状態が続いている。このため、2013年から、島の南岸の東側にウニフェンス（瀬切り方式）を敷設し、ウニの除去を実施した。ウニの密度はすぐに低下し、1個体/㎡以下に抑えることができたが、アカモクやワカメなどの大型海藻は被度5%以下のままで藻場が回復したとはいえない状況であった。



図 8-2-1 ウニ除去区域のウニの密度と海藻類の現存量の経年変化

(2) 流れを考慮した磯焼け対策

これまでの結果を専門家と相談し、海藻のタネの供給を活動に追加した。実施にあたっては、ウニを除去した St.4、St.5 にオープンスポアバッグを設置すると、恒常的な東向きの流れによって海藻のタネが島外に流れ出す恐れがあるため、活動域（図 8-2-2 のピンクの範囲）の St.1 辺りに設置することとした。

これによって西側に藻場を形成させ、その後は、流れに沿って東側にも海藻のタネが供給されることを期待した。オープンスポアバッグは、2016～2017年に毎年100袋以上設置した。

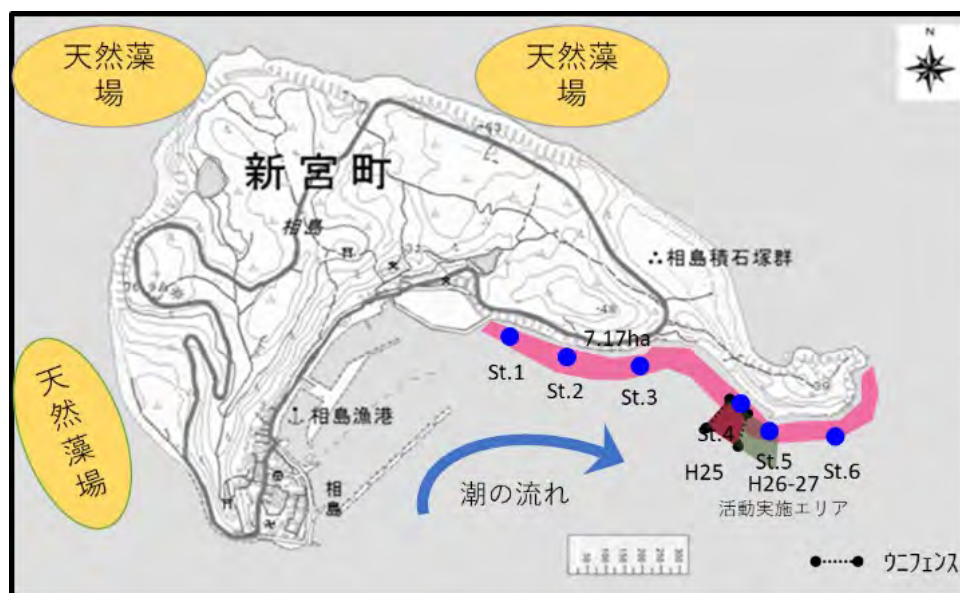


図 8-2-2 相島の磯焼け対策活動域

(3) 活動の成果

活動域が広がり、ウニの除去の単位面積当たりの作業量が低下したため、以前に比べてウニの密度を低く抑えられてはいないが、海藻の生産力がウニの食圧より勝るようになったことで、2018 年春から徐々に海藻の現存量が増えるようになった(図 8-2-3)。また、対策を始めて 3 年目の 2019 年には、大型海藻の被度が、St.1 で約 20%、St.3 で約 10% まで回復している(図 8-2-4)。

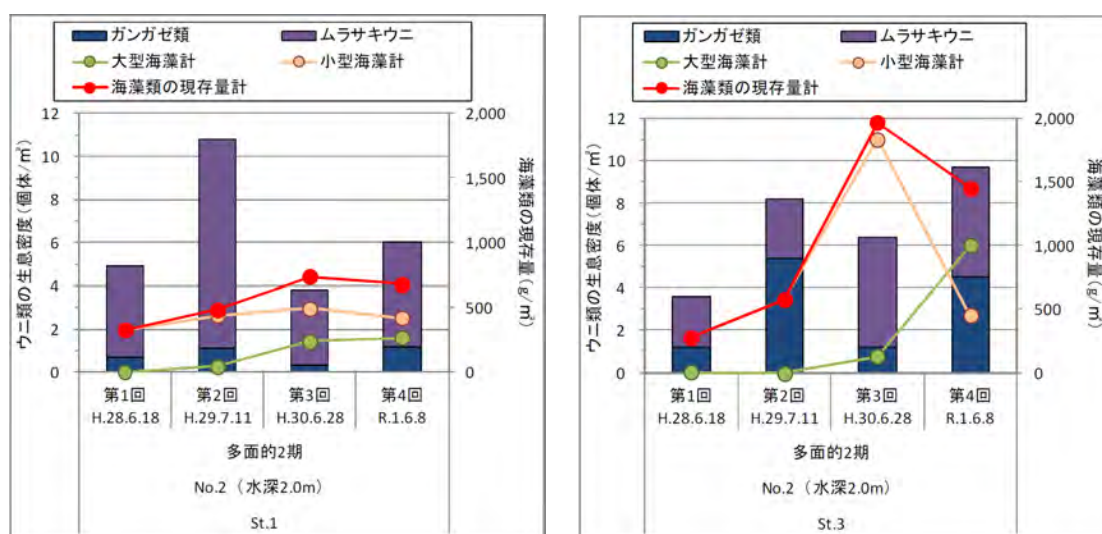


図 8-2-3 ウニの密度と海藻の現存量の経時変化



図 8-2-4 St. 1 における対策前後の状況

3) 長崎県佐世保市北九十九島の事例

(1) 磯焼けの現状

長崎県佐世保市北九十九島地区は、1989 年頃から磯焼けが発生し、今ではパッチ状にガラモ場が残っているほかは、磯焼け状態が続いている。磯焼けしている場所は、ガンガゼの密度が高くパッチ状の藻場も減少傾向にある。

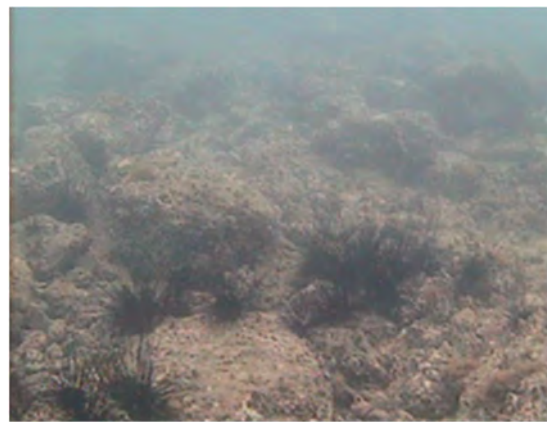


図 8-2-5 磯焼けの状況

(2) 流れ藻キャッチャーの設置

当該海域における藻場形成の阻害要因は、ウニの食害と、海藻のタネの供給不足と推定される。タネの供給源として残存藻場から大量に母藻を採取すると、藻場自体が衰退する恐れがあるため、海域を漂流する流れ藻の活用を試みた。流れ藻が例年見られる場所について漁業者同士で話し合い、移動経路の途中に流れ藻キャッチャーを設置することにした。

流れ藻キャッチャーの設置場所の選定にあたっては、下記の留意事項を考慮した。

- ◆ 流れ藻（ホンダワラ類）の形成に適した基質・水深である。
- ◆ 流れ藻キャッチャーから落ちたタネが着生できる十分な磯幅がある。
- ◆ タネが着生する基質には浮泥が溜まっていない。
- ◆ 梅雨時期などの降雨時に浮泥や漂流物の流入が少ない。
- ◆ 船舶の航行を妨害しない。
- ◆ 流れ藻の移動を妨げる養殖筏等が近傍にない。

対策場所は図 8-2-6 に示す 3 箇所に絞り込み、設置期間は流れ藻が確認される 5 月中旬から当該海域のホンダワラ類が成熟する 7 月中旬までの約 2 カ月とした。また、流れ藻キャッチャーを設置した 3 箇所のうち 2 箇所の直下（St.1、St.3）では、ウニフェンス

を設置し、6～7月にフェンス内のウニの除去を行った。



図 8-2-6 残存藻場と流れ藻キャッチャーの設置位置図

流れ藻キャッチャーは、流れ藻の絡まりやすさと設置の安全に配慮して作成した（図 8-2-7）。また、流れ藻は基本的に海面付近を移動するため、垂直方向の網の長さは 0.8m とし、網目は 10 cm 以下とした。用意した網は、設置時に網が弛むことを考慮して、想定より 20% ほど長めを用意した。さらに、船舶から視認できるように、海上部分には旗を立て、灯標を設置した（図 8-2-7）。

設置時は、流れ藻キャッチャーが波で流されないように、両端のブイから 2 本のロープを伸ばし、約 40 kg の土嚢で固定した。流れ藻キャッチャーを投入後に、ダイバーが潜り、キャッチャー本体とロープの弛みを調整した。

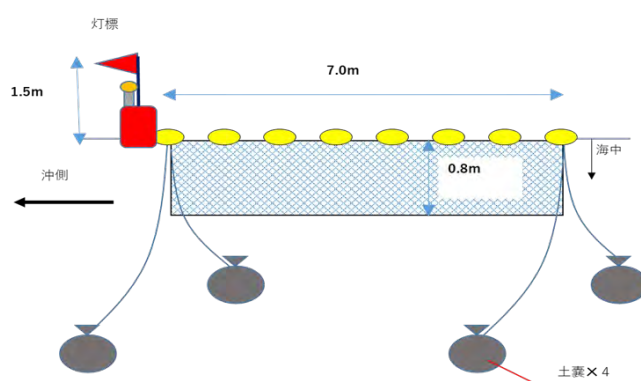


図 8-2-7 流れ藻キャッチャー

(3) 活動の成果

3箇所の流れ藻キャッチャーで捕捉した流れ藻は、2カ月間で約12kgであった(表8-2-1)。6月に大量に捕捉された主な海藻種は、南方系のホンダワラ類とアカモクであった。

St.3 の流れ藻キャッチャー設置後の出現した海藻の状況を表8-2-2に示す。流れ藻キャッチャー直下のウニを除去したウニフェンス内(面積約30㎡)には、前年に最も多く掛かったマジリモクの繁茂が確認された(図8-2-8)。マジリモクにはアオリイカの卵囊塊が産み付けられており、藻場が水産資源の回復に寄与することを実感した。

表8-2-1 流れ藻キャッチャーに捕捉された海藻種と重量の経時変化

海藻種	地点	St.3				
	調査年月日	5/22	6/4	6/19	7/17	合計
	流れ藻キャッチャー設置後	1週間	3週間	5週間	9週間	2ヶ月
アマモ科	アマモ			4		4
ホンダワラ科	モズク			18		18
	マジリモク	56	55	9,961	396	10,468
	コブクロモク			92		92
	ヒジキ		306			306
	イソモク			25		25
	アカモク	6	2	27		35
	マメタワラ			789	189	978
	フクレミモク				5	5
湿重量計(g)		62	363	10,916	590	11,931
種類数計		2	3	7	3	9

表8-2-2 St.3の海藻出現の経時変化

海藻種	出現した海藻の株数 (株/㎡)	
	1月	7月
ワカメ	11	6
キレバモク	有	-
マジリモク	16	14
アカモク	有	-
ウニ密度 (個体/㎡)	1月	7月
	1.9	1.2



図8-2-8 St.3に繁茂したマジリモク

8. 3 長期的な磯焼け対策の取り組み

1) はじめに

長期にわたって磯焼け対策に取り組んでいる地区は、自分たちの水産資源が磯焼けによって減っている状況を理解し、解決できた時の藻場の姿がイメージできているのが特徴である。気候変動により効果の発現が厳しい状況であっても、活動メンバーの結束が固く、PDCA サイクルを回し続け取り組まれている。ここでは、長期にわたって磯焼け対策に取り組む大分県佐伯市名護屋地区と長崎県西海市大島地区の事例を紹介する。

2) 大分県佐伯市名護屋地区の事例

(1) これまでの取り組みと成果

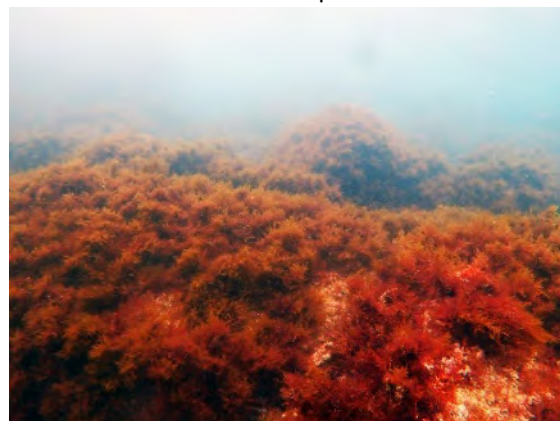
大分県の最南部に位置する名護屋地区では、1994 年頃からクロメやホンダワラ類などの大型海藻が減少しはじめ、次いでテングサなどの小型海藻も消失し、深刻な磯焼けとなった(図 8-3-1 上)。ウニ除去などの対策が単発的に行われたが、回復の兆しはみられなかった。そこで、本地区の潜水漁業者(当時 7 名)は「藻場を復元し、豊かな磯根資源を取り戻すこと」を目的として名護屋藻場協議会を 2007 年に立ち上げ、地元の市・県並びに水産庁の専門家の協力を得て、組織的な活動をスタートした。最初に取り組んだのは藻場復活の 3 大阻害要因のうち、「ウニ」と「タネ不足」の 2 つであった。名護屋湾西岸の 1 地先において、岸から沖に向かって(「瀬切り方式」と呼ばれている)、ウニの移動を阻止するためのウニフェンス(約 100m)を 2 本設置した。その内側の範囲(面積 1.4 ha)を対策区として、スキューバで徹底的な「ウニ除去」(主にガンガゼ)を行った。翌春には、スポアバッグなどを用いてヨレモクモドキの母藻投入・移植を行った。ガンガゼだらけだった海底は、次第に海藻が戻り始めたので、ウニフェンスを数十 m 移動させ、ウニの除去を繰り返し行うことにより、藻場を拡大していった(図 8-3-1 中)。その後、対岸においても同様の対策を開始した。



2007 年



2014 年



2020 年

図 8-3-1 海中景観の変化

2012 年からは地区全域を対象とした、漁業者による藻場モニタリングを開始した。磯焼け（海藻被度 5%以下）の面積の割合は、2020 年までに全体の 1%未満にまで減少し、代わってテングサなどの小型海藻域が占める割合が 30%前後まで増えて維持されるようになっている（図 8-3-1 下、図 8-3-2）。

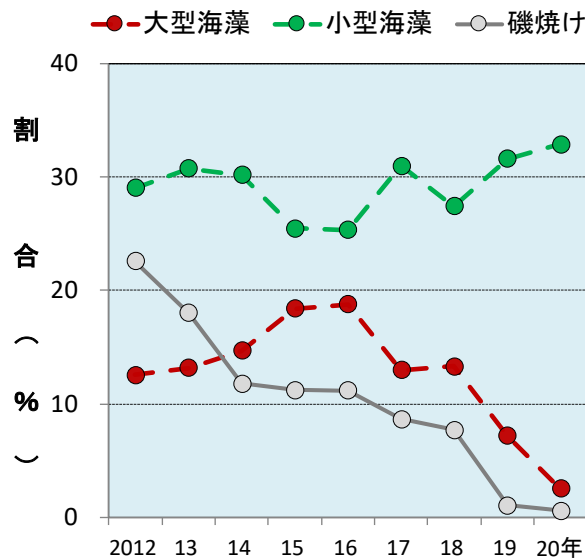


図 8-3-2 再生藻場の変遷

（2）新たな課題と対応策

クロメやホンダワラ類などの大型海藻域は、対策開始後 10 年目に全体の 20%を占めるまで順調に増加したが、その後は年々減少していった。これは、ブダイの増加による食害が原因である。ブダイの幼魚は、カサゴ等の天敵に襲われた時、藻場へ逃げ込むことが知られている。大型海藻の藻場が再生したことで隠れ場が増えたため、ブダイの幼魚の生残率が高まり、結果として食害が増えたと考えられる。このため、2018 年からは水産庁と連携し、ブダイの除去試験を開始した。その結果、刺網と延縄を組み合わせることにより、効率よくブダイを漁獲できるようになった。現在では、従来の磯焼け対策を行いながら、藻場を見守りつつ、適切にブダイ除去を行っている。

当地区の漁業者の磯焼け対策の目的は「もうかる藻場づくり」である。藻場は増えてつつあるが、アワビの天然稚貝を磯でみることは未だに少ない。今後は、アワビ母貝の成熟に不可欠な藻場の再生を目指している。

3）長崎県西海市大島地区の事例

（1）これまでの取り組み

長崎県中部の西彼杵半島西方に位置する大島地区は、アワビ漁で年間の漁獲量が 5t ほどあったのが、磯焼けにより 1993 年には約 2t まで激減した。本地区の根付け（潜水）漁業者は、この状況を深刻な問題と受け止め、1995 年から自主的にウニと巻貝の除去を開始した。しかし、除去をしてもしばらくすると周りからウニが侵入して効果が持続しなかった。そんな中、北海道のウニフェンスのことを知り、彼らは製作と設置の仕方を習い、地元用に改良したウニフェンスを 8 月に設置した（設置の前後にはウニ除去を実施）。そ

の結果、フェンス内の岩場には付着珪藻が増え、3月にはアカモク、イソモクなどのホンダワラ類やワカメ等を繁茂させることができた(図8-3-3)。また2002年には、植食性魚類の食害の存在を知り、今度は魚フェンスを考案(図8-3-4)。しかし、魚フェンスは台風等の時化で破損することから、年間を通して海藻を維持できるように、2006年から魚礁メーカーと協力し、カゴの中でクロメを守り育てるカゴ付き藻場礁(囲い網式の藻場礁)(図8-3-5)を開発した。当時はまだ磯焼け対策手法が確立していないにもかかわらず、手探りで継続的に取り組んできたことによって、ウニと魚の食害防止対策に成功している。また、専門家からモニタリングの方法を習い自前でするようになって、既存の築礁がウニの集積場であり、アイゴの越冬場になっていることを確認し、地先の状況を把握した取り組みができるようになった。



図 8-3-3 ウニフェンス(1999 年)

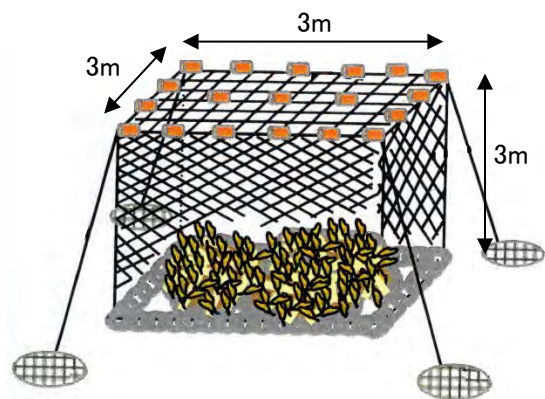


図 8-3-4 魚フェンス(2002 年)



図 8-3-5 カゴ付き藻場礁(2006 年)

(2) 抱える課題と柔軟な対応

カゴ付き藻場礁は、周囲にクロメの幼体を繁茂させることから、クロメのタネの供給基地(核藻場礁)になることが期待されたが、幼体の食害が新たな課題となっている。彼らの最終目標は、藻場が回復し、アワビやサザエ、その他たくさんの魚が獲れる豊かな海を取り戻すことである。母藻の食害防止対策には成功したが、藻場の回復には至っていない。それでも、市と専門家と連携して、PDCA サイクルを回し続けて新しい取り組みを始めている。現在は、カゴ付き藻場礁の周囲に、移動可能な石やプレート等を配置し、幼体着生後に別の場所へ移動させて守り育てている。

8. 4 磯焼け対策を持続させる取り組み

1) はじめに

磯焼け対策や藻場保全活動を行う漁業者は年々高齢化が進んでおり、効率よくウニを除去したくても潜水作業ができない、プロダイバーを雇用するにもコスト高で実施できないなどの現状がある。一方で、海に親しみ、きれいで豊かな海を末永く利用したいと望む一般市民は増え、ダイビングを楽しむ人々が増えている。これらのことから、磯焼け対策を持続的に行うには、良識と意欲のあるボランティアダイバーに参加してもらうことも 1 つの方法である。実際に水産多面的機能発揮対策事業の中では、ボランティアダイバーが磯焼け対策に参加している地域がある。ここでは、これらの市民が参加する磯焼け対策の取り組みを紹介する。ただし、ボランティアダイバーが参加するにあたっては、密漁増加への懸念、法律上の制限（参考資料 2 許可・法律関係を参照）、手続きの煩雑さ等がある、円滑に進められていない地域もある。

2) 市民ダイバーが参加する磯焼け対策

(1) 三重県尾鷲市、紀北町

尾鷲市では、1999 年頃からガンガゼ類の食害による磯焼けが確認され、2010 年から漁業者とダイバーがガンガゼ類の除去を行っている。ガンガゼ類の除去には、潜水が伴うため、地元ダイビングショップやボランティアダイバー、三重大学の学生に協力してもらい、除去を行っている（図 8-4-1）。ダイバーが潜水器を用いてウニを採捕すると、三重県漁業調整規則に抵触する。そのため、ステンレス製のカンガゼ専用の除去棒（図 8-4-2）を使って殻を割るように潰して除去している。除去棒の値段は 5,000 円程度。ムラサキウニ・ナガウニ類の場合は、ホームセンターで購入できるケレンハンマーを用いている。



図 8-4-1 ガンガゼ類を潰す様子

尾鷲市早田浦^{はいだうら}では、2010 年よりガンガゼ類の除去を開始し、藻場の回復に成功している。当初は漁業者や三重大学生が年間 10,000 個体以上のガンガゼ類を潰していたが、現在では年間 1,000 個体程度で藻場が維持されるようになっている。

尾鷲市隣の紀北町白浦地区でも、名古屋のダイビングショップが設立する NPO 法人が中心となって、2015 年からボランティアダイバーによるガンガゼ類除去が行われている。

ガンガゼ類除去は、産卵前の 6 月から水温が下がる 10 月ま

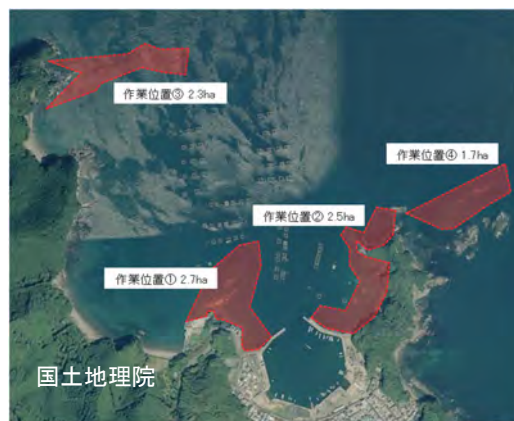


図 8-4-2 除去棒

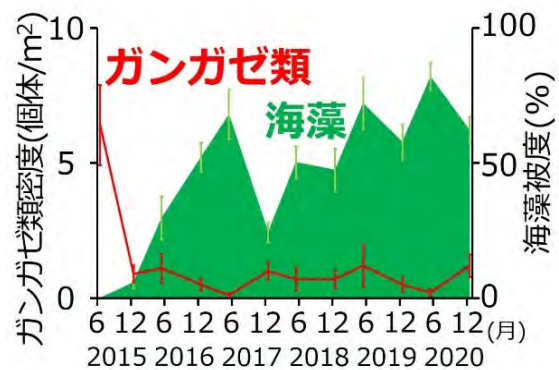
でに複数回実施される。現地では、2 班（ベテラン班と初心者班）に分かれて、1 日 2 回（午前と午後）の除去が行われている。また、ダイバーには、できる限り活動範囲を広げず集中的にガンガゼ類を潰すこと、ガンガゼはしっかりと穴をあけるか割ること、潰した個体数を数えることなどをお願いしている。活動した結果は、レポートにまとめ、モニタリングはドローンを活用して空撮からの藻場の分布を把握している。活動実績は表 8-4-1 のとおりである。

表 8-4-1 白浦地区における 5 年間（2015～2019 年）の活動実績

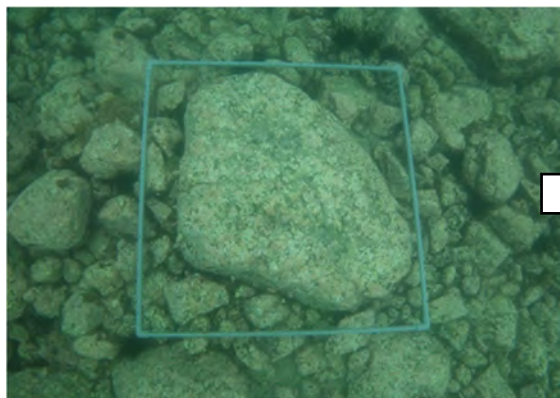
項目	5 年間の活動実績
活動面積	92,768 m ²
回復面積	52,961 m ²
回復傾向にある面積	39,807 m ²
ガンガゼ類の延べ除去数	198,427 個体
延べ参加人数	335 人
延べ活動日数	16 日



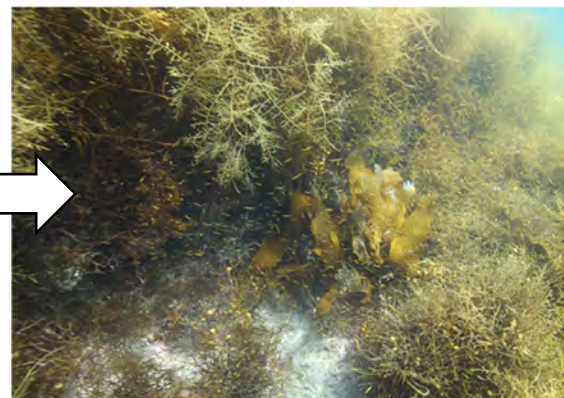
ガンガゼ類の除去を行った場所



ガンガゼ類の密度と海藻被度の経年変化



活動前の海底(2015. 6)



活動により繁茂した海藻(2018.12)

図 8-4-3 白浦地区の磯焼け対策（図・写真 NPO 法人 SEA 藻）

(2) 高知県須崎市久通

高知県須崎市久通地区は、1985年には1.8haにも及ぶ藻場（カジメとホンダワラ類の混成）が知られていたが、2003年頃には港外の浅場のガラモ場まで消失した。このため、2008年に「久通地区磯焼け対策部会」を発足し、「岩礁域における大規模磯焼け対策促進事業」（水産庁、2007～2009年）のサポート制度を活用して、専門家の技術サポートを受けながら、継続的に磯焼け対策に取り組んできた。しかし、漁業者の高齢化が進み、磯焼け対策の担い手が不足していることが障壁となり、専門家等の紹介でボランティアダイバーや高知大学、高知海洋高等学校の学生らの協力を得ながら実施してきた。

ウニ除去活動は6～10月に行われ、ボランティアダイバーは「高知スクーバ・ダイビング安全対策協議会」を通じて募集している。応募者は10名程度であり、その他にも地元を離れた人たちも参加し、総参加人数は多い時で30名になる（図8-4-4）。

除去するウニはムラサキウニとナガウニで、土木用のシノを加工した道具を用いて潰している（図8-4-5）。2009～2011年の対策区においては、除去前のウニの平均密度が5～16個体/m²以上と高かったが、除去後は激減し、その後低い値で推移する。一方、翌年から南方系ホンダワラ類が出現している（図8-4-6）。現在までに活動面積を3.3haにまで広げ、初夏にはアオリイカの卵塊やイサキの仔魚が確認されている。



図 8-4-4 活動の参加者



図 8-4-5 ウニ除去の様子

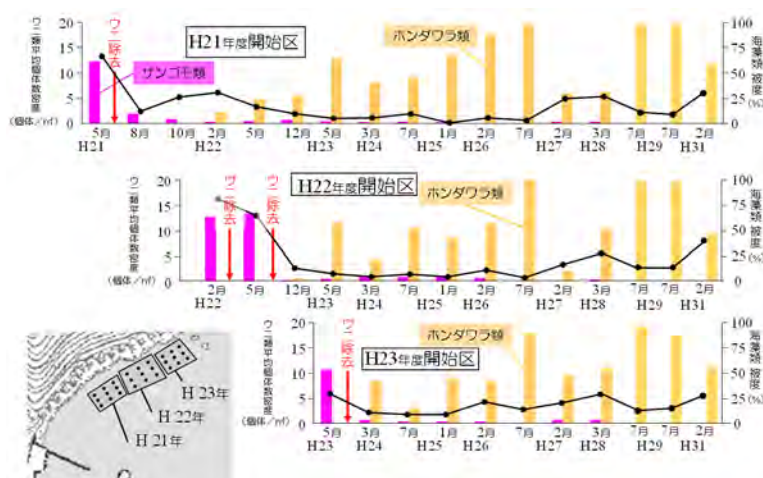


図 8-4-6 活動域のウニの密度と海藻被度の経年変化



アオリイカの卵塊



イサキの群れ

図 8-4-7 回復した藻場

3) 小学生が参加する磯焼け対策

大分県佐伯市名護屋地区では、2009 年から地元の小学生が漁業者と一緒にホンダワラ類の母藻投入を行っている。母藻投入は生分解性の布地のオープンスポアバッグを使い、子供たちが母藻を取り付け、磯焼けの海へ投入している（図 8-4-8）。また、翌年にはこの活動の成果を子供たちに報告し、藻場の大切さを理解させている。



図 8-4-8 小学生が参加する磯焼け対策（オープンスポアバッグ）

4) 水産高校生が参加する磯焼け対策

鹿児島県肝付町にある高山藻場保全会（高山漁業協同組合内）では、2006 年から素潜りでウニの除去を行ってきたが、素潜りでは限界があったので、2008 年から鹿児島県立鹿児島水産高等学校の学生に協力をしてもらい、ウニの除去を行っている（図 8-4-9）。水産高校の学生は 2 年生からスキューバ潜水の技術を習得しており、以前から指宿漁協や鹿児島県水産技術開発センターなどと藻場の保全活動に取り組んでいたおかげで、ウニを効率よく除去することができた。また、学生との交流は、後継者の育成にもつながることが期待されている。



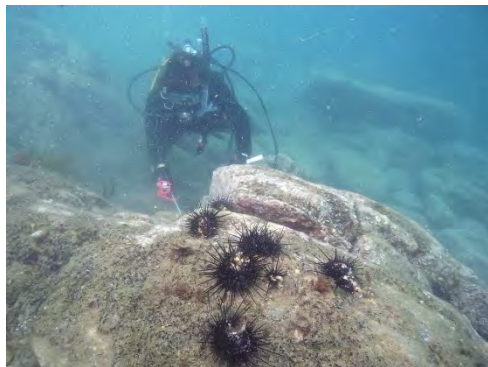
図 8-4-9 水産高校生が参加する磯焼け対策

京都府立海洋高等学校でも、2019 年から漁業者の依頼を受けて、水深 5m ほどの海底にいるウニを、年 1 回、除去（採捕して船に取り上げる）している。また、除去と併せて海藻の繁茂状況や放流サザエやアワビの生息状況、ウニの生殖腺重量なども調査し、結果を漁業者や京都府水産事務所と共有している。

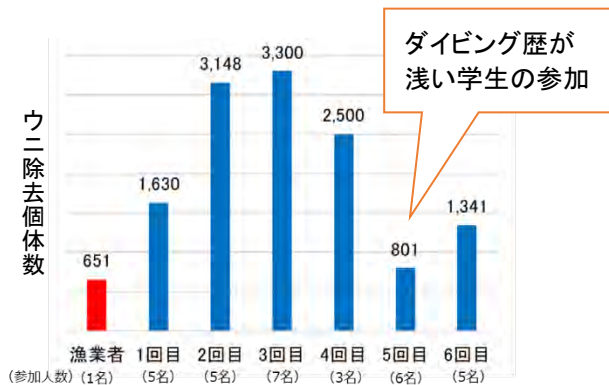
5) 大学生が参加する磯焼け対策

長崎県 外海 地区は、春にはワカメやガラモ場が繁茂する浜だったが、1998 年くらいから磯焼け状態が続いている。このため、2013 年に藻場保全の活動組織を発足させ、ウニと植食性魚類の除去、母藻の設置を行ってきた。しかし、活動メンバーが少数で、かつ漁業者が高齢であったため、船上から箱メガネとヤスを用いたウニの除去では、複数回実施しても効果がみられなかった。そこで、専門家と相談し機動力のある長崎大学のダイビングサークル部を勧誘し、彼らにボランティアダイバーとして参加してもらうことにした。集まった学生らは、磯焼けのことは知らない者ばかりであったが、浜の現状を知り、楽しむダイビングだけではなく、役に立つダイビングをしたいと積極的に参加している。活動はウニが繁殖する前の 6 月と産卵後の 11 月の 2 回、毎回 5～6 名が参加する。学生は年次が変わるとメンバーが入れ替わるため、毎回、参加者の中に次の学生が参加するように工夫して活動をつなげてもらっている。また、サークルの SNS を活用して活動を発信している。

学生は水中でウニ^{かぎ}鉤とハンマーを使ったことがないため最初是要領を得ないが、次第にコツを覚え、ウニを効率的に除去できるようになり、活動域からガンガゼが見当たらなくなっている。海底は小型海藻が目立つようになったが、ノトリスズミやアイゴの被害の影響もあって大型海藻の加入はまだ少ない状況である。



学生によるウニの除去活動



学生による 1 回当たりウニの除去の作業能力



ウニの密度: 17 個体/m²

活動前の海底(2011.4)



ウニの密度: 4.4 個体/m²

出現した小型海藻(2020.2)

図 8-4-10 長崎県長崎市外海地区の磯焼け対策

8. 5 植食動物から海藻を守る藻場造成手法

1) はじめに

磯焼け域、あるいは今後の磯焼けの予防的な取り組みとして、植食動物から海藻を守る藻場造成が行われている。磯焼け域での取り組みには、基盤を嵩上げする嵩上げ礁、植食性魚類から母藻を保護するカゴ付き藻場礁などがある。また、これらは、効果の発現と維持のため、整備後にモニタリングを実施し、状況に応じて植食動物の除去、あるいはスポアバッグの設置などを行い藻場の維持に努めている。

2) 嵩上げ礁

北海道では、海藻を食べるウニの食圧を抑制できる水深を検討する手法として、「ウニの食圧マップ」を作成している。「ウニの食圧マップ」とは、ウニの「食圧」を抑制できる場所を数値シミュレーションで地図化するものである（道総研，2015）。沿岸の波の情報（ナウファス＝全国港湾海洋波浪情報網：NOWPHAS：Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HArbourS）をもとに、沿岸の波高分布、底面波浪流速を求め、これをウニの食圧を抑制する流速（25 cm/sec で摂餌圧が低下、40 cm/sec で摂餌できなくなる）（川俣，1994）で判定して分布図を作成する。例えば、図 8-5-1 上段の図中の候補地は、水深が 2～4m 程度の海底でウニの食圧が高い場所である。候補地のうち、下段図中の仮想施設の海底を嵩上げすると、ウニの食圧が抑えられると予測される。ウニの食圧マップの考え方は北海道の藻場ビジョンでも用いられており、この結果と実際の天然優良藻場の繁茂水深を参考に、ウニの食圧が抑えられる水深まで嵩上げし、コンブの繁茂する流動環境を創出する嵩上げ礁を整備している。

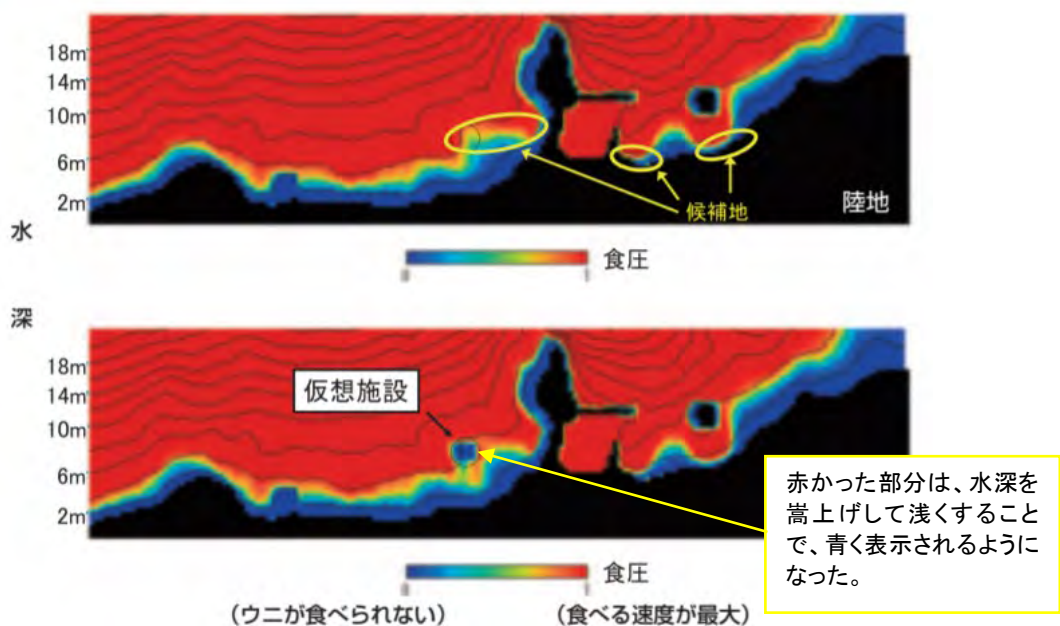


図 8-5-1 ウニの食圧マップ

嵩上げ礁とは、石材の散逸を防ぐため周囲をブロックで囲い、その内側を割石でコンブの生育水深まで嵩上げた構造である（図 8-5-2）。ただし、静穏期間が続けば海藻は食われて消失する。

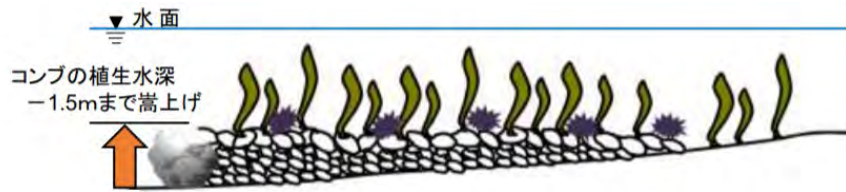


図 8-5-2 嵩上げ礁

3) カゴ付き藻場礁

カゴ付き藻場礁とは、植食性魚類の食害から海藻を守るため、カゴの中で海藻を育て周囲の岩礁や石材等へ海藻のタネを供給させる核藻場礁のことである。カゴのネットには、漁網、FRP、金網などを使用し、植食性魚類の成魚が侵入できない 5 cm 程度の目合が使われている。ネットには海藻やホヤなどが付着しないように、防藻加工やシリコン塗布が施されている場合があるが、それでも図 8-5-4 に示すとおり経年的には付着物に覆われることがあるため、効果を持続させるには定期的なメンテナンスが必要である。

カゴ付き藻場礁からの海藻のタネはそれほど広く拡散しない（10～15 cm/s の流れ場で 15m 程度）。また、磯焼け域では、放出された海藻のタネが発芽しても幼芽・幼体時に食害される恐れがあるため、設置直後から植食動物の除去を継続的に行う必要がある。

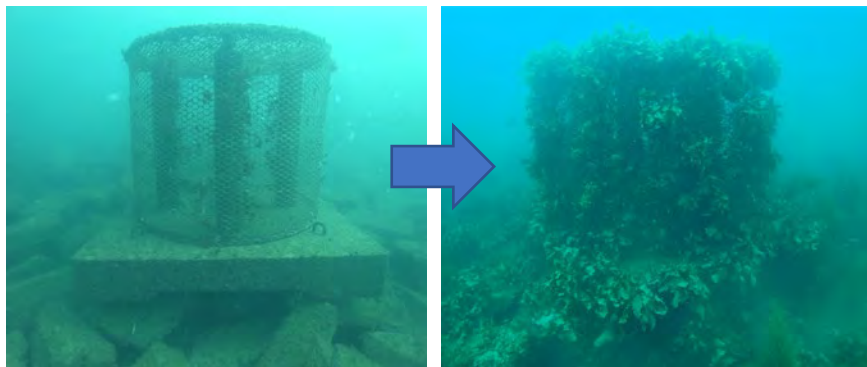


図 8-5-3 カゴ付き藻場礁（例）

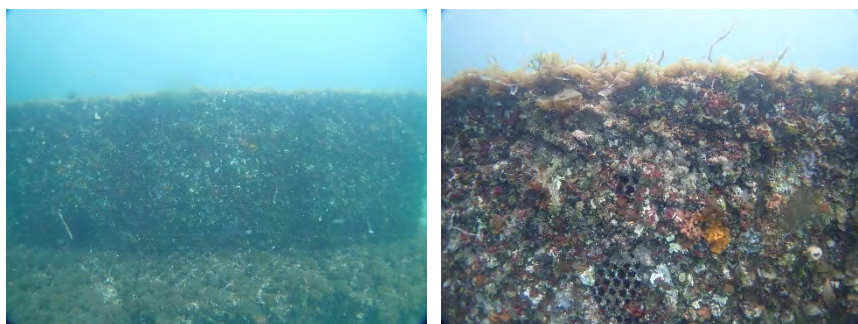


図 8-5-4 付着物に覆われる防護ネット

4) 間隔を開けた単体礁の設置

徳島県南部では2005年頃からサガラメやカジメが衰退する磯焼けが進行した。磯焼けの持続要因の1つに、海水温の上昇に伴うウニ・植食性魚類の食害が考えられた。ウニによる磯焼けが進行していない北中部では、砂地に石材を積む方法（石積型）で藻場造成を行ってきたが、磯焼けが起きている南部では、石の隙間にウニが住みつき海藻が生えなくなると考えられた。そこで、ウニの住み場にならないように石材を単体で砂地に設置する実証試験を3箇所で行ってみた。使用石材には、大割石（質量2～3t）を使用し、設置地点の砂層厚を調べてから、間隔を空けて単体で設置した（図8-5-5）。なお、石材の大きさは波浪に対する安定所要質量により決定され、その正確な算定は新算定式（Kawamata *et al.*, 2018）により行うことができる。

試験の結果、砂がウニの侵入を抑制することによって良好なカジメ場が成立した（図8-5-6）。また、台風時の波浪でも、大きな移動・転倒、砂に埋没することなく安定していた。ただし、本試験では母藻や種苗の移植を行っていないため、天然藻場から遠く離れている石材での藻場形成には長い歳月を要している。

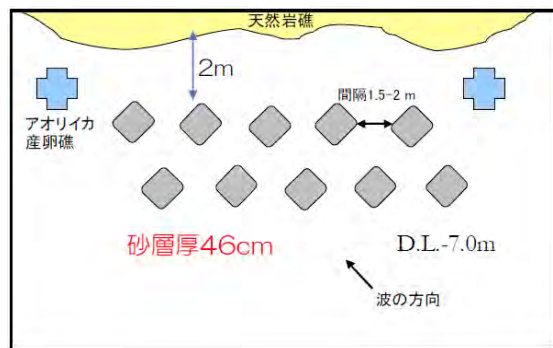


図 8-5-5 石材の配置図

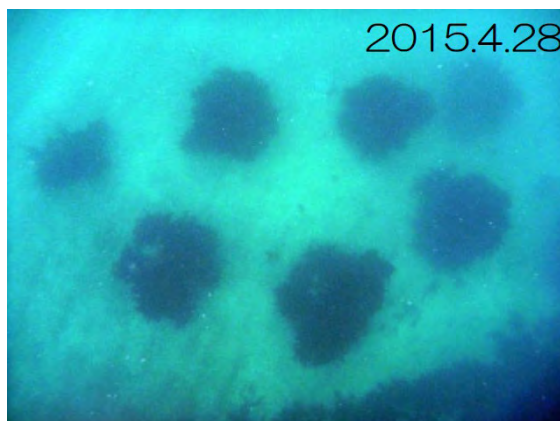


図 8-5-6 砂地に単体で設置した石材に形成されたカジメ場

8. 6 イスズミトラップ

1) はじめに

長崎県五島市崎山地区は、2008 年までガラモ場が確認されていたが、その後消失し、2010 年にはヒジキも確認できなくなった。その原因が植食性魚類であることを突き止め、仕切網（第 7 章 D3 の表 7-D3-2、図 7-D3-7 参照）で磯を保護してヒジキ場を 3 年連続で再生させた。次に、植食性魚類の影響を小さくするため、養殖生け簀をベースに、崎山地区の竹野義昭氏と旧西海区水産研究所資源生産部が共同でイスズミトラップを開発した（図 8-6-1）。

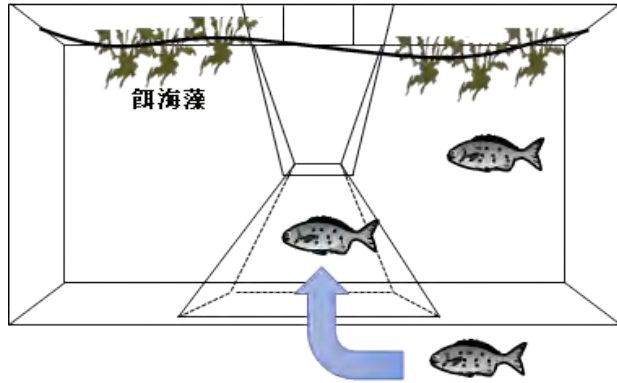


図 8-6-1 イスズミトラップ

2) 特長

- 構造は、生け簀部が上面以外の 5 面を角目網の網地とし、漏斗部が上面と底面以外の 4 側面をひし目網の網地で、目合の一边の長さがいずれも 3 cm である。漏斗部の底面は 1.5m として、漏斗部の上面 4 隅と生け簀上面とをロープで結び、側壁部が撓まないようにきれいに立ち上げる（側壁部が撓むと上部入り口の一部を隠してしまうため）。

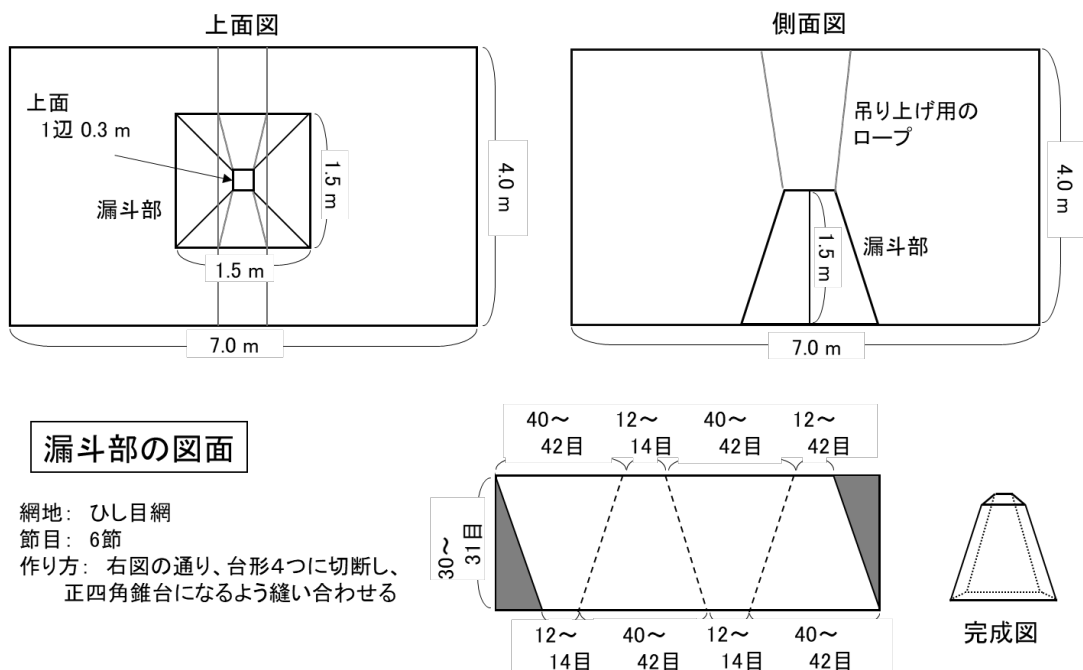


図 8-6-2 イスズミトラップの構造図

- ◆ イスズミを誘引するための餌海藻には、天然藻場から採取するのではなく、別の生け簀で養殖したクロメ、コンブ、ワカメ、ヒジキなどを利用するとよい。
- ◆ 設置後の作業が、刺網や延縄^{はななわ}に比べて手間が少なく、高齢の漁業者に優しい。
- ◆ トラップしたイスズミは、そのまま蓄養できるため、毎日水揚げする必要がない。
- ◆ 混獲魚を生きたまま海へ戻ることができる。

3) 留意事項

- ◆ 利用にあたっては、カゴ漁業等の許可申請が必要になる場合があるので、導入前に必ず関係自治体の磯焼けの担当部署と相談する必要がある。
- ◆ 設置後は、漏斗部がきれいに立ち上がっているか、付着物はないか、餌海藻は十分にあるか、魚が入ったか、入った後に逃げ出していないかなどの状況を監視し、適切な対応を施すことが必要である。
- ◆ 台風や荒天などによるトラップ損壊を避けるため、比較的静穏な場所に設置することが望ましい。崎山地区では、台風時期を避けて冬から初夏まで利用している。
- ◆ 漏斗部を生け簀網壁面に取り付けて失敗した例がある。まずは図 8-6-2 の図面どおりのものを導入し、その後の状況に応じて改変を検討するとよい。
- ◆ 設置後の管理を怠ると失敗することがある。

4) 今後の課題

イスズミトラップは、長崎県内の各地で導入されているが、大きさや設置場所、運用方法の違いなどにより、崎山地区と同様の効果がみられているわけではない。適用条件、トラップ効率の向上（例えば、トラップ上面を暗幕で覆う、あるいは餌の改良など）に加え、利用にあたっての適用条件や運用方法（マニュアル）の整備が今後の課題である。また、アイゴやブダイのトラップ実績は限られており、今後はこれらの生態行動を考慮した捕獲のための改良や工夫も必要である。これらを解決するためにデータの蓄積が望まれる。

表 5-6-1 イスズミトラップ漁獲実績

	時期	イスズミ	アイゴ	ブダイ	メジナ	合計	備考
崎山地区	H30.5-7	203	16	1		220	2 基分
	H30.4-7	76	0	0		76	
A 地区	H31.4-9	16	9	0		27	
	R2.4-9	—	—	—	—	0	
B 地区	R2.4-9	—	29	0	17	43	

8. 7 イスズミの買取り制度

1) はじめに

壱岐の海域は、長く植食性魚類の食害の影響により磯焼けが続いている。最近では、海水温の上昇等の影響から、植食性魚類の食害期間が長期化および活発化している。磯焼けの長期化は、海藻を餌とするアワビの漁獲量が減少、ウニの身入りの悪化を招き、特に、ヒジキ漁やワカメ養殖は壊滅的な被害を受けて、壱岐産の海藻がほとんど流通しなくなっている。

植食性魚類の食害対策には、刺網による捕獲が行われているが思うような成果が得られていない。また、定置網には大量のイスズミ（ノトイスズミ）が漁獲されるが、値が付かず、かえって処分費がかかることなどから十分な捕獲につながっていないのが現状であった。

こうしたことから、壱岐市は漁業者に植食性魚類（イスズミ）を積極的に捕獲してもらい、藻場の早期の回復を促すため、「壱岐市磯根資源回復促進事業」を2019年に創設した。

2) 買取り制度の内容

「壱岐市磯根資源回復促進事業」では、市内の漁業者と漁協のイスズミ捕獲に対して買い取りが行われている（表 8-7-1）。買い取られたイスズミは、一部を加工、販売の取り組みに回し、残りを一般廃棄物として処分している。

表 8-7-1 買取り制度の内容

対象経費	買取り金額	備考
定置網等に入網したイスズミ	150 円／尾	国・県事業で捕獲したイスズミは対象外
駆除を目的として捕獲したイスズミ	200 円／尾	
島外加工所への輸送費	50 円／尾	島外もしくは市外の場合

3) 事業の成果

買取り制度の2019年度の捕獲実績は図 8-7-1 のとおりである。実績データから月や地区・定置網の位置によって捕獲量が異なることが明らかとなり、さらに詳しく調べてみると定置網の垣網が岸側に近いほど捕獲量が多いことがわかってきた。壱岐市は、未使用の定置網を罟（トラップ）として設置する取り組みを始めている。

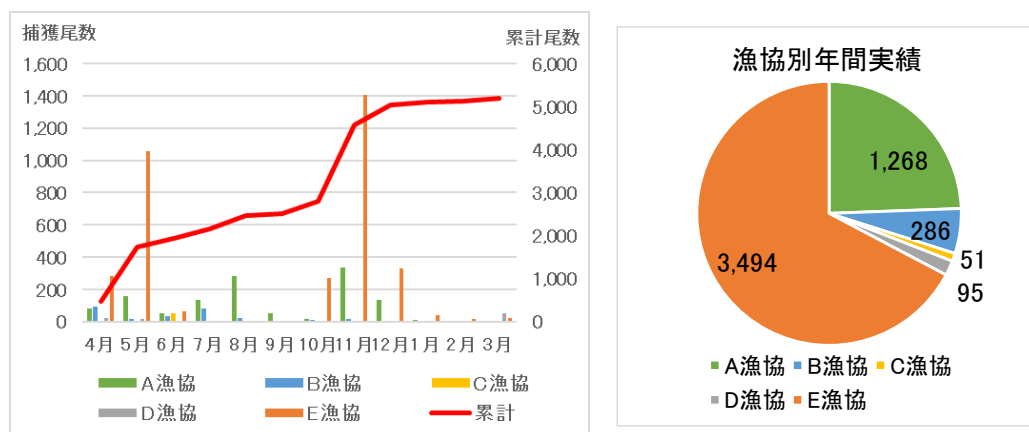


図 8-7-1 壱岐市の買取り制度の捕獲実績

E 漁協では 3,494 尾のイスズミが捕獲されたことから、ある場所では春にアミジグサ等の小型海藻が目立つようになっている。



2019 年 7 月



2020 年 6 月

図 8-7-2 E 漁協の海底の変化

4) その他の取り組み（母藻供給ネットワーク）

イスズミの買取り制度と併せて、壱岐市内の 5 つの漁協と県、市が一体となり「磯焼け対策協議会」を設立し、その中で、海藻を漁協間で供給し合う母藻供給ネットワークを構築し、壱岐海域全体の藻場回復を目指して、次の 3 つの取り組みを始めている。

- ◆ 海藻が繁茂している海域や簡易型藻場増殖礁（図 8-7-3）、あるいは流れ藻が漂着する場所から、各地区へ海藻を提供し、磯焼け対策に活用する（スポアバッグなど）。
- ◆ 海藻が繁茂している海域や簡易型藻場増殖礁内のクロメの成熟時期に様々な形状の小型基質を敷き並べ（図 8-7-3）、幼体着生後に磯焼け対策場所へ設置する。
- ◆ 栽培センターに母藻を持ち込み、種苗を育ててもらう。



図 8-7-3 簡易型藻場増殖礁と小型基質

8. 8 食べる磯焼け対策

1) ウニ

食用のキタムラサキウニやムラサキウニは、磯焼け域から除去した後に「深浅移植」、または「肥育」をして身入り改善がなされている。一方、非食用のガンガゼ（一部の地域では食用とされている）やナガウニは、水中で潰されることが多い。ここでは、除去された身入りの悪いウニに野菜を食べさせて肥育する取り組みを紹介する。

(1) 神奈川県取り組み

神奈川県水産技術センターは、磯焼け対策で除去されるムラサキウニが雑食性であることを利用し、海藻以外である加工残渣や流通規格外野菜を餌とした養殖試験を行った。その結果、キャベツやブロッコリー、ダイコンの葉などの野菜をよく食べ、そして食べ続けることを確認した。また、神奈川県に分布するムラサキウニは、7月に産卵することから4～6月の3カ月間を飼育期間とし、その時期に入手できた三浦半島特産である春キャベツの流通規格外品を給餌し、500個体のウニを養殖した。その結果、1個体のウニがキャベツ1個約800gを食べ、身入り率が当初の1%程から平均15%（2018年の58日間）に達した。味では甘味成分のグリシンやアラニンが増加し、天然のムラサキウニやキタムラサキウニと同等であった。また、苦味成分のバリンが少ないことから甘味が強く感じられ、さらに海藻由来の磯の香りも少なく、ウニ嫌いでも食べられるとアンケート調査で明らかになった。

この特性を利用し、2020年から神奈川県逗子市の小坪漁業協同組合はキャベツを餌料とした陸上養殖を開始した（図8-8-1）。ムラサキウニは4月に磯焼け海域から1,300個体を捕獲し、漁協の敷地内に設置した5台の水槽に収容し、海水漬けで沈むようにしたキャベツを与えた。このキャベツは販売時に外される外葉であり、漁協と取り引きのある市内スーパーより無償提供された。肥育したウニは、7月に組合員が割ウニとしたものをスーパーで200個体ほど販売（図8-8-2）し、板ウニにしたものは地元のイタリアン料理店で利用された。小坪漁業協同組合では、餌も販路も確保されたことから、生産量を少しずつ増やして継続的に実施していく予定である。



図 8-8-1 ウニの陸上養殖水槽



図 8-8-2 販売されたキャベツウニ※

(2) 北海道の取り組み

北海道神恵内村と古宇郡漁業協同組合は、キタムラサキウニが年間複数回の身入りが可能であることから、白菜を用いて身入りの少ないキタムラサキウニのカゴ養殖を実施している。

使用するカゴは、ウニのカゴ養殖用として開発された長さ 200 cm、直径 60 cm の円柱形状で、ウニや白菜を容易に出し入れできるようになっている（図 8-8-3）。カゴ内部は 2 マスに仕切られ、各マスに磯焼け域から捕獲した 200 個体のウニを収容している。使用カゴ数は現在 34 基（総ウニ収容可能数 13,600 個体）で、漁港内に許可を得て吊るしている。餌に使用する白菜は、岩見沢市まで往復 6 時間かけて出かけ、規格外のものを購入している。給餌は週 2 回行っている。

肥育されたウニの販売実績は図 8-8-4 のとおりである。自然で上品な甘味が特徴で、毎年年末の引き合いが多く、札幌市内のスーパーや飲食店に地域商社を通じて出荷（図 8-8-5）され、売り上げを伸ばしている。



図 8-8-3 ウニ養殖用カゴ

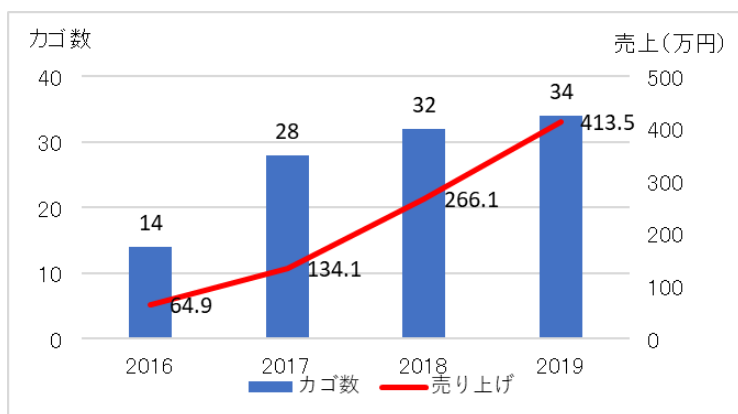


図 8-8-4 ウニ養殖用カゴの事業実績



図 8-8-5 地域商社から販売されるウニのパンフレット

これらの肥育方法は、ニュース等で取り上げられたことから、各地で様々な野菜や植物でウニの肥育の取り組みが広がっている。ただし、実用化においては、①餌の野菜の安定供給、②身入りを効率的によくする方法、③身の色合いをよくする方法、④大量飼育と高密度飼育の方法などの課題が残っていることに注意が必要である。ただし、蓄養されるウニの数は限

られ、桁違いの数のウニが維持する磯焼け域で藻場を回復させるには至らない。

【コラム 8-8-1】肥育ウニの殻剥き加工ロボット

磯焼け対策で除去される身入りの少ないウニは肥育ができて、身を崩さないように「むき身」とするには、熟練の技術が要求される。この問題に対応するため、第7章 D9 のコラム 7-D9-1 で紹介したウニ識別除去ロボットの開発と併せて、宮城大学等が殻剥き加工ロボット（以下、ロボット）を開発した。

ウニのむき身では、殻を機械でカットし、手作業でウニの生殖巣を取り出しているが、このロボットを使えば、画像センシングによってワタの吸引除去を行い、身を傷つけることなく、42 秒でウニの殻を 3：2 に分割する。このロボットによって搬入から搬出までの作業が自動化されたことで、1 日当たり約 70 kg（約 600 個体）の処理が可能となり、1 人当たりの延べ作業時間における生産コストを約 33 %削減することができた。



図 1 殻剥き加工ロボットで割ったウニ

2) 植食性魚類

植食性魚類は、身が磯臭く、処理にコツがいるため、食用としてはあまり好まれず、水産物としての価値が低い。また、水揚げ量が多獲性大衆魚のように安定していないため、市場流通の開拓も難しい。しかし、植食性魚類は一部の地域では昔から食べられており、臭みも軽減する調理法が考案されている。このため、アイデア次第では地産地消の有望な商品となり得る。参考までに、主な植食性魚類の伝統的な利用方法や商品化して販売されているものを紹介する（表 8-8-1、図 8-8-5）。

表 8-8-1 主な植食性魚類の伝統的な利用方法

	アイゴ	イスズミ類	ブダイ	ニザダイ
利用の盛んな地域	紀伊半島沿岸、香川県東讃地域～徳島県、松山市周辺、高知県の室戸・足摺岬周辺、九州沿岸全域（特に東シナ海側）、沖縄県	伊豆諸島や静岡県、和歌山県、高知県、沖縄県	千葉県以南の太平洋側九州沿岸全域、沖縄県	千葉県、伊豆諸島、静岡県、高知県、鹿児島県など
留意点	独特の臭みは漁獲直後に内臓を取り出すと防げる。橙のしぼり汁を入れた煮汁に漬ける、味噌を使う、皮を焼くなどの調理方法がある。	独特の臭みは漁獲直後に内臓を取り出すと防げる。橙のしぼり汁を入れた煮汁に漬ける、味噌を使う、皮を焼くなどの調理方法がある。	臭みはなく、一般的に食用にされている魚種と同様に多くの調理方法がある。	皮が厚く硬いので、剥がす。関東ではあまり食用にされないが、関西ではあらいなどにされ好まれる。
料理	焼き切り、刺身、あらい、たたき、味噌汁、煮物、揚げ物、焼き物	刺身、たたき、揚げ物、煮物、焼き物、汁物、すき焼き、酢物 ※小笠原諸島のピーマカ、大分県や長崎県小値賀の焼き切り料理は有名	刺身、たたき、揚げ物、煮物、焼き物、汁物、鍋、蒸し、酢物	刺身、あらい、揚げ物、煮物、焼き物、鍋、蒸し、酢物
加工	塩辛、干物（特に和歌山県の一晩干し）、味噌漬け、練り製品	漬物、干物、練り製品	味噌漬け、干物	漬物、干物、練り製品



アイゴの干物(和歌山県)



アイゴのムニエル(長崎県)



ブダイの赤づけ寿司(千葉県)



ブダイの味噌漬(静岡県)



イスズミの一夜干し(東京都八丈島)



イスズミの皮焼き(長崎県五島)



イスズミのすき焼き(和歌山県)



ニザダイを使った蒲鉾(鹿児島県)

図 8-8-5 植食性魚類を使った商品や料理

各地の漁協では、アイゴやイスズミの試食会が行われている（図 8-8-6）。参加者からは、「全然臭みがない」「棄てられている魚とは思えない」「幅広い料理に利用できる」などの驚きの声が聞かれて好評な結果が得られるので、漁獲へのインセンティブが働いて、植食性魚類の漁獲が進むことを期待するが、実際には、一時のイベントに終わってしまうことが多い。また、水産庁がマーケティングを学ぶ大学生らと商品開発したノトイスズミのさつま揚げやアイゴのフィッシュバーガー、東京海洋大学の生協で販売されたアイゴフライは、数年で販売が終わってしまっている（図 8-8-7）。この原因として、植食性魚類の魚価が安く、漁業者と漁協が「食べる磯焼け対策」の効果やメリットを十分に得られなかったため、材料の安定供給が構築できなかったこと、大量の植食性魚類を保管する冷凍庫の確保が難しかったことなどが挙げられる。



図 8-8-6 各地で行われている植食性魚類の試食会



ノトイスズミのさつま揚げ



アイゴのフィッシュバーガー



アイゴフライ

図 8-8-7 水産庁が開発した植食性魚類の商品

(1) 長崎県対馬市の取り組み

長崎県対馬市の有限会社丸徳水産（対馬市美津島町）は、磯臭いイスズミを食べることで、磯焼けの問題を知ってもらう「食べる磯焼け対策」に取り組んでいる。丸徳水産では、適切な鮮度管理と臭いのもととなる内臓・血合いを取り除く独特のさばき方で、磯臭さをなくすことでイスズミ料理のレパートリーを増やしてきた。イスズミは鱗が硬く、可食部が20%と少ないが、1 kg 100 円で買い上げている。搬入されたイスズミは、すぐにフィーレ加工（腹部を切り開き、えらと内臓、頭部を除去し3枚におろした状態）（図8-8-8）にして自社の冷凍庫で保管している。年間の取扱量は約6t以上に達する。

レパートリーの中のイスズミのメンチカツ（図8-8-9）は、2019年の第7回 Fish-1 グランプリの「国産魚ファストフィッシュ商品コンテスト」でグランプリを受賞した。受賞によって取り組みに対する理解者と仲間が増えたことで、イスズミの供給が安定し、自ら営むレストランの定食以外に、スーパーや学校・老人ホームの給食などにも提供できるようになった。この売り上げの一部は、藻場の保全活動に充てられている。丸徳水産では、イスズミを「そう介」と呼び、「食べる磯焼け対策」に貢献するとともに、イスズミを資源として活用できるようにプロジェクトを立ち上げて、現在も積極的に取り組んでいる（図8-8-10）。



図 8-8-8 イスズミのフィーレ加工



図 8-8-9 イスズミのメンチカツ



図 8-8-10 そう介プロジェクト

8. 9 ウニの食品以外の有効利用

磯焼け対策で除去されるウニは、食用以外にも「肥料・堆肥」や「アート作品」など様々な利用の取り組みが行われている（図 8-9-1）。



ウニ殻ペインティング



ウニ殻の人形



ウニの棘を使ったオブジェ



ウニ殻アート教室



ガンガゼの染め物



イベントでウニ殻肥料の配布

図 8-9-1 ウニの食品以外の有効利用

1) 肥料・堆肥

身入りの悪いウニでも、ウニ殻には窒素やリン、マグネシウムなどの植物の成長に必要な栄養素が多く含まれている。ウニ殻は、昔から沿岸の畑や果樹園などで肥料や土壌改良材として利用されている。堆肥とは、家畜糞尿、米ぬか、魚カス、家庭生ゴミなどを堆積し、これを好気性微生物（空気のある状態で活動する微生物）によって分解させたものを指す。肥料取締法では、ウニ堆肥の場合は特殊肥料として扱われる。

ウニ堆肥は、牛糞堆肥に比べて、窒素、カリが少なく、代わりに苦土（マグネシウム）や粗灰分（ミネラル分）が多い。また、殻を含むので石灰も多く、透水性、通気性の土壌改良効果が期待できる（図 8-9-2）。

ウニは腐敗が早く強烈な悪臭を放ちやすいので、堆肥化するにあたっては、腐葉土と混和させて臭いを抑えるとよい。ただし、腐葉土の代わりに炭素の多いわら、米ぬかなどを使い過ぎると、土壌にすき込んだ際に窒素飢餓になりやすいので注意する。ウニの堆肥化の作業の流れは図 8-9-3 のとおりである。

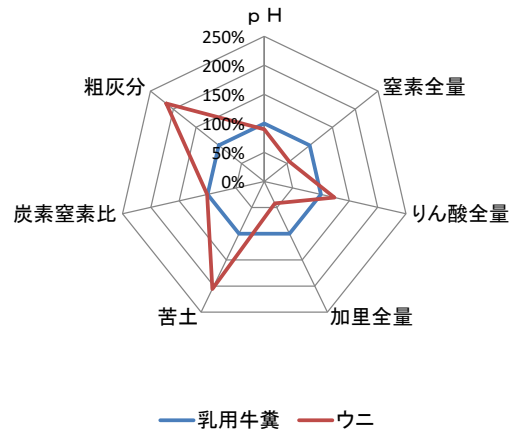


図 8-9-2 肥料成分レーダーチャート



① 真水で塩分除去
（5分間ほど浸漬）



② ウニと腐葉土を交
互に堆積させて混和
させる（割合は1:1）



③ 雨水の浸入防止と
保温のためシートで
覆う



④ 適宜、切り返しを
行い土の中に空気を
入れる

図 8-9-3 ウニ肥料の作成手順

堆肥の腐熟度は、色が黒褐色から黒色、棘が抜けて中身の形状が認められない、殻が脆い、堆肥臭（土のような臭い）がすることなどにより判断する。堆肥となるまでには、気温が関係するが、およそ2～6カ月を要する。ウニ堆肥は単独で利用するのではなく、牛糞や鶏糞、あるいは化学肥料と混合し、互いの成分を補うように施用するのがよい。

2) 海藻用の施肥材

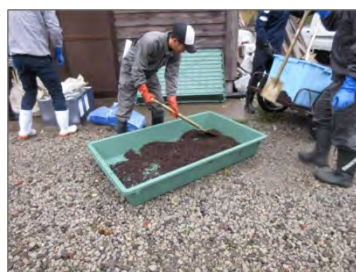
北海道積丹町はウニの産地でもあって、毎年100t前後のウニ殻を廃棄処理していた。町と漁業者は、小樽商科大学に相談し、ウニ殻に含まれる窒素、リン等の海藻の成長を助ける成分に着目し、ホソメコンブの生育を促進させるウニ殻の施肥材を開発した。施肥材の効果

を検証するため、粉碎ウニ殻の粉（施肥材）を擦り込んだロープと対照用のロープに種苗糸を巻き付け、2018 年 11 月に漁港内でホソメコンブの生育試験を実施した。2019 年 5 月下旬の回収時、施肥材付きロープから採れたコンブの重量は、対照ロープに比べて最大 3.8 倍の重量となった（図 8-9-4）。

施肥材としての良好な結果を踏まえ、次に漁業者らは磯焼け海域のコンブ場再生に応用することを検討し、漁業者ができる安価な栄養塩投入法としてウニ殻を天然ゴムで固めた肥料を考案した。天然ゴムは、冬場でも利用が可能で、土木資材として実績もあり、安価で自然に優しい素材であることから採用した。製作方法は図 8-9-5 のとおり。天然ゴムの固化時間は、気温が高いと短く、低いと長くなるので希釈率と混合量の調整に注意が必要である。



図 8-9-4 ホソメコンブの生育試験結果



①堆積場所で自然乾燥したウニ殻をスコップ等で粉碎



②水道水で 2～3 倍に希釈した天然ゴムとウニ殻を混合



③バケツ等の容器に入れて成型後自然乾燥させる

図 8-9-5 ウニ殻施肥材の作り方

ウニ殻施肥材を用いた美国地区での実証試験では、12 月にネットに入れて施肥材を投入している。ウニの摂餌行動が鈍る冬期にホソメコンブの成長を促進させることにより、翌 5 月にホソメコンブの群落を形成させることができた（図 8-9-6）。ただし、磯焼けの範囲が広く藻場が近くに存在しない西河試験区では、藻場の再生がみられなかった。その原因として、ホソメコンブの胞子の密度が極端に少なかったためと推察された。

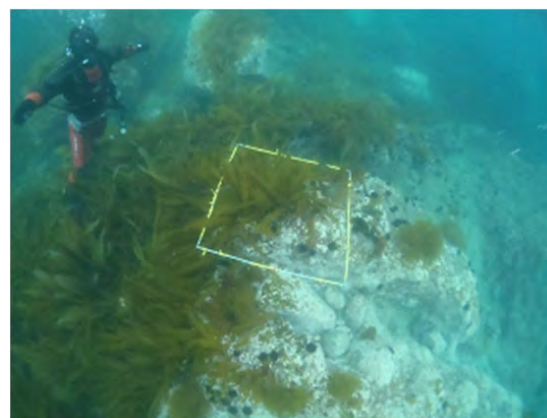
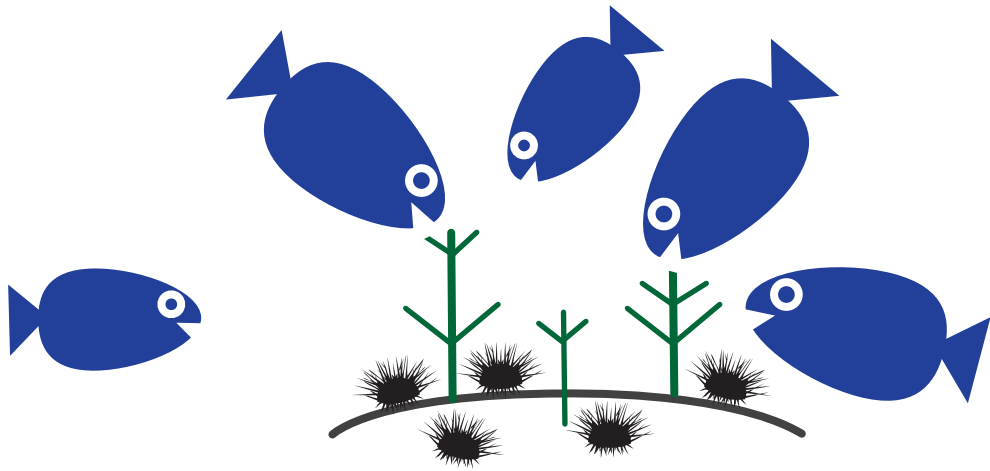


図 8-9-6 ウニ殻施肥材の実証試験結果

參考資料



参考資料 1 用語説明

	用 語	説 明
ア 行	栄養塩 (えいようえん)	海藻や植物プランクトンが成長のために大量に摂り込む窒素(硝酸態、亜硝酸態、アンモニア態)、リン(リン酸態)、ケイ素(ケイ酸態)を指す。鉄などもごく微量に必要で微量栄養塩という。
	鉛直混合 (えんちよくんごう)	海水の成層構造が崩れて上下の水塊が混合すること。表層の海水が水温の低下や塩分上昇によって重くなり深く沈み込むために起こる。
	大型海藻 (おおがたかいそう)	藻場を構成する海藻の種類のうち、コンブ、アラメ・カジメ、ワカメ、ホンダワラ類。
カ 行	海浜流 (かいひんりゅう)	海岸付近での波浪によって海岸線の近くに起こる流れ。波が海岸に近づいて碎波して生じる沿岸流や、沖向きに流れる離岸流をいう。
	殻径(かくけい)	ウニの殻の長径。漁獲制限などに使われ、普通はmm単位まで求める。
	核藻場(かくもば)	周辺に海藻の孢子・遊走子や幼胚を長期間にわたり拡散させるための核となる母藻群落のこと。天然の離れ岩や暗礁に残存する群落のほか、人工的に保護あるいは造成した藻場礁を指すことが多い。
	仮根(かこん)	海藻の根のような部分の総称。外見上は種子植物の根と似ていることもあるが、主な機能は付着で、栄養を吸収する働きはない。
	嵩上げ(かさあげ)	海底に石やブロックなどを積み上げて高くすること。水深を浅くすることにより受光量や海水流動が増大し、海藻が生えやすくなる。
	基質(きしつ)	幼胚や孢子・遊走子が着生するための海底の岩や石、ブロックのこと。
	現存量 (げんぞんりょう)	バイオマスの1つで、ある時点の単位面積当たりのバイオマス量を表す(単位は g/m^2 、 kg/m^2)。
	光量子(こうりょうし)	光には粒子としての性質があり、一粒一粒を光量子という。葉や海底などの 1m^2 に1秒間に当たる光量子の数が光量子束密度(単位は $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)。
	小型海藻 (こがたかいそう)	藻場を構成する海藻の種類のうち、テングサなどの小型の海藻。
	コドラート	藻場調査で用いられるある一定の大きさの方形の枠。
サ 行	子嚢斑(しのうはん)	コンブ・アラメ・カジメ類で、遊走子がつくられる袋(遊走子嚢)が藻体の表面に密集して斑状となる部位のこと。
	種苗系 (しゅびょういと)	海藻の幼体を生やしたクレモナ系でブロックや幹縄に巻きつけて使う。
	照度(しょうど)	平面に光が照射された時の明るさを表す。単位はルクス(lux または l x)。

	用 語	説 明
サ 行	植食動物 (しょくしょくどうぶつ)	ウニ、アワビ、アイゴなど海藻や海草を食べる動物のこと。少なからず動物も食べるものが多い。
	人工海藻(草) (じんこうかいそう)	天然の海藻や海草を模した樹脂製やゴム製の人工物。浮力を持ち、海底に立たせ、有用魚介類の産卵場や稚魚の育成場所として用いられる。
	生殖器床 (せいしょくきしょう)	ホンダワラ類の成熟藻体に生じるこん棒状の構造。表面に無数に形成される小穴(生殖巣)に卵や精子のいずれか(まれに両方)が形成される。
	成長帯・成長点 (せいちょうたい・せいちょうてん)	コンブ・アラメ・カジメ類の茎状部と葉状部の移行部分で、細胞分裂が盛んな部分を指す俗称。正しくは分裂組織という。
	瀬切り(せぎり)	海岸線と直交する方向に網等を設置する方法。もともと伊豆地方のイセエビ漁業者が使用していた用語である。
	石灰藻 (せっかいそう)	細胞壁や細胞間隙に炭酸カルシウムを沈着させる海藻。紅藻のサンゴモ類が代表的であるが、緑藻のサボテングサや褐藻のウミウチワも石灰藻。
	石膏球 (せっこうきゅう)	水の動きがあると石膏が溶けやすくなる性質を利用し、海水流動の大きさを相対的に測定する球状または半球状の石膏。使用前後で重量を比較し、時間当たりの流失量で比較する。
	摂餌(せつじ)	植食動物が海藻を食べること。摂食や採食ともいう。
	摂餌圧(せつじあつ)	植食動物が海藻を食べる程度を表す表現。摂餌圧は、植食動物のサイズ、餌の種類、水温、海水流動等の影響を受ける。
	セディメントトラップ	沈降して堆積する粒子(砂・有機物など)を調査するために海底や海中に設置する捕捉用の容器。
	遷移(せんい)	時間とともに群落が交代すること。海藻では、ふつう短命性から一年生、多年生へ、小型から大型の種へと移り変わる。
	側葉(そくよう)	アラメ・カジメ類の中央葉から左右に伸びる葉片。
タ 行	多年生(たねんせい)	海藻や海草の寿命が2年以上であることを表す表現。寿命が1年の場合は一年生、より短い場合は短命性という。
	潮汐残差流 (ちようせきざんさりゅう)	ある観測期間中の平均を残差流(平均流)と称し、残差流の大きさは、地形や風、鉛直方向の密度差によって変化する。これらの変動要因のうち、地形の影響による潮流の変形や偏りによって生じる残差流を潮汐残差流という。
	潮流(ちようりゅう)	潮汐によって生じる海水の流れ。
	デトリタス	プランクトンの死骸などの有機物。デトリタスともいう。

	用 語	説 明
ハ 行	波動流(はどうりゅう)	波によって起こる流れ。
	被度(ひど)	海藻など底生動植物が被覆する割合(基質面積当たりの占有面積)。数値で表したり、6段階程度の階級で表したりする。
	貧栄養 (ひんえいよう)	窒素やリンなどの栄養塩濃度が低い状態で、河川の流入が少ない外海域で起こりやすい。
	浮泥(ふでい)	動植物の遺骸や排泄・分泌物などの有機物や無機物(鉱物質)の集塊で構成され、海水中を浮遊したり、海底に沈殿したりする。浮泥には有機物を分解する(食べる)微生物も付着しており微小動物の餌になる。
	孢子体(ほうしたい)	世代交代を行う海藻の生活史の中で、孢子や遊走子を生じる無性の体。コンブ・アラメ・カジメ類の場合、食用となる葉状の世代が孢子体で、顕微鏡サイズの雄や雌が配偶体である。
	母藻(ぼそう)	孢子・遊走子・幼胚を得るための成熟した海藻。
ヤ 行	遊走子(ゆうそうし)	鞭毛をもつ孢子で、無性世代の藻体につくられる。コンブ・アラメ・カジメ類では2本の鞭毛をもち、放出後、数時間海水中を泳ぎ回る。
	幼胚(ようはい)	ホンダワラ類の受精卵が胚発生を開始した状態を指す。この状態で母藻の生殖器床から離れ、海底に落下して付着する。

参考資料 2 許可・法律関係

1 漁港区域内の水域を利用してウニを肥育する際の留意点について

漁港区域内の水域は、漁港漁場整備法第3条に基づく漁港施設である泊地として利用される水域とそれ以外の水域（航路をのぞく）とに大別される。

泊地及びそれ以外の水域を利用してウニを肥育する場合、漁港施設である泊地の多くが国の補助金等の交付を受けて取得された施設であること、泊地及びそれ以外の水域は漁港管理者が管理していることから、大きく以下の2つの制約を受ける。なお、最近は漁港施設の有効活用を図るために利用規制の緩和が行われている。

「漁港の有効活用について（漁港施設に関する利用規制の緩和）」水産庁，平成31年4月
https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_thema/attach/pdf/sub60-8.pdf

①漁港漁場整備法及び地方公共団体が定める漁港管理条例等に基づく漁港の保全

漁港の区域内の水域又は公共空地において、水面や土地の一部を占有する場合は、漁港管理者の許可が必要とされている。

このため、漁港区域内の水域を占有してウニの肥育を行おうとする者は、事前に、漁港漁場整備法第39条及び漁港管理者が定める漁港管理条例等に基づき、漁港管理者に対して水面占有の許可を受けなければならない。

漁港漁場整備法（昭和二十五年法律第百三十七号）

（漁港の保全）

第三十九条 漁港の区域内の水域又は公共空地において、工作物の建設若しくは改良（水面又は土地の占有を伴うものを除く。）、土砂の採取、土地の掘削若しくは盛土、汚水の放流若しくは汚物の放棄又は水面若しくは土地の一部の占有（公有水面の埋立てによる場合を除く。）をしようとする者は、漁港管理者の許可を受けなければならない。ただし、特定漁港漁場整備事業計画若しくは漁港管理規程によつてする行為又は農林水産省令で定める軽易な行為については、この限りでない。

2 漁港管理者は、前項の許可の申請に係る行為が特定漁港漁場整備事業の施行又は漁港の利用を著しく阻害し、その他漁港の保全に著しく支障を与えるものでない限り、同項の許可をしなければならない。

3 漁港管理者は、第一項の許可に漁港の保全上必要な条件を付することができる。

4 国の機関又は地方公共団体（港湾法（昭和二十五年法律第二百十八号）に規定する港務局を含む。）が、第一項の規定により許可を要する行為をしようとする場合には、あらかじめ漁港管理者に協議することをもつて足りる。

5 何人も、漁港の区域（第二号及び第三号にあつては、漁港施設の利用、配置その他の状況により、漁港の保全上特に必要があると認めて漁港管理者が指定した区域に限る。）内において、みだりに次に掲げる行為をしてはならない。

一 基本施設である漁港施設を損傷し、又は汚損すること。

二 船舶、自動車その他の物件で漁港管理者が指定したものを捨て、又は放置する

こと。

三 その他漁港の保全に著しい支障を及ぼすおそれのある行為で政令で定めるものを行うこと。

6 漁港管理者は、前項各号列記以外の部分の規定又は同項第二号の規定による指定をするときは、農林水産省令で定めるところにより、その旨を公示しなければならない。これを廃止するときも、同様とする。

7 前項の指定又はその廃止は、同項の公示によつてその効力を生ずる。

8 都道府県知事（地方自治法第二百五十二条の十九第一項の指定都市の区域内にあつては、当該指定都市の長。以下この項において同じ。）（港湾法第五十八条第二項の規定に基づき公有水面埋立法（大正十年法律第五十七号）の規定による都道府県知事の職権を行う港湾管理者を含む。）は、漁港の区域内における公有水面の埋立てについて、同法第二条第一項の規定による免許をしようとするときは、漁港管理者の同意を得なければならない。ただし、次の各号のいずれかに該当するものについては、この限りでない。

一 特定漁港漁場整備事業計画によつてする埋立て

二 前号に掲げるもののほか、漁港施設の整備のためにする埋立て

三 前二号に掲げるもののほか、第一種漁港、第二種漁港又は第四種漁港の区域内の埋立てであつて当該漁港の利用を著しく阻害しないもの

〇〇県（市町村）漁港管理条例

（占用の許可等）

第〇条 甲種漁港施設（水域施設を除く。）を占用し、又は当該施設に定着する工作物を新築し、改築し、増築し、若しくは除去しようとする者は、知事（市町村長）の許可を受けなければならない。

2 知事（市町村長）は、前項の許可に甲種漁港施設の利用上必要な条件を附することができる。

3 第1項の占用期間は、〇月（工作物の設置を目的とする占用にあつては〇年）を超えることができない。ただし、知事（市町村長）が特別の必要があると認めた場合においては、この限りでない。

なお、漁港区域内の水域の利用については、上記以外にも地方公共団体の規則等で規制されている可能性もある。

②国の補助金等により取得した施設に係る処分の制限

泊地の整備に対して国の補助金等が使われている場合、泊地を目的外に使用するため処分するには国の承認が必要とされている。このため、例えば、泊地の一部をウニ肥育水域として恒久的に利用する場合は、その泊地を整備した補助事業者は、事前に農林水産大臣に対し財産処分（一部泊地の処分）の申請を行い、その承認を受けなければならない。この場合、農林水産大臣から補助事業者に対し、補助金返還が承認の条件として付される

場合がある。

補助金等に係る予算の執行の適正化に関する法律（昭和三十年法律第百七十九号）
（財産の処分の制限）

第二十二條 補助事業者等は、補助事業等により取得し、又は効用の増加した政令で定める財産を、各省各庁の長の承認を受けないで、補助金等の交付の目的に反して使用し、譲渡し、交換し、貸し付け、又は担保に供してはならない。ただし、政令で定める場合は、この限りでない。

漁港管理者は地方公共団体であり、補助事業者についても地方公共団体である場合が多い。そのため、泊地でウニの肥育を行う場合は、まず、漁港の所在する地方公共団体の漁港施設管理担当部局に相談することが望ましい。

2 一般市民参加に当たっての法律上の留意事項について

ウニやアワビ等の磯根資源を対象とする漁業は、漁業法（昭和 24 年法律第 267 号）第 60 条第 5 項に定める第 1 種共同漁業（藻類、貝類又は農林水産大臣の指定する定着性の水産動物を目的とする漁業）に該当し、漁業協同組合等が都道府県知事から共同漁業権の免許を受け、組合や関係地区の組合員が共同で漁場の管理を行い、漁業自体も組合員によって営まれている。

磯焼けによりウニの身入りが悪くなったりアワビの資源量が減少したりした場合は、漁場を管理する組合や関係地区の組合員が共同で対策に取り組むことが望まれる。しかし、磯焼けの程度が深刻で漁業者主体の取り組みだけでは対策が困難な場合で、漁業者が他者の協力を得たいと望み、かつ、一般市民も海洋環境を改善するため漁場管理に協力したいと要望し、相互の利害が一致する場合には、漁業者は一般市民の協力を得て磯焼け対策に取り組むことができる。

磯焼け対策としてウニ除去を行う場合、漁場管理を目的として行うこと、及び一般市民の協力を得て行うことについて、実施地区の共同漁業権を有する漁業協同組合の総会又は関係地区ごとの総会の部会等であらかじめ了承を得ておくべきである。総会等では了承を得るため、事前に、参加する一般市民の氏名・住所を確認し、漁場管理の協力として漁業者が指示する活動以外の行為はしないという誓約書を書いてもらう必要が生じる場合もある。

また、一般市民の協力を得て磯焼け対策活動を行うことについて、事前に都道府県の漁業調整担当部局及び海上保安部署に説明しておくべきである。

ウニは、磯焼け現象の原因生物であるだけでなく、第 1 種共同漁業の対象種であることから、ウニを除去する行為については関係法令によって制約を受ける。上段に示した手続きを経て一般市民の協力を得たウニ除去活動を行う場合を例に、以下に関係する法令等の内容を挙げる。

①漁業権侵害に対する考え方

漁業権のある組合員や漁業権が免許された組合の行政資格のある組合員が、その漁業権の内容となっている漁業を営む権利を第三者が侵害することは、民法上、権利者の同意なくして許されない。加えて、これらの権利を侵害した者に対しては漁業法第 195 条に基づ

き漁業権侵害の罰則が適用される。しかし、漁業権侵害罪は親告罪なので、上記のように当該活動が共同漁業権を有する漁業協同組合の総会等で正式な手続きを経て了承されていれば、問題になることはないと考えられる。

②都道府県漁業調整規則に対する考え方

各都道府県が定めた漁業調整規則には、「保護水面における採捕の制限」、「採捕の禁止期間」、「採捕の体長制限」、「漁具漁法の制限及び禁止」等の規定があるため、磯焼け対策に取り組む場所、時期、除去するウニの体長、除去の手法等がこれらの規定に抵触していないか確認する必要がある。また、「遊漁者等の漁具漁法の制限」に一般市民が行うウニ除去が抵触しないか確認する。これらの規定は、漁業権者の同意が得られていても違法行為となるので注意が必要である。

漁業調整規則に「試験研究等の適用除外」という規定があり、試験研究、教育実習又は増養殖用の種苗（種卵を含む）の供給等のための水産動植物の採捕については、水産動植物の種類、大きさ、採捕の期間もしくは区域、使用する漁具・漁法の制限又は禁止の事項等について、知事の許可を受け特別採捕許可を得られれば適用除外となり、実施することが可能となる。例えば、都道府県の試験研究機関や漁業協同組合の研究部局が主体となり、ウニ除去による磯焼け改善効果を科学的に検証するような活動を行う場合は、上段の規定に該当する場合でも、特別採捕許可を得ることができれば実施可能となる。

なお、漁業調整規則の運用については地域によって異なっており、特別採捕許可の基準についても各都道府県によって異なっているので、円滑に活動を実施するためには、都道府県関係部局と連絡を密にすることが重要である。

③潜水土免許の必要性について

労働安全衛生法関係では、潜水土免許を受けた者でなければ、業務で潜水器を用い、かつ、ボンベからの給気を受けて、水中において行う業務につくことができないこととされており、これに違反した場合は、六月以下の懲役又は五十万円以下の罰金とされている。

しかも、行為者のみでなく、法人等に対しても罰金が科される規定となっている。

また、高気圧作業安全衛生規則でも「事業者は、潜水土免許を受けた者でなければ、潜水業務につかせてはならない。」とされているが、こちらには罰則はない。

一般市民が、ボランティアとしてウニ除去作業に参加する場合は、業務とはいいがたいので、潜水土免許は必要ないと考えられるが、あらかじめ、労働安全衛生法関係部局に相談しておくことが望ましい。

労働安全衛生法（昭和四十七年法律第五十七号）

（就業制限）

第六十一条 事業者は、クレーンの運転その他の業務で、政令で定めるものについては、都道府県労働局長の当該業務に係る免許を受けた者又は都道府県労働局長の登録を受けた者が行う当該業務に係る技能講習を修了した者その他厚生労働省令で定める資格を有する者でなければ、当該業務に就かせてはならない。

労働安全衛生法施行令（昭和四十七年政令第三百十八号）

（就業制限に係る業務）

第二十条 九 潜水器を用い、かつ、空気圧縮機若しくは手押しポンプによる送気又はボンベからの給気を受けて、水中において行う業務

労働安全衛生規則（昭和四十七年労働省令第三十二号）

（就業制限についての資格）

第四十一条 法第六十一条第一項に規定する業務につくことができる者は、別表第三の上欄に掲げる業務の区分に応じて、それぞれ、同表の下欄に掲げる者とする。

別表第三 （第四十一条関係）

業務の区分	業務につくことができる者
令第二十条第九号の業務	潜水土免許を受けた者

労働安全衛生法（昭和四十七年法律第五十七号）

（罰則）

第一百九条 次の各号のいずれかに該当する者は、六月以下の懲役又は五十万円以下の罰金に処する。

一 第十四条、第二十条から第二十五条まで、第二十五条の二第一項、第三十条の三第一項若しくは第四項、第三十一条第一項、第三十一条の二、第三十三条第一項若しくは第二項、第三十四条、第三十五条、第三十八条第一項、第四十条第一項、第四十二条、第四十三条、第四十四条第六項、第四十四条の二第七項、第五十六条第三項若しくは第四項、第五十七条の四第五項、第五十七条の五第五項、第五十九条第三項、**第六十一条第一項**、第六十五条第一項、第六十五条の四、第六十八条、第八十九条第五項（第八十九条の二第二項において準用する場合を含む。）、第九十七条第二項、第一百五条又は第八十条の二第四項の規定に違反した者

（両罰規定）

第二百二十二条 法人の代表者又は法人若しくは人の代理人、使用人その他の従業者が、その法人又は人の業務に関して、第百十六条、第百十七条、**第百十九条**又は第二百十条の違反行為をしたときは、行為者を罰するほか、その法人又は人に対しても、各本条の罰金刑を科する。

高気圧作業安全衛生規則（昭和四十七年労働省令第四十号）

（潜水土）

第十二条 事業者は、潜水土免許を受けた者でなければ、潜水業務につかせてはならない。

(潜水士免許の根拠法令)

高気圧作業安全衛生規則（昭和四十七年労働省令第四十号）

労働安全衛生法（昭和四十七年法律第五十七号）の規定に基づき、及び同法を実施するため、高気圧障害防止規則を次のように定める。

第六章 免許

第二節 潜水士免許（第五十二条―第五十五条）

（免許を受けることができる者）

第五十二条 潜水士免許は、次の者に対し、都道府県労働局長が与えるものとする。

- 一 潜水士免許試験に合格した者
- 二 その他厚生労働大臣が定める者

（試験科目等）

第五十四条 潜水士免許試験は、次の試験科目について、学科試験によつて行なう。

- 一 潜水業務
- 二 送気、潜降及び浮上
- 三 高気圧障害
- 四 関係法令

参考文献・引用文献

第2章

2. 1

桐山ら(2012)：長崎県沿岸でみられる南方系ホンダワラ類 7 種の培養条件下における卵放出，
長崎県総合水産試験場研究報告，38，1-9.

長崎県水産部(2018)：藻場造成の準備，長崎県における磯焼け対策ガイドライン(平成 30 年改訂版)，1-9.

田中(2006)：南日本における磯焼けと藻場回復，水産工学，43，47-52.

寺田ら(2010)：南方系海藻、熱帯・亜熱帯性海藻とは，本邦南西水域の環境変化に対応した藻場・回復技術の高度化(平成 19～21 年度)研究成果報告書，3.

徳田(1987)：海藻の生育環境，海藻資源養殖学(徳田ら編)，緑書房，13-33.

2. 2

藤田(2001)：氷見市・高岡市沿岸の海藻と藻場，氷見漁業協同組合.

2. 3

大野(1996)：電力発電所と共生する藻場の生態系，電力土木，262，1-6.

小路(2009)：内海域ガラモ場の仔稚魚育成場としての生物学的機能の定量的評価法の開発，藻場資源評価及び管理手法の確立 平成 20 年度藻場資源調査等推進事業成果報告書，水産総合研究センター，29-38.

環境省(2020)：インターナルカーボンプライシング活用ガイドライン.

水産庁(2003)：藻場による水質浄化，平成 14 年度 多面的機能評価等調査委託事業 多面的機能評価等にかかる調査等報告書，87-89.

水産庁 (2011)：藻場による水質浄化，平成 22 年度 水産業・漁村の有する多面的機能に関する調査報告書，38-42.

https://www.maff.go.jp/j/budget/yosan_kansi/sikkou/tokutei_keihi/seika_h22/suisan_ippan/pdf/60100208_02.pdf

ニューラル(2020)：炭素排出権価格、14 年ぶりの高値で 1t 当たり 30 ユーロ超え。投資家やエネルギー企業の関心高まる.

<https://sustainablejapan.jp/2020/07/18/eu-etc-carbon-price/52046>.

2. 4

中原(1993)：マコンブ，藻類の生活史集成第 2 巻褐藻・紅藻類(堀編)，内田老鶴圃，126-127.

Maegawa, M(1990)：Ecological studies of *Eisenia bicyclis* (Kjellman) Setchell and *Ecklonia cava* Kjellman, Bull Fac Bioresources Mie Univ, 4, 73-145.

名畑ら(1981)：利尻島におけるフシスジモク *Sargassum confusum* の生態，北海道立水産試験場報告，23，53-64.

桐原ら(2003)：ヨレモク，藻場の海藻と造成技術(能登谷編著)，成山堂書店，27-47.

村瀬(2005)：ノコギリモク群落を構成する成体群と幼体群の生態的特性，月刊海洋，37，488-

493.

藤田(2004)：テングサ類，有用海藻誌(大野編著)，内田老鶴圃，201-225.

2. 5

吉村ら(2009)：長崎市沿岸に広がる“春藻場”とは？－その実態と今後の課題について－，月刊海洋，41，629-636.

中嶋(2010)：藻場評価表とその使用方法，本邦南西水域の環境変化に対応した藻場・回復技術の高度化(平成 19～21 年度)研究成果報告書，91-97.

村瀬ら(2018)：水温の変動が藻場構成種および植食性魚類に与える影響，海洋と生物，40，226-232.

吉村(2011)：「春藻場」の造成と今後の課題について，水産開発，108，11-15.

土屋ら(2011)：鹿児島湾桜島におけるホンダワラ属(ヒバマタ目)藻類 4 種，マメタワラ，ヤツマタモク，コブクロモク，キレバモクの季節的消長と生育環境，藻類，59，1-8.

八谷ら(2011)：長崎県西彼杵半島西岸におけるホンダワラ属 3 種の季節的消長，藻類，59，139-144.

中村(2012)：温暖化に伴う海藻構成種の変化が土佐湾の魚類に及ぼす影響，海洋と生物，34，319-324.

コラム 2-2-1

堀(2017)：ブルーカーボンとは，ブルーカーボン－海洋における CO₂ 隔離・貯留とその活用－(堀ら編著)，地人書館，1-32.

堀(2019)：ブルーカーボンを利用した気候変動の緩和適応策の実践－海藻草場を利用した増養殖の展開－，2019 年日本水産工学会学術講演会学術講演論文集，15-16.

国立環境研究所地球環境研究センター (2020)：温室効果ガス排出量及び吸収量の推移，日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2020 年，温室効果ガスインベントリオフィス(編)，2-1-2-22.

吉田ら(2017)：日本沿岸の藻場による有機炭素の生成，ブルーカーボン－海洋における CO₂ 隔離・貯留とその活用－(堀ら編著)，地人書館，65-92.

コラム 2-2-2

Agatsuma Y *et al.*(2002)：Annual life cycle and productivity of the brown alga *Sargassum yezoense* off the coast of the Oshika Peninsula, Japan, SUISANZOSHOKU, 50, 25-30.

蒲原ら(2009)：伊勢湾東部沿岸サガラメ群落における年間純生産量と炭素・窒素の年間吸収量，日本水産学会誌，75，1027-1035.

駒澤ら(2017)：暖海性コンブ目藻類アントクメのパンチ法および光合成法による純生産量の比較，日本水産学会誌，83，349-360.

村岡ら(2003)：エゾノネジモク，藻場の海藻と造成技術(能登谷編著)，成山堂書店，75-81.

Murase N *et al.*(2000)：Productivity of a *Sargassum macrocarpum* (Fucales, Phaeophyta)

- population in Fukawa Bay, Sea of Japan, Fish Sci, 66, 270-277.
- 村瀬ら(2017) : 長崎県見崎町沿岸におけるキレバモク群落の生産力, 水産大学校研究報告, 65, 239-244.
- 武蔵ら(1993) : コンブの生活様式と生産量に関する研究, 平成 4 年度岩手県南部栽培漁業センター事業報告, 75-79.
- 名畑ら(1996) : 2 年目オニコンブの年間純生産量, 北海道立水産試験場研究報告, 49, 1-5.
- 中林ら(2002) : 男鹿半島沿岸におけるスギモク群落の季節変化と生産力, 日本水産学会誌, 68, 659-665.
- 中井ら(1993) : 天然ワカメの生活様式と生産量に関する研究, 平成 4 年度岩手県南部栽培漁業センター事業報告, 80-84.
- 中脇ら(2001) : 女川湾における褐藻マコンブ群落の生活年周期と生産力, 水産増殖, 49, 439-444.
- 谷口ら(1978) : 能登飯田湾の漸深帯における褐藻ヤツマタモクとノコギリモクの生態, 日本海区水産研究所研究報告, 29, 239-253.
- 谷口ら(1988) : 松島湾におけるアカモク群落の周年変化と生産力, 東北区水産研究所研究報告, 50, 59-65.
- 富永ら(2004) : 高知県土佐湾産カジメにおける葉状部の生産量と葉状部基部の大きさの季節変化, 藻類, 52, 13-19.
- 津田ら(2001) : 北海道積丹半島西岸におけるフシスジモク群落の生活年周期と生産力, 水産増殖, 49, 143-149.
- Yatsuya K *et al.* (2005) : Annual net production of the five Sargassaceae species in Yoro, western Wakasa Bay, Sea of Japan, Fish Sci, 71, 1098-1106.
- 八谷ら(2007) : 京都府沿岸域の環境特性の異なる生育地でのホンダワラ科海藻の年間純生産量とその比較, 日本水産学会誌, 73, 880-890.
- 八谷ら(2014) : 長崎県壱岐市郷ノ浦町地先におけるクロメ群落の現存量および生産量の季節変化, Algal Resources, 7, 67-77.
- Yokohama Y *et al.* (1987) : Productivity of the *Ecklonia cava* community in a bay of Izu Peninsula on the Pacific coast of Japan, Bot Mag Tokyo, 100, 129-141.
- 吉田(1970) : アラメの物質生産に関する 2・3 の知見, 東北区水産研究所研究報告, 30, 107-112.

第3章

- Akita S *et al.* (2020) : DNA metabarcoding analysis of macroalgal seed banks on shell surface of the limpet *Niveotectura pallida*, Eur J Phycol, 55, 467-477.
- Burkepile DE *et al.* (2006) : Herbivore vs. nutrient control of marine primary producers: context-dependent effects, Ecology, 87, 4128-3139.
- Filbee-dexter K *et al.* (2014) : Sea urchin barrens as alternative stable states of collapsed

kelp ecosystems, Mar Ecol Prog Ser, 495, 1-25.

藤田(1995)：磯焼け地帯に生育する無節サンゴモ，月刊海洋，27, 60-65.

藤田(1996)：磯焼け，21 世紀の海藻資源－生態機構と利用の可能性－(大野編著)，緑書房，52-86.

藤田(2002)：磯焼け，21 世紀初頭の藻学の現況(堀ら編著)，日本藻類学会，102-105.

Fujita D (2004) : Nutrients and snail grazing affect recovery of algal vegetation on cobbles transplanted from a barren ground in southwestern Hokkaido to aquaria, Japan J Phycol, 52, 23-32.

Fujita D *et al.* (2006) : Distribution and recent reduction of *Gelidium* beds in Toyama Bay, Japan J Appl Phycol, 18, 591-598.

藤田(2006)：藻場造成，海洋深層水の多面的利用－養殖・環境修復・食品利用－(伊藤ら編著)，恒星社厚生閣，79-90.

海洋生物環境研究所(2009)：水産庁委託平成 20 年度藻場資源調査等推進委託事業，藻場資源の長期変遷調査報告書.

環境庁自然保護局ら(1994)：第 4 回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書(干潟・藻場・サンゴ礁調査) 第 2 巻 藻場.

河尻ら(1981)：下田市田牛地先における磯焼け現象とアワビ資源の変動，静岡県水産試験場研究報告，15, 19-30.

Ling S *et al.* (2014) : Global regime shift dynamics of catastrophic sea urchin overgrazing, Phil Trans R Soc B 370, 20130269.

Reed MC *et al.* (2011) : Wave disturbance overwhelms top-down and bottom-up control of primary production in California kelp forests, Ecology, 92, 2108-2116.

水産庁研究部研究課(1981)：昭和 55 年度指定調査研究 海中構築物周辺の水産生物の資源生態に関する事前研究報告書(海藻関係).

Vergés A *et al.* (2014) : The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts, Proc R Soc B, 281, 20140846.

遠藤(1903)：海藻磯焼け調査報告，水産調査報告，12, 1-33.

遠藤(1911)：海産植物学，博文館.

コラム 3-8-1

Kawamata *et al.* : Trophic cascade in a marine protected area with artificial reefs: spiny lobster predation mitigates urchin barrens. Ecological Applications. (in press)

コラム 3-8-2

Fujita D *et al.* (2013) : Are there any top-down controls in *Diadema* barrens in the warm temperate Pacific coasts of Japan?, Cah Biol Mar, 54, 615-624.

第4章

4. 1

- 吾妻(1991)：キタムラサキウニ，漁業生物図鑑北のさかなたち(長澤ら編)，北日本海洋センター，330-333.
- 吾妻(1997)：キタムラサキウニの個体群動態に関する生態学的研究，北海道立水産試験場研究報告，51，1-66.
- 吾妻(2001)：ウニ・グルメの水産学1，ヒトデ学(本川編著)，東海大学出版会，177-198.
- 秋本ら(2008)：宗像市大島におけるガンガゼ類の分布と駆除，福岡県水産海洋技術センター研究報告18，77-83.
- Arakaki Y *et al.* (1991) : Physiological adaptations and reproduction of the four types of *Echinomerta mathaei* (Blainville), Biology of Echinometra (eds Yanagisawa *et al.*), A.A. Balkema, 105-112.
- Chow S *et al.* (2016) : DNA barcoding and morphological analyses revealed validity of *Diadema clarki* Ikeda, 1939 (Echinodermata, Echinoidea, Diadematidae), ZooKeys, 585, 1-16.
- 張(2019)：日本沿岸に出現するガンガゼ属3種の見分け方，水生動物，2019，1-7.
- 道津ら(2002)：長崎県松島周辺の海藻植生に及ぼすガンガゼ類の食圧の影響について，海洋生物環境研究所研究報告，4，1-10.
- Feng W *et al.* (2019) : Reproduction and population structure of the sea urchin *Heliocidaris crassispina* in its newly extended range: The Oga Peninsula in the Sea of Japan, northeastern Japan, PLoS One, e0209858.
- Fujisawa H *et al.* (1990) : Correlation of embryonic temperature sensitivity of sea urchins with spawning season, J Exp Mar Biol Ecol, 136, 123-139.
- 藤田(1994)：1994年の夏に富山湾浅海域で見られた猛暑の影響．富水試だより，61，16-19.
- 藤田ら(2008)：国内のウニ焼けの現状－2005年の全国アンケート調査から－，磯焼けを起こすウニ－生態・利用から藻場回復まで－(藤田ら編著)，成山堂書店，14-21.
- Fujita D *et al.* (2013) : Are there any top-down controls in *Diadema* barrens in the warm temperate Pacific coasts of Japan?, Cah Biol Mar, 54, 615-624.
- 福田(2013)：本県沿岸の海域特性を考慮した藻場造成技術の確立，平成24年度宮崎県水産試験場事業報告，80-85.
- 平塚ら(2009)：美ら島のナガウニに学ぶ，ウニ学(本川編著)，東海大学出版会，319-338.
- 堀井(1997)：ムラサキウニの生殖年周期と産卵月齢周期性，日本水産学会誌，63，17-22.
- 今井(1980)：三浦市沿岸のウニ類について－I 城ヶ島における分布、環境、成長および生殖巣の観察．神奈川県水産試験場研究報告，1，35-49.
- 今井ら(1986)：ムラサキウニの食性，水産増殖，34，147-155.
- 小井ら(2008)：ガンガゼの有効活用を目指して，磯焼けを起こすウニ－生態・利用から藻場回復まで－(藤田ら編)，成山堂書店，241-247.

- 石川(2018)：磯焼け海域においてガンガゼの摂食圧が海藻群集に及ぼす影響に関する研究，博士論文 三重大学大学院生物資源学研究科。
- 石川(2020)：和歌山県砥崎海域において 2018 年に発生したウニ類の大量死，ニッチェ・ライフ，7，53-55.
- 伊東(1984)：ウニ幼生に対する付着珪藻の変態促進効果，付着生物研究，5，15-18.
- 伊藤(2008)：ウニの日周行動，磯焼けを起こすウニ生態・利用から藻場回復まで－(藤田ら編)，成山堂書店，82-86.
- 海洋生物環境研究所研究(2012)：平成 23 年度 火力・原子力関係環境審査調査(温排水生物群集影響調査)報告書。
- Kamura S *et al.*(1986)：Algal communities within territories of the damselfish *Stegastes apicalis* and the effects of grazing by the sea urchin *Diadema* spp. in the Gulf of Thailand, *Galaxea*, 5, 175-193.
- 金丸ら(2007)：陸上水槽における植食性ベントス 5 種の海藻摂餌量の比較とその標準化による天然海域における摂食圧推定の試み，佐賀県玄海水産振興センター研究報告，4，15-20.
- 金子ら(2009)：ガンガゼ *Diadema setosum* 生殖腺の呈味特性，日本水産学会誌，75，689-694.
- 完山ら(2008)：各地のウニ焼け 3.5 館山湾沖ノ島／千葉県，磯焼けを起こすウニ生態・利用から藻場回復まで－(藤田ら編)，成山堂書店，44-50.
- 川俣(2008)：水温・流動環境とウニの摂餌行動，磯焼けを起こすウニ生態・利用から藻場回復まで－(藤田ら編)，成山堂書店，91-100.
- 川村(1964)：浦河町東栄のキタムラサキウニについて，北水試月報，21，8-22.
- 川村(監)(1993)：うに：増養殖と加工・流通，北海水産新聞社。
- 菊地ら(1975)：アワビ餌料海藻の造林技術開発(江島実験漁場における造林試験)，浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究 昭和 49 年度報告資料集，10-31.
- 橘高ら(1983)：ウニの摂餌行動の解析，付着生物研究，4，5-9.
- 清本ら(2003)：暖流域における人工礁の藻場消失とムラサキウニの動態からの密度管理指標の検討，水産基盤整備調査委託事業 平成 15 年度報告書，0004，1-10.
- 清本(2011)：長崎県橘湾沿岸の転石海岸におけるムラサキウニの個体群動態，特に台風が及ぼす影響について，日本ベントス学会誌，66，48-60.
- 清本ら(2011)：飼育環境下におけるガンガゼ類稚ウニの成長，平成 23 年度日本水産学会春季大会講演要旨集，183.
- 小澄ら(2005)：沿岸漁業担い手活動促進事業(3)ガンガゼの畜養試験，平成 16 年度佐賀県玄海水産振興センター業務報告，182-184.
- 倉島ら(2014)：三重県早田浦の磯焼け海域におけるガンガゼ除去の影響，日本水産学会誌，80，561-571.
- 町口ら(1994)：キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* の餌育下における摂餌選択性，北海道区水産研究所研究報告，35-43.

- 町口(1997)：磯焼けに及ぼす棘皮動物の餌料海藻摂餌選択性と摂餌圧の影響，磯焼けの発生機構の解明と予測技術の開発 研究成果，317，49-59.
- 松井(1966)：ウニの増殖，水産増養殖叢書，12.
- 西村(1972)：海洋における生物群集の構造・分布・維持，海の生態学(沼田監)，築地書館，188-295.
- 丹羽ら(2020)：生化学的アプローチによるガンガゼ *Diadema setosum* の天然餌料の検討，日本水産学会誌，86，9-19.
- 野口ら(2012)：ガンガゼ *Diadema setosum* の採卵と飼育，佐賀県玄海水産振興センター研究報告，5，43-45.
- 佐野ら(1999)：アラメ海中林とキタムラサキウニの生活史，磯焼けの機構と藻場修復(谷口編)，恒星社厚生閣，73-83.
- 重井(1994)：ウニ類，海辺の生きもの(奥谷編著)，山と溪谷社，302-312.
- 重井(1995)：ウニ綱，原色検索日本海岸動物図鑑〔Ⅱ〕(西村編著)，保育社，538-552.
- 諏訪ら(2004)：和歌山県沿岸におけるウニ類と磯焼け(要旨)，平成16年度瀬戸内海ブロック水産業関係試験研究推進会議 生産環境・漁業生産合同部会議事要録，131-134.
- 田井野ら(2008)：里海づくりを目指した藻場再生手法の確立，平成18年度高知県水産試験場事業報告書，100-108.
- 田中ら(2019)：ウニハンドブック，文一総合出版.
- 辻ら(1989)：若狭湾西部沿岸海域でのキタムラサキウニの分布と生殖巣の季節的变化，京都海洋センター研究報告，12，15-21.
- 辻ら(1994)：若狭湾西部沿岸海域におけるキタムラサキウニの大量へい死現象，京都府立海洋センター研究報告，17，51-54.
- 内場(1985)：藻食性磯動物の摂餌量に関する研究—I 餌料種類別摂餌量及び年齢別年間摂餌量の検討，昭和58年度福岡県福岡水産試験場研究業務報告，67-77.
- 臼井(2019)：キャベツでウニを育てる，日本水産資源保護協会季報，561，3-6.
- 渡邊ら(2015)：ムラサキウニの口器中間骨による年齢査定，長崎県総合水産試験場研究報告，41，21-25.
- 山下ら(1996)：ムラサキウニの輸送方法に関する研究，熊本県水産研究センター研究報告，3，36-38.
- 山崎ら(1993)：長崎県平戸島産ムラサキウニの生殖周期，西海区水産研究所研究報告，71，33-40.
- 柳沢(1982)：海産動物(特にウニ)，実験生物学講座1 生物材料調製法(江上ら編)，丸善，145-158.
- Yatsuya K *et al.* (2004a)：Density, growth and reproduction of the sea urchin *Anthocidaris crassispina* (A. Agassiz) in two different adjacent habitats, the *Sargassum* area and *Corallina* area, Fish Sci, 70, 233-240.
- Yatsuya K *et al.* (2004b)：Diet and stable isotope ratios of gut contents and gonad of the sea urchin *Anthocidaris crassispina* (A. Agassiz) in two different adjacent habitats, the

Sargassum area and *Corallina* area, Fish Sci, 70, 285-292.

4. 2

藤田ら(編)(2006)：海藻を食べる魚たち—生態から利用まで—，成山堂書店。

具島(1981)：口永良部島における磯魚の摂餌生態に関する研究，広島大学生物生産学部紀要，20, 35-63.

日高ら(2016)：筑前海における藻場の現状および藻場造成に関する研究，福岡県水産海洋技術センター研究報告，26, 47-55.

池原(2006)：日本の流れ藻につく魚類の発育段階別出現種と付随量及び利用の実態，月刊海洋，38, 761-772.

門田ら(2017)：植食性魚類ノトリスズミ *Kyphosus bigibbus* の消波ブロックへの蝸集とその季節変化，日本水産学会誌，83, 74-76.

神田(1996)：ニザダイ科魚類の摂食に関わる機能形態学研究，東京大学博士(農学)論文 甲第11940号.

片山ら(2009)：千葉県館山湾におけるアイゴ *Siganus fuscescens* の年齢と成長，水産増殖，57, 417-422.

木村(2006)：造成藻場も養殖海藻も食われる，海藻を食べる魚たち—生態から利用まで—(藤田ら編)，62-76，成山堂書店。

桐山ら(1999)：長崎県下で1998年秋に発生したアラメ類の葉状部欠損現象，水産増殖，47, 319-323.

桐山ら(2001)：藻食性魚類数種によるクロメの摂食と摂食痕，水産増殖，49, 431-438.

桐山ら(2008)：高水温対応型海藻増養殖技術開発研究，平成19年度長崎県総合水産試験場事業報告，96-102.

桐山ら(2008)：新生海の森づくり総合対策事業，平成19年度長崎県総合水産試験場事業報告，103-116.

清本ら(2016)：長崎県壱岐市郷ノ浦町地先において観察された夏季の高水温と植食性魚類によるカジメ類の消失，水産研究成果情報。

清本ら(2019)：海藻を食べる魚ノトリスズミの超音波発信器によるバイオテレメトリー調査，西海区水産研究所主要研究成果集，23, 5.

小池ら(2020)：初島産ニザダイの食性，海藻資源，45, 24-37.

Kume G *et al.* (2010)：Life history characteristics of the protogynous parrotfish *Calotomus japonicus* from northwest Kyushu, Japan, Ichthyol Res, 57, 113-120.

桑原(2015)：魚の食害対策に係わる技術と課題，平成26年度日本水産工学会学術講演論文集，51, 253-257.

増田ら(2015)：御前崎海域での設置型水中カメラを用いた藻食性魚類によるカジメ食害状況の24時間観察，水産増殖，55, 150-151.

中坊(編監)(2018)：日本魚類館，小学館。

- 中山ら(1999)：南伊豆・中木における藻食性魚類 3 種によるカジメの採食，藻類，47，105-112.
- 野田ら(2004)：アイゴの採食によるコンブ目大型褐藻類の脱落と群れサイズの影響，平成 16 年度日本水産工学会学術講演会論文集，133-134.
- 野田ら(2011)：響灘蓋井島のガラモ場に出現したアイゴ成魚の餌利用－大型褐藻類の採餌との関連－，日本水産学会誌，77，1008-1019.
- 野田ら(2016)：飼育下におけるノトリスズミの日間摂餌量の見積と採餌日周性の検討，水産大学校研究報告，64，219-225.
- Noda T *et al.* (2016)：Grey sea chub, *Kyphosus bigibbus*, is able to browse seaweed at night under rearing condition, Aquacult Sci, 64, 209-213.
- 野田ら(2018)：短期間で発生したカジメ科海藻の磯焼けにおけるアイゴの食痕の特徴，水産大学校研究報告，66，111-122.
- Ogino Y *et al.* (2019)：Using optimised otolith sectioning to determine the age, growth and age at sexual maturity of the herbivorous fish *Kyphosus bigibbus* with a comparison to using scales, Mar Freshw Res, 71, 855-867.
- 奥野(1964)：ニザダイの群れ行動，日本生態学会誌，14，189-195.
- 尾上ら(2005)：藻食性魚類による大型褐藻類に対する食害の実態把握に関する研究(大分県)，藻食性魚類の大型褐藻類に対する食害の実態解明 総括報告書(平成 13～16 年度).
- 渋谷ら(1994)：口永良部島におけるブダイの繁殖行動，生物生産学研究，33，37-41.
- 水産庁(2015)：改訂 磯焼け対策ガイドライン.
- 竹内(2007)：ニザダイ、ブダイによるサガラメの食害についての一考，徳島水研だより，61.
- Terazono Y *et al.* (2012)：Fish response to expanding tropical *Sargassum* beds on the temperate coasts of Japan, Mar Ecol Prog Ser, 464, 209-220.
- 山田ら(2006)：アイゴの初期生態の南北差，水産工学，43，35-39.
- 山田ら(2009)：アイゴの耳石微量元素濃度の発育に伴う変化とその海域間比較，水産海洋研究，73，8-15.
- 山口ら(2006)：バイオテレメトリー手法によるアイゴとノトリスズミの行動解析，日本水産学会誌，72，1046-1056.
- Yamaguchi A *et al.* (2011)：Spawning season and size at sexual maturity of *Kyphosus bigibbus* (Kyphosidae) from northwest Kyushu, Japan, Ichthyol Res, 58, 283-287.
- 山本ら(2020)：瀬戸内海播磨灘におけるアイゴの漁獲量の年・季節変動，水産増殖，68，287-292.
- 山内ら(2006)：アイゴ(*Siganus fuscescens*)の摂餌生態と音刺激による摂餌抑制効果について，水産工学，43，65-68.
- Yatsuya K *et al.* (2015)：Seasonal changes in dietary composition of the herbivorous fish *Kyphosus bigibbus* in southwestern Japan, Fish Sci, 81, 1025-1033.
- 吉村ら(2005)：藻食性魚類の藻場に及ぼす影響評価のための基礎資料，藻食性魚類の大型褐藻

類に対する食害の実態解明総括報告書 平成 13～16 年度.

吉村ら(2006)：変わりゆく九州西岸の藻場，海藻を食べる魚たち－生態から利用まで－(藤田ら編)，33-51, 成山堂書店.

吉村ら(2013)：イスズミ類の行動特性の解明と藻場への影響度の評価，平成 24 年度水産生物の生活史に対応した漁場環境形成推進委託事業のうち各生活史段階に応じた漁場機能を強化する技術の開発・実証報告書，1-1-1-14.

コラム 4-2-1

山内ら(2006)：アイゴ(*Siganus fuscescens*)の摂餌生態と音刺激による摂餌抑制効果について，水産工学，43，65-68.

コラム 4-2-2

野田ら(2004)：アイゴの採食によるコンブ目大型褐藻類の脱落と群れサイズの影響，平成 16 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，133-134.

コラム 4-2-4

門田ら(2017)：植食性魚類ノトイスズミ *Kyphosus bigibbus* の消波ブロックへの蟠集とその季節変化，日本水産学会誌，83，74-76.

吉村ら(2015)：イスズミ類の行動特性の解明と藻場への影響度の評価，平成 26 年度水産生物の生活史に対応した漁場環境形成推進委託事業のうち各生活史段階に応じた漁場機能を強化する技術の開発・実証報告書.

4. 3

浅野ら(1990)：コンブ類繁茂に対する小型植食巻貝の影響，東北区水産研究所研究報告，52，65-71.

藤田(1992)：エゾイシゴロモ(殻状無節サンゴモの 1 種)に対するキタムラサキウニ及びユキノカサガイの摂食，日本ベントス学会誌，42，49-54.

Ishida A *et al.*(2002)：Distribution Patterns of the Herbivorous Gastropods *Chlorostoma lischkei* and *Omphalius pfeifferi pfeifferi* (Trochidae) in Relation to the Algal Community on a Rocky Shore of the Oshika Peninsula, Northeastern Japan, BENTHOS RESEARCH, 57, 1-10.

河村(1997)：磯焼けに及ぼす小型巻貝の摂餌選択性と摂餌圧の影響，磯焼けの発生機構の解明と予測技術の開発，農林水産省農林水産技術会議事務局(編)，60-70.

中田ら(2006a)：ホソメコンブに見られる植食性小型巻貝 4 種による摂餌痕跡，水産増殖，54，217-224.

中田ら(2006b)：植食性小型巻貝によるホソメコンブの摂食に及ぼす水温の影響，水産増殖，54，375-381.

尾形ら(2016)：静岡県内浦湾における中層網式母藻移植によるガラモ場回復の試み，水産工学，52，177-184.

岡部ら(1989)：サザエの増殖. 水産増養殖叢 40, 日本水産資源保護協会.

小野寺ら(2018)：北海道寿都町沿岸におけるクボガイ *Chlorostoma lischkei* の分布，生殖周期および食性，日本水産学会誌，84，54-64.

鈴木(2019)：磯物激減—伊豆半島全域でバテイラ等が激減—，伊豆分場だより，356, 6-9.

第5章

気象庁 HP：海面水温の長期変化傾向(日本近海) 令和2年3月10日発表.

https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html

清本節夫(2019)：長崎県壱岐におけるアラメ・カジメ類の衰退，平成30年度磯焼け対策全国協議会議事要旨，43-46.

https://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/attach/pdf/H30_isoyaketaisakukyougikai-14.pdf

村岡(2018)：藻場や干潟などの漁場機能回復，FRA NEWS，55，4-5.

田中(2020)：高知県における海水温上昇に伴う藻場変化と藻場造成の取り組み，令和元年度磯焼け対策推進全国協議会議事要旨，31-36.

https://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/r1_isoyaketaisakukyougikai.html

第6章

国立環境研究所(2016)：環境意識に関する世論調査報告書.

水産庁漁港漁場整備部(2020)：藻場回復・保全技術の高度化検討調査報告書.

コラム 6-1-1

門田ら(2018)：長崎県壱山町地先における小形海藻藻場造成の試み，平成30年度日本水産学会春季大会講演要旨集，145.

第7章 A, B

梶原ら(2015)：藻場や磯焼け域の把握に関わる新たな装置や技術～廉価版サイドスキャンソナー，ラジコンヘリ，間欠撮影カメラの利用～，水産工学，51，221-226.

桐山ら(2001)：藻食性魚類数種によるクロメの摂食と摂食痕，水産増殖，49，431-438.

中嶋ら(2013)：植食性魚類ブダイの除去と効果判定について，平成25年度日本水産工学会学術講演論文集，107-110.

中嶋ら(2014)：植食性魚類ブダイの除去効果の持続期間について，平成26年度日本水産工学会学術講演論文集，21-24.

コラム 7-B2-1

Kobayashi *et al.*(2014)：Can thallus color of red algae be used as an environmental indicator in shallow waters?, J Appl Phycol, 26, 1123-1131.

コラム 7-B2-2

マリノフォーラム 21 ほか(1999)：浮泥採集調査，平成 10 年度浅海域緑化技術の開発に関する報告書，190-202.

第 7 章 D 1

秋本ら(2008)：宗像市大島におけるガンガゼ類の分布と駆除，福岡県水産海洋技術センター研究報告，18，77-83.

倉島ら(2014)：三重県早田浦の磯焼け海域におけるガンガゼ除去の影響，日本水産学会誌，80，561-571.

コラム 7-D1-1

桐原(2003)：コンブ藻場維持再生産技術開発研究(要約)，青森県水産増殖センター事業報告，32，315-317.

コラム 7-D1-2

吾妻(2001)：ウニ・グルメの水産学 1，ヒトデ学(本川編著)，東海大学出版会，177-198.

福田(2013)：本県沿岸の海域特性を考慮した藻場造成技術の確立，平成 24 年度宮崎県水産試験場事業報告，80-85.

菊地ら(1975)：アワビ餌料海藻の造林技術開発(江島実験漁場における造林試験)，浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究 昭和 49 年度報告資料集，東北水研，10-31.

清本ら(2003)：暖流域における人工礁の藻場消失とムラサキウニの動態からの密度管理指標の検討，水産基盤整備調査委託事業 平成 15 年度報告書，1-10.

倉島ら(2014)：三重県早田浦の磯焼け海域におけるガンガゼ除去の影響，日本水産学会誌，80，561-571.

第 7 章 D 2

秋山(2007)：館山湾の大型定置網における漁獲物の投棄実態，日本水産学会誌，73，1103-1108.

本多(2006)：植食性魚類の効果的な漁獲方法について，水産工学，43，59-64.

本多ら(2010)：音響カメラ DIDSON による水槽内でのアイゴの日周行動の観察，水産工学，47，47-51.

城ヶ島漁業協同組合(2017)：城ヶ島における藻場保全活動について，全国青年・女性漁業者交流大会資料，第 22 回.

門田ら(2017)：植食性魚類ノトイヌズミ *Kyphosus bigibbus* の消波ブロックへの蛸集とその季節変化，日本水産学会誌，83，74-76.

鴨居瀬地区藻場保全組織(2018)：鴨居瀬地区藻場保全組織～豊かな藻場の復活を目指して～，平成 30 年度水産多面的機能発揮対策講習会 講習テキスト(技術編)【鹿児島会場】，81-85.

- 金丸(2007)：佐賀県玄海域における植食性魚類－アイゴ，メジナ，ニザダイ，スズメダイ等－の漁獲実態，佐賀県玄海水産振興センター研究報告，4，7-14.
- 河尻(1976)：静岡県沿岸の重要魚類資源の研究－Ⅲ 田牛地先のブダイの資源量の推定，静岡県水産試験場研究報告，10，11-22.
- 木村(1994)：養殖ヒロメにおける魚類の捕食、和歌山県水産増殖試験場事業報告，26，12-16.
- 久保(1962)：イセエビの漁獲の時間的变化にみられる双峯性について，日本水産学会誌，28，322-325.
- 桑原(2015)：魚の食害対策に係わる技術と課題，水産工学，51，253-257.
- 長沼(2009)：千葉県館山湾におけるアイゴ *Siganus fuscescens* の資源生態に関する研究，東京海洋大学大学院修士学位論文.
- 長崎県水産部(2018)：長崎県における磯焼け対策ガイドライン(平成30年改訂版).
- 尾上ら(2005)：藻食性魚類の大型褐藻類に対する食害の実態把握に関する研究(大分県)，藻食性魚類の大型褐藻類に対する食害の実態解明 総括報告書(平成13～16年度).
- 水産庁漁港漁場整備部計画課(2020)：水産多面的機能発揮対策「環境・生態系保全」における植食性魚類を駆除するための漁具や仕掛け方資料集.
- 水産庁(2015)：改訂 磯焼け対策ガイドライン.
- 水産総合研究センターら(2010)：大型カゴ網による植食性魚類の捕獲試験，平成21年度「岩礁域における大規模磯焼け対策促進事業」報告書，239-241.
- 竹内(2007)：ニザダイ，ブダイによるサガラメの食害についての一考，徳島水研だより，61.
- 和歌山県水産試験場(2014)：和歌山県における植食性魚類に関する漁業の実態把握と延縄による効果的な漁獲手法の開発，
- 山口(2016)：アイゴを対象とした刺網の漁獲要因の検討について，漁連だより，長崎県漁業協同組合連合会，258，8-10.
- 吉村ら(2015)：イスズミの行動特性について，平成26年度水産生物の生活史に対応した漁場環境形成推進委託事業のうち各生活史段階に応じた漁場機能を強化する技術の開発・実証報告書.

第7章 D4

- 秋野ら(2015)：北海道泊村沿岸表層におけるホソメコンブ遊走子の移送と空間的分布、水産工学、52，1-9.
- 荒川ら(1990)：褐藻類カジメ・ワカメの遊走子の沈降速度および基質着生に及ぼす海中懸濁粒子の影響，日本水産学会誌，56，pp.1741-1748.
- 平田ら(1997)：海中造林のための接着剤を用いたカジメ藻体の移植，藻類，45，111-115.
- 中嶋(2015)：新しい播種方法とその考え方，水産工学，51，227-232.
- 奥田(1983)：ホンダワラ類の着生機構. 近海漁業資源の家漁化システムの開発に関する総合研究，昭和57年度I-6課題研究成績報告書.

寺脇ら(1991)：海中砂漠緑化技術の開発 第 4 報 砂地海底に設置したコンクリートブロック
上でのアラメ・カジメ類の生育，電力中央研究所研報，U91024.
柳瀬ら(1983)：カジメ群落拡大に関する研究、静岡県水試伊豆分場資料，143.

第 7 章 D 5

阿部(1995)：雑海藻駆除によるコンブ漁場の再生技術，釧路水試だより，72，4-8.
漁港漁場新技術研究会(2017)：人工基質を用いた磯焼け対策.

第 7 章 D 6

漁港漁場新技術研究会(2019)：柱状礁(柱状構造)，水産公共関連民間技術の確認審査・評価事
業，評価番号第 14-B-002-1 号.
柴田ら(2011)：長崎県壱岐市大島における磯焼け対策技術の検証－第 2 報 植食性魚類の食害
対策としての防御材の効果－，平成 23 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，91-94.

第 7 章 D 7

水田(2010)：栄養塩，藻場を見守り育てる知恵と技術，成山堂書店，51-54.
吉田ら(2011)：海藻の一次生産と栄養塩の関係に関する研究レビューおよび瀬戸内海藻場の
栄養塩環境の相対評価－，水産総合研究センター研究報告，34，1-31.
綿貫ら(2015)：藻場における溶存態鉄の濃度，平成 27 年度日本水産工学会学術講演会論文集，
91-92.
綿貫(2015)：栄養塩供給と磯焼け対策，月刊海洋，47，300-306.

コラム 7-D7-1

川俣(2004)：振動流中におけるアラメ幼胞子体の成長速度，平成 16 年度日本水産工学会学術講
演会講演論文集，25-28.

コラム 7-D7-2

鍋島ら(2000)：海洋深層水放流が海域の藻場等生態に及ぼす影響Ⅱ，高知県海洋深層水
研究所報，4，44-59.
谷口ら(2000)：海洋深層水放流が海域の藻場等生態に及ぼす影響Ⅰ，高知県海洋深層水研究所
報，4，26-43.

コラム 7-D7-3

中島(2002)：海洋深層水の利用，緑書房.

第 7 章 D 8

Kawamata S (1998)：Effect of wave-induced oscillatory flow on grazing by a subtidal sea
urchin *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz), J Exp Mar Biol Ecol, 224, 31-48.

綿貫(2014)：磯焼け地帯で順応的に進めるコンブ増殖場造成(総説)，水産工学，51，33-37.

コラム 7-D8-1

桑原ら(2002)：磯焼け海域の藻場造成礁におけるホソメコンブ群落を維持するために必要な流動条件，水産工学，39，47-53.

コラム 7-D8-3

川俣ら(2006)：アイゴの海藻摂食に及ぼす振動流の影響，日本水産学会誌，72，717-724.

コラム 7-D8-4

桑原ら(2006)：アイゴ食害を受けた人工リーフ上のカジメ群落と流動環境について，平成 18 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，115-118.

第 7 章 D 9

コラム 7-D9-1

ウニと藻場の豊かな漁場再生コンソーシアム(2020)：異常発生したウニの効率的駆除及び有効利用に関する実証研究(宮城県・水産業分野).

https://www.affrc.maff.go.jp/docs/sentan_gijyutu/sentan_gijyutu.htm

コラム 7-D9-2

全国豊かな海づくり推進協会(2009)：アイゴを(釣って)食べて，藻場をまもろう，豊かな海，18，38-42.

第 8 章 8. 3

安藤ほか(2010)：漁業者による磯焼け対策の取り組みについて(その 3)，平成 22 年度水産工学会学術講演会講演論文集，59-60.

中嶋ほか(2014)：植食性魚類ブリダイの除去効果の持続期間について，平成 26 年度日本水産工学会学術講演論文集，21-24.

中嶋(2014)：もうかる藻場をめざしてー磯根漁業の復活へー，豊かな海，33，63-67.

山下(2000)：頑張る青壮年部ー藻場回復への序曲ー，全国青年・女性漁業者交流大会資料，第 6 回，283-291.

第 8 章 8. 5

中央水産試験場資源増殖部水産工学グループ(2015)：人工の浅瀬に海藻を生やす，ほっかいどうの希望をかたちに！ー道総研第 1 期成果集ー，北海道立総合研究機構，54-55.

川俣(1999)：磯根生物に及ぼす物理環境要因の解明と漁場造成技術の開発に関する研究，水産工学，35，209-214.

Kawamata S *et al.* (2018)：Empirical model for probabilistic rock stability on flat beds under waves with or without currents，Coastal Engineering，140，257-271.

棚田ら(2015)：単体礁によるウニ類の排除およびカジメ場造成への効果，平成 27 年度磯焼け対策全国協議会議事要旨．

第 8 章 8. 6

吉村ら(2018)：植食性魚類の海藻食害の問題①・②，海苔タイムス，平成 30 年 12 月 11 日・21 日．

第 8 章 8. 8

臼井(2019)：キャベツでウニを育てる，日本水産資源保護協会季報，561，3-6．

コラム 8-8-1

ウニと藻場の豊かな漁場再生コンソーシアム(2020)：異常発生したウニの効率的駆除及び有効利用に関する実証研究(宮城県・水産業分野)．

https://www.affrc.maff.go.jp/docs/sentan_gijyutu/sentan_gijyutu.htm

おわりに

本ガイドラインを作成するにあたり、ご指導・ご協力をいただきました委員を始め、大変多くの方々からご協力をいただきました。事務局を代表して、心からお礼申し上げます。今回の改訂第3版は、磯焼け対策に必要とされる技術について、「藻場回復・保全技術の高度化検討調査」（平成30年度～令和2年度）より得られた新しい技術や知見をもとにして編纂しました。また、植食動物の生態や各地の事例を充実させています。

なお、磯焼けの発生要因についてはまだまだ不確定な部分が残されています。対策技術の効果も現場の環境条件などに大きく影響を受けるため、想定していた効果が十分に発現しない場面もあるかと思われます。しかし、そのような場合であっても本書で示したPDCAサイクルを回しながら、適時適切な対策を施すともに、活動に取り組む仲間（協力者）を増やし継続的に実施して行くことが重要です。失敗を恐れず、粘り強く磯焼け対策に取り組むことが大切と考えます。今後も、本ガイドラインを参考に、現場目線での活動と、対策技術の検証と改善に努め、知見等を集め、より効果的・効率的な磯焼け対策が推進されることを期待します。

事務局

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所
一般社団法人水産土木建設技術センター

編集委員会および事務局の構成

藻場回復・保全技術の高度化検討会

委員長	藤田大介	東京海洋大学海洋生物資源学部 准教授
委員	村瀬 昇	水産大学校生物生産学科 教授
委員	中村洋平	高知大学大学院総合人間自然科学研究科 准教授

ガイドラインの改訂にあたり、下記の方々に貴重な情報、写真等のご協力をいただいた。この場をかりてお礼申し上げます。

<五十音順>

壱岐市、(一社)磯根研究所、(有)エコシステム、大分県漁協名護屋支店、小樽漁協、(有)尾塚水産、オフィスMOBA、尾鷲市、(株)海中景観研究所、神恵内村、上対馬漁協、共和コンクリート工業(株)海藻技術研究所、(一社)漁港漁場新技術研究会、九十九島漁協、高知県漁協上ノ加江支所、高知県漁協久通支所、小坪漁協、西海大崎漁協、西海市、サカイオーベックス(株)、佐賀玄海漁協鎮西町統括支所、佐世保市、NPO 法人 SEA 藻、(有)自然環境調査、島袋寛盛、積丹町、城ヶ島漁協、新宮相島漁協、水産大学校、寿都町、(株)東海アクアノーツ、徳島県、道総研(中央水試)、長崎市、長崎市福田漁協、長崎市みなと漁協外海支所、長崎市みなと漁協深堀支所、長崎市新三重漁協、西日本オーシャンリサーチ、日本大型人工魚礁協会、日本消波根固めブロック協会、(株)不動テトラ、(株)ベントス、北海道、(有)丸徳水産、三重県、八雲町漁協、横須賀市大楠漁協

第3版 磯焼け対策ガイドライン

発行年月 令和3年3月

発行者 水産庁

本ガイドラインに関する問い合わせ

水産庁 漁港漁場部 整備課 設計班

〒100-8907 東京都千代田区霞が関 1-2-1

TEL 03-6744-2390 FAX 03-3502-2668

