

平成31年度水産基盤整備調査委託事業報告書

a 課題名 藻場回復・保全技術の高度化検討調査

b 実施機関及び担当者名

国立研究開発法人水産研究・教育機構

水産工学研究所

水産土木工学部水産土木工学部 部長 桑原 久実

水産土木工学部生物環境グループ グループ長 川俣 茂

水産土木工学部生物環境グループ 研究員 佐藤 允昭

東北区水産研究所

沿岸漁業資源研究センター 主任研究員 八谷 光介

西海区水産研究所

資源生産部 部長 吉村 拓

資源生産部 主幹研究員 山田 秀秋

資源生産部藻類・沿岸資源管理グループ長 中川 雅弘

資源生産部藻類・沿岸資源管理グループ 主任研究員 清本 節夫

資源生産部藻類・沿岸資源管理グループ 主任研究員 西濱 士郎

資源生産部藻類・沿岸資源グループ 主任研究員 門田 立

資源生産部魚介類生産グループ 主任研究員 野田 勉

資源生産部藻類・沿岸資源グループ 任期付研究員 邵 花梅

一般社団法人水産土木建設技術センター

調査研究部 上席研究員 鈴野 泰弘

調査研究部 主任研究員 武田 真典

調査研究部 主任研究員 完山 暢

調査研究部 専門技術員 井下 恭二

調査研究部 専門技術員 中嶋 泰

調査研究部 専門技術員 南里 海児

調査研究部 専門技術員 綿貫 啓

調査研究部 専門技術員 田所 悟

調査研究部 専門技術員 安藤 亘

神奈川県水産技術センター相模湾試験場

専門研究員 鎌瀧 裕文

主任研究員 木下 淳司

非常勤職員 有馬 史織

徳島県立農林水産総合技術支援センター

水産研究課 研究係長 棚田 教生

水産研究課 専門研究員 中西 達也

鹿児島県水産技術開発センター

漁場環境部 部長  
漁場環境部 研究専門員  
漁場環境部 研究専門員  
漁場環境部 研究員

吉満 敏  
猪狩 忠光  
眞鍋 美幸  
市来 拓海

### c ねらい

藻場・干潟・サンゴ礁は、重要な漁場であるばかりでなく、水産生物の産卵、幼稚仔魚の成育などの資源生産の場としての機能や、有機物の分解、窒素、リンなどの栄養塩の取込みによる水質の浄化などの様々な機能を有しており、良好な沿岸域の環境を維持していくため、実効性のある藻場・干潟・サンゴ礁の保全・創造を推進することが課題である。

本調査では、藻場の回復・保全技術、維持管理技術及びモニタリング技術の一連の検討を行い、磯焼け対策のガイドインの改訂を行う。

以上の課題を解決するため4つの小課題に取り組む。

#### 小課題1： 広域藻場のモニタリング手法の検討

##### (ア) 藻場調査に関するマニュアルの検討

藻場モニタリング調査は、従来から方形枠や測線（ロープ等）を海底に設置し、それに沿って潜水や船上からの箱メガネ等で海底に生育する海藻被度等を把握してきた。その後、観測装置等の技術進歩により、広域に精度良く藻場を把握する手法が検討され、衛星画像やドローン等による空中撮影、魚探等による音響測定なども利用されるようになってきた。しかし、藻場調査の手法は統一性が無いために、過去や他海域との比較が容易ではない現状もある。また、水産庁は全国で藻場・干潟ビジョンを推進し、これまで以上に広域な藻場のモニタリングを進めている。そのため、現存する藻場調査手法の情報を収集し、各手法に対する技術的な問題や適用条件を整理する必要がある。これらの内容を広域藻場のモニタリング手法の手引きとしてまとめることで、都道府県や漁業者などの水産関係者が藻場を把握する際に役立つ知見を提供できる。そこで、(ア)藻場調査に関するマニュアルの検討では、(1)潜水調査、船上調査、音響測量、ドローン空撮を同時に行い、各手法の特徴や得られる情報、推定藻場面積、判別精度、調査時間、委託費用を比較する。また、(2)2000年2月に現地調査により藻場分布が把握されている小田原市沿岸の人工リーフにおいて、2020年1月にも藻場の分布調査を行うことで藻場分布の時系列変化を調べる。これにより、藻場分布の時系列変化を把握するための手法を検討する。さらにこれらの成果を広域藻場モニタリングのマニュアルとしてとりまとめる（別冊）。

##### (イ) 画像を活用した広域藻場モニタリング手法の検討

近年、観測装置等の技術進歩により、衛星画像やドローン等による空中撮影などにより、広域に精度良く藻場を把握する手法が開発されてきた。また、機械学習（AI）を用いた画像判別により、より高精度に藻場の分布を把握できる技術が揃いつつある。これまで以上に広域な藻場を精度よくモニタリングすることが可能になったが、それらのモニタリング手法について整理されたマニュアルなどはない。藻場モニタリングを精度良く把握するために必要な条件（例えば、画像の解像度等）をモニタリングの目的に応じて提示することで、水産関係者が藻場を把握する際に役立つ情報を提供することができる。そこで、(イ)画像を活用した広域藻場モニタリング手法の検討では、藻場有無の把握の精度目標

を一般的に高精度と評価される 80%程度に設定し、人工衛星画像、ドローン画像及び水中カメラ画像を用いた各種藻場判別手法を提案するとともに課題点及び改善策を検証する。

#### 小課題 2： 植食動物の効率的な食害制御技術の検討

日本各地では、磯焼け対策として、植食性動物の除去が盛んに行われている。これまでに、ウニ類等の底生生物の除去により藻場が回復した地先が多くある一方で、同様の対策だけでは藻場が回復しない地先も多く存在する。この原因の1つとして、植食性魚類の影響が考えられているが、その対策技術は今も開発途上である。それゆえ、磯焼け対策において、植食魚対策技術の開発は事業主体や漁業者のニーズが最も高い課題の1つである。植食性魚類の対策技術が進展しない要因の1つに、「いつ」、「どこに」いるのか、「どのくらいの範囲」を移動するのかといった生態情報の不足が挙げられる。さらに、魚類はウニ類と比べ移動性が高く、個体数の把握が難しいことや、効率的な漁獲法がない、あるいは広まっていないことも要因となっている。このため、これまでの調査・対策事例において魚類と海藻に対する除去効果を評価した事例は見当たらず、効率的な除去の手法や時期、藻場回復に必要な除去量等は十分に検討されていない。そこで、本小課題では、バイオテレメトリー調査等により植食性魚類の分布実態や行動特性等の生態情報を把握し、蠣集を狙った除去手法の可能性や個体数推定法の有効性を検討する。また、漁獲実証試験を実施し、植食性魚類の個体数推定及び海藻類のモニタリングを組み合わせることにより、除去効果を評価し、藻場回復のために必要な除去量や除去時期等の条件を検討する。以上の成果をふまえ、磯焼け対策に取り組む事業主体及び漁業者が活用しやすい、植食性魚類を対象とした「食害制御による藻場回復の手引き」（案）を作成する。

#### 小課題 3： 捕食者を利用した藻場回復手法の検討

高い植食圧により引き起こされる磯焼けは植食動物の捕食者の減少に起因し、捕食者の個体群を局所的に回復、維持できれば、藻場を回復・保全できる可能性がある。このことは、海外では大規模な全面禁漁区の設定によりウニ焼けからウニの捕食者の増加⇒ウニの減少⇒藻場の回復という一連の事象（このような栄養段階の上位捕食者の影響が下位の生物に波及することを栄養カスケードという）により検証されているが、小規模な禁漁区しかない我が国では栄養カスケードの存在自体が知られていなかった。しかし最近になってウニ磯焼けが蔓延化している高知県沿岸において、古くからイセエビの資源保護のため、大規模な投石礁の整備と禁漁（ただし年1回、漁が実施）の結果、大型のイセエビが高密度に定着し、その活発な捕食によりウニ密度が低く保たれ、ガラモ場が維持されている小湾（池ノ浦湾、約0.3km<sup>2</sup>）が見出された。このようなイセエビを利用した藻場回復・保全を他海域にも展開するためには解決すべき課題が二つある。一つは、イセエビは生息場が限定されるため、乱獲されやすいことであり、もう一つは現在の漁獲サイズ規制によるイセエビの資源保護では大きいウニを捕食できる大型のイセエビが保護されず、ウニの個体群制御が難しくなることである。これらの解決のためには、まずイセエビによる栄養カスケード効果が池ノ浦湾以外でも程度の差はあっても普遍的に存在し、大型イセエビの存在が藻場の維持に重要であることを科学的に示す必要がある。また、イセエビ利用による藻場回復手法の普及には、イセエビ礁からどの程度の範囲まで藻場を保全できるのかを予測

する手法の確立も必要である。さらに、このような捕食者を利用した手法は藻場保全の抜本的手段であり、将来的に非常に期待される手法であるが、ウニ等の植食動物による磯焼けはイセエビの分布しない北方海域でも深刻な問題になっていることから、イセエビ以外の捕食者を利用した対策の可能性についても検討が必要である。以上のことから、本調査では、ウニの磯焼け域においてイセエビがある一定の密度以上維持されている増殖礁の周辺で栄養カスケード効果により藻場が維持されることを複数の海域で検証するとともに、イセエビ礁からの栄養カスケード効果の範囲を予測する手法を提示する。さらに、イセエビの生息しない北方海域でイセエビ以外の捕食者の利用可能性を実験的に検討し、実現可能性のある手法を提案する。

本藻場回復手法の開発では、定着性のある、植食動物の捕食者を対象にして、捕食者により植食動物の局所的な不在の場を作り出すことが眼目となる。この点で投石礁などの隠れ場に棲み着き、ウニを捕食するイセエビは対象種として最適である。課題としては、ウニの磯焼け域で、イセエビのウニ捕食により局所的に藻場が維持されることが見出された事例はまだ高知県での1例に過ぎず、他海域でも同様もしくは類似の効果のある事例を見出すことが第一の課題である。また、イセエビが隠れ場からどの程度の範囲まで効果を及ぼしているのかを調べるのが第二の課題である。さらに、イセエビの主要な分布域は鹿児島県から太平洋岸では千葉県まで、九州西岸では長崎県までの広範囲に及ぶが、ウニ等の底生植食動物の優占により磯焼け状態が深刻化している北方海域では、イセエビに代わる捕食者の探索から始める必要があり、これが第三の課題である。今年度の調査では以下を検討する。

- ① 先行調査事例の高知県須崎市池ノ浦では、保護区内の投石礁でのイセエビの密度と体サイズ組成を調べる。また、投石礁からの距離別のウニの密度とサイズ組成、海藻植生を調査し、イセエビによる捕食の影響範囲を推定する。
- ② 新たな事例として選定した徳島県日和佐沿岸では、イセエビ保護区内の捨石マウンドと保護区外の北側に位置する投石礁を対照区としてウニの密度とサイズ組成、海藻植生を調査比較する。またイセエビの密度と体サイズ組成を捨石マウンドと対照区で漁獲物調査や目視観察等により調査する。
- ③ 新たな事例として選定した鹿児島県指宿市沿岸では、投石礁に生息するイセエビが小型個体であるため、大型ウニが捕食されないことが推察された。そこで、イセエビの大型個体を投石礁に放流して、ウニの密度とサイズ組成への変化、および海藻植生（海藻の初期加入）の変化を追跡調査する。また、イセエビの捕食の影響を検討するため、ウニの優占種ムラサキウニに対する捕食量を水槽実験により把握する。
- ④ イセエビが生息しない三陸沿岸において、ウニの有力な捕食者になり得ることが期待されているイシガニについて、現地でのケージ実験によりウニの捕食量を調べ、そのウニの密度制御に必要なイシガニの密度等を推定する。
- ⑤ 得られた結果を踏まえて「捕食者を利用した藻場回復の手引き」（案）を作成する。

#### 小課題4： ネットワークを考慮した藻場回復手法の検討

磯焼け海域で植食動物の食圧が海藻の生産力より勝っている場所であっても、小規模であれば継続的に植食動物を駆除することで藻場を回復させることが可能となってきた。ところが、この植食動物の除去対策を繰り返して、小規模から対策規模を拡大して行くと多大な時間と労力がかかるため、大規模な藻場回復は困難なものと考えられる。

事例は少ないが、ウニ除去により藻場が回復し、この回復した藻場から周辺海域にタネ供給が行われ、自然に藻場が広がった事例が報告されている。ここでは、福岡県相島地先、静岡県平沢地先の2事例に注目し、周辺海域に藻場が広がった要因を、①種供給、②流況、③食害、④海域環境等の観点から考察する。

また、本小課題では、一定規模（10ha以上）の実海域において、藻場の分布や藻場の阻害要因を明らかとした上で、ネットワークの構築に有効な磯焼け対策を行う場所（例えば植食動物の駆除を集中させる場所、母藻投入を行う場所等）を絞り込み、漁業者らの協力を得ながら磯焼け対策を実施する。対象海域において藻場を形成する海藻のタネの供給を予測し、戦略的に小規模な藻場を回復させて、藻場のネットワークを構築させることで、効率良く広域藻場を回復する手法開発し検証する。調査は、九十九島海域（長崎県佐世保市）の小佐々地区と三浦半島西岸（神奈川県横須賀市）の久留和地区で実施する。前者はカジメ場、後者はカジメ場を対象にしている。なお、この手法の開発は、大規模に藻場回復を目指す上で必須であり、「藻場・干潟ビジョン」の理念に対応して求められている技術である。

#### 小課題5： 磯焼け対策ガイドラインの改訂の検討

磯焼け対策ガイドラインは、2007年7月に発刊され、2015年3月に改訂された。改訂内容は、藻場を再生する技術体系の中から、効率的、かつ効果的な対策手法で実践的対策を選定し、事例を加えてわかりやすいものとした点と、知見の少なかった植食性魚類の生態や具体的な除去方法を整理した。また、ガイドラインの示す磯焼け対策は、「以前に良好な藻場が存在していたが、何らかの要因によって藻場が衰退してしまった海域」に対して実施するもので、今まで藻場が見られていなかった海域で新たに藻場を造成するものではないのが特徴である。磯焼け対策ガイドラインは、漁業者のみならず、試験研究機関、支援者の一般市民など、多くの方々に利用され、都道府県によってはこれをたたき台とした地方版のガイドラインが作成されている。しかし、依然として藻場の拡大・機能回復をめぐる課題は山積しており、水産庁は水産基盤整備事業等によるハード整備と、水産多面的機能発揮対策事業等のソフト対策が一体となった実効性のある効率的な藻場の回復・保全技術の確立が求められている。そこで、本調査では、現行の磯焼け対策ガイドラインを目次の細分レベルでレビューし、新しい知見等を加えるとともに、ハード・ソフト対策が一体となった実効性のある効率的な藻場の回復・保全に資するように、磯焼け対策ガイドラインの更新と見直しの方向性を検討する。

## d 方法

小課題1について：

(ア) 藻場調査に関するマニュアルの検討

(1) 藻場調査手法の比較

### 調査方法

神奈川県真鶴町沿岸の2地点において、藻場分布の把握のために潜水調査、船上カメラ調査、音響測量、ドローンによる空撮を2019年7月23日～25日の日程で行った(図1-1)。ただし、船上調査及びドローン空撮はその期間で終わらなかったため、8月及び9月にも調査を実施した。

- ・潜水調査においては岩大橋側でエリアA内に4ライン(200mの長さ)、真鶴側でエリアC内に5ライン設定した。それぞれライン上で20mおきに1m×1mの方形枠を設置し、水深を記録するとともにデジタルカメラで真上から海底面の様子を撮影した。撮影した画像を精査し、枠内の海藻の被度、底質の状態、水深を記録した。

- ・船上カメラ調査では、岩大橋側でエリアB内に7ライン(約400mの長さ)と真鶴側でエリアD内に9ラインを潜水調査のラインを含む範囲で設定した。これは、船上カメラ

の方が潜水調査よりも調査効率が良く、より広い範囲を調査できたためである。潜水調査と同じ調査範囲では同地点でライン上に20mおきに、その他の範囲では40mおきに0.5m×0.5mの方形枠を降ろし、水中カメラ(みるぞう FullHD15M、ファーストシーン株式会社、¥98,000)により底質の動画を撮影した。また、水深は船上からポータブル水深計(HONDEX)により計測した。撮影した動画を精査し、その中の海藻の被度、底質の状態、水深を記録した。

- ・音響測量では船上調査と同じ範囲で岩大橋側においてエリアBを対象に7ラインと真鶴側においてエリアDを対象に9ラインを設定し、そのライン上で簡易音響魚探(Lowrance HSD10、¥378,000)によりダウンスキャン画像を記録した。このダウンスキャン画像(図2-4)から、海底面の直上に映る海藻(カジメ)の有無を判別した(被度50%以上で判別できる)。

- ・ドローンの空撮ではPhantom 4 pro(DJI、¥207,680)+ipad mini(Apple、¥45,800)を用いて、岩大橋側のエリアBと真鶴側のエリアDを対象に海拔高度300m及び400mの高さから空撮した(東京空港事務所の許可を取得)。空撮は自動飛行ソフトDroneDeployを用いて、写真間のオーバーラップ率を80%×85%、飛行速度55km/hに設定し、2019年7月25日、8月7日、9月6日に自動飛行で行った(東京航空局の許可を取得)。このうち、最も水中の様子がみえる9月6日の空撮画像を用いた。

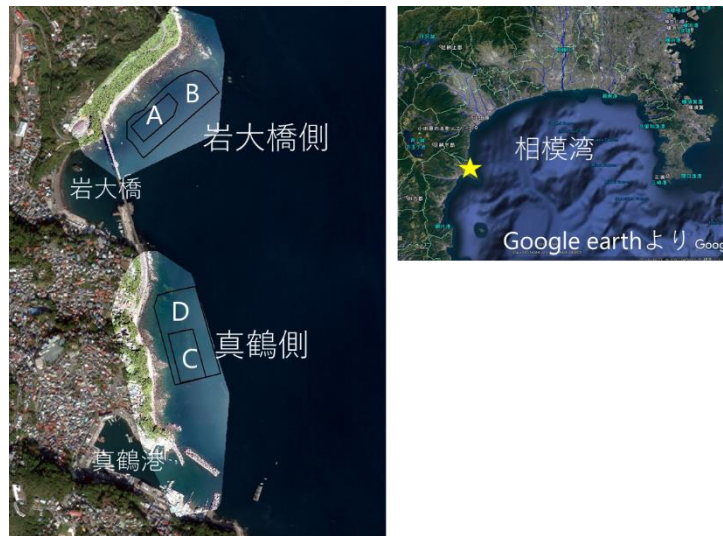


図1-1. 真鶴町沿岸の調査地と調査範囲エリア(ドローンの空撮画像より)

## 藻場面積の推定

- ・潜水調査では図 2-1b の岩大橋側のエリア A と真鶴側のエリア C が対象範囲とした。対象範囲において 40m×40mのエリアを設定し、エリア内の地点のカジメ被度を平均し、それにエリアの面積をかけることでカジメ場面積を推定した。
- ・船上カメラ調査では図 2-1b の岩大橋側のエリア B と真鶴側のエリア D が対象範囲となった。潜水調査と同様に、対象範囲において 40m×40mのエリアを設定し、エリア内の地点のカジメ被度を平均し、それにエリアの面積をかけることでカジメ場面積を推定した。
- ・音響測量では、上記のカジメ場の有無を判別したデータを用いて対象範囲内の分布を逆距離加重 (Inverse Distance Weighted:IDW) 内挿により推定した。
- ・ドローンの空撮画像は 9 月 6 日の高度 300m から撮影した岩大橋側の 39 枚と真鶴側の 45 枚を用いて、Pix4D mapper ver4. 3. 31 によりオルソモザイク画像を作成した。この画像の海面部分を対象に Lyzenga et al. (1981) の DII 指標により水中補正を行った。2 バンドの組合せによる DII 指標を 3 セットコンポジットし、その画像データに対して Support vector machine によりカジメ藻場を教師付き分類した。

## 各調査手法の比較

本調査で用いた各手法のお場面積、正答率、調査時間、民間委託した場合の費用を整理し、各手法の特徴を明らかにした。民間委託した場合の費用は、民間 3 社に、本調査を行った場合 (解析を含む) の見積もりを算出してもらった。

### (2) 藻場分布の時系列変化の把握手法の検討

神奈川県小田原市沿岸の人工リーフにおいて (図 1-2)、藻場分布の把握のために潜水調査、音響測量、ドローンによる空撮を 2020 年 1 月 22 日に行った。加えて、漁業者にも人工リーフの藻場の繁茂状況に関して聞き取りした。また、木下ら (2006) における人工リーフの藻場被度データを取得するとともに、1999 年 12 月 7 日に対象地で撮影された航空写真を、国土地理院の地図・空中写真閲覧サービス

(<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>) から取得した (図 1-2)。この 1999 年 12 月の画像に対して Lyzenga の水中補正を行い、2000 年 2 月の現地データを用いて教師付き分類により人工リーフ上の藻場分布を推定した。

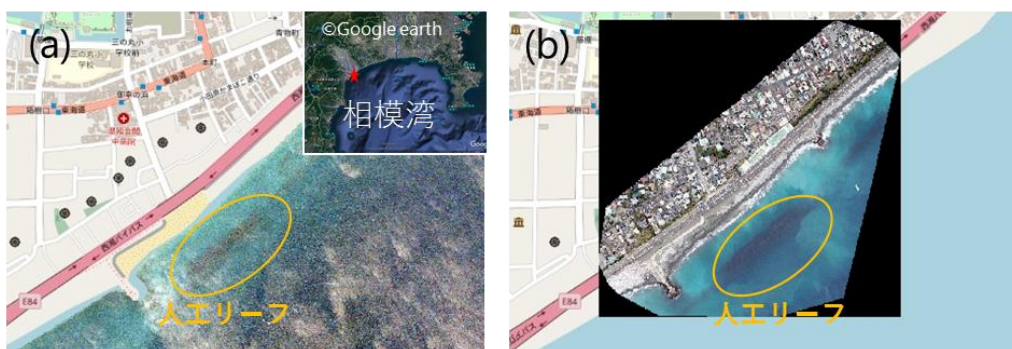


図 1-2. (a) 1999 年 12 月 7 日に撮影された航空写真と (b) 2020 年 1 月 22 日に撮影されたドローン画像における小田原市沿岸の人工リーフ

### (イ) 画像を活用した広域藻場モニタリング手法の検討

平成 30 年度においては、名護屋湾を対象に各種解析手法により、人工衛星画像による藻場判別を行った結果、①セグメンテーション（オブジェクト化）、②3バンドによる水柱補正指標、③教師付き分類（SVM）の有効性が明らかとなった。また、藻場の被度区別の判読は精度を確保できないこと、教師なし分類は判読に際しての教師データは必要としない一方で、解析（クラスター分析）結果に対して、現地データに基づく藻場有無の判別を手作業で行う必要があり、省力化への効果は小さいことが示唆された。

以上を踏まえ、本年度は藻場有無（被度 25%以上）の判読精度目標を 80%とし、水柱補正方法として、昨年度実施の Lyzenga(1981)に加え、Sagawa et al. (2010)の方法も比較検討し、名護屋湾、相模湾小田原市地先、石狩湾積丹半島地先の 3 海域×2 時期を対象に精度検証を行った。人工衛星画像は、いずれも World-View2（解像度 2m、8 バンド）を用いた。

また、ドローン画像は 2 海域（名護屋湾、相模湾）を対象に行い、水中カメラ画像は、名護屋湾で取得した画像から RGB 値の特性により海藻を区別、被度を算定するシステムを構築し、網別の被度算定精度を検証した。

人工衛星画像解析による藻場分布推定手順を図 1-3 に示す。衛星画像は、海藻が繁茂時期を対象に、なるべく雲による欠測や波浪の影響が少なく、透明度が良好であるものを入力することを前提として、衛星画像データに記録された放射輝度から大気や水中での光の散乱や吸収の影響を取り除き、海底面の反射率のみの放射輝度データに補正する必要がある（図 1-4）、海底面の反射率の違いにより、藻場、砂地、岩場などを分類する。

大気補正は、水深が十分に大きく海底からの反射の影響がないと考えられる海域で観測される輝度を放射輝度から差し引いて補正する（暗画素法）。

水柱補正には Lyzenga(1981)の方法と Sagawa et al. (2010)の方法がある。前者の方法では、2 バンド間の消散係数比により算定される DII (Depth-Invariant Index) と呼ばれる指標（式 1）に変換することで、また、後者の方法では、バンド毎の消散係数と水深との相関により算定される BRI (Bottom surface Reflectance Index) と呼ばれる指数（式 2）に変換することで、各々水深の影響を除去する。

なお、消散係数は、画像データから底質が同様の地点（砂地、藻場なしなど）を抽出して求める。

$$DII_{ij} = \ln(L_j - L_{Sj}) - (K_j/K_i) \cdot \ln(L_i - L_{Si}) \dots \dots \dots \text{(式 1)}$$

$$BRI_i = (L_i - L_{Si}) \cdot \exp(K_i \cdot g \cdot Z) \dots \dots \dots \text{(式 2)}$$

ここで、

$L_i(j)$  : 衛星センサで観測された  $i(j)$  バンドの分光放射輝度の値

$L_{Si}(j)$  : 水深が十分に大きく海底からの反射の影響がないと考えられる海域で観測される  $i(j)$  バンドの分光放射輝度（水面からの反射光と大気中での散乱工）

$K_i$  :  $i$  バンドの水柱の光の消散係数 ( $m^{-1}$ )

$g$  : 水中での光の通過距離を考慮する幾何的係数

$Z$  : 水深 ( $m$ )

DII 指標、BRI 指標は、必要に応じて、近隣の類似スペクトル特性を持つピクセルをグループ化するセグメンテーションを行い、波浪等によるノイズの影響を軽減させる。次に、バンド毎の BRI 指標、または、2 バンド間（青-赤、青-緑、赤-緑など）の DII 指標を組み合わせることにより、藻場判別のための情報量を増やすため、コンポジットする。このコンポジットデータを用いて、学習、藻場分類を行う。



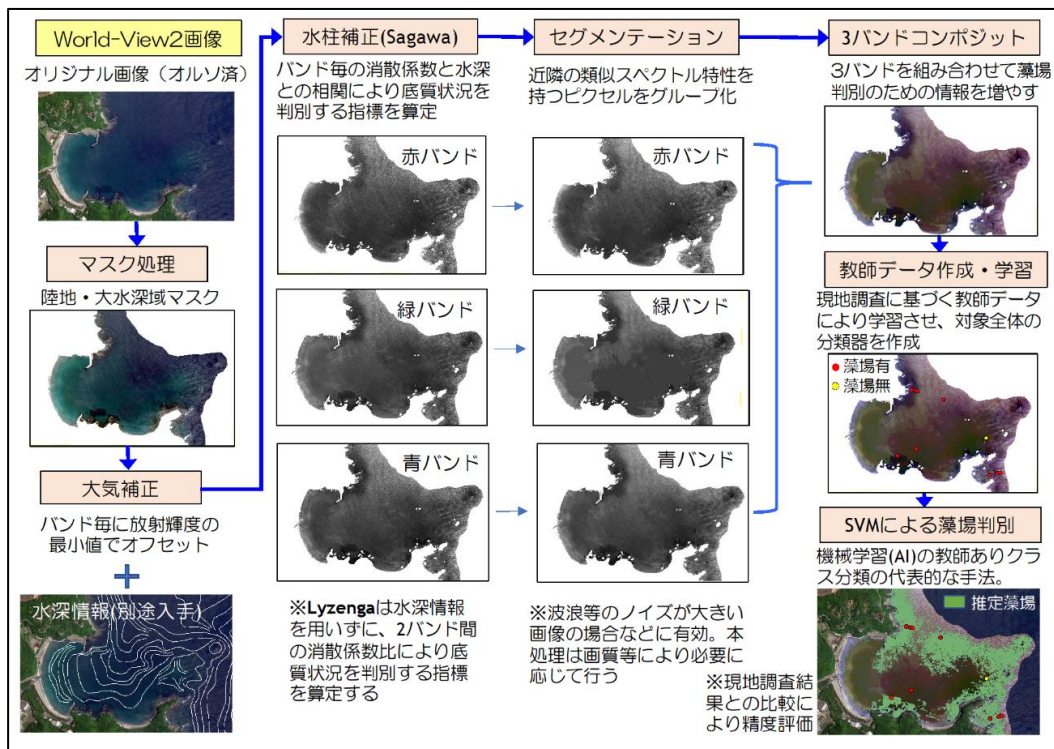


図 1-3 人工衛星画像解析による藻場分布推定手順

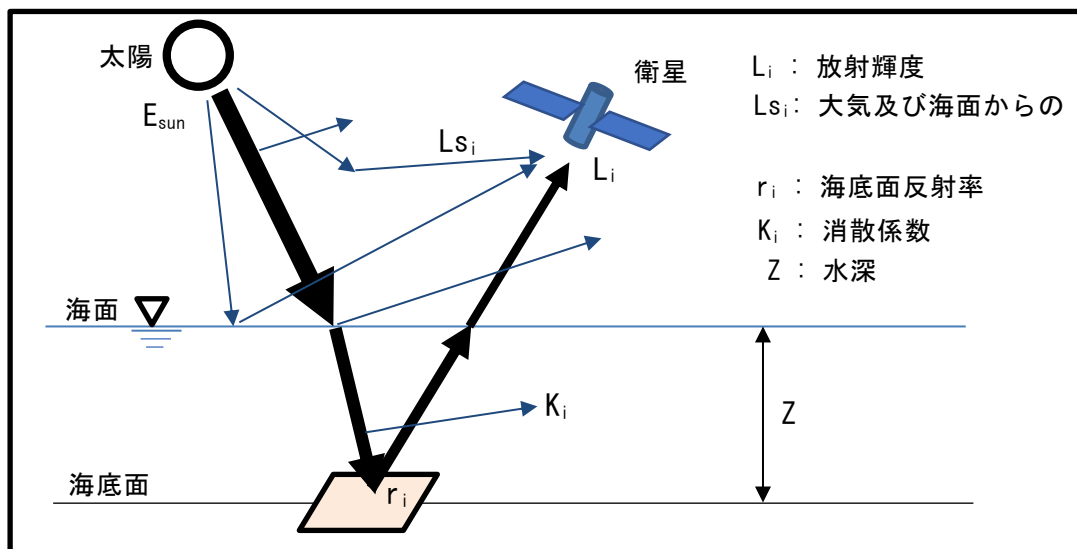


図 1-4 人工衛星で観測される放射輝度の模式図

小課題2について：

日本各地では、磯焼け対策として、植食性動物の除去が盛んに行われている。これまでに、ウニ類等の底生生物の除去により藻場が回復した地先が多くある一方で、同様の対策だけでは藻場が回復しない地先も多く存在する。この原因の1つとして、植食性魚類の影響が考えられているが、その対策技術は今も開発途上である。それゆえ、磯焼け対策において、植食性魚類対策技術の開発は事業主体や漁業者のニーズが最も高い課題の1つである。日本では特に藻場への影響が大きい植食性魚類として、アイゴ、ブダイ、イスズミ類の3種が知られている。このうち、特に、ブダイについては行動・生態研究が進んでおらず、有効な除去手法についてほとんど検討されていない。小課題2では、このブダイを対象とした生態調査を実施し、効率的な除去手法を検討する。具体的には、「いつ」、「どこで（どのくらいの範囲で）」、「どのように除去すればよいのか?」、「どのくらい除去すればよいのか?」を検討し、ブダイの効率的な除去手法を提案する。

これらを検討するため、本課題では、大分県佐伯市名護屋半島沿岸で、①ブダイのバイオテレメトリー調査、②植食性魚類の除去とその食圧の関係性の評価、③延縄の有効性の評価、の3つの調査を実施した。また、上述の調査から、海藻の量を増やす取り組みが必要と判断されたことから、次年度の調査の準備として、④母藻設置実験を実施した。

小課題3について：

### 1. イセエビを捕食者とする先行事例調査

高知県池ノ浦の保護区において、従来調査を行ってきた西側投石礁AR1に東側投石礁AR3を調査対象に加えて、過年度の調査よりも深い等深線（水深7～9m）に沿って20m、60m、90m、150m離れた比較的平坦な岩礁を測点（AR1周辺測点名：W20、W60、W90、W150、AR3周辺測点名：E20、E60、E90、E150）とした（図3.1）。2019年8月2～3日、これらの8測点において1×1m枠を連続的に移動させた10枠でウニの個体数を種別に計数するとともに海藻の被度解析のための写真撮影を行った。また各測点でウニを無作為に採集し、その殻径をノギスで測定した。被度解析は、画像解析ソフトウェアAreaQを用いて画像のゆがみを補正した物理座標から、枝状直立海藻（ホンダワラ類）、非枝状直立海藻（アミジグサ類、テングサ類、ミル類、有節サンゴモなど）、芝状藻（高さ1cm以下の糸状藻類）、刺胞動物（ソフトコーラル、造礁サンゴ、イソギンチャク）、裸岩（無節サンゴモを含む）、砂（薄層被覆を含む）の面積を計測し、被度を求めた。

また、投石礁周辺でのウニの係留実験による捕食圧を直接的に測定するため、同年8月2日、AR3周辺の上記4測点に1kgウェートに係留したツマジロナガウニ（平均長径44～45mm）を1m間隔に30個ずつ配置し、1日、22日、66日後の生残率を追跡調査した。

9月1日、投石礁AR1とAR3においてイセエビの密度と体サイズを調査した。調査ではロープで作った枠（面積5×5m；N=6）を投石礁の表面に張り、潜水者が目視で確認できたイセエビの尾数を数えるとともに、イセエビの頭胸甲長（以下CLと記す）を、ステレオカメラ撮影によるKawamata & Taino（2018）の方法により、イセエビを捕獲せずに推定した。

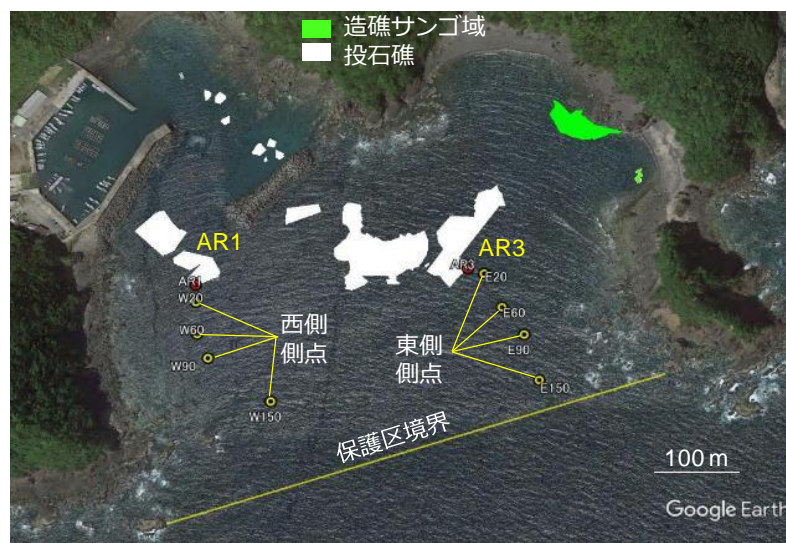


図3.1 先行事例の保護区内での調査位置図

### 2. イセエビを捕食者とする事例の蓄積（徳島県での事例）

徳島県日和佐地区では、イセエビ保護区内の沖防波堤の捨石マウンドとその周辺漁業区（以下、対照区という）の投石礁（18m×18m）を対象として、イセエビ、ウニ、海藻の調査を実施した。イセエビ調査については、保護区捨石マウンドではイセエビがマウンドの奥深くまで入り込んで調査が困難であることから、昨年度に引き続き、漁獲物調査により行った。調査は2019年の最初のイセエビ漁が行われた9月26日に捨石マウンド周辺で刺

し網 12 枚 (1 枚約 70m) により漁獲されたイセエビの CL を測定した。一方、対照区投石礁では、潜水目視によりイセエビの尾数を調べた。6 月 18 日～7 月 16 日の海藻繁茂期と 9 月 12 日～25 日の衰退期の 2 回、1m<sup>2</sup> 枠を用いてウニの密度と殻径の調査と、海藻の被度解析のための写真撮影を行った。被度解析では、大型褐藻類 (サガラメ、クロメ、カジメ、ワカメ、ヤツマタモク、ヨレモクモドキ)、非殻状小型海藻 (マクサ、キントキ、スギノリ、ツノマタ、ホソバノトサカモドキ、ヘラヤハズ、アミジグサなど) 及び有節サンゴモの面積被度を先行事例と同様の画像解析により求めた。

### 3. イセエビを捕食者とする事例の蓄積 (鹿児島県での事例)

投石礁への大型イセエビの放流試験と陸上水槽でのウニ捕食量試験には、2019 年 2 月 1 日、南九州市穎娃町水成川で漁獲されたイセエビ 18 尾 (オス 15 尾、メス 3 尾) を用いた。これらのイセエビは、ろ過海水を掛け流した、鹿児島県水産技術開発センターの屋外大型水槽に収容した。投石礁への放流試験では、水槽でウニの捕食に馴れさせたイセエビ (CL78～93mm) 15 尾を 4 回 (2019 年 5 月 21 日 : 5 尾、6 月 6 日 : 3 尾、7 月 30 日 : 3 尾、10 月 8 日 : 4 尾) に分けて放流した。また、放流エビの残存状況と放流エビによる捕食の影響の有無を調査するため、5 月 21 日～12 月 19 日に、ウニの密度を、1m<sup>2</sup> 枠を用いた枠法 ( $N=10$ ) で 7 回調べるとともに、無作為に採集したウニ 50 個の殻径を 5 回調べた。また 5 月 23 日、投石礁で 1m<sup>2</sup> 枠 ( $N=10$ ) を用いた写真撮影を行い、画像解析により海藻の種別の被度を調べた。

水槽での捕食量試験にはオスの大型イセエビ (CL87～91mm) 3 尾を用いた。2019 年 4 月 5 日、これらのイセエビを、屋外に設置した円形の 1 トン水槽 3 水槽に 1 尾ずつ収容して試験を開始した。試験水槽の底面にはコンクリート製 U 字溝を被せた状態で設置し、イセエビの隠れ場とした。また水槽には水温と水質の維持のため、ろ過海水を流量 13.0～16.7L/min (12 月 6 日以降は 24L/min に変更) でかけ流した。現地の磯焼け域と同じような殻径組成のムラサキウニを不足のない状態で与えて、1 日～27 日の時間間隔で捕食したウニの大きさと数を調べた。なお、本試験は 1 年間実施する予定であるが、本報告には 2020 年 2 月 13 日までの結果を記載する。

### 4. イセエビ以外の捕食者の利用可能性の検討

三陸沿岸の磯焼け域に優占するキタムラサキウニに対するイシガニの捕食量を調べるため、宮古市沿岸の岩礁にキタムラサキウニ (殻径 20～40 mm) 10 個を入れた小型ケージ (70×70×15cm ; 目合 10×10mm) 4 基を設置し、そのうち 2 基にはイシガニ (甲幅 80、94mm) を 1 尾ずつ入れ、残りの 2 基には入れずに、4～15 日後のウニの生残数を調べた。当実験は 2019 年 8 月 1 日～9 月 20 日に 6 回実施した。

イシガニがウニの植食活動に及ぼす影響を調べるため、キタムラサキウニが優占する磯焼け地帯に小型ウニ (殻径<約 30mm) が通過できる目合 (28.5×30mm) の小型ケージ (70×70×15cm) 2 ないし 3 基にコンブ葉片とともにイシガニ (甲幅 72、80、93mm) 1 尾ずつを入れたものと、コンブ葉片のみを入れたものを設置し、2～7 日後のケージ内へのウニの侵入個数とコンブ葉片の残存量を調べた。実験は、2019 年 7 月 3 日～8 月 1 日に 4 回実施した。

ウニの植食活動に対するイシガニの抑制効果の空間規模を調べるため、キタムラサキウニ (殻径 10～40mm) 570～678 個を収容した面積 6.6×6.6m の水槽内に、コンブ葉片を入れた中型ケージ (1.4×1.4×1m ; 面積 2m<sup>2</sup>) 4 基または大型ケージ (4.2×1.4×1m ; 面積 6m<sup>2</sup>) 2 基を設置し、そのうちの 2 基または 1 基のケージにイシガニ 1 尾を入れ、3～10 日後にケージ及

びコンブ葉片に付着していたウニの個数とコンブ残存割合を調べた。当実験は2019年7月22日～8月18日に4回実施した。

#### 5. 捕食者を利用した藻場回復の手引き（案）の作成

これまでに得られた知見、文献情報、ネット情報を収集・分析し、「捕食者を利用した藻場回復の手引き（案）」を作成した。

小課題4について：

①ウニ除去により藻場が回復し、回復した藻場が周辺海域に広がった福岡県相島地先、静岡県平沢地先の2地区において、過去の藻場の推移を情報収集等によって把握するとともに、周辺海域に藻場が広がった要因をi種供給、ii流況、iii食害、iv海域環境等の観点から考察し明らかにする。具体的な調査方法は次のようである。

①-1 福岡県相島地先について

情報収集は、次の参考資料と現場ヒアリングで行った。

「参考にした文献」

1) 福岡県・新宮町、相島藻場保全活動組織、株式会社ベントスが実施して取りまとめた「令和元年度、第2期水産多面的機能発揮対策事業における定期モニタリング調査（新宮町相島地区）」に関する報告書

「ヒアリング」

2) 2019年9月18日 現地にて相島藻場保全活動組織にヒアリングを行った。

①-2 静岡県平沢地先について

情報収集は、過去の文献と関係者へのヒアリングにより行った。

「参考にした文献」

1) 霜村・長谷川：本県における海藻群落の現況 聞き取り調査から IV 伊豆市・沼津市、伊豆分場だより、301号、2005

2) 安倍・石井・藤田：沼津市平沢地先におけるヨレモクモドキの生育阻害要因について、静岡県水技研研報、43、pp.13-17、2008

3) 高木・御宿・長谷川・中田・佐藤・藤田：静岡県伊豆半島北西岸でのガラモ場回復の取り組み、水産工学、Vol. 48、No. 1、pp. 41~45、2011

4) 山田：ガラモ場回復に向けた取り組み、伊豆分場だより、327号、2011

5) 山田：ガラモ場回復に向けた取り組みⅡ、伊豆分場だより、333号、2013

6) 山田：ガラモ場回復に向けた取り組みⅢ、伊豆分場だより、335号、2013

7) 山田・伊藤・秋田・藤田：静岡県のガンガゼ占有域におけるガラモ場の回復と拡大、月刊海洋、Vol. 52、No. 3、pp. 177~184、2015

8) 静岡県経済産業部：新たな水産技術「ガラモ場を回復させる方法」、No.606、2014

9) 尾形・高木・御宿・藤田：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、Vol. 52、No. 3、pp. 177~184、2016

「ヒアリング」

静岡県水産試験場 長谷川研究員、東京海洋大学 藤田准教授、

②九十九島海域（長崎県佐世保市）の小佐々地区において、平成31年度に立案した藻場ネットワークとソフト対策（ウニ駆除）を組み合わせた藻場回復手法の実証計画に沿って、対策を実証する。当海域の藻場はガラモ場であるため、藻場ネットワークとして流れ藻に着目し、流れ藻を人為的に海域に留まらせることができる「流れ藻キャッチャー」を活用し、想定区画にタネを供給することとした。また、これまでの調査・聞き取りによって藻場の衰退要因がウニ類による食害であると推測されたため、ソフト対策としてはウニ類の駆除を実施することとした。これらを組み合わせることによる藻場回復手法の有効性を検

証するため、対策区と対照区を設け、ウニ密度、海藻被度、海藻種、冬季の海藻幼体の芽生えを確認する。

③三浦半島西岸（神奈川県横須賀市）のうち、久留和地区において、平成 31 年度に立案した藻場ネットワークとソフト対策（ウニ駆除）を組み合わせた藻場回復手法の実証計画に沿って、対策を実証する。当海域の藻場はアラメ・カジメ場であるため、藻場ネットワークとしては母藻から放出される遊走子の移動に着目し、予測された遊走子の供給先で対策を実施することとした。また、これまでの調査・対策によって当海域の藻場の衰退要因は主にウニ類であると推測し、対策としてはウニ駆除を実施する。藻場ネットワークの利用とソフト対策（ウニ駆除）を組み合わせることによる藻場回復手法の有効性を検証するため、対策区と対照区を設け、ウニ密度、海藻被度、海藻種、冬季の海藻幼体の芽生えを確認する。

なお、相模湾では近年アイゴによる食害が顕著になっており、母藻の維持が難しくなっている。本調査ではまずは、藻場を回復・創出する可能性の検証を目的としている。

小課題5について：

1. 磯焼けガイドラインのレビュー

現行ガイドラインのレビューを行うにあたり、既存資料（過去のアンケート結果）や都道府県が取りまとめた藻場ビジョンの整理、都道府県等へのハードとソフトの連携させた取組みに関するアンケート調査等を実施した。特に、ハードとソフトが一体となった取組み事例が多い都道府県に対しては、個別にヒアリングを行い、位置図や配置図、ソフト対策の補助期間以降の取組状況や実施体制、その後の藻場状況を確認した。また、水産多面的事業の講習会において、参加された活動組織に対してもアンケートを実施し、磯焼け対策技術の課題・問題点の有無を確認した。

2. 項目の追加、更新の検討及び内容の見直しの方向性の検討

アンケート等の結果を踏まえて、現行ガイドラインのレビューを行い、項目の追加、更新の検討を行うとともに、ガイドライン見直しの方向性と目次案の検討を行った。なお、検討にあたっては、藻場回復・保全技術の高度化検討会（委員長：東京海洋大学海洋生物資源学部 藤田大介 准教授）を設置し、有識者の意見を踏まえながら行った。



e 結果

小課題1について：

(ア) 藻場調査に関するマニュアルの検討

(1) 藻場調査手法の比較

・潜水調査では岩大橋側のエリア A におけるカジメの平均被度は  $50.5 \pm 35.8\%$  (0-100%)、真鶴側のエリア C における平均被度は  $34.5 \pm 38.3\%$  (0-100%) であった。岩大橋側のエリア A のカジメ場面積は  $7705\text{m}^2$ 、真鶴側のエリア C は  $7024\text{m}^2$  と推定された(図 1-5)。

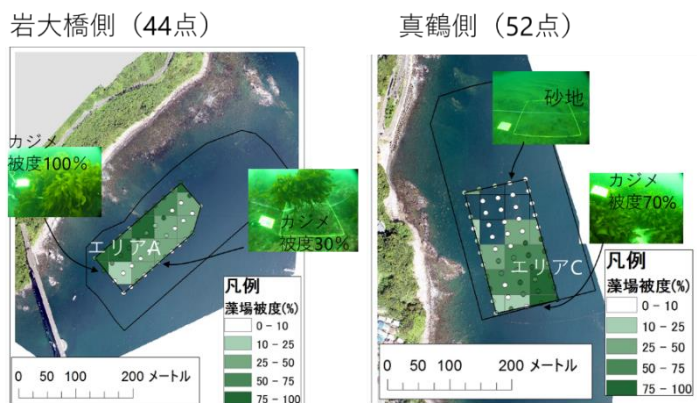


図 1-5. 潜水調査点と推定されたカジメ場の分布

・船上カメラ調査では岩大橋側のエリア B におけるカジメの平均被度は  $33.6\% \pm 31.7\%$  (0-100%)、真鶴側のエリア D における平均被度は  $18.3\% \pm 28.1\%$  (0-95%) と潜水調査よりも低かった。これは船上調査の範囲では、沖側の海藻の生えていない砂地を多く含むためと考えられる。岩大橋側ではエリア A のカジメ場面積は  $7653\text{m}^2$  とエリア B は  $19467\text{m}^2$ 、真鶴側ではエリア C のカジメ場面積は  $5881\text{m}^2$  とエリア D は  $12403\text{m}^2$  と推定された(図 1-6)。

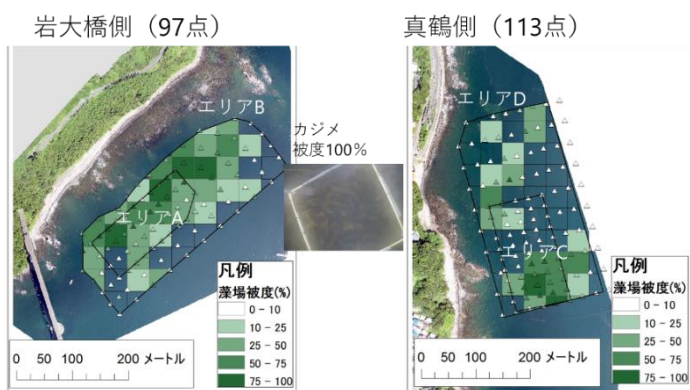


図 1-6. 船上カメラ調査点と推定されたカジメ場の分布

・音響測量調査では岩大橋側でエリア A のカジメ場面積は  $6216\text{m}^2$  とエリア B は  $13463\text{m}^2$ 、真鶴側でエリア C のカジメ場面積は  $5050\text{m}^2$  とエリア D は  $10300\text{m}^2$  と推定された(図 1-7)。船上カメラの結果で検証すると、カジメ場分布の判別精度は岩大橋側で 74.2%、真鶴側で 80.5% であった (表 1-1)。この正答率は既存研究の値 (79-92%) よりも低い (Minami et al. 2016; Shao et al. 2017)、カジメの草丈が低く、

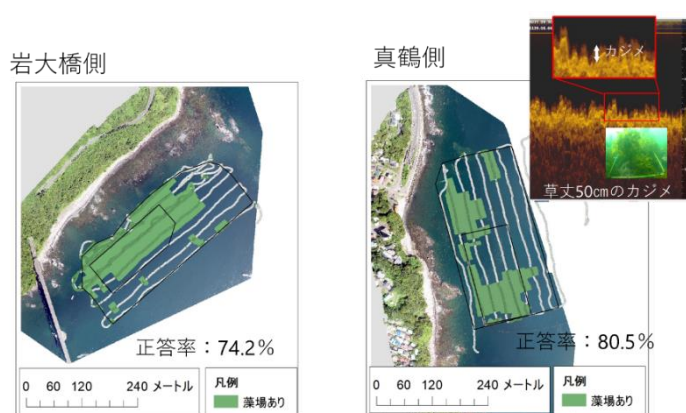


図 1-7. 音響測量の測量ライン (図中の曲線) と推定されたカジメ場の分布

低被度だったことが影響していると考えられる。

表 1-1. カジメ場の分布判別（被度 50%以上）における音響測量の正答率

岩大橋側				真鶴側			
船上カメラ調査	音響測量		合計	船上カメラ調査	音響測量		合計
	藻場あり	藻場なし			藻場あり	藻場なし	
藻場あり	24	2	26	藻場あり	17	3	20
藻場なし	23	48	71	藻場なし	19	74	93
合計	47	50	97	合計	36	77	113

正答率：(24+48)/97×100 = 74.2%

正答率：(17+74)/113×100 = 80.5%

・ドローン空撮

空撮画像を用いてカジメ場の分布を推定したところ、岩大橋側ではエリア A のカジメ場面積は 5719 m<sup>2</sup> とエリア B のカジメ場面積は 14009 m<sup>2</sup>、真鶴側ではエリア C の藻場面積は 4313 m<sup>2</sup> とエリア D の藻場面積は 11480 m<sup>2</sup> と推定された(図 1-8)。船上カメラの結果で検証すると、カジメ場分布の判別精度は岩大橋側で 86.6%、真鶴側で 86.4%であり、合理的な精度を担保することができる(表 1-2) (Mumby et al. 1999)。

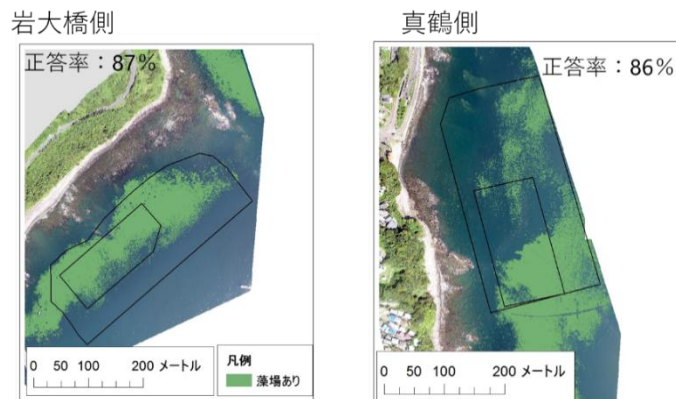


図 1-8. ドローンによる空撮画像から推定されたカジメ場の分布

表 1-2. カジメ場の分布判別（被度 50%以上）におけるドローン空撮画像の精

岩大橋側				真鶴側			
船上カメラ調査	ドローン空撮		合計	船上カメラ調査	ドローン空撮		合計
	藻場あり	藻場なし			藻場あり	藻場なし	
藻場あり	26	3	29	藻場あり	18	3	21
藻場なし	10	58	68	藻場なし	11	71	82
合計	36	61	97	合計	29	74	103

正答率：(26+58)/97×100 = 86.6%

正答率：(18+71)/103×100 = 86.4%

・各調査手法の比較

音響測量、ドローン空撮で推定されたカジメ場面積を現地調査である潜水調査、船上調査の結果と比較すると、音響測量では現地調査の 0.69–0.83 倍、ドローン空撮では 0.72–0.93 倍と小さくなる傾向にあることがわかった(表 1-3)。

表 1-3. 音響測量及びドローン空撮と現地調査で推定された藻場面積の比率

	音響/潜水	音響/船上	ドローン/潜水	ドローン/船上
岩大橋	0.81	0.69	0.75	0.72
真鶴	0.72	0.83	0.73	0.93

音響では被度が小さな藻場（被度 50%以

下) が検出できないこと、ドローンでは水深が深くなると空撮画像から藻場の判別が困難になることから、過小評価されると考えられる。

また各手法の特徴を比較したものを表 1-4 に示す。潜水調査及び船上調査で取得情報は多く、海藻種の同定や被度まで定量できるが、ソナーやドローンでは海藻の有無がわかる程度で種判別や被度の定量は難しい。1ha あたりの調査に必要な時間は予想通り、潜水調査、船上カメラ、音響測量、ドローンの順に短くなった(表 1-4)。今回の調査を民間に委託した場合(3社の平均)、潜水では平均 1125 万円、船上調査では平均 387 万円、音響ソナーでは平均 344 万円、ドローンでは 256 万円かかると算出された。一方、民間委託した場合の解析費用は、どの調査でも 220~283 万円程度で調査費用ほどの大きな違いはなかった。各調査手法を比較すると、ドローンや音響測量の調査時間は短く、費用も安く済むが、どちらも潜水や船上カメラ調査などによる現地の藻場データが数十点必要になる点に注意が必要である。各機関が自前で調査できる部分と民間に委託する部分をうまく分けることで、予算に応じた調査が可能になると考えられる。

表 1-4. 各手法の特徴(取得情報、精度、必要時間、民間委託した場合の費用)の比較

調査手法	海藻の取得情報	正答率(%)	必要時間(分/ha)	民間委託した場合の調査費用(10haあたり)	民間委託した場合の解析費用	特徴
潜水調査	種判別・被度	100	164, 180	1125万円(542-1941万円)	220万円(172-311)	・教師や検証用にデータ利用可
船上調査	種判別・被度	100	29	387万円(218-722万円)	238万円(172-311)	・教師や検証用にデータ利用可 ・濁りによる制限(透明度が5m以上あると○)
音響ソナー	藻場の有無	74, 81	15, 21	344万円(270-463万円)	229万円(172-342万円)	・濁りでも調査できる ・教師や検証データが必要 ・低被度の藻場の判別が難しい
ドローン	藻場の有無	84, 87	7	256万円(176-411万円)	283万円(215-324)	・濁りによる制限(透明度10m程度必要) ・教師や検証データが必要

## (2) 藻場分布の時系列変化の把握手法の検討

2020年1月22日の潜水調査及び漁業者からの聞き取りの結果、人工リーフではカジメ場は消失していることが明らかになった(図 1-9)。潜水調査中にホンダワラ類の新芽を確認した地点もあったが、大型褐藻(カジメ、ホンダワラ類など)はほとんど生育していない状況である。また、空中写真から1999年12月の藻場分布(被度25%以上)が推定され、その面積は5614m<sup>2</sup>と、2000年2月に潜水観察の結果から藻場の面積(被度25%以上)では4743m<sup>2</sup>と算出された(図 1-9a,1-10)。ただし、1999年の空中写真では波が立ち、海の透明度が低いことから画像の質が低く、現地調査の藻場分布との整合性は低かった(図 1-9a,1-10)。また、2020年のドローン画像では、現地調査でカジメ場が確認されなかったことやドローン画像を精査しても藻場は映っていなかったことから、推定された藻場面積は0m<sup>2</sup>とみなした(図 1-11)。(1)と同様に今回の調査においても調査手法により推定された藻場面積が異なった。これは空中写真と現地調査の時期(1999年12月と2000年2月)の違いというよりも、手法の違いが影響したと考えられる。藻場の時系列変化を把握するためには同じ手法を用いることが推奨されるが、今回のように昔に藻場の潜水調査を行った地点をドローンで調査するといったことは増えていくだろう。この場

合、調査手法の違いや精度を検証するためにも、部分的には潜水調査を行うなどといった工夫が必要と考えられる。

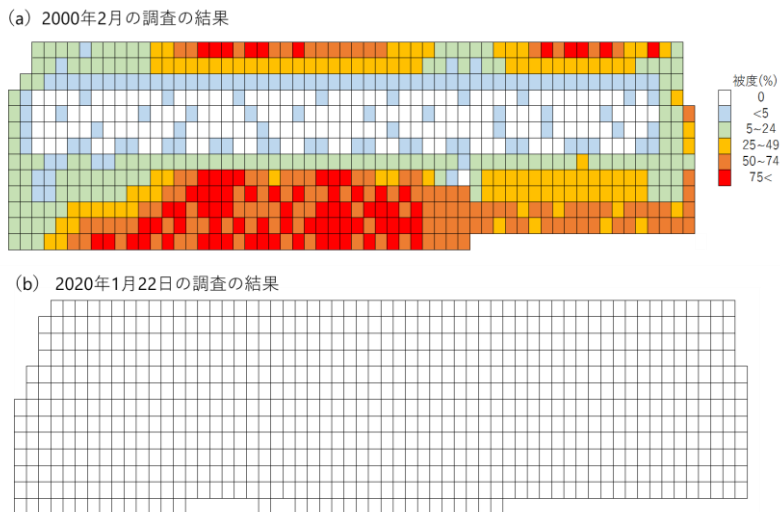


図1-9. (a)2000年2月と(b)2020年1月22日の小田原市沿岸の人工リーフにおけるカジメの被度. (a)は木下ら(2006)より作成.

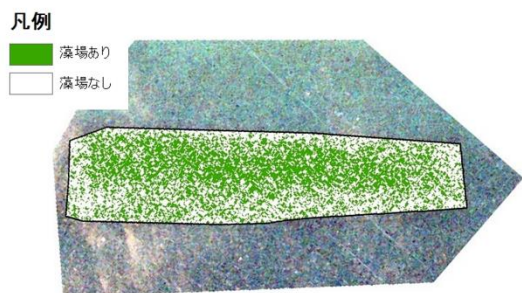


図1-10. 1999年12月の空中写真から教師付き分類により推定された藻場分布

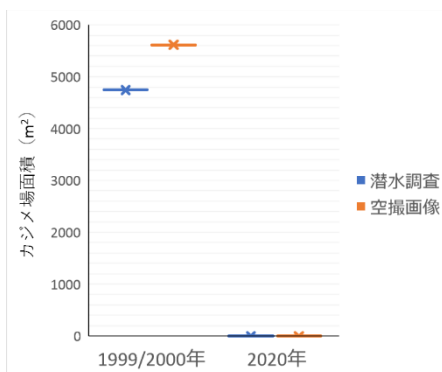


図1-11. 1999・2000年と2020年の藻場面積の変化

### (イ) 画像を活用した広域藻場モニタリング手法の検討

#### (1) 人工衛星画像

名護屋湾、相模湾小田原市地先、石狩湾積丹半島地先の3海域を対象として、World-View2の画像を用いて、各々2時期、2つの水柱補正方法の計12ケースについて藻場(被度25%以上)の有無を判読した。全ケースの藻場推定分布図と正答率を図1-12に示す。なお、正答率の算定には、各対象海域、対象時期に実施されている現地調査結果の全データを用いた。名護屋湾の(2014年)のSagawaの藻場判別の正答率の計算例を表1-5に示す。

全ケースの正答率は、78%~93%の範囲にあり、精度目標80%は概ね確保されている。

2つの水柱補正方法には大きな優劣はないが、Lyzenga(1981)によるDII指標は、波浪の影響がある画像の場合(名護屋湾)、沖合部でノイズが生じる傾向がみられた。一方、Sagawa et al.(2010)によるBRI指標は、精度の高い水深情報がある場合にはDII指標よりも優位であるが、ごく浅海域の水深情報が十分でない場合(積丹半島地先)では、Lyzenga(1981)の方が藻場の有無をよく表現されている傾向もみられた。一般には、日本

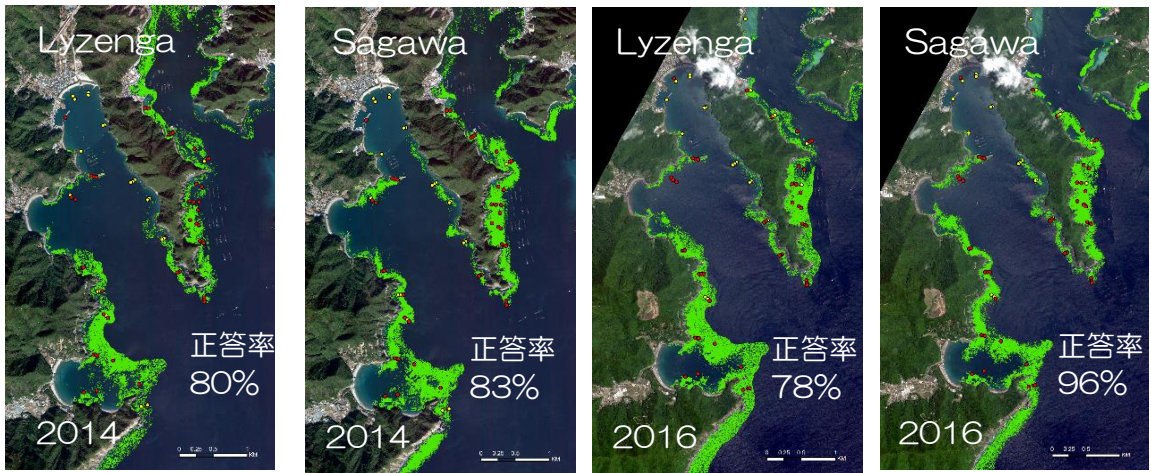
沿岸では平均的に DII 指標は水深 5m 未満の海域、BRI は水深 5~15m 程度の海域に有効であるとの見解もあり、対象とする海域の水深帯や水深情報の有無などから適切な方法を選択する必要がある。

セグメンテーションについては、名護屋湾のように、沖合部で波浪の影響がみられた画像の場合は、ピクセル毎のバラツキが平滑化されるため、ノイズ低減効果がみられたが、磯焼けが進行し、藻場が小規模なパッチ状に分布するような海域では、平滑化により精度が低下する可能性があるため、画像の画質や現地における藻場分布特性に応じて適用を検討する必要がある。

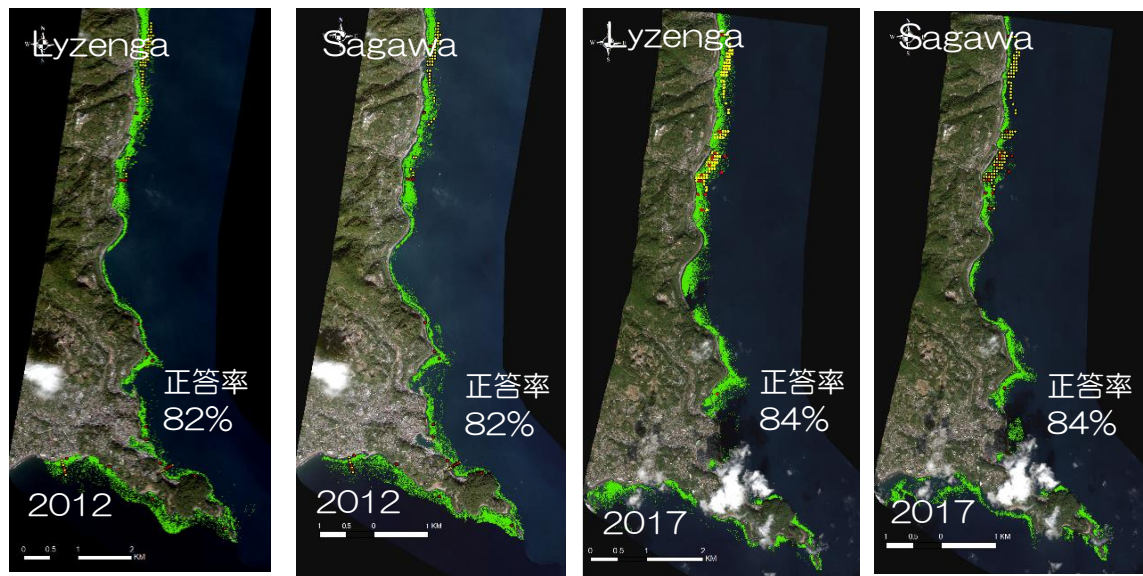
藻場分類手法については、昨年度検討した教師なし分類では、画像に基づくクラスター分析結果に対して、現地情報等に基づいて手作業で藻場の有無を割り当てる必要があり、高精度を確保するには、教師付き分類の方が有利である。教師付き分類手法については、昨年度検討した最尤法と今回検討した SVM には顕著な優劣はなく、他の知見によれば、SVM 以外のニューラルネットワーク、ランダムツリーなどの機械学習 (AI) にも顕著な優劣はないようである。

藻場判別精度を左右する要因としては、良好な画質の画像を入手することを前提として、水柱補正、藻場分類計算に用いるパラメータの設定や適切な教師データの設定が挙げられるとともに、現地情報 (底質、水深、藻場検証データなど) の取得が挙げられ、人工衛星画像を活用した藻場判読を行う場合には、他の手法と効率的に組み合わせることが重要である。

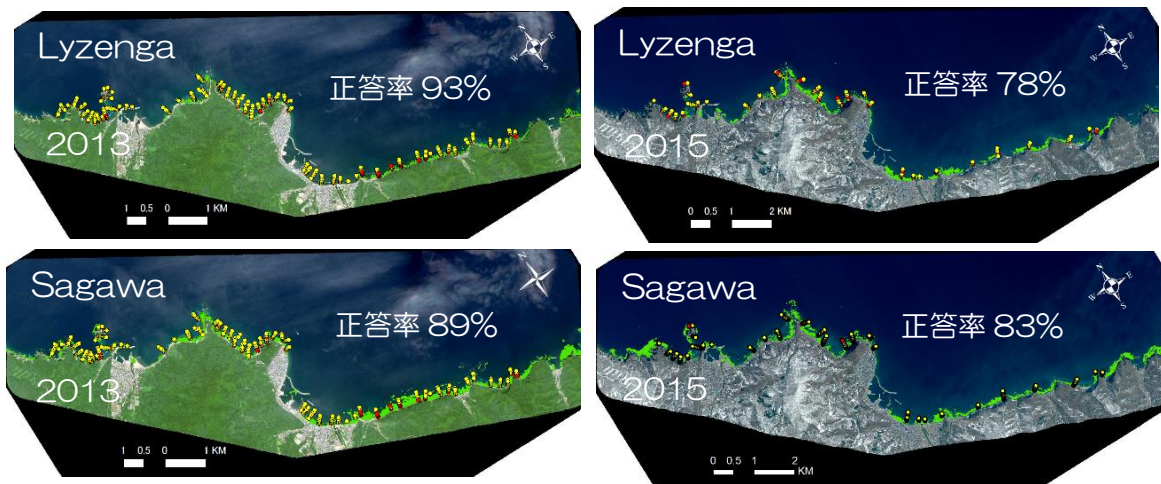
精度については、一般的に用いられている手法として現地スポット地点との比較により評価したが、図 1-13 に示す積丹半島地先(2013 年)の推定藻場分布の Lyzenga と Sagawa の比較をみると、現地スポット地点における両者の精度は同程度であるが、藻場面積で見ると差異がみられる。これは水柱補正方法の違いに加えて岸沖方向の藻場範囲の教師データの与え方の違いに起因する影響も大きい。磯焼けが進行した海域における藻場面積をより実態に即して把握する際には、スポット地点データだけでなく、一部の範囲であってもドローン等による面的な分布を把握することなどが必要と考えられる。



名護屋湾



相模湾小田原市地先



石狩湾積丹半島沿岸

図 1-12 人工衛星画像解析による藻場分布推定図

表 1-5 名護屋湾の（2014 年）の Sagawa の藻場判別の正答率の計算例

船上カメラ調査	ドローン空撮		合計
	藻場あり	藻場なし	
藻場あり	40	7	47
藻場なし	5	17	22
合計	45	24	69

正答率：(40+17) / 69 = 82.6 %



図 1-13 積丹半島地先（2013 年）の Lyzenga と Sagawa の藻場推定分布の比較

## (2) ドローン画像解析

ドローン画像については、平成 30 年度に現地撮影を行ったが、本年度は名護屋湾と相模湾の 2 海域において再度現地撮影を行い、より高精度な画像を得ることができた。この画像を用いて、人工衛星画像と同様の解析手法を用いて藻場判別の精度を検証した。ただし、大気補正は行わず、水柱補正にはドローンの解像度（10cm 前後）に対応した水深情報が得られなかったため、Lyzenga(1981)の方法を採用した。また、セグメンテーション処理は行わず、ピクセルベースで藻場判別を行った。

その結果、図 1-14、図 1-15 に示すように、名護屋湾、相模湾ともに正答率は 80%以上を得た。なお、相模湾では、藻場有無の閾値を被度 50%とした場合を行った結果、精度はやや低下したものの、良好な精度が確保されていた。

以上より、ドローン画像により藻場有無を高精度で判読できることを検証した。さらに、図 1-16 に示すように、名護屋湾の画像では、マクサ、ノリ、クロメの D I I 指標の違いも認められることから、褐藻、紅藻、緑藻の個別判読の可能性も示唆された。また、図 1-17 に示すように、高解像度のドローン画像によれば、被度の把握の可能性も示唆され、これらを可能とするには、鮮明な画像を得るための現地観測のマニュアル化が重要である。

一方、ドローン画像の 10cm 前後の解像度に対し、現地調査の位置精度は m オーダーであることから、現地スポット地点での比較による精度評価にあたっては、地点位置の整合に留意する必要がある。



WorldView2(2014年)



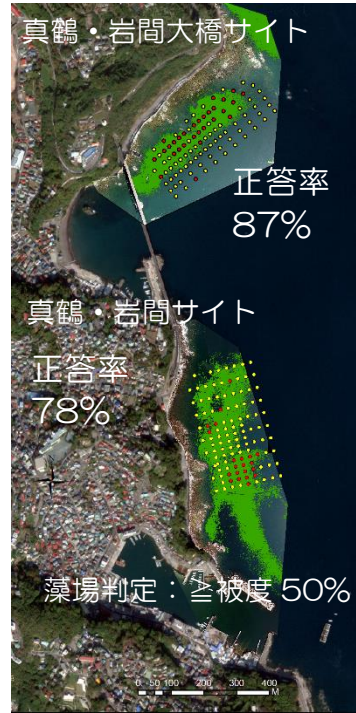
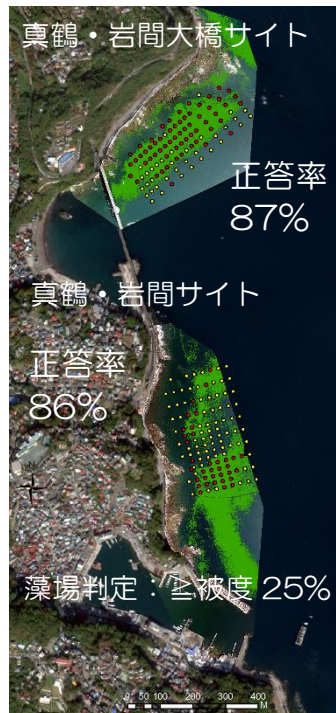
ドローン(2019年)

- : 推定藻場
- : 現地調査藻場有地点
- : 現地調査藻場無地点

図 1-14 人工衛星とドローンによる推定藻場分布の比較 (名護屋湾: 波当津湾)



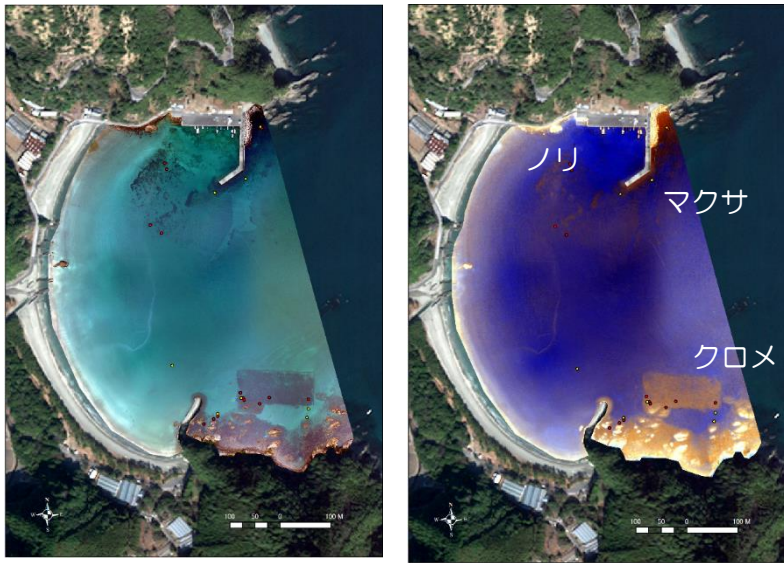
WorldView2(2012年)



ドローン(2019年)

図 1-15 人工衛星とドローンによる推定藻場分布の比較 (相模湾: 小田原市地先)





オリジナル画像(2019年撮影)

DII 指標 (Lyzenga)

図 1-16 ドローン画像による藻場分布推定



図 1-17 人工衛星 (World-View2) とドローン画像の解像度の比較

一方、ドローン画像の 10cm 前後の解像度に対し、現地調査の位置精度は m オーダーであることから、現地スポット地点での比較による精度評価にあたっては、地点位置の整合に留意する必要がある。

### (3)水中カメラ画像

水中カメラ画像については、名護屋湾で取得した水中カメラ画像の RGB 値に基づく SVM による分類により、褐藻、紅藻の網別被度を自動的に算定できることを確認した (図 1-18)。

この画像解析による被度算定により、人の目視による被度算定作業の省力化に寄与することが期待される。今後、多様な水中カメラ画像により精度検証を行う必要がある。

なお、深層学習 (畳み込みニューラルネットワーク) により海藻の形状を特徴量とした分類手法も試行したが、画像中の海藻の形状は同種でも多様であることから、精度向上は図れなかった。

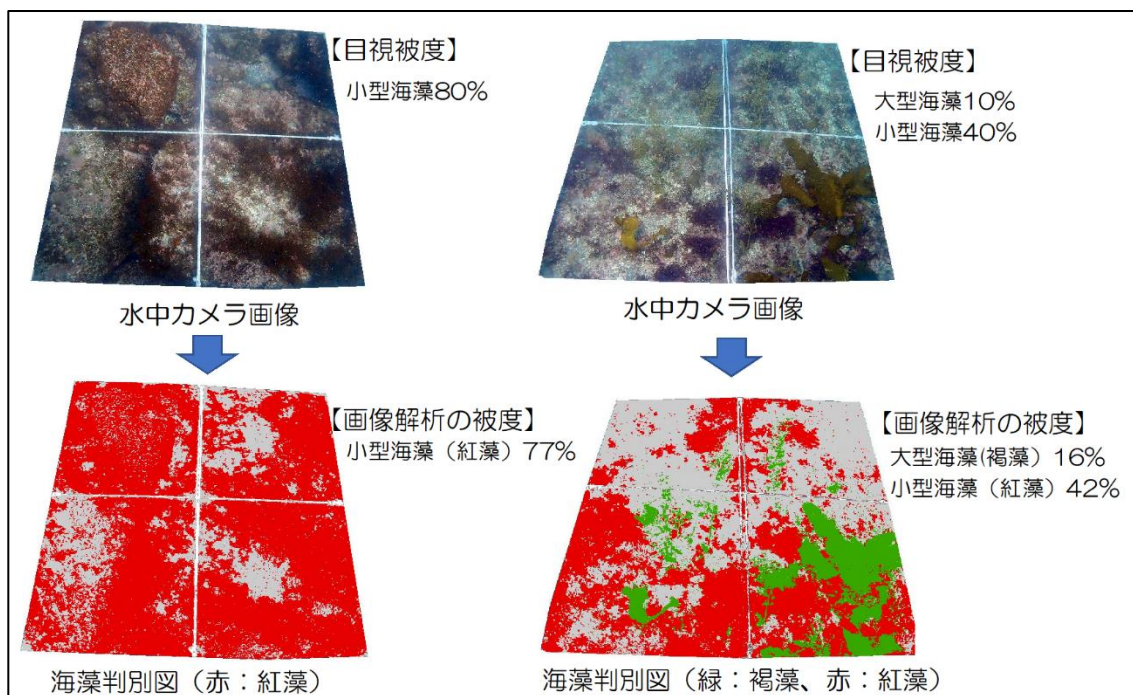


図 1-18 水中カメラ画像解析による網別海藻判読と被度算定

#### 参考文献

- 木下淳司、山本章太郎、石黒雄一、山本貴一 (2006) 砂浜海岸に設置した人工リーフへのカジメ移植と群落の拡大. 水産工学 43(2):139-149
- Lyzenga, D.R., (1981) Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *Int. J. Remote Sens.* 10, 53-69
- Minami, K., Tojo, N., Yasuma, H., Ito, Y., Nobetsu, T., Fukui, S., and Miyashita, K. (2014) Quantitative mapping of kelp forests (*Laminaria* spp.) before and after harvest in coastal waters of the Shiretoko Peninsula, Hokkaido, Japan. *Fish. Sci.* 80, 405-413
- Mumby, P. J., Green, E. P., Edwards, A. J. and Clark, C. D. 1999. The cost-effectiveness of remote sensing for tropical coastal resources assessment and management. *J. Environ. Management* 55, 157-166.
- Sagawa, T., Boissier, E., Komatsu, T., Kosaka, T., Mustapha, K. B., Hattour, A., ... Miyazaki, S. (2010). Using bottom surface reflectance to map coastal marine areas: A new application method for Lyzenga's model. *Int. J. Remote Sens.*, 31, 3051-3064.
- Shao, H., Minami, K., Shirakawa, H., Maeda, T., Ohmura, T., Fujikawa, Y., Yotsukura, N., Nakaoka, M., Miyashita, K., 2017. Verification of echosounder measurements of thickness and spatial distribution of kelp forests. *J. Mar. Sci. Technol.-Taiwan* 25 (3), 343-351

小課題 2 について：

### ①ブダイのバイオテレメトリー調査

#### 【目的】

植食性魚類の除去手法を検討する上で、その行動範囲や行動特性を把握することは極めて重要である。アイゴやノトイソズミではバイオテレメトリー調査によりその行動特性等が明らかにされつつあるが（山口ら 2006）、ブダイではバイオテレメトリー調査は実施されていない。そこで、ブダイのバイオテレメトリー調査を実施し、除去技術を開発する上で特に重要な以下の 3 点を検討することを目的とする（図 2-1）。

1 点目は、ブダイの最適な除去範囲の検討である（図 2-1a）。植食性魚類はウニ類などの植食性ベントスに比べ移動能力が高い特徴を持つ。このため、植食性魚類の場合、除去範囲が狭すぎると外からの移入がおり、広すぎると高い除去率を達成することが難しくなる。このため、植食性魚類の対策においては、植食性魚類の生態に応じた除去範囲の設定が不可欠である。本調査では、放流したブダイがどのくらいの範囲から受信されるのかを把握する。

2 点目は、ブダイが DeLury（デルリ）法的前提条件を満たしているかどうかの検討である（図 2-1b）。「②植食性魚類の除去とその食圧の関係性の評価」において、DeLury 法を用いた除去区のブダイの個体数推定を実施する。この方法を実施する上で、除去区の内外の移動がないことが前提条件となっている。本調査では放流したブダイが除去区へ移動するか否かを検証する。

3 点目は、ブダイの繁殖場所を検討することである（図 2-1c）。ブダイの仲間には繁殖時に蛸集する種が知られている（桑村 2012）。ブダイでもこのような蛸集が確認できれば、より効率的に除去できる可能性がある。しかし、ブダイについては繁殖の確認事例が限られており、どのような場所で産卵するのか十分に分かっていない。本調査では、産卵場所の手がかりを得るため、繁殖期に特定の場所へ移動等が起こるかどうかを検討する。

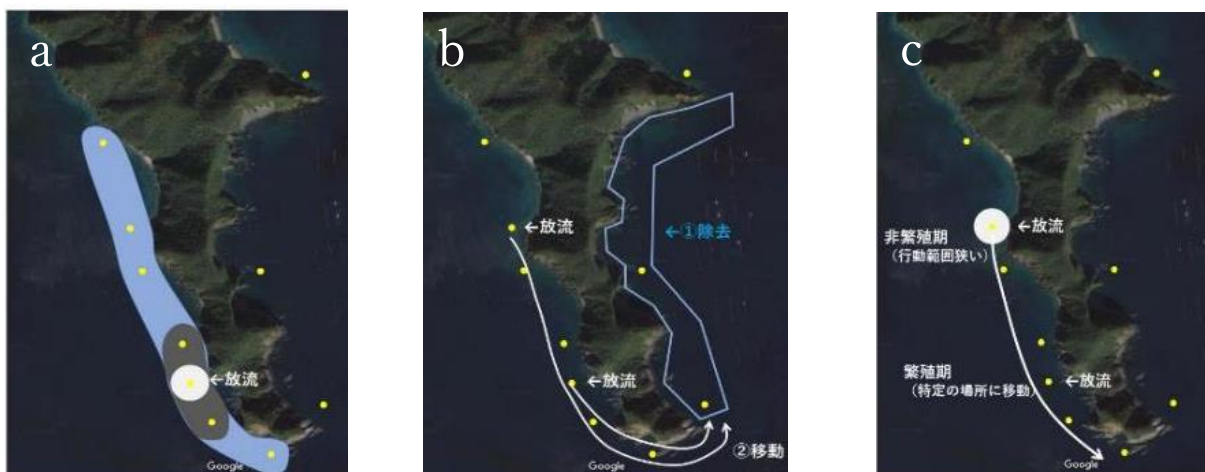


図 2-1 ブダイのバイオテレメトリー調査での検討項目。行動範囲の検討（a）；放流したブダイが放流地点からどのくらい離れた地点で受信されるのかを検証する。

DeLury 法的前提条件に関する検討（b）；除去により、放流した西岸から除去を実施する東岸に移動するか否かを検証する。繁殖場所の検討（c）；産卵期に特定の場所へ移動等が起こるのかを調査する。

## 【方 法】

### 1) 発信機の装着方法の検討

バイオテレメトリー調査で使用する発信機を供試魚に装着する方法として、外部装着と内部装着がある。内部装着とは発信器を魚体の腹腔内に手術によって入れる手法で、一度装着すると脱落のリスクが少ない一方で、魚体への負担が懸念される。この内部装着法をブダイで使用できるかどうかを検討するため、西海区水産研究所五島庁舎で水槽実験を実施した。供試魚2個体を4月13日に延縄により採集し、円形2t水槽に収容した。供試魚の全長は44.1cmと42.8cm、体重は1260gと1362gであった。4月24日にダミーピンガーを内部装着するとともに外部標識としてダートタグを付けた。ダミーピンガーを挿入する部位は事前に冷凍標本を使って検討し、肝臓の張り出しが少ない腹部右側とした。なお、サイズと重さはダミーピンガーが10mm×30mm、2.8g～2.9gで、実際に使用するピンガーが9mm×29mm、4.7gである。ダミーピンガーを挿入した後、開腹部分を縫い合わせた。その後、45日間、水槽で飼育し、死亡の有無を記録した。また、3日目と42日目に手術痕の状況を確認した。さらに、36日目には摂餌量を計測し、手術していない個体(6個体)と比較した。摂餌量の計測は6月2日の5時にヒジキおよそ150gを与え、5時間後に回収し、給餌量と回収量の差を摂餌量とした。これに加え、同様の方法で2019年5月31日と6月14日に摂餌量を計測した2個体のデータも解析に使用した。

## 2) ブダイのバイオテレメトリー調査

大分県佐伯市名古屋半島沿岸の10か所に受信機（Vemco社、VR2W）を設置した（図2-2）。名古屋半島東岸の2地点（North・Southと呼ぶ）で、5月14日から15日に延縄により採集した33個体を供試魚とし、海上生け簀に収容した。5月22日～25日にかけて、すべての個体にダートタグを装着し、このうち10個体に発信器（Vemco社、V9-2H）を内部装着した。発信器を装着した個体の全長は平均43.9cm、体重は平均1.52kgであった（表2-1）。ピンガーは69kHzのパルス信号を40～80秒の間に1回送信されるようにセットしたものである。5月25日に、各個体を採集場所に放流した。放流個体数はNorthが17個体、Southが16個体であった。このうち、送信器がついた個体はNorthが5個体、Southが6個体であった。データの収集は5月25日から10月8日まで行った。この期間のうち、8月3日から8月30日までは台風対策として受信機を回収したためデータを取っていない。

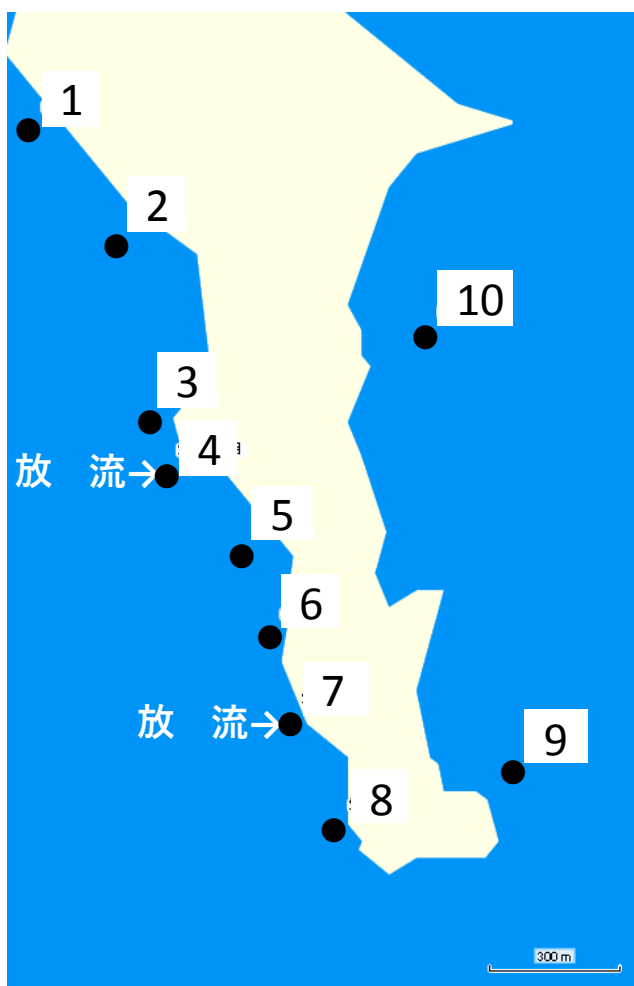


図 2-2 受信機の設置場所と放流地点。丸は受信機の設置場所、矢印は放流地点を示す。

表 2-1 供試魚の放流地点、全長および体重等

放流場所	TL(mm)	BW(g)	体色	ピンガー	ピンガー ID	外部標識
North	457	1899	青	○	16886	○
North	438	1570	青	○	16887	○
North	443	1404	赤	○	16888	○
North	463	1828	赤	○	16889	○
North	462	1765	青	○	16890	○
North	435	1545	青			○
North	457	1705	青			○
North	400	1101	青			○
North	391	1032	赤			○
North	433	1535	青			○
North	405	1212	赤			○
North	373	934	赤			○
North	416	1410	中間			○
North	405	1122	赤			○
North	479	2016	青			○
North	378	972	赤			○
North	346	687	赤			○
South	434	1576	青	○	16891	○
South	473	1782	青	○	16892	○
South	425	1285	赤	○	16893	○
South	357	744	赤	○	16894	○
South	420	1326	赤	○	16895	○
South	455	1534	赤	○	16896	○
South	467	1719	青			○
South	440	1660	青			○
South	344	728	赤			○
South	471	1897	青			○
South	355	870	赤			○
South	471	1860	青			○
South	457	1620	青			○
South	472	1858	青			○
South	480	2025	青			○
South	445	1611	青			○

## 【結 果】

### 1) 発信機の装着の方法の検討

ダミーピンガーを装着した2個体は調査期間中に死亡することはなかった。2個体の内1個体は、手術後3日目に手術痕が腫れるような状態となったが(図2-3c)、42日目には腫れも無くなった(図2-3d)。残りの1個体については、腫れ等は確認できず(図2-3a)、42日目には手術痕もほぼ無くなった(図2-3b)。摂餌は少なくとも手術後2日目から確認できた。さらに、手術後36日目に実施した実験では、手術した個体と手術していない個体の摂餌量に有意差は確認できなかった(Mann-Whitney U-test,  $p = 0.71$ ; 図2-4)。これらの結果から、今回使用するピンガーを用いてブダイに内部装着しても、生存率や摂餌等に大きな影響はないと考えられた。

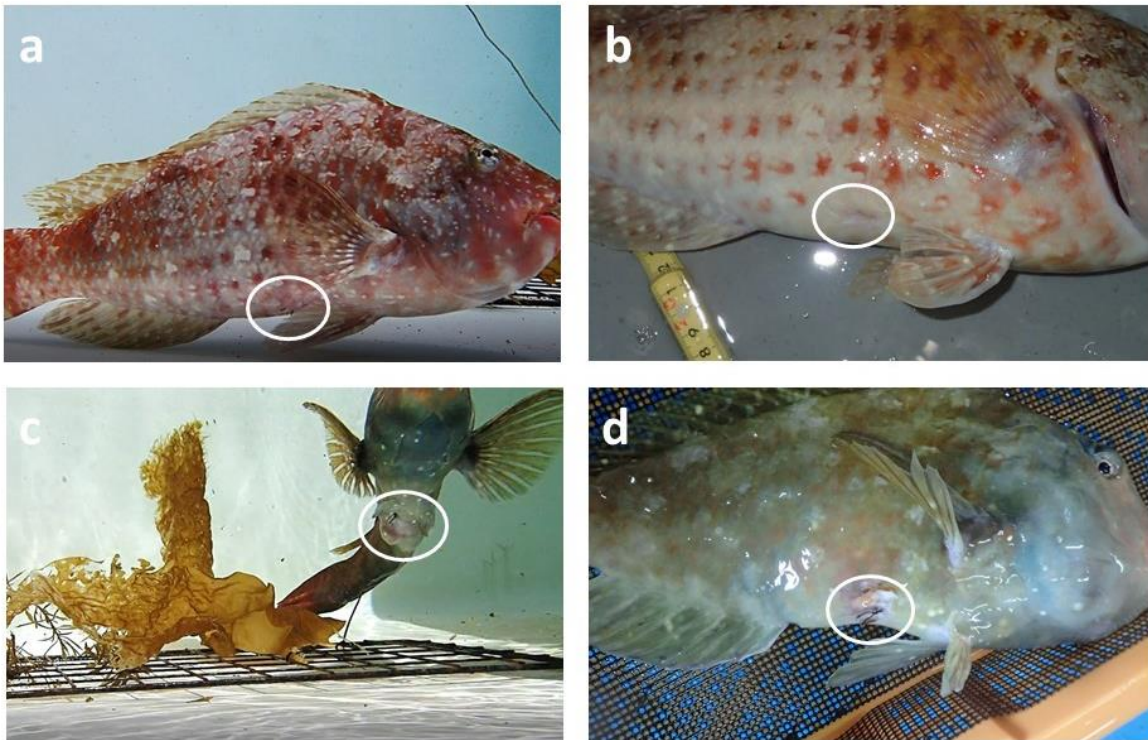


図2-3 実験個体の手術痕。個体Aの手術後3日目(a)と42日目(b)。個体Bの手術後3日目(c)と42日目(d)。

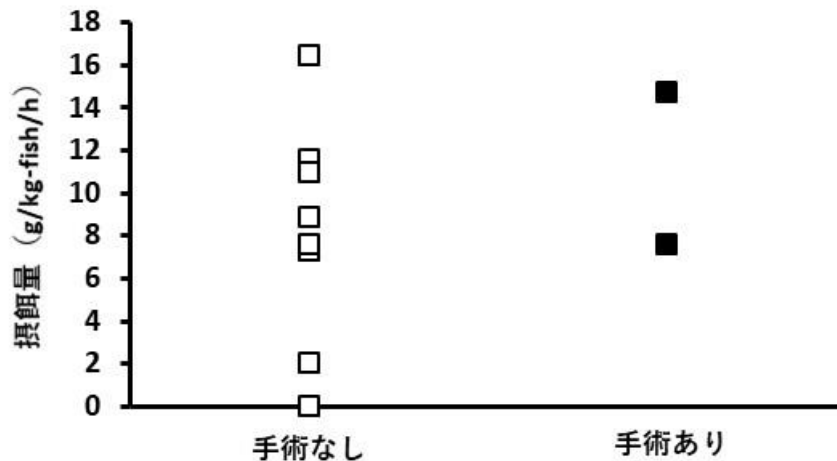


図 2-4 手術個体と手術していない個体の摂餌量の比較。

## 2) ブダイのバイオテレメトリー調査

発信器を付けて放流した 11 個体内、9 個体は 1 か月以上のデータを収集することができた (表 2-2)。この 9 個体の受信を確認した受信機間の距離は 1.7km 以内で、かつ約 8 割 (7 個体) の個体が 1km 以内であった (図 2-2、表 2-2)。いずれの個体についても、放流した場所 (もともと住んでいた場所; No.4 と No.6) 周辺で受信されることが多く、ブダイは定住性が高いことがと考えられた。一般的に特定の生物を除去する場合、その行動範囲や移動特性に応じて除去範囲を検討する必要がある。本課題により、ブダイの適切な除去範囲が 2km 前後のスケールであることが示唆され、地先レベルの対策でも十分対応できることが明らかとなった。また、「②植食性魚類の除去とその食圧の関係性の評価」において刺網による除去を実施するが、その除去区は 2 km 前後であることから適切に設定されていると考えられた。

除去区に設置した受信機 (No.9 と No.10) では、放流したいずれの個体においても、受信が記録されることはなかった (表 2-2)。このことは、除去に伴い、名護屋半島の西側から東側へ移動していないことを示唆する。DeLury 法を用いた個体数推定では除去区内外の移動がないことが前提条件となっているが、ブダイではこの前提条件を満たしている可能性が高いと考えられた。

受信パターンの経時的な変化を見てみると、受信範囲の広がった 1 個体 (ID16886) において繁殖期前後でその受信パターンに大きな変化が確認された (図 2-5)。ブダイの繁殖期は長崎では 7 月から 10 月であることが報告されている (Kume et al. 2010)。本調査地ではブダイの繁殖期は 6 月下旬に採集されたブダイの生殖線が発達していたことから、6 月下旬頃から繁殖が始まっていると考えられる。ID16886 は 6 月下旬までは放流された場所 (No. 4) の周辺で受信されることが多かった。しかし、6 月下旬以降では、その受信は午前中に半島の先端方向へ (No.4 から No.8 へ) に移動し、午後に先端から放流地点へ (No.8 から No.4 へ) 移動する傾向が見られた。南方系のブダイ科魚類では、流れの早いリーフの先端で産卵することが知られている (Kuwamura et al. 2009)。本調査結果はブダイにおいても産卵場所の 1 つとしてそのような場所に利用する可能性を示唆する。ただ



し、このような明瞭な行動パターンの変化が確認できた個体は 1 個体のみであったことから、今後データ数を増やし、より詳細に検証していく必要がある。

表 2-2 受信状況

放流場所	ID	最後の記録日 (yy/mm/dd)	受信器									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
North	16886	2019/7/9	0	184	2932	17285	1487	846	347	392	0	0
North	16887	2019/10/8	0	606	18609	57705	834	215	0	0	0	0
North	16888	2019/10/8	13	5396	83438	5444	1595	807	45	1	0	0
North	16889	2019/6/4	0	33	839	1106	38	16	0	0	0	0
North	16890	2019/10/8	0	657	46654	52304	608	83	0	0	0	0
South	16891	2019/10/8	0	0	0	0	3458	29639	16596	6029	0	0
South	16892	2019/5/29	0	0	0	0	0	36	2373	70	0	0
South	16893	2019/10/8	0	0	0	2	7088	63698	40426	3739	0	0
South	16894	2019/10/8	0	0	0	0	553	5502	110770	4057	0	0
South	16895	2019/10/8	0	0	0	0	17175	14080	2242	760	0	0
South	16896	2019/10/8	0	0	0	0	4007	33609	69648	2344	0	0

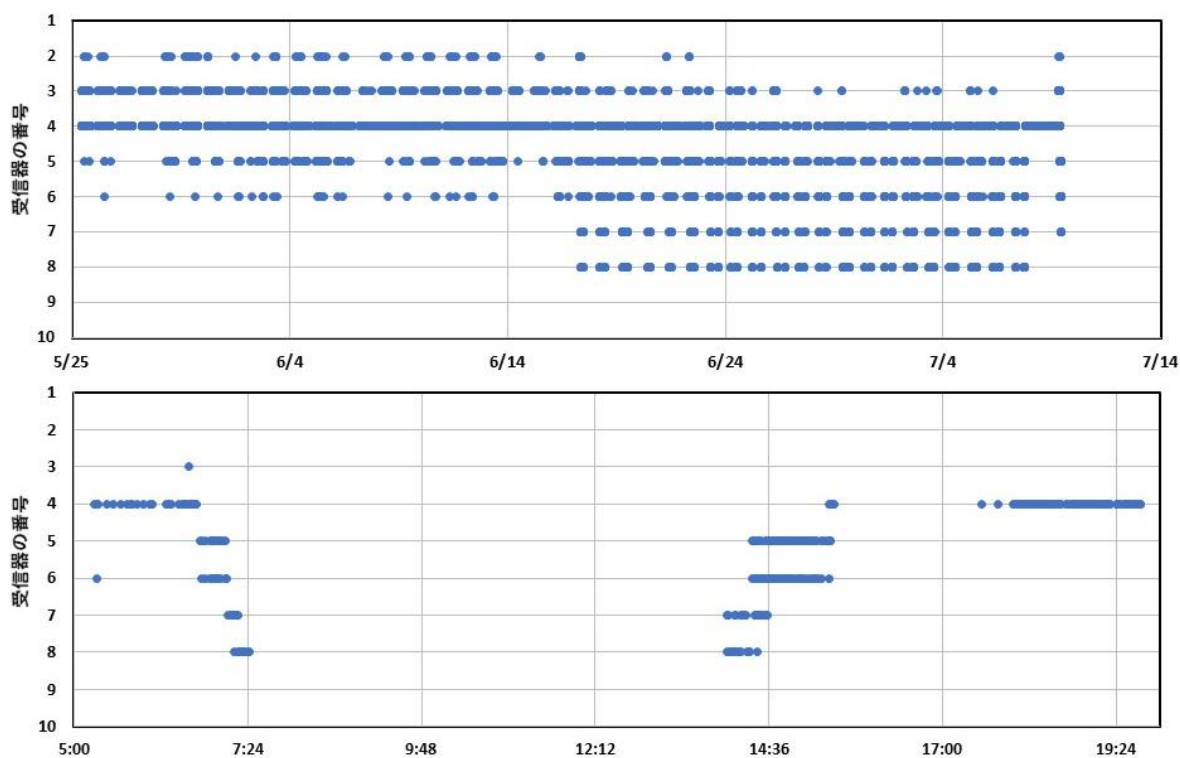


図 2-5 ID16886 の受信パターン。全期間（上）と 7 月 6 日（下）の受信パターン。

## ②植食性魚類の除去とその食圧の関係性の評価

### 【目的】

現行の磯焼けガイドラインではブダイの除去手法として刺網が推奨されているが、その効果を定量的に評価した調査はない。刺網による大規模なブダイの除去試験とブダイのクロメへの食圧の評価試験等を実施し、ブダイの除去とその食圧の関係性を把握し、刺網の有効性を評価する。

### 【方法】

#### 1) 刺網による大規模漁獲試験

名護屋半島東岸で刺網による漁獲試験を実施した（図 2-6）。昨年度の漁獲試験により、刺網の操業効率化のために2つの改善点が提案されている。1点目は漁獲試験を9月上旬までに終了させることである。昨年度の操業期間が7月上旬から11月下旬と長く設定したため、食害が顕著となる9月までにブダイを十分に除去できなかった可能性が指摘されている。2点目は漁獲努力を増やすことである。昨年度は1回の操業で三枚網4反と一枚網1反を使用し、合計20回の操業を実施したが、最終的な除去率は7割程度に留まった。本年度の試験では、昨年度の提案を踏まえ、操業期間を6月下旬から8月下旬とした。また、1回の操業で3枚網を7反使用し、合計29回の操業を実施した。昨年度の調査により1枚網の漁獲量は3枚網のおよそ5分の1程度であることが明らかとなっていることから、これに基づき漁獲努力量を昨年度と比較すると、今年度の漁獲努力は昨年度の2倍以上に増やしたことになる。使用した刺網の目合いは外網が45 cm、内網が9 cmであった。除去区はA区からE区の5つの区間に分け、1回の操業はこのうちの1つの区で実施した（期間を通じてAからD区は5回、E区は4回の操業を実施した）。刺網は原則として16時頃に設置し、翌日7時半頃に回収した。漁獲したブダイの個体数と重量については、網ごとに記録した。また、全長組成を明らかにするため、漁獲した全ての個体の全長を測定した。除去率は、DeLury法を用いて、ブダイの除去前個体数を推定し、除去個体数を推定除去前個体数で割って算出した。除去前個体数の推定にはRを用いて計算した。なお、本調査での刺網の実施及び漁獲物の計測に際しては、名護屋藻場協議会の多大な協力を受けた。

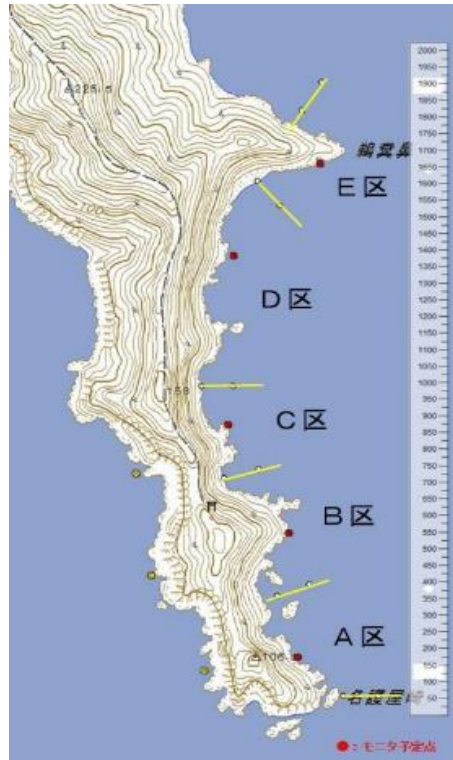


図 2-6 除去区 (A 区～E 区)。

## 2) 藻場のモニタリング

刺網による除去が藻場に及ぼす効果を検証するため、藻場のモニタリングを実施した。調査は昨年度に引き続き、2019年6月、7月、8月、11月および2020年1月に、名護屋湾東岸の5区 (A～E区) に各1定点を設け (図 2-7)、原則3水深 (3m・6m・9m) に定置枠 (50×50cm) を設定し、景観被度、海藻の種類別の被度、クロメの密度 (0.25 m<sup>2</sup>)、全長 (大きいものから最大10本) および葉部がなく根茎部のみとなったクロメの本数を記録した。本年度は各定点の目印のU字ボルトから巻尺を5m延ばし、片側1mの範囲内 (面積5 m<sup>2</sup>、「拡大枠」と呼ぶ) のクロメ幼体の本数、長さおよび摂食の有無の調査を追加した。また、ブダイの除去を行っていない名護屋半島西岸に对照区を設け、同様なモニタリングを行った。

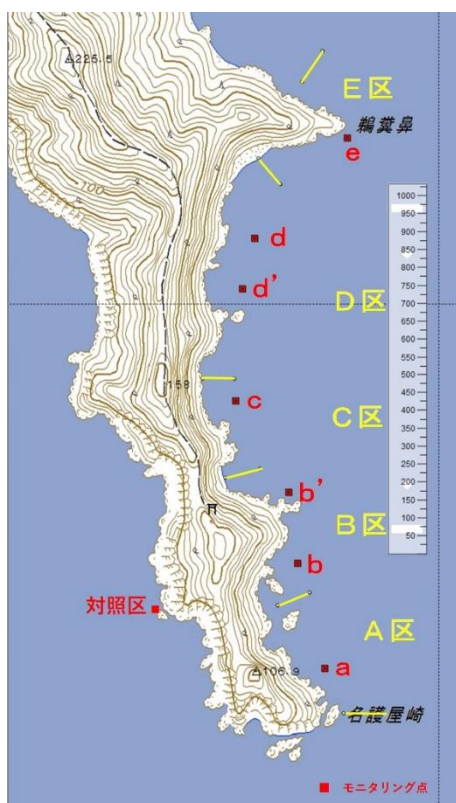


図 2-7 藻場のモニタリングの調査地点。

### 3) 籠かけ実験

クロメの幼体の減少には、水温や波浪、植食性魚類の採食など様々な要因が影響すると考えられている。このうち、植食性魚類の採食を取り除いた時にクロメの幼体が維持できるか否かを検討するために、クロメの幼体の籠かけ試験を行った。2019年8月に名護屋湾の波当津沖でクロメの幼体が着生した礫（「クロメ石」と呼ぶ）を採集し、C区の水深6～7mの2つの稚エビ礁（浅所と深所）の天端面に水中ボンドで接着し、ステンレス製の食害防止籠（37 cm×37 cm×高さ 18 cm、目合 43 mm）を被せ、細引きで固定した。同時にクロメ石 1 個（全長 25 cmのクロメ 1 本）を稚エビ礁にそのまま水中ボンドで設置し、クロメの全長を測定した（図 2-8）。2019年10月に籠内のクロメの本数を計数し、2020年1月にはクロメの全長（最大と最小）も計測した。

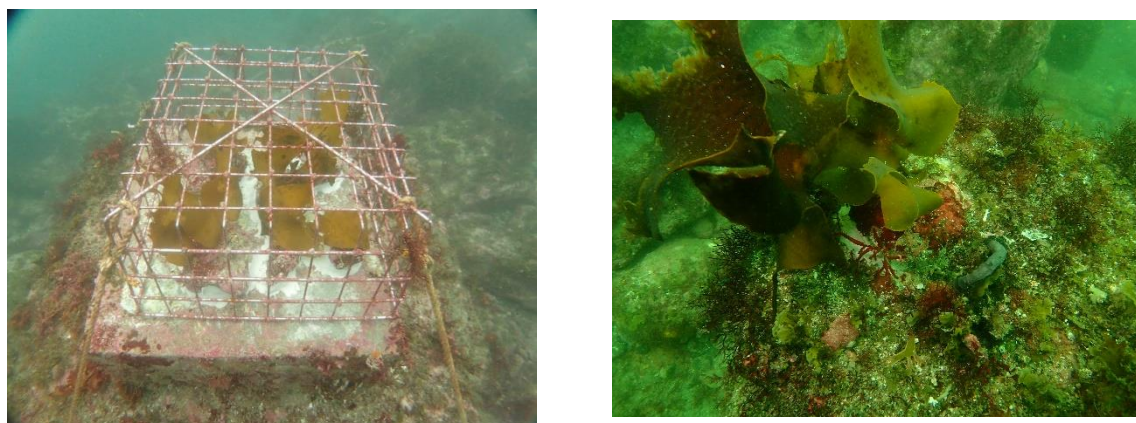


図 2-8 クロメ石の状況（左：籠あり、右：籠なし、19年8月）。

#### 4) 食圧の評価実験

刺網による食圧除去の効果を定量的に評価するために、餌としてクロメを設置し、葉の欠損量と所要時間から食圧 (g/時) を算出した。A~E区の水深 6m 枠付と名護屋半島西岸のブダイの除去を行っていない対照区の計 6 地点において、海底に固定したワイヤメッシュにクロメを 1 本 (平均葉量 269 g) 結束し、2~3m 離れた位置から防水ケースに収納した間欠撮影カメラ (キングジム製、「レコロ」、IR5 または brinno 製、TLC200Pro) で 10 秒間隔の撮影を行った。クロメは設置の翌日に回収した。葉の欠損量は設置前後の湿重量の減量から求めた。所要時間は、撮影画像から確認した「全ての葉が摂食されるまでの経過時間」からブダイが摂餌しない「日没 15 分後から日出 15 分前まで時間」を引いて求めた。湿重量は回転式水切りで回転・脱水後に測定した。この実験を 6 月は 3 日間、7 月と 8 月は各 2 日間実施した。

なお、葉の自然欠損量を明らかにするために、クロメを網袋 (目合 5 mm) に入れ、C 区の目印 U 字ボルトに固定し、翌日に回収し、袋内のクロメの全重量と欠損葉の重量を測定した。測定は毎月 2 日間行った。その結果、網袋内には欠損葉はみられず、また、全重量の変化率は  $\pm 5\%$  以内であり測定誤差と考えられた。そのため、本実験では 1 日間では本実験結果に影響するような自然欠損は起きていないと仮定した。

### 【結 果】

#### 1) 刺網による大規模漁獲試験

合計 29 回の刺網の結果、ブダイを 676 個体 (665 kg) 漁獲した。ブダイの CPUE は試験を重ねるごとに減少する傾向が認められたことから (図 2-9)、DeLury 法を用いて、ブダイの除去前個体数を推定した。その結果、除去前推定個体数は  $758.7 \pm 45.7$  (標準誤差) 個体であった。除去個体数 (676 個体) を推定除去前個体数 (758 個体) で割った除去率は、試験期間全体で 89% に達した。昨年度の漁獲試験に比べ、8 月末時点の除去率を大幅に向上させると共に、推定生息個体数 (除去前推定個体数から除去数を引いた値) を減少させることに成功した (図 2-10)。

漁獲個体の全長組成を見てみると、試験開始時の 6 月下旬は全長 26 cm から 36 cm の中型個体の割合が高かった (図 2-11)。試験終了時の 8 月下旬には、中型個体の割合は減少し、全長 36 cm 以上の大型個体と全長 26 cm 以下の小型個体の割合が増加した。刺網は漁獲物の体サイズを選択性があることが知られている。本調査で確認された漁獲物の体サイズの変化は、刺網の選択性は中型個体が高く、選択性が低い小型個体及び大型個体に取り残しが多い可能性を示唆する。このことは今後のブダイの除去手法の効率化の重要なポイントになると考えられる (詳細は「③有効な除去手法の開発・検討」を参照)。

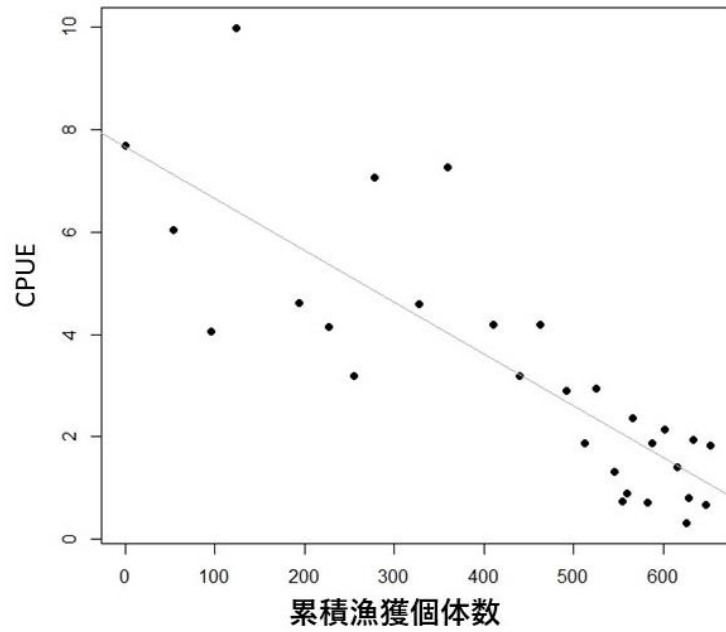


図 2-9 累積漁獲個体数と CPUE の関係。

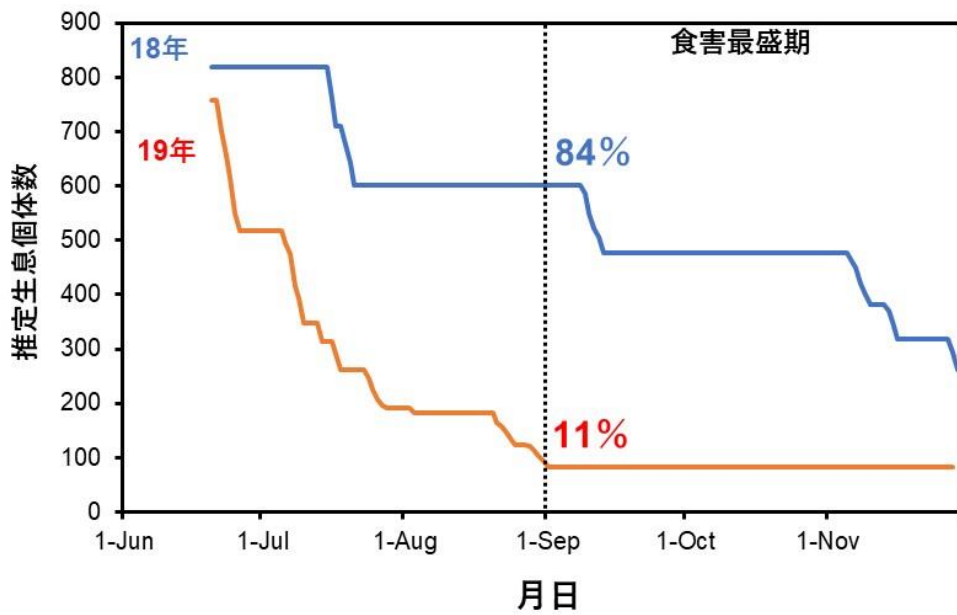


図 2-10 DeLury 法に基づく除去区の推定個体数。パーセントは除去率を示す。

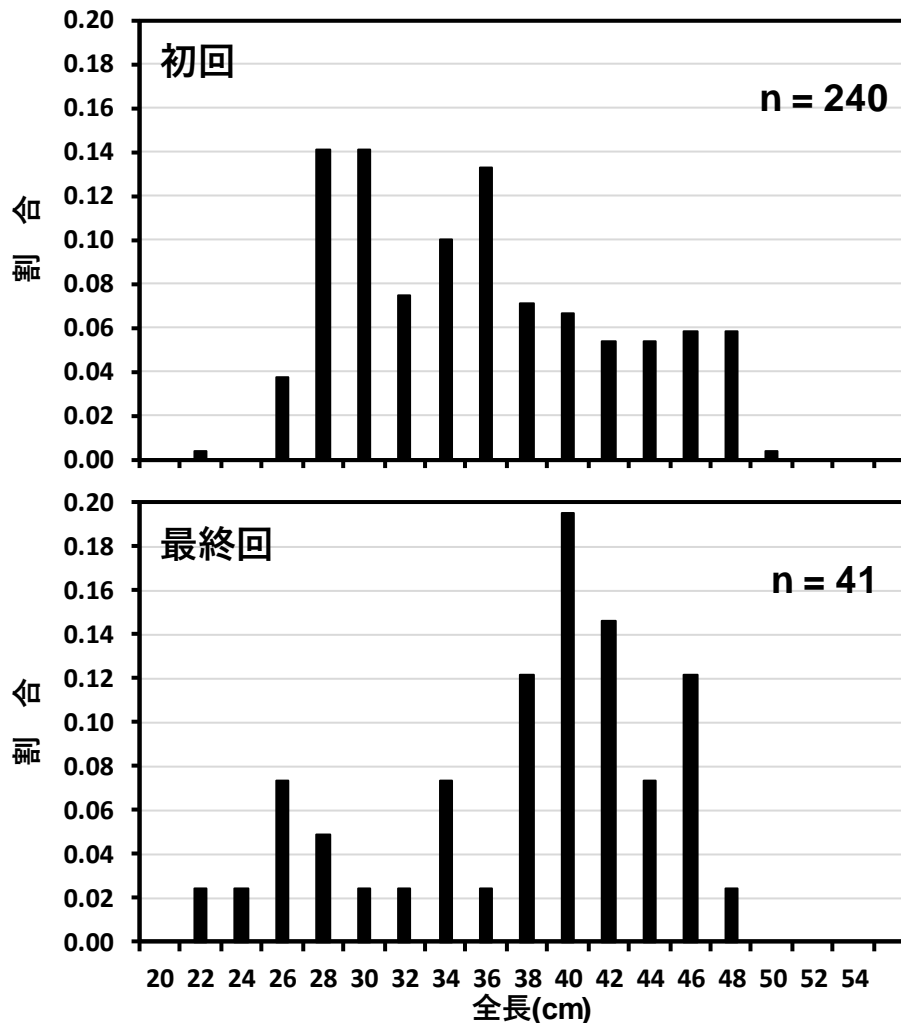


図 2-11 刺網で漁獲されたブダイの全長。初回の 6 月下旬（上）と最終回の 8 月下旬の全長組成（下）。

## 2) 藻場のモニタリング

藻場の被度（大型海藻と小型海藻の被度の合計値）は 2018 年 7 月から 2020 年 1 月までの間、60%前後であり、大きな変動はみられなかった（図 2-12）。大型海藻は主にクロメであり、他にはヨレモクモドキが僅かに出現した。主な小型海藻はオオギ類、マクサ、有節サンゴモ類などで、出現種数は 24~28 種であった。

クロメは 2018 年 7 月の除去開始時に平均全長 12 cm（最大 67 cm）、密度 11 本/0.25 m<sup>2</sup>であり、全て 0 才（満 1 年未満）であり満 1 歳以上はみられなかった。その後、急激に本数が減少して、19 年 1 月は 1 定点で全長 1 cm の幼体が 1 本、平均密度 0.07 本/0.25 m<sup>2</sup>となった。翌春に幼体の加入がみられ、刺網試験開始前の 2019 年 6 月には、クロメは平均全長 2.7 cm（最大 26 cm）、密度 0.11 本/0.25 m<sup>2</sup>に増加した。しかし、7 月以降は全長と密度は共に減少傾向にあり、20 年 1 月には全域で 1 本（全長 0.5 cm）のみで密度は 0.004 本/0.25 m<sup>2</sup>となった（図 2-13）。茎のみとなったクロメの割合は、2018 年 7 月以降増加して 11 月には 68%に達し、翌 1 月には 0%となった（平成 30 年度本事業報告書）。本年度は茎のみとなったものは観察されなかったが、クロメの密度が低かったためと思われる。

本年度も9月以降にクロメの幼体が減少し、クロメ場を再生することができなかった。先述のように刺網では大型個体と小型個体の取り残しが生じる。また、名護屋湾では9月頃から全長15 cm前後の個体が出現することが報告されている（中嶋ほか、2014）。9月以降のクロメの減少は、取り残した個体や新たに出現した個体に摂食された可能性が考えられる。

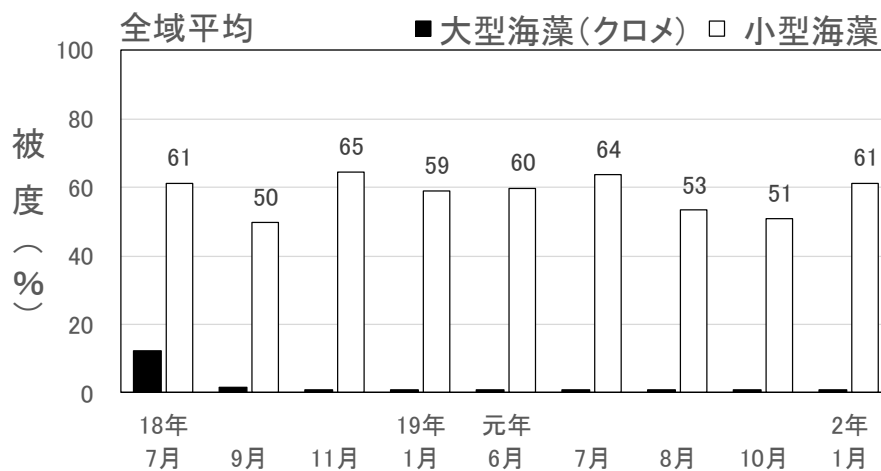


図 2-12 名護屋湾における景観被度の経時変化。

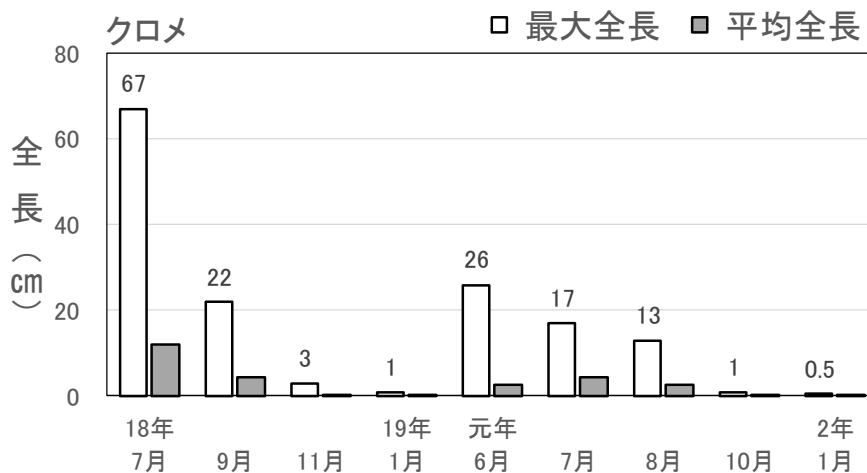


図 2-13 名護屋湾におけるクロメの全長の経時変化。

### 3) 籠かけ実験

実験開始時の2019年8月の浅所籠内と深所籠内のクロメの本数（全長）は、それぞれ16本（3～20 cm）と12本（3～19 cm）であった。終了時には浅所籠内には7本（10～18 cm）、深所籠に5本（8～15 cm）となっていた。クロメの本数は8月から10月までの間に半減した。一方、食害防止籠の外に設置したクロメは設置時に全長25 cmであったが、10月には葉が欠損し附着器のみとなっていた（図 2-14、表 2-3）。この時点で籠周辺にはクロメは1本も観察されなかった。19年9月に大型の台風15号と17号が通過したが、10月に籠内にはのみクロメの幼体が残存していた。対象区の実験設定が不十分ではある



が、本実験は、当地先では植食性魚類の食害をコントロールすれば、クロメ場を再生できる可能性を示唆するものと考えている。

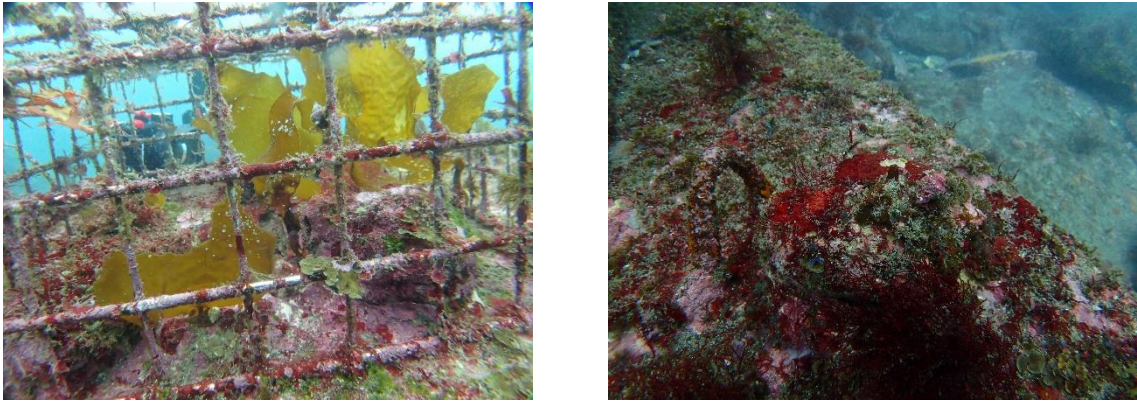


図 2-14 クロメ石の状況（左：籠あり・20年1月、右：籠なし・19年10月）。

表 2-3 食害防止籠内のクロメ

クロメ		8月	10月	1月
防止籠 浅所	本数	16本	7本	7本
	平均全長	10.8 cm	—	—
	全長範囲	3~20cm	—	10~18cm
	S.D.	4.8 cm	—	—
防止籠 深所	本数	12本	6本	5本
	平均全長	11.3 cm	—	—
	全長範囲	3~19cm	—	8~15cm
	S.D.	3.8 cm	—	—

注：—は未計測。

#### 4) 食圧の評価実験

除去試験区（A～E区）の食圧は、6月には平均 49 g/時（19～104 g/時）、7月には平均 44 g/時（5～123 g/時）、8月には平均 43 g/時（14～96 g/時）であった（表 2-4）。除去開始から終了にかけて、除去試験区の食圧に減少傾向は認められなかった

（図 2-15）。地点別では、食圧が相対的に強いのはD区と対照区、次いでA区とE区であり、食圧が弱いのはB区とC区であった。8月の間欠撮影の画像から、D区と対照区とA区には小型魚を含むブダイの群が残っていることが確認された（図 2-16）。

刺網による大規模漁獲試験の結果から、刺網では大型個体と小型個体に取り残しが生じることが示唆されている。本調査地のように大型海藻がほとんどない環境下では、刺網

表 2-4 地点別の食圧

食圧 (g/時)	6月	7月	8月	平均
A区	73	50	47	57
B区	21	20	20	20
C区	19	5	14	12
D区	104	123	96	108
E区	30	22	39	31
平均	49	44	43	45
S.D.	38	47	33	39
対照区	109	83	127	106

だけでは取り残しが生じるため、クロメ 1 本あたりの食圧を軽減させることが難しいと考えられる。このような環境で藻場を回復させるためには、ブダイをさらに効率的に漁獲する手法を検討するとともに、海藻の量を増やす取り組みが不可欠である。

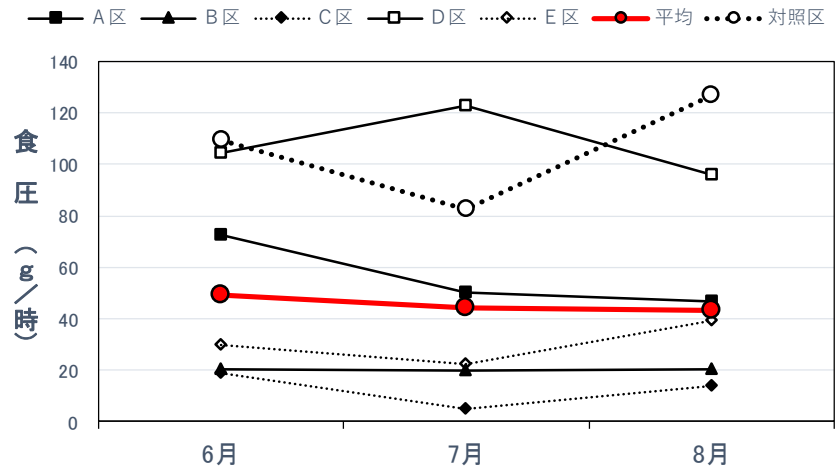


図 2-15 食圧の経時変化。



D区



対照区



A区

図 2-16 間欠撮影画像のブダイの群 (19年8月)。

### ③有効な除去技術の開発・検討

#### 【目的】

植食性魚類の駆除には刺網を使うのが一般的である。その理由としては、漁業者が漁具を保有し、使い慣れていることなどが挙げられる。しかし、刺網漁は拘束時間が長く、重労働であるため、高齢者には敬遠されがちである。また、イセエビが混獲されるため、植食性魚類の産卵期（春～夏）を狙った操業は規制されている。植食性魚類を選択的に漁獲する漁法の1つとして、海藻を餌に使う延縄漁がある。和歌山県南部には海藻を使った延縄漁があり、漁業者がブダイを効率的に漁獲していることが知られている。この延縄漁は特定の実験用海藻（三重県産の生鮮ホンダワラ *Sargassum fulvellum*）を餌に使うため、餌海藻が入手できる時期（9～12月）に操業が限定されている。また、この海藻は量が多い種類ではなく、入手が難しい。昨年度は延縄漁の餌について試験を行い、ブダイを効率的に漁獲できる「良い餌」が「生鮮海藻」であることを明らかにした。

本年度は生海藻を用いて、延縄と刺網の漁獲効率と漁獲特性の把握を行い、植食性魚類の有効な除去技術の開発を目的として実施する。

#### 【方法】

延縄：刺網と漁獲効率を比較するために名護屋湾東岸において、「②植食性魚類の除去とその食圧の関係性の評価」で実施した刺網による大規模漁獲試験の開始時（6月下旬）と終了時（9月上旬）に、各1日間の延縄を行った。3鉢（合計240鈎）の延縄（表2-5）を8時頃から設置し、約90分程度経過してから回収し、再度設置することを15時頃まで繰り返した。餌海藻には試験期間を通して採集可能なヒラネジモクとノコギリモクを用い、6月はそれぞれ240鈎、9月は230鈎前後を用いた（表2-6）。漁獲したブダイは船上で全長を測定した後、直ちに放流した。前述の比較試験を含め18年7月から20年1月までの間に合計6回、名護屋半島東岸・西岸および名護屋湾西岸において延縄を行った。餌には生鮮なヒジキ、ヒラネジモク、ノコギリモクおよびアマモを用いた（表2-6）。漁獲したブダイは船上で全長を測定した。

表 2-5 延縄の仕様

名称	規格
幹縄	ポリクレ、長さ100～120m、強度があり沈む材質
枝縄	ナイロン、太さ10～12号、40～80cm、間隔は枝縄長の2倍以上、1縄で70～90本位
鈎	魚が外れにくい「カエシ」（鈎先端内側の突起）付きで「ネムリ」（針先が極端に内側向き）が入った鯛鈎（10号）、
鉢	直径80cm位の大型プラスチックザルの上縁に鈎を掛けるラバーを取付けたもの。1鉢に1式の延縄を収める。
その他	餌海藻は餌巻き糸で長さ5cm位に束ねて鈎に掛ける。

表 2-6 延縄の実施状況

年月	場所	日数	ヒジキ	ヒラネジモク	ノコギリモク	アマモ
19年1月	名護屋半島東岸・西岸	1日	156鈎	158鈎	178鈎	
6月	名護屋半島東岸	1日		240鈎	240鈎	
	名護屋湾西岸	1日	75鈎	75鈎		
7月	名護屋湾西岸	1日		75鈎		75鈎
8月	名護屋半島東岸	1日		223鈎	232鈎	
20年1月	名護屋半島東岸	1日	660鈎			
	合計	6日	891鈎	771鈎	650鈎	75鈎

**刺 網**：延縄と刺網の CPUE と混獲物を比較するため、「②植食性魚類の除去とその食圧の関係性の評価」で実施した刺網のうち、2019年6月22日と23日、8月30日と31日の刺網では、ブダイ、アイゴ、イスズミ類の植食性魚類に加え、他の混獲物についても、個体数と重量を計測した。混獲物については、植食性魚類以外の魚類とその他（甲殻類や貝類等）でまとめた。漁獲物の全長組成の比較については、刺網を繰り返すと漁獲物の全長組成が変化することが明らかとなっていることから（②植食性魚類の除去とその食圧の関係性の評価を参照）、刺網の漁獲特性の最も反映していると考えられる（漁獲による影響がない）2019年6月21日から25日のデータを用いた。

### 【結 果】

**CPUE**：延縄と刺網の作業別・時期別の所要時間（時）と従事人数（人）から漁獲努力量（人時）を算出し、それぞれの漁獲量（kg）から CPUE（漁業者の労働時間当りの漁獲量、単位：kg／人時）を求めた（図 2-17、表 2-7、表 2-8）。なお、延縄で漁獲されたブダイの重量は全長との関係式から算出した。延縄の CPUE は開始時（0.8 kg／人時）と終了時（1.0 kg／人時）で大きな変化はみられなかった。一方、刺網の CPUE は開始時（1.3～1.9 kg／人時）に比べて、終了時（0.2～0.8 kg／人時）は大きく減少した。

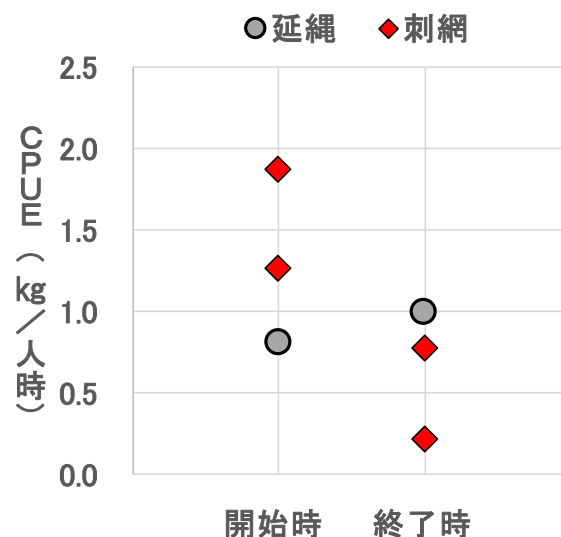


図 2-17 延縄と刺網の CPUE。

表 2-7 延縄と刺網の漁獲努力量

延縄	作業時間	従事人数	漁獲努力量	刺網 (開始時)	作業時間	従事人数	漁獲努力量	刺網 (終了時)	作業時間	従事人数	漁獲努力量
準備	90分	3人	4.5人時	投網	30分	3人	1.5人時	投網	30分	3人	1.5人時
操業	180分	3人	9.0人時	揚網	60分	3人	3.0人時	揚網	60分	3人	3.0人時
片付け	30分	1人	0.5人時	網外し	180分	6人	18.0人時	網外し	120分	6人	12.0人時
合計	300分		<b>14.0人時</b>	合計	270分		<b>22.5人時</b>	合計	210分		<b>16.5人時</b>

表 2-8 延縄と刺網の CPUE

延縄	漁獲量 kg	CPUE kg/人時	餌
6月21日	11.3	0.8	ヒラネジモク ノコギリモク
9月1日	14.5	1.0	

刺網	漁獲量 kg	CPUE kg/人時
6月22日	42.2	1.9
6月23日	28.4	1.3
8月30日	4.8	0.2
8月31日	12.8	0.8

**全長組成：**全長組成の比較については、データ数が少ないことから、2018年7月から19年8月に名護屋半島周辺で実施された延縄のデータを用いた。延縄ではこの期間に合計130尾のブダイが漁獲された。ブダイの全長は29 cm から 50 cm までの範囲にあり、平均41.7 cm (S.D.4.5 cm) であった。全長36 cm 以上の大型魚が89%を占め、全長35cm 以下は11%と少なかった。また、全長28 cm 以下は獲れなかった(図 2-18)。一方で、2019年6月に刺網で漁獲されたブダイの全長を見てみると、21 cm から 49 cm までの範囲にあり、平均34.6 cm (S.D.6.5 cm) であった。全長26~36 cm の中型魚が59%を占め全長26 cm 以下は4%、全長36 cm 以上は37%と比較的少なかった(図 2-18)。延縄では大型魚がよく漁獲され、一方、刺網では中型魚がよく漁獲されることから、2つの漁法を組み合わせるとブダイの除去の効率化につながると考えられる。

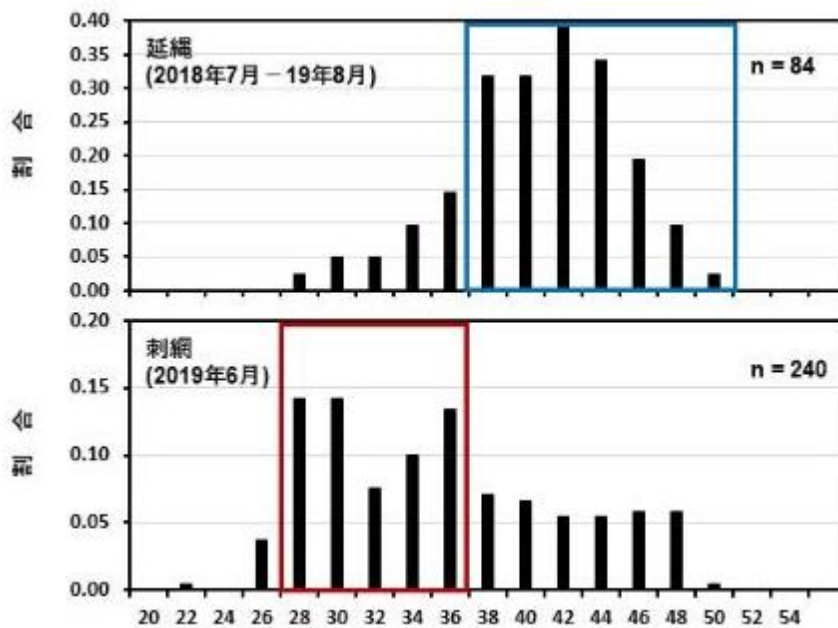


図 2-18 延縄と刺網で漁獲されたブダイの全長組成。

**混獲物：**延縄ではブダイのみが漁獲された。アイゴ、イスズミ類およびその他の魚類は漁獲されなかった。和歌山県串本地区の延縄漁業者からの聴取りでは、延縄にイスズミは掛かるがハリスを切られて獲れない、また、アイゴは獲れたことがないとのことであった。

刺網ではブダイ、アイゴ、イスズミ類の植食性魚類、その他の魚類およびその他が漁獲された。全体に占める重量比はブダイが25~45%、アイゴが5~10%、イスズミ類が0~3%、およびその他の魚類とその他が50~62%であった(表 2-9)。延縄では混獲物がなかったが、刺網では混獲物が漁獲の半分以上を占めた(図 2-19)。混獲物には、魚類

ではタカノハダイやカサゴ、エイ類などが、その他の生物ではイセエビやサザエなど様々な種が確認された。延縄は混獲が生じない点において、刺網よりも特に優れていると考えられる。

表 2-9 刺網の漁獲物の重量比

重量比	19年6月	19年8月
ブダイ	45 %	25 %
アイゴ	5 %	10 %
イスズミ類	0 %	3 %
その他の魚類	43 %	54 %
その他	7 %	8 %
	100 %	100 %

■ブダイ ■アイゴ ■イスズミ類 ■魚類 ■その他

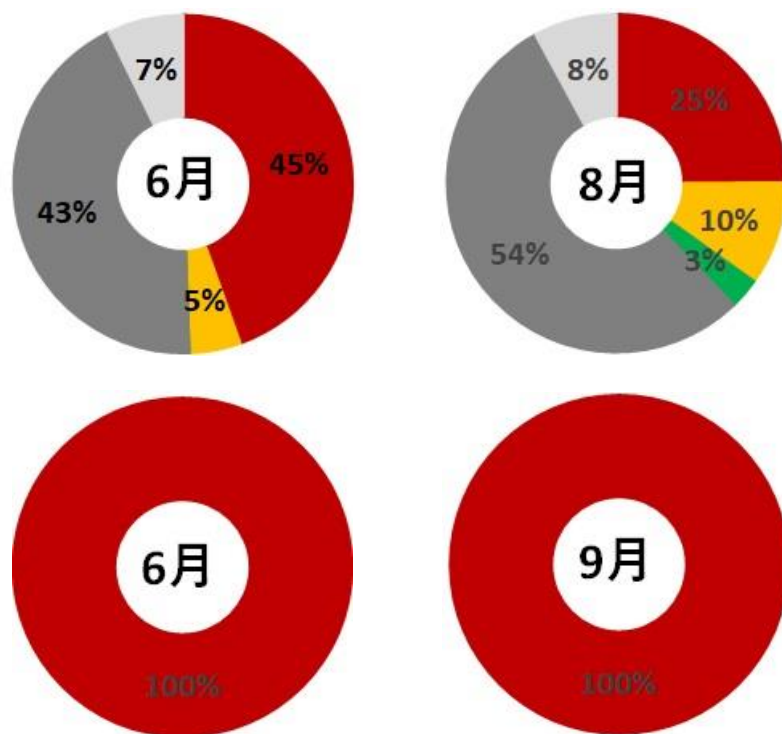


図 2-19 刺網と延縄の漁獲物の重量比（上段：刺網、下段：延縄）。

**海藻別の釣獲率：**2019年1月から2020年1月までの間に、ヒジキ、ヒラネジモク、ノコギリモクおよびアマモの生鮮海藻を餌として延縄試験を行った。餌別の釣獲率（尾／鉤）はヒジキが最も高く、次いでヒラネジモク、ノコギリモクであり、アマモで低かった（図 2-20、表 2-10）。ヒジキの平均釣獲率は0.11尾／鉤であり、他の3種の釣獲率の2倍以上であった。

ヒジキは潮間帯上部に生育しており、もともと乾燥耐性が高いため、延縄の鉤に掛けたまま放置しても葉や気胞などの先端が黒化することがない。ブダイは黒化した餌を好まないようであり、串本地区の漁業者は葉先が黒く焼けた餌を新しいものに交換している。

ヒジキは季節変化消長が著しいホンダワラ類であり、春から初夏までは藻長が1mを超すが、その後成熟した主枝は全て流出する。初冬に新しい主枝が伸長しはじめるまでは、座と呼ばれる付着器のみで暫く過ごす。この座の部分は厚さ1cm未満で崩れやすく、餌巻き糸で束ねることが難しく、延縄漁の餌として利用することができない。ヒジキを餌として使える期間は12月頃から6月頃までの間である。この間に延縄でヒジキを餌として使用すれば、ブダイの効率的な漁獲につながると考えられる。

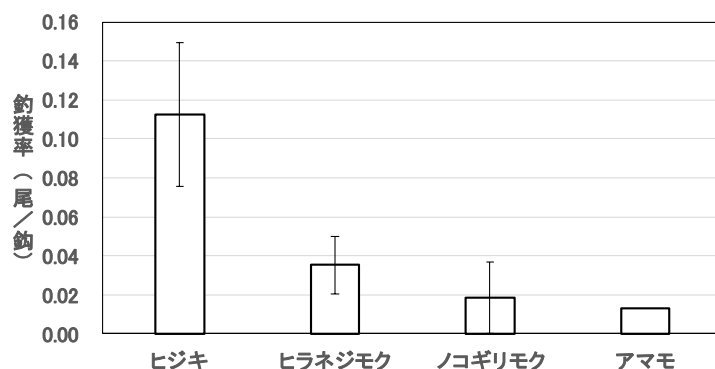


図 2-20 延縄の餌別の釣獲率。

表 2-10 延縄の餌別の釣獲率

釣獲率 (尾/鉤)	ヒジキ	ヒラネジモク	ノギリモク	アマモ
19年1月	0.13	0.05	0.04	
6月	0.13	0.02	0.01	
7月		0.03		0.01
8月		0.04	0.00	
20年1月	0.07			
平均	0.11	0.04	0.02	0.01
S.D.	0.04	0.01	0.02	

#### ④母藻設置実験（次年度の調査に向けた取り組み）

##### 【目的】

本年度の刺網による大規模漁獲試験の結果、推定89%のブダイを除去することができた。2020年9月のクロメの密度は極めて低く、来年度にクロメ場の再生は極めて困難であると判断された。さらに、食圧評価実験により、刺網だけでは海藻1本あたりの食圧を十分に減らすことができないことが示唆された。そこで次年度の調査に向けた取り組みとして、クロメの幼体を増やすために「タネ播き」を行った。

##### 【方法】

試験区にクロメのタネ（遊走子）を供給することを目的として、2019年10月に食圧の強弱と食害防止ネットの有無が異なる設定（表2-11）で、5定点の2水深（6mと9m）にクロメの母藻を設置した（図2-21）。クロメの母藻量（葉のみ）はネットなしで約2kg（10本）、ネットありで約4kg（10ネット）であった。食害防止ネット（目合5mm）の中には、浮かせるために発泡スチロール片を入れた（図2-22）。また、母藻移植の効

果を判定するために、b点とd点から100m以上離れた対照点（b'点とd'点）を設け、2019年10月と2020年1月に藻場のモニタリングを行った（図2-21）。

本試験とは別に、漁業者が19年10月にクロメの母藻を2箇所（図2-21の※印）に設置した。※1では約70kgをネットなしで散布し、※2では約24kgをネット（60袋）に入れて設置した。

食圧が強かったD区（水深6m）に間欠撮影カメラ（キングジム製、「レコロ」、IR5、10分間隔）を設置して、ネットに入れたクロメ母藻へのブダイの蝸集状況を撮影した。

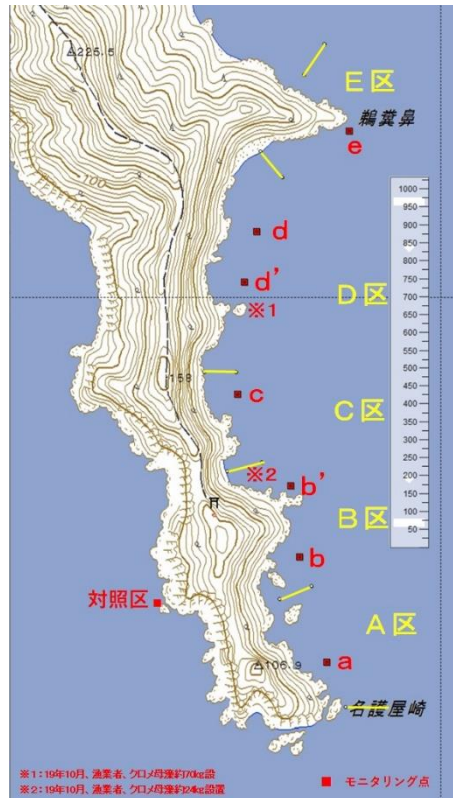


図 2-21 母藻の設置地点

表 2-11 クロメの母藻量と設置方法

調査区	A区	B区		C区	D区		E区
食圧 (g/時)	中 57	弱 20		弱 12	強 108		中 31
地点名	a	b	b'	c	d	d'	e
水深(m)	6、9	6、9	6	6、9	6	6、9	6、9
葉量	約2kg	約4kg	0	約2kg	0	約4kg	約4kg
ネット	なし	あり	—	なし	—	あり	あり



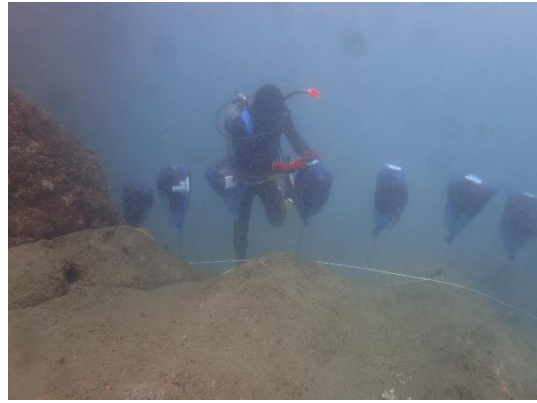
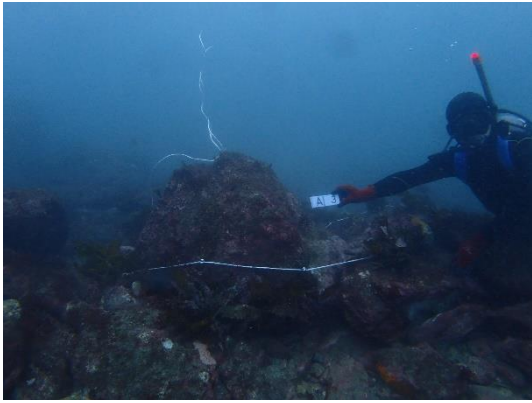


図 2-22 クロメの母藻の設置状況（左：ネットなし、右：ネットあり）。

### 【結 果】

母藻を設置した翌日に、ネットなしのA区とC区のクロメ母藻を目視観察した。両区ともクロメ母藻は著しく摂食されており、葉の欠損率は水深 6m で 90%、水深 9m で 60% であった。いずれにおいても数日以内の葉は全て摂食されると思われ、周辺に拡散するタネ（遊走子）は極めて少ないと考えられた。

D区で間欠撮影した画像にはスポアバッグに近づくブダイはみられなかった。スポアバッグはPPロープに10個連結し、両端と中央をU字ボルトに結んで設置した。設置後10日目にPPロープが切断して、片側が垂直に浮き上がる状態となった。

2020年1月のモニタリングではD区の水深6mでクロメの幼体を1本確認した。クロメの幼体が視認できるようになる時期は、名護屋地区では1月頃であることが多く、今年はや遅れているようである。今後、クロメの幼体は増えていくと期待している。

### 引用文献

Kume G, Kubo Y, Yoshimura T, Kiriya T, Yamaguchi A. Life history characteristics of the protogynous parrotfish *Calotomus japonicus* from northwest Kyushu, Japan. *Ichthyol Res* 2010; **57**: 113-120.

Kuwamura T, Sagawa T, Suzuki S. Interspecific variation in spawning time and male mating tactics of the parrotfishes on a fringing coral reef at Iriomote Island, Okinawa. *Ichthyol Res* 2009; **56**: 354-362

桑村哲生. 「サンゴ礁を彩るブダイ」 恒星社厚生閣, 東京. 2012

中嶋泰・桑原久実・西崎孝之・渡邊耕平. 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 2014: 21-24.

山口敦子, 井上慶一, 古満啓介, 桐山隆哉, 吉村 拓, 小井土 隆, 中田英昭. バイオテレメトリー手法によるアイゴとノトイズミの行動解析. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2006; **72**(6): 1046-1056.

小課題 3 について：

1. イセエビを捕食者とする先行事例調査

投石礁 AR1 と AR3 からの距離別のウニ密度と海藻被度を図 3.2 に示す。ナガウニ類以外のムラサキウニ等のウニ類は非常に少なかったため、ここでは優占種のナガウニ類のみの密度を示す。またホンダワラ類等の大型海藻は、時期的に枯死脱落していたが、ウニの植食の影響の有無を示す小型海藻が生残していた。これらの両方を含めて直立海藻の被度を示した。ウニの密度は極端に低いウニの空白地帯は、西側投石礁では礁から 60m~90m 間に及んだが、東側投石礁では 20m~60m 間にとどまった。直立海藻の被度は、水深 5~6m で行ってきた従来の調査結果と異なり、ウニの密度が高い領域では明らかに低下し、ウニの密度との関係が明確に現れた。

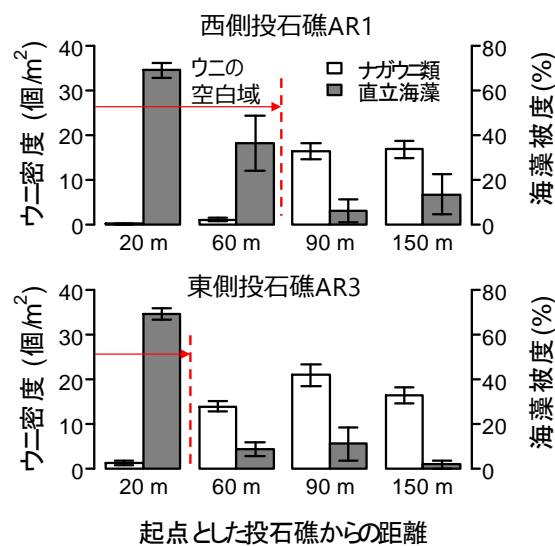


図 3.2 高知県の先行事例：投石礁からの距離別のウニ密度と海藻被度

投石礁 AR1 と AR3 からの距離別の優占ウニ種ツマジロナガウニの殻径組成分布を図 3.3 に示す。投石礁に近いほどウニが大型化し、餌料海藻の増加による成長促進と大型化に伴う被食回避効果を予想させた。また、稚ウニは投石礁に近づくほど減少する傾向はみられるものの、全域的に出現し、ウニは浮遊幼生により広域的に加入するが、投石礁近傍ではその大部分は高い捕食圧により生残できないことがうかがわれた。

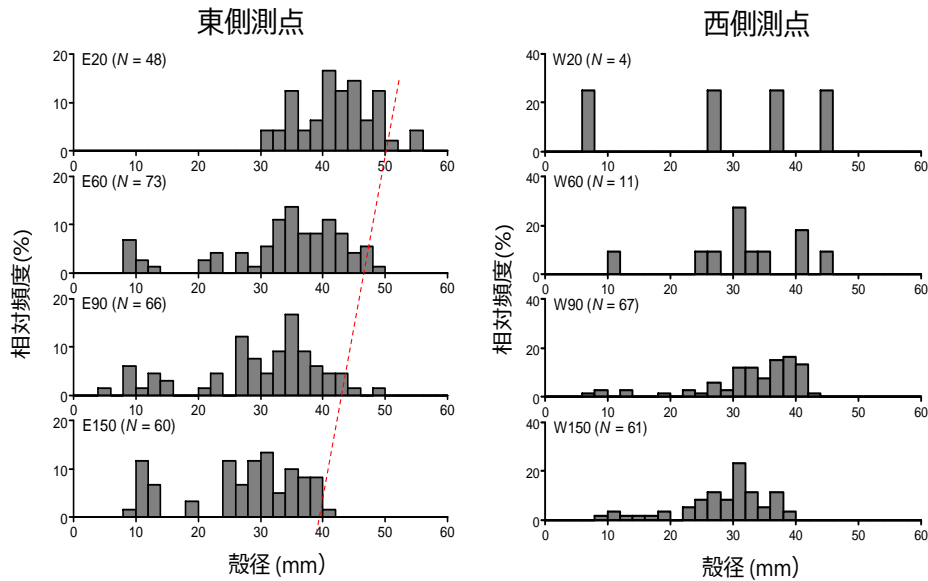


図 3.3 高知県の先行事例：投石礁からの距離別のツマジロナガウニの殻径組成分布

図 3.4 にウニの係留実験の結果を示す。図中には、2014 年に同様の方法で行った係留実験により推定された係留ウニの生残曲線を参考に示した。測点 E20 から E150 までの係留ウニの生残率は、投石礁の距離の増加に伴い、図中の赤色の生残曲線から青色の生残曲線に向けて増加すると予想されたが、すべての測点で青色の生残曲線に近い生残率を示した。この予想外の結果は次の投石礁でのイセエビ密度から説明できる。

図 3.4 に投石礁 AR1 におけるこれまでと今年度のイセエビの生息密度と AR3 における今年度の生息密度を比較して示す。AR1 におけるイセエビの密度は、これまでと同様に年 1 回秋に行われるイセエビ漁の直後に大幅に減少しても翌年の夏には同程度の水準に回復する様子を示してきたが、今年度は従来の約 2 倍に増加していた。また AR3 でも AR1 と同様にウニがほとんど生息せず、海藻に被われていたことから、イセエビが同程度の密度で生息していたと考えられたが、イセエビはほとんどみられなかった。以上のことから、AR3 に隠れていたイセエビが AR1 へ移動した可能性が考えられた。しかし、いずれにしても AR3 にイセエビがほとんど生息していなかったことから、測点 E20 から E150 までの 4 測点の周辺域 (少なくとも 100m 圏内) にはイセエビが多く生息する隠れ場が存在しなかったことが推察され、係留実験の結果にも影響したと考えられる。したがって、イセエビによる捕食は隠れ場から限定された範囲にとどまり、保護区内であってもある程度の距離離れると、周辺域と同じように低い水準に低下してしまうことが予想される。

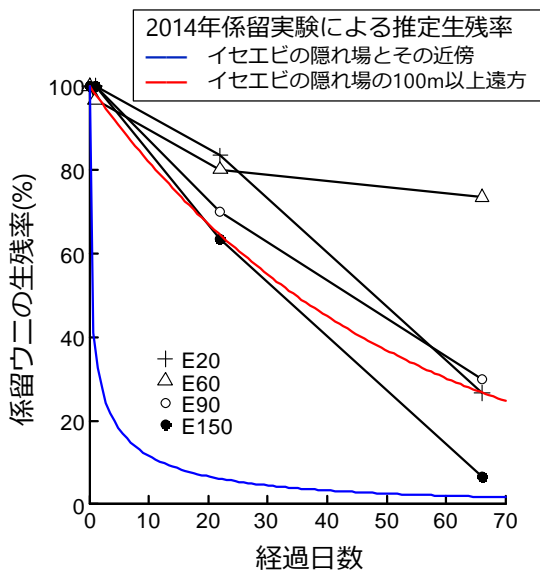


図 3.4 高知県の先行事例：係留ウニの生残率の経日変化

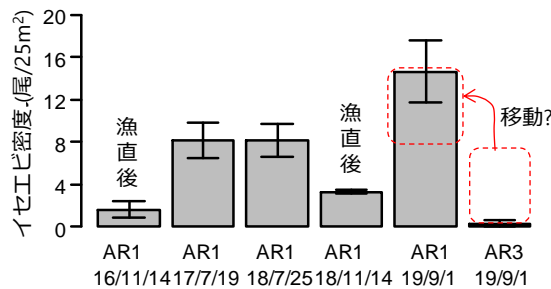


図 3.5 高知県の先行事例：投石礁 AR1 でのこれまでと今年度のイセエビ密度と AR3 での今年度のイセエビ密度の比較

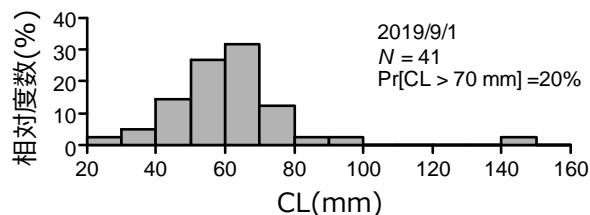


図 3.6 高知県の先行事例：投石礁 AR1 でのイセエビの推定 CL 組成

投石礁 AR1 で得られたイセエビ 41 尾の推定 CL の組成分布を図 3.6 に示す。今回の調査では過年度の結果と異なり、CL40 mm 未満の比較的小型のエビがみられ、逆に 100 mm を超える大型個体が少なくなり、小型化の傾向が示された。ただし、ツマジロナガウニの大型個体も捕食可能な  $CL > 70$  mm の大型エビの割合でみると、まだ 20% を維持し、比較的大型のイセエビが多いといえる。

以上の結果と過年度の結果を総合すると、保護区内でのイセエビの捕食圧とウニ・海藻の空間分布は図 3.7 で表されると予想される。イセエビの捕食圧は、隠れ場（投石礁）周辺で高いが、その領域は限定的で、ウニの密度調査と係留実験からおそらく  $< 60-70$  m 以上離れると、急激に低下し、周辺域と同じに水準になる。その捕食圧の空間分布を反映して、イセエビの隠れ場周辺にウニの密度の極端に低いウニの空白地帯が形成され、その結果、藻場が維持される。藻場の領域は、浅所（6m 以浅）では波浪や底質のかく乱等の他の要因によりウニの空白地帯の外側のウニ密度が高い領域まで拡大することがあるが、深所（8m 以深）ではウニの量的増加がより直接的に海藻の分布範囲を制限すると考えられる。

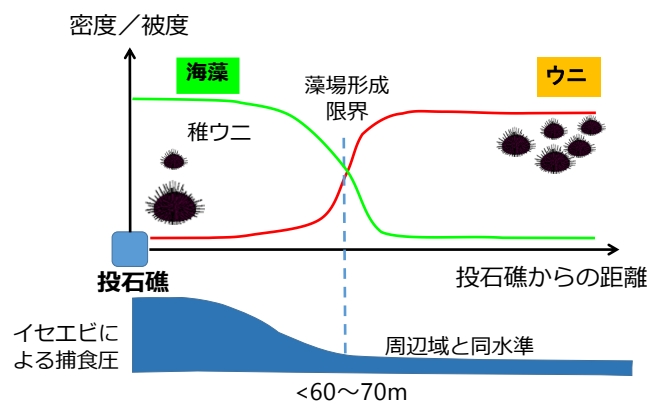


図 3.7 高知県の先行事例：イセエビの捕食圧とウニ・海藻の空間分布（予想）

## 2. イセエビを捕食者とする事例の蓄積（徳島県の事例）

イセエビについては、対照区投石礁では全域を調べたが、イセエビは1尾も発見できなかったのに対して、保護区捨石マウンド周辺では刺し網 12 枚で 379 尾のイセエビが漁獲された。漁獲されたイセエビの CL 組成を昨年度と比較して図 3.8 に示す。昨年度の調査よりも大型個体 (CL>70mm) の割合が若干減少したものの、保護区捨石マウンドにはイセエビの大型個体が多数生息していることが示された。

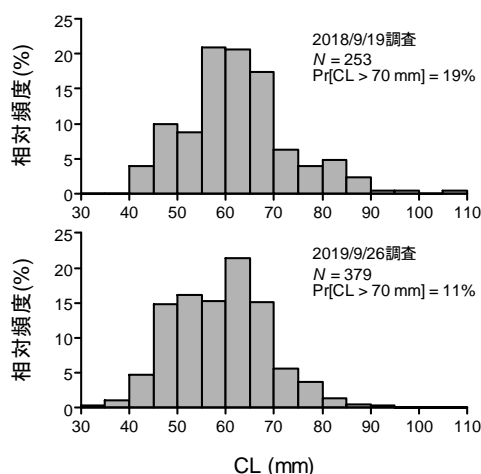


図 3.8 徳島県の事例：保護区捨石マウンド周辺で漁獲されたイセエビの CL 組成

ウニについては、対照区投石礁と保護区捨石マウンドにはアカウニも観察されたが、図 3.9 と図 3.10 には優占的に出現したムラサキウニの生息密度と殻径組成のみを示す。ムラサキウニはイセエビが生息していなかった対照区投石礁では、比較的高い密度で生息し、殻径 30 mm 未満の小型個体も多くみられた。これとは対照的に、イセエビが多数生息する保護区捨石マウンドには、ウニは非常に低い密度でしか出現せず、しかも殻径が 50 mm を超える大型ウニがその大部分を占め、イセエビによる捕食の影響を明確に示した。

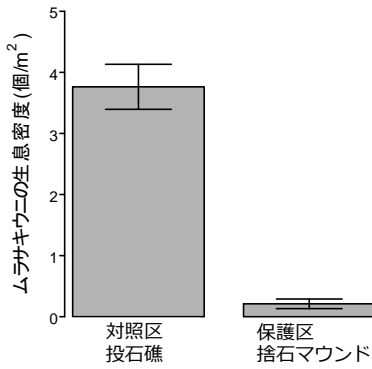


図 3.9 徳島県の事例：対照区投石礁と保護区捨石マウンドにおけるウニ優占種ムラサキウニの生息密度

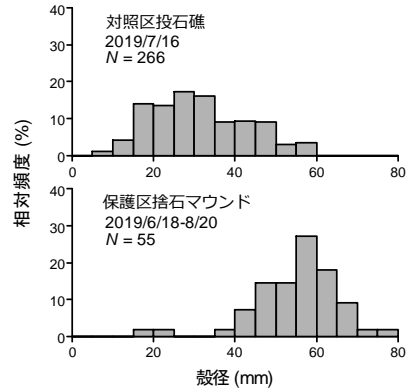


図 3.10 徳島県の事例：対照区投石礁と保護区捨石マウンドにおけるウニ優占種ムラサキウニの殻径組成

図 3.11 に、海藻繁茂期と衰退期に対照区投石礁と保護区捨石マウンドに出現した大型褐藻類、非殻状小型海藻及び有節サンゴモの被度を示す。対照区では大型褐藻類が多少生育していたものの、小型海藻では有節サンゴモが多く、非殻状の種は少なかった。これに対して、保護区では大型褐藻類はほとんど出現しなかったが、ムラサキウニが好むマクサを始めとする多種多様な非殻状海藻が繁茂し、衰退期まで高い被度で生育がみられた。

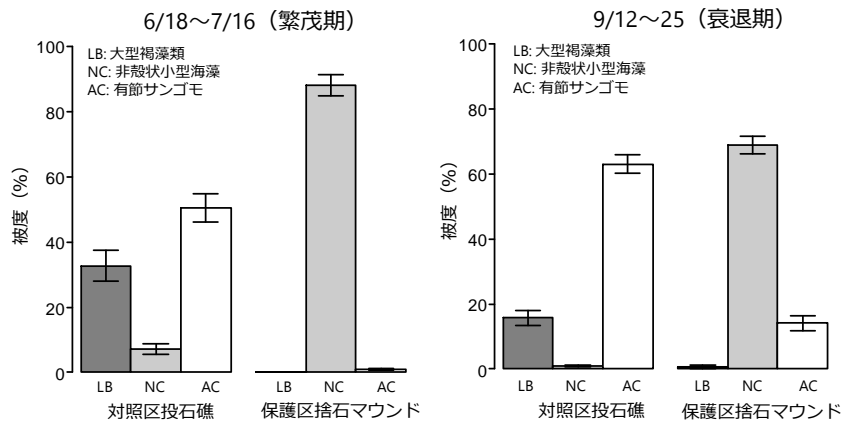


図 3.11 徳島県の事例：対照区投石礁と保護区捨石マウンドでの海藻被度

### 3. イセエビを捕食者とする事例の蓄積 (鹿児島県の事例)

調査対象の投石礁でステレオカメラを用いた手法で推定されたイセエビの CL 組成を図 3.12 に示す。放流した大型エビは、放流開始から 5 ヶ月ほど経過しても、確認されなかったが、11 月になって継続的に確認できるようになった。12 月 19 日に行った調査では、放流個体と思われる大型 (CL>80mm) イセエビ 3 尾を目視で確認し、うち 2 尾の CL 推定に成功した。

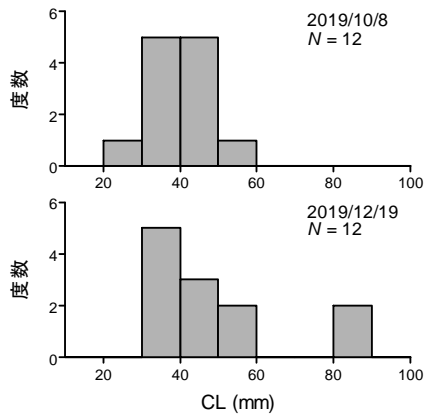


図 3.12 鹿児島県の事例：投石礁でのイセエビの推定 CL 組成

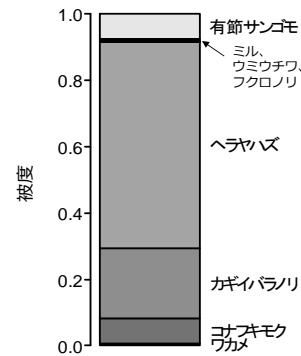


図 3.13 鹿児島県の事例：投石礁での海藻被度 (2019年5月23日)

図 3.14 と図 3.15 に投石礁でのムラサキウニの生息密度と殻径組成の変化を示す。投石礁でのウニ密度が7月まで低く、それ以降高くなっているが、これは海藻が繁茂していた7月までは、波浪により揺れ動く藻体によりウニが投石礁から掃き出されたためと考えられる。ウニの密度は安定的に高い水準にあり、放流した大型イセエビによる捕食の影響はまだ現れていない。

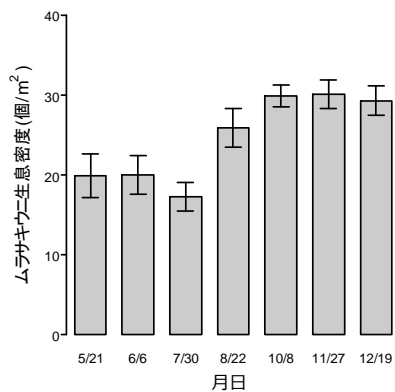


図 3.14 鹿児島県の事例：投石礁でのムラサキウニの生息密度の変化

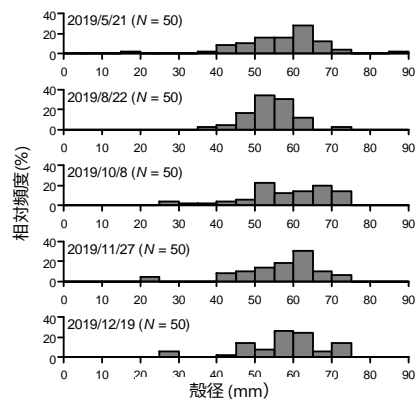


図 3.15 鹿児島県の事例：投石礁でのムラサキウニの殻径組成の変化

図 3.16 と図 3.17 に大型イセエビによるムラサキウニの捕食試験の結果として、各水槽での日平均捕食数の時期的変化と与えたウニと被食されたウニの殻径組成を示す。イセエビの供試個体によっては、実験開始から長期（飼育開始の2019年2月1日から約4ヶ月間）にわたりウニを捕食しなかったが、一度捕食すると、持続的な捕食がみられた。このことは、イセエビがウニを捕食するためには、捕食の仕方を経験により学び、ウニを餌として認識する必要があることを示唆する。イセエビによるウニ捕食は、8月下旬～9月中旬に活発化した後低下して、12月中旬以降、低水準に戻るという明瞭な季節変化を示した。また、この実験ではイセエビが小型のウニを選択的に捕食するといった明確なサイズ依存性はみられなかった。これは、試験したイセエビが CL70mm を大きく超える大型個体であったため、サイズ依存性が小さくなったためと考えられる。

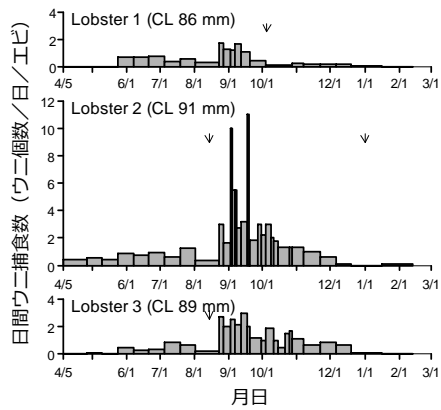


図 3.16 イセエビによるムラサキウニの捕食試験結果：日間捕食数の時期的変化

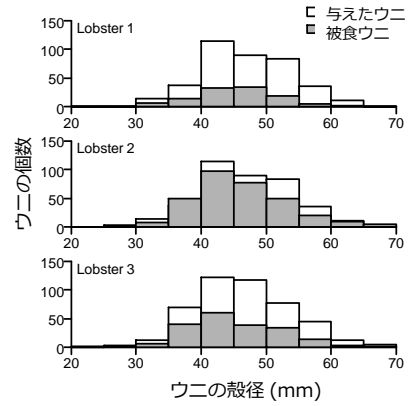


図 3.17 イセエビによるムラサキウニの捕食試験結果：与えたウニと被食されたウニの殻径組成

#### 4. イセエビ以外の捕食者の利用可能性の検討

イシガニによるウニの捕食量に関する現地実験結果を図 3.18 に示す。1つの例外はあるが、イシガニなしのケージでウニ 10 個がすべて残っていたことから、イシガニを入れたケージでのウニの減少は捕食によると考えられる。したがって、イシガニ 1 尾は、ほとんどの場合、ウニ 10 個を 4~15 日以内に食べ尽くしたと考えられる。

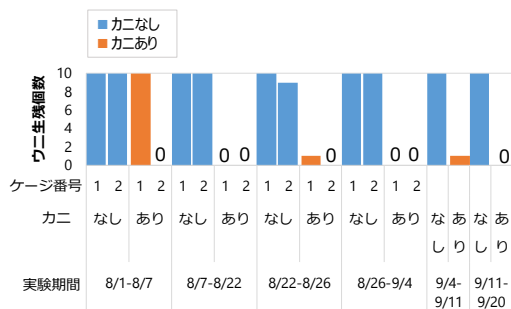


図 3.18 イシガニによるウニの捕食量に関する現地実験結果

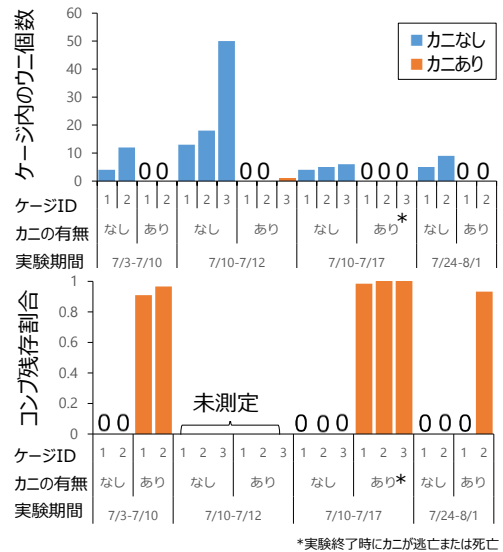


図 3.19 小型ケージを用いた現地実験結果：イシガニがウニの植食活動に及ぼす影響

イシガニによるウニの植食活動に及ぼす影響について小型ケージを用いて調べた現地実験結果を図 3.19 に示す。イシガニなしのケージではウニが周辺の岩礁からケージ内に侵入し、コンブを 1 週間で食べ尽くしたのに対して、イシガニありのケージではコンブが食べられずに残っただけでなく、ケージ内に侵入していたウニもなかった。

イシガニがウニの植食活動に及ぼす影響を中型ケージ及び大型ケージを用いて調べた水槽実験の結果を図 3.20 と図 3.21 に示す。イシガニ 1 尾が面積 2 m<sup>2</sup> からウニを排除してコ



ンブの摂食をほぼ完全に防止できるだけでなく、面積 6 m<sup>2</sup> でもほぼ同様の摂食防止効果を期待できることが示唆された。

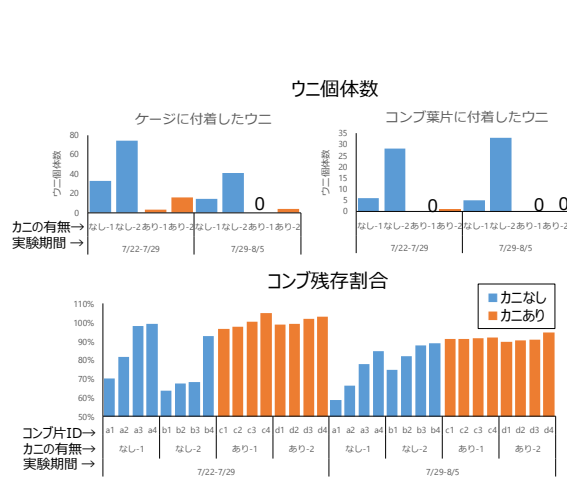


図 3.20 中型ケージ（面積 2m<sup>2</sup>）を用いた水槽実験結果：イシガニがウニの植食活動に及ぼす影響

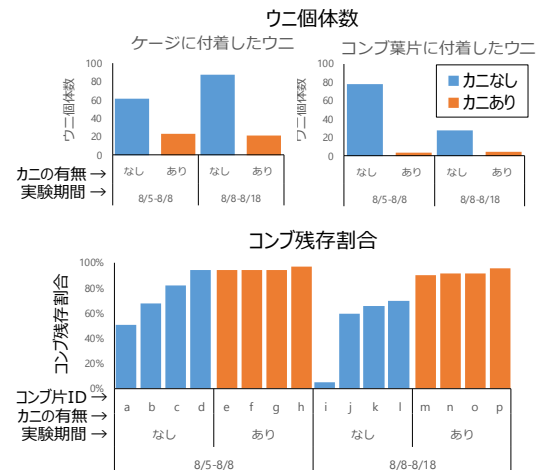


図 3.21 大型ケージ（面積 6m<sup>2</sup>）を用いた水槽実験結果：イシガニがウニの植食活動に及ぼす影響

## 5. 捕食者を利用した藻場回復の手引き（案）の作成

以下の項目についてとりまとめ、手引き（案）を作成した。

1. 本手引きの趣旨
2. 捕食者とその役割
3. 捕食による藻場の回復保全事例
4. 捕食者を利用した藻場回復手法の基本的考え方
5. 捕食者を利用した藻場回復のための考慮すべき条件
  - 5.1 対象とすべき捕食者
  - 5.2 捕食者の体サイズ
  - 5.3 捕食者の生息密度と個体群規模
6. 対策の手順
7. 参考資料
  - 7.1 捕食者による影響と藻場の回復力
  - 7.2 野外における捕食圧の調査方法
  - 7.3 水槽実験による捕食圧の推定方法
  - 7.4 捕食者による植食動物の活動抑制効果の推定方法
  - 7.5 捕食者の特定方法
  - 7.6 捕食者の影響範囲の調査方法
  - 7.7 捕獲せずにイセエビの体サイズを測定する方法

小課題 4 について：

①-1 福岡県相島地先について

「藻場保全活動の概要」

相島では、「環境生態系保全活動事業 (H22~24 年度)」、「水産多面的機能発揮対策活動 (H25~27 年度)」に引き続いて「第 2 期水産多面的機能発揮対策活動 (H28~32 年度予定)」の支援を受けて、藻場を保全、回復させるために、漁業者によるウニ類除去を行っている。平成 22 年度に「相島藻場保全活動組織」が発足された。当該活動は今年で通算 10 年目になる。

相島の南側では西から東への流れが恒常的に生じていることから、第 2 期の対策より、流況を考慮した磯焼け対策を開始した。

一般に、モニタリング調査は、調査時の海藻の生育状況やウニ類の生息状況を把握することを目的として行われている。当海域では、通常のモニタリングに加えて、このモニタリング結果を今後の対策内容をフィードバックして作成することにしており、順応的な対策システムが構築できていると考えられる。



調査位置		緯度	経度
モニタリング	St.1	N : 33° 45.610'	E : 130° 22.230'
	St.3	N : 33° 45.568'	E : 130° 22.460'
	St.4 (IBSt.1)	N : 33° 45.508'	E : 130° 22.643'
補足	St.2	N : 33° 45.579'	E : 130° 22.337'
	St.5 (IBSt.2)	N : 33° 45.471'	E : 130° 22.694'
H29年度の採苗用基質設置場所		N : 33° 45.411'	E : 130° 21.627'

(WGS84)

図 4-1-1 対策域の概要

(流況と調査点の配置、新宮町相島南部の海域の St.1、St.3、St.4 の 3 地点 (St.2、St.5 と採苗用基質設置場所は補足調査地点)

#### 「人員」

ウニ類除去は、漁業者（約 30 人）が中心で、ダイビングショップ社員も加わっている。

#### 「対策域」

H20 年当時、磯焼け状態にあった相島の南側の湾で、中央部から東側の海域 7.17ha である。（図 4-1-1、緑色で示す。）

#### 「流況」

相島の南側では西から東への流れが恒常的に生じている。（図 4-1-1、赤い矢印で示す）

#### 「水温」

対策域における平均的な水温℃の変化（上段）と 2018 年 9 月～2019 年 8 月の平均水温からの水温差（下段）は、次のようである。

表 4-1-1

2018 年				2019 年							
9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
24.6	22.4	19.4	15.8	13.4	12.3	12.7	15.3	18.6	21.2	24.5	26.3
(+2.0)	(-0.1)	(-0.1)	(+1.0)	(+1.3)	(+1.4)	(+1.1)	(+0.3)	(-0.2)	(-0.1)	(-1.2)	(+0.1)

※データ提供：(株) MIKIMOTO

#### 「底質」

すべてに調査海域において、底質は、巨礫主体に大礫が混在し、水深が浅くなると巨礫の割合が多くなる傾向が見られる。また、浮泥の堆積は 1mm 未満であり、漂砂の堆積はほとんど観察されない。

#### 「回復が期待できる海藻種」

当海域に残存する藻場を調査して結果、回復が期待できる海藻種は次のようである（優占種順に記述）。大型海藻は、ヤツマタモク、アカモク、ノコギリモク、キレバモク、イソモク、マメタワラ等、小型海藻は、フクロノリ、マクサ、ウミウチワ、サンゴモ属の一種、シオグサ属の一種、イソガワラ科、カニノテ属の一種、モサズキ属の一種、テングサ属の一種、カギケノリ、カイノリ、ソゾ属の一種等である。

#### 「藻場形成を阻害する要因」

当海域の磯焼け域を調査した結果、植食動物は次のものが分布していた。ムラサキウニ、ガンガゼ類、アカウニ、ウラウズガイ、オオコシダカガンガラ、ギンタカハマ、サザエ、また、植食性魚類はメジナが多く観察された。この内、藻場形成を阻害している要因としては、ムラサキウニ、ガンガゼ類が多数分布する場所では、藻場が認められず、これらの食害が大きいと考えられる。

#### 「回復した藻場を利用した水産種の回復」

当海域では、調査の結果、貝類ではクロアワビとサザエ等、魚類ではメジナ、キビナゴ、カサ

ゴ、メバル、キジハタ等の分布が認められ、これらの回復が期待されている。メガイアワビを放流しているので安定したメガイの漁獲も期待されている。

#### 「対策の方法」

毎年、6月頃に多面的機能発揮対策支援事業のサポート専門家によるモニタリング調査を実施し、当年の対策手法を活動組織に提案する。この提案に従って、7月～9月にかけて、活動組織による対策が実施される。主に、漁業者は、素潜り潜水によるウニ除去、ダイビング会社の社員は SCUBA 潜水によるウニ除去を実施している。H28 年度は、オープンスポア（ノコギリモク主体でマメタワラ含む成熟個体）110 袋を対策域に設置した。これらの対策は、湾内の流れが、西から東に恒常的にあることから、このことに配慮し、対策域の西側から、ウニ除去やオープンスポアバックの設置を行い、西側から藻場を回復することで、流れの下手側に海藻種が供給されて、東側へ藻場が回復することを目指す。なお、回復する海藻種は、複数年にわたって安定した藻場を形成する大型海藻であるノコギリモク主体でマメタワラ含む群落を目指している。

#### 「対策の成果」

ウニの密度管理をベースに、ホンダワラ類の母藻設置を H28 年度から相島南側の流れを考慮して西側を中心に行うことにより、H30 年度はその効果が現れ広範囲に密生～点生の藻場が形成された。このことは活動組織の構成員への聞き取りにおいて、海藻の増加を実感していることが認められた。

H31 年度 6 月に調査を行った 3 地点（西側から St.1、St.3、St.4（旧 St.1））については、大型海藻の被度は St.1 では 20%であり、ヤツマタモクを主体にキレバモク、アカモク、ノコギリモクが確認され、St.3 では 10%で、アカモクを主体にイソモク、ヤツマタモク、マメタワラが確認されている。調査時期はホンダワラ類の衰退期の初期あたり、繁茂期には更に高い被度であったものと推察される。東側への藻場の拡大も認められており、良好な経過であると思われる。（図 4-1-2、図 4-1-3）

その他、当活動水域の沖側では真珠の養殖がおこなわれており、真珠の養殖施設を固定するロープには多くのホンダワラ類がトラップ（一部は着生）していた。このロープは水面に近いこともあり、魚類の食害を受けにくく、ウニの食害も受けないことから良好な海藻種のタネ供給場所（核藻場）として機能していることが示唆された。（図 4-1-4、図 4-1-5）

#### \* 図の説明と解説

St.1 と St.3 のウニ類の生息密度は、St.1 の No.1 以外では比較的高い値で推移している。これは活動範囲を西側に広げた結果、ウニ類を除去する範囲も広がり、これまでのように少ない地点で集中した除去作業が行えなくなったことによるものと考えられた。ただし、海藻類の現存量については、いずれの地点においても増加傾向にあり、ウニ類の摂食量を上回るほどの海藻類のタネの供給があったものと推察される。引き続き効率良く藻場を拡げるために、活動範囲の西側水域に位置する St.1～St.3 で集中してウニ除去を行う必要がある。

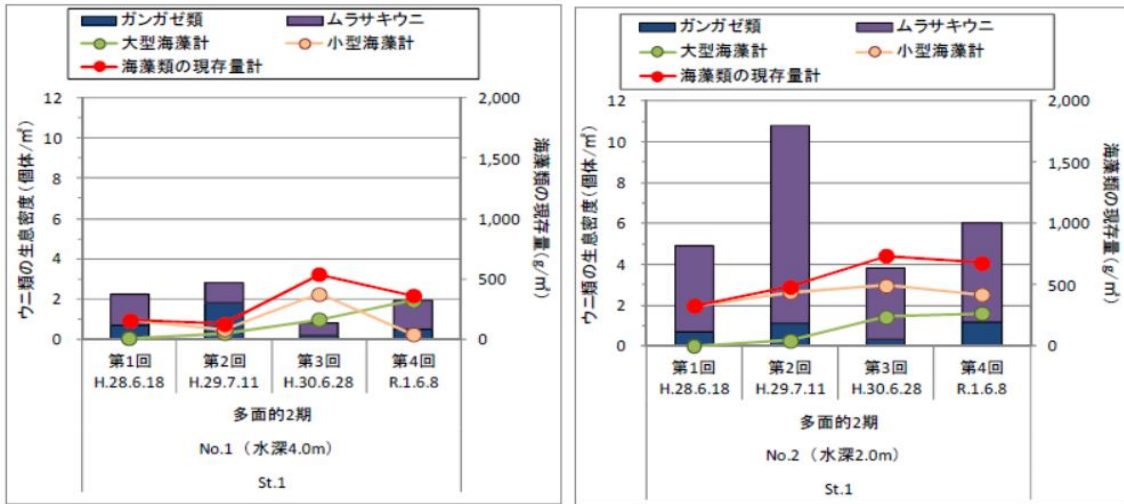


図 4-1-2 st.1 におけるウニの生息密度と海藻現存量  
(左図は水深 4m、右図は水深 2m)

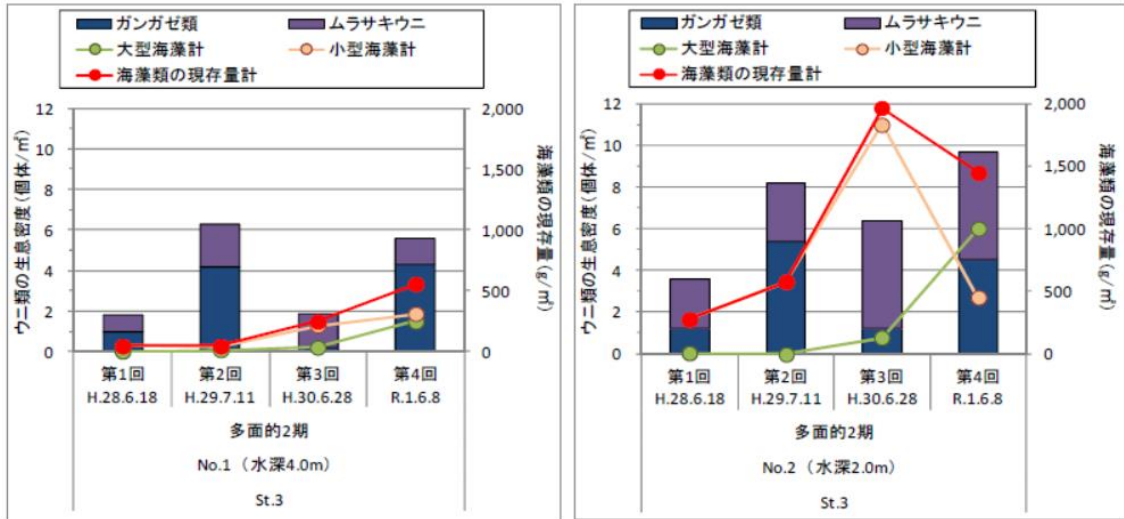


図 4-1-3 st.3 におけるウニの生息密度と海藻現存量  
(左図は水深 4m、右図は水深 2m)



図 4-1-4 対策域の沖側に隣接する真珠養殖施設（延縄式）

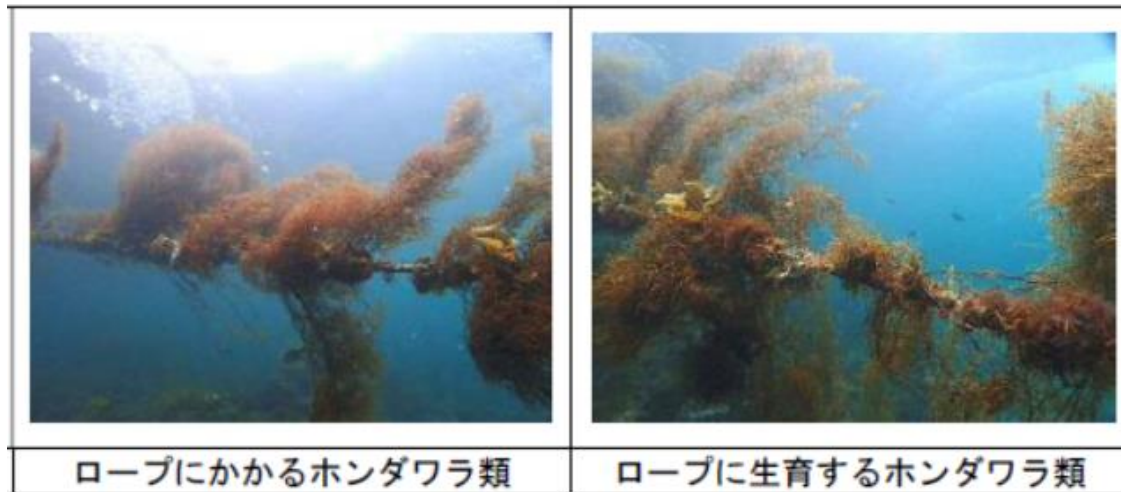


図 4-1-5 真珠養殖施設（延縄式）のロープにトラップされた流れ藻（一部はロープに着生している）

#### まとめ

相島の磯焼け対策が、これまで順調に藻場が回復している要因は次のように考えられる。

- (1) 対策は、持続的に実施する必要があることから、なるべく、労力や経費がかからないで、効率の良い藻場回復を目指す必要がある。
- (2) このためには、対策域において、藻場回復に関する環境条件（①種供給、②流況、③食害、④海域環境等）を十分把握した上で対策の具体的な実施内容を作成する必要がある。
- (3) 相島の活動組織は、毎年6月にサポート専門家によるモニタリングを実施している。このモニタリング結果は、同年7月～9月に行われる藻場回復対策にフィードバックされる。
- (4) 相島の対策域では、③はウニの密度管理を基本に、①と②から相島南側は、恒常的に西から東への流れが生じることから、対策域の西側を中心にウニ除去と母藻投入を実施し、西側から東側への回復藻場の拡大を目指している。
- (5) (3)の対策により、対策域の東側で成果が見られており、ウニ類の摂食量を上回るほどの海藻類のタネの供給があったものと推察される。
- (6) 副次的な成果として、対策域の沖側に近接する真珠養殖施設のロープにトラップされる流れ藻（一部は着生）が確認された。これにより対策域に海藻のタネを供給しているものと推察された。

#### ①-2 静岡県平沢地先について

##### 「藻場保全活動の概要」

静岡県駿河湾奥に位置する内浦湾沿岸は、1990年頃までホンダワラ類の大きな群落(ガラモ場)があった。しかし、近年、ガラモ場が衰退し、同湾南岸の平沢地先では、ガラモ場を構成するホンダワラ類の種数の減少、生育範囲の浅所への縮小が認められた。このため、当海域において藻場回復の取り組みを、静岡県水産試験場と東京海洋大学が、共同でスタートさせた。

ガラモ場を回復させるため、平沢地先で瀬切り方式によりガンガゼの侵入を防ぐとともに、マメタワラを中層網に設置し母藻投入を行った。その結果、ホンダワラ類は翌年の春には瀬切



図 4-1-6 対策域の位置図

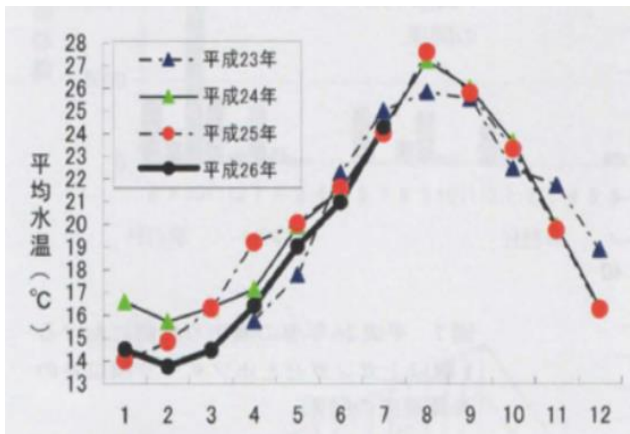


図 4-1-7 対策区の水温変化

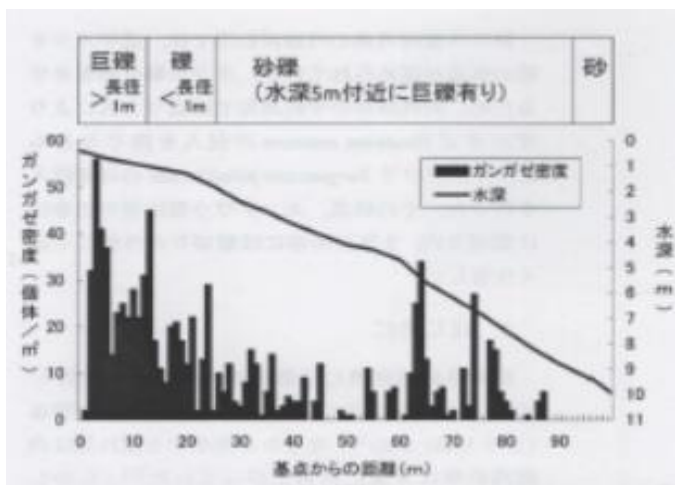


図 4-1-8 対策区の地形、底質及びウニの分布状況

り内、3年目の春にはウニ除去をしていない瀬切りの外側にも広く生育した。

「人員」

静岡県水産試験場伊豆分場 2名、東京海洋大学 応用藻類学研究室 3名 合計5名程度。

「水温」

図 4-1-7 は、対策区で測定した平成 23～26 年の水温の月変化である。使用した水温計は、自記式温度計 CUTBI-001, Onset 社) である。平成 26 年は、他の年と異なり、冬期(特に、2月～3月)に水温は低いことがわかる。

「対策区の状況」

平成 23 年 6 月に海藻植生及びガンガゼの分布を把握するため平沢地先に汀線に垂直に 100m のラインを設置し、ライン片側 1m ごとに 1m<sup>2</sup> 内のガンガゼの個体数、主な海藻及び水深を記録した。水深は、基点(約 0.4m)から徐々に深くなり 100m 地点で約 10m に達した。

底質は、水深 2m 以浅で石や礫が、それ以深で砂と礫が優占した。また、水深 9m 以深でほぼ砂地となった。

ガンガゼの密度は、水深約 1m 以浅で最も高く、最高 56 個体/m<sup>2</sup> となり、深くなるほど低くなったが、水深 5m 前後の巨礫の場所で再び上昇し、水深 9m 以深で 0 個体/m<sup>2</sup> となった

すべてに調査海域において、底質は、巨礫主体に大礫が混在し、水深が浅くなると巨礫の割合が多くなる傾向が見られる。また、浮泥の堆積は 1mm 未満であり、漂砂の堆積は観察されない。(図 4-1-8)

「藻場の生育阻害要因の特定」

内浦湾沿岸の沼津市西浦平沢地先において、ウニ類の侵入を防除する区(以下、ウニ防除区)、ウニ類と藻食

性魚類の侵入を防除する区（以下、ウニ・魚防除区）、防除を行わない区（以下、対照区）を設定し、その中にホンダワラ類の1種であるヨレモクモドキの成体と幼体を移植して、その後の残存率を調べた。その結果、ヨレモクモドキの成体では各試験区で残存率に大きな違いは認められなかったが、幼体では2つの防除区に比べ、対照区での残存率が顕著に低くなった。この結果から、ホンダワラ類の幼体の残存率には高密度に分布するウニの影響が大きいことがわかった。

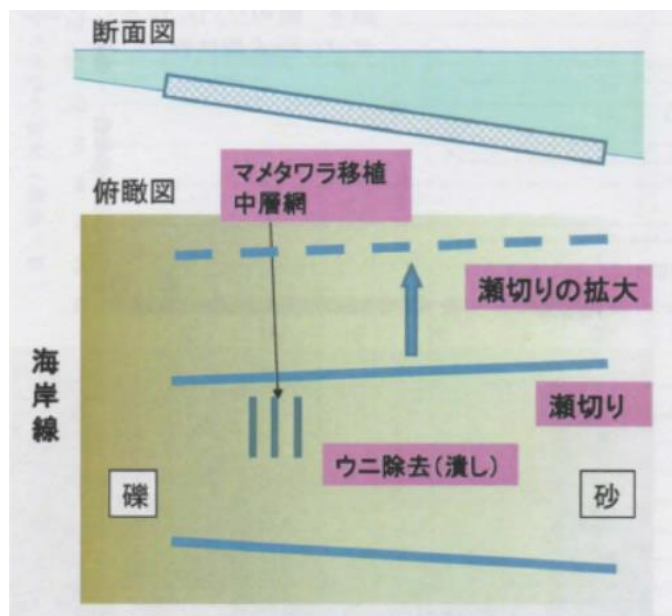


図 4-1-9 ウニ除去と侵入防止フェンスの設置

「対策の方法：中層網、侵入防止フェンスの設置、及びウニ除去」

平成 23 年 5~6 月に同地先に母藻となるマメタワラ約 150 株を中層網(1.5x3m)で 3ヶ所(水深 2~4 m)に投入するとともに、瀬切り方式によりガンガゼの侵入を防御する網を、中層網を挟むように 2枚設置し(図 4-1-9)、瀬切り内(約 6,000m<sup>2</sup>)のガンガゼを棒の付いた金属ヘラで潰して除去した瀬切りの網は長さ 100m で、網の下端にチェーンを付けて沈子とし、上端にペットボトルを付けて網を立たせた。

平成 24~26 年の春季に、瀬切り内外に設置した長さ 80 m の調査ライン 9 本の片側 1m<sup>2</sup> ごとにホンダ

ワラ類及びガンガゼの個体数を記録した。

平成 25 年 7 月には、この外側に、新たに長さ 80m の網を設置して瀬切り(約 4,000m<sup>2</sup>)を拡大した(図 4-1-9)。

平成 26 年の春に拡大した瀬切り内外に新たに 12 本のラインを追加して上記と同様の調査を行った。

(参考：ウニ類の除去と作業効率)

平沢地先に設定した瀬切り網内(約 6,000 m<sup>2</sup>)のガンガゼを除去するため、潜水作業員がヘラ状の道具を用いてガンガゼを潰した。3名の潜水作業員が約 9 時間の除去作業をすることにより、約 2 万個体を処理できることがわかった。

「対策の成果」

#### 1：ホンダワラ類の回復

瀬切り内に生育したホンダワラ類は、母藻投入したマメタワラが優占しそのほかにイソモクとヒイラギモク等が認められた。母藻投入した翌年(平成 24 年)の春、マメタワラの密度は母藻投入場所周辺で高く、最高で 30 個体/m<sup>2</sup> も記録されたが、投入場所から離れるにしたがって



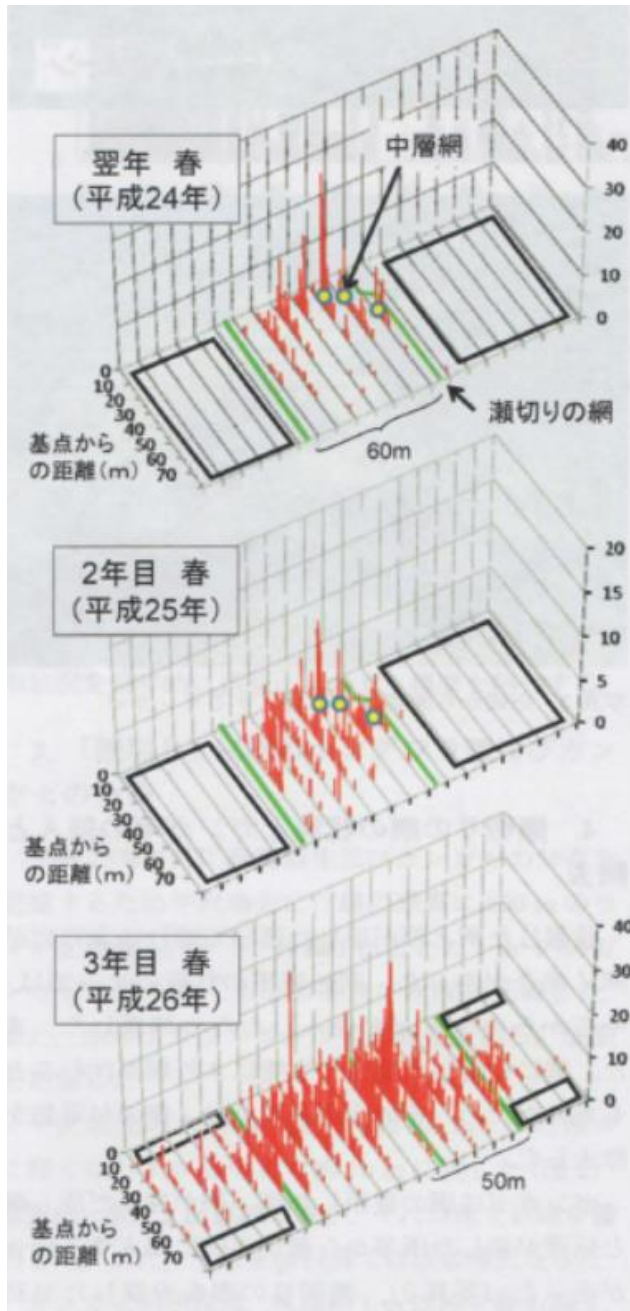


図 4-1-10 対策区の藻場回復の推移

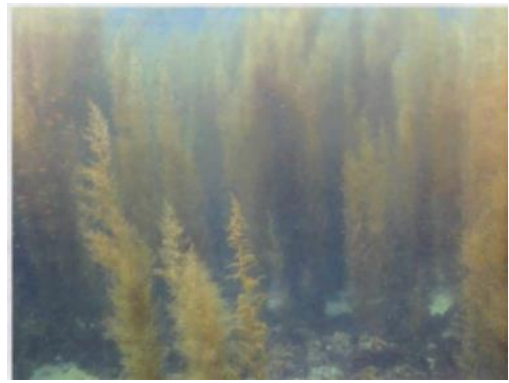


図 4-1-11 瀬切り内部で回復したマメタワラの群落

低くなった(図 4-1-10 上段). イソモクはおおよそ水深 3m 以浅(基点から約 30m)で、ヒイラギモクは 1~2 個体/1m<sup>2</sup> と低密度であった。瀬切り外側では、海藻出現はなかった。

2年目(平成 25 年)の春には、マメタワラの密度は母藻投入場所周辺で低下したが、瀬切り内全体で高まった(図 4-1-10 中段)。イソモクやヒイラギモクの密度は 1 年目と同様の範囲でさらに高くなった。しかし、これらホンダワラ類 3 種は、1 年目と同様に瀬切り外ではほぼ認められなかった。

3年目(平成 26 年)の春には、マメタワラは瀬切り内で急激に密度が高く、また広く認められた(図 4-1-10 下段, 図 4-1-11)。イソモクやヒイラギモクは、瀬切り内で密度が高くなった。これらホンダワラ類 3 種は、これまでほとんど認められなかった瀬切り外側(ウニ除去をしていない)でも広く生育し瀬切りから約百 m 離れた調査ラインにおいても確認された。

## 2 : ガンガゼの分布密度の変化

当歳ガンガゼの加入は、母藻投入とガンガゼ除去後、ガラモ場が回復した瀬切り内部では、経年的に少なくなった。一方で、1 歳以上ガンガゼは瀬切り外側で、パッチ状に非常に高密度で分布し、その傾向は通年変わらなかった。

## 3. ガンガゼと海藻の密度の関係

3年目となる平成 26 年春の瀬切りの外側で観察されたマメタワラは、ガンガゼの摂食の影

響を受けにくい場所（ガンガゼの密度がほぼ 0 個体/m<sup>2</sup>）で生育していた（図 4-1-12）が、ホンダワラ類以外の海藻、アントクメ、フクロノリ等が広範囲に認められた。これらの海藻の被度は、ガンガゼの高密度域でも 40%以上となる場所もあり（図 4-1-13）。このことは、これらの 1 年生、または、小型海藻が、ガンガゼのホンダワラ類への摂食圧を軽減させたとも考えられた。

平成 23～ 26 年の各月の平均水温をみると（図 4-1-7 参照）、特に平成 26 年の 1～ 3 月において他の年より水温が低目で推移したのが特徴的であり、この低水温が、ホンダワラ類手の海藻の生長を促進し、ガンガゼや植食性魚類の摂食活動を抑えた可能性が考えられた。

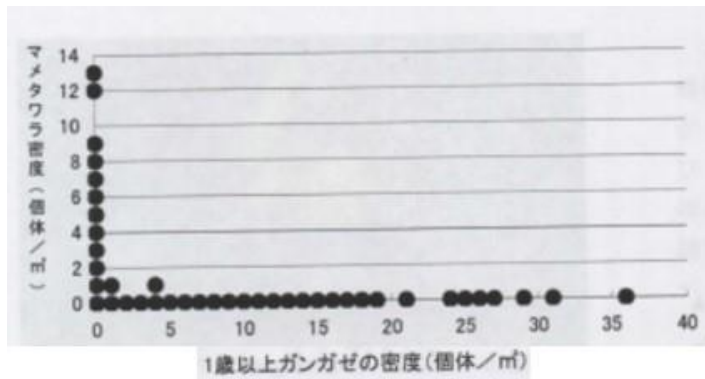


図 4-1-12 ガンガゼとマメタワラの関係

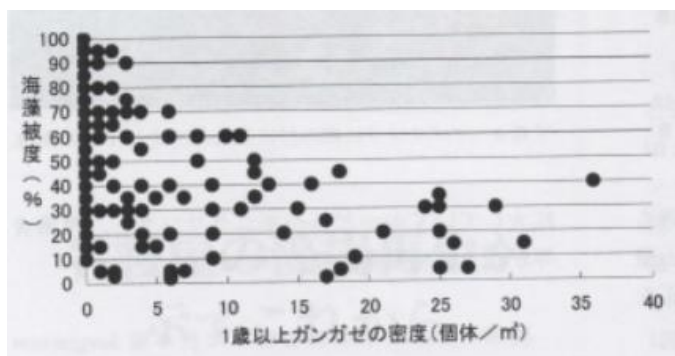


図 4-1-13 ガンガゼと海藻被度（全ての海藻）との関係

#### まとめ

(1) 静岡県内浦湾平沢において、ガンガゼによるガラモ場衰退域に瀬切り方式、及び中層網による母藻投入によりホンダワラ類の海藻群落を回復させることができた。

(2) ある程度の規模でガラモ場がある程度の規模で回復すれば（平沢の事例では、約 6,000m<sup>2</sup>）、その後の水温等の環境の影響やホンダワラ類の幼胚の供給量の増加等により、ウニ除去していない瀬切りの外側にもホンダワラ類の群落が拡大することがわかった。

(3) ある対策で藻場が回復した場合、この藻場を利用して、周辺に藻場を拡大させるためには、①恒常的に、周辺海域に海藻のタネを、なるべく大量に供給し、藻場が回復するポテンシャルを高めておくこと。

②食害対策をしていない周辺に藻場が拡大した場合、このメカニズムを調べること。平沢地区では、フクロノリ等の小型で単年生の入植が、目的であるホンダワラ類への食圧を低減させた。  
③平沢の事例では、検討されていないが、海藻のタネが、どの時期に、どの方向に輸送されるか、明らかになれば、タネが供給される場所で食害対策を行えば、より効果的に藻場が拡大すると考える。

## ②九十九島海域（長崎県佐世保市）における調査結果

### ②-1 目的

本調査は長崎県九十九島海域を対象としている。対象海域ではかつて大規模なガラモ場が広がっていたが、現在は小規模なガラモ場が点在している状況である。また、これらのガラモ場は、構成種であるホンダワラ類の流れ藻によって藻場間のネットワークを構築していると考えられる。

前年度の調査結果から、当該海域の藻場の残存状況を把握し、磯焼けの主要因はウニ類の食害である可能性が高いことが分かった。また、流れ藻の移動予測（シミュレーション）モデルを構築し、構築したモデルを元の過去藻場分布状況と現在の藻場分布状況を照らし合わせた結果、流れ藻による藻場ネットワークが存在する可能性が示唆された。

本年度は前年度の調査結果から、以下の2つの項目を検証することを目的とした。

検証項目①：シミュレーションによる流れ藻移動予測の有効性検証

検証項目②：ネットワークとソフト対策を組み合わせた藻場回復手法の有効性検証

### ②-2 調査計画

平成31年度の調査計画は下の通りである。

表 4-2-1 平成31年度調査計画

月次	実施事項
4月	・春期モニタリング調査 ・流れ藻キャッチャー設置場所の探索
5月	・実海域での流れ藻の移動軌跡調査 ・流れ藻キャッチャー設置
6月	・流れ藻キャッチャーに掛かった流れ藻の計測 ・ウニフェンス設置
7月	・流れ藻キャッチャー回収 ・流れ藻キャッチャーに掛かった流れ藻の計測
8月	・ウニ駆除
9-11月	・シミュレーションの実施
1月	・効果把握のモニタリング調査
2-3月	・調査結果とりまとめ

### ②-3 方法

検証項目①「シミュレーションによる流れ藻移動予測の有効性検証」は、流れ藻にGPSを取り付け海域に放して得た移動軌跡とシミュレーションによる予測移動軌跡とを比較する方法、流れ藻キャッチャーに掛かった流れ藻重量とシミュレーションによる流れ藻量（粒子数）を比較する方法、によって実施する。

表 4-2-2 流動計算条件

項目	設定値
流動モデル	Princeton Ocean Model(POM)
計算格子	水平格子：100m×100m 鉛直格子：σ 座標系 5 層
計算範囲	東西 25.9km(259 格子) 南北 29.5km(295 格子)
計算期間	H28、H29、H30 の 5/1～6/30
地形条件	海底地形デジタルデータ(M7000 シリーズ)
気象条件	風、気圧(気象庁GPV データ)
境界条件	潮汐(主要 4 分潮)

表 4-2-3 粒子追跡計算条件

項目	設定値
放出条件	放出水深：D.L.-1.0m 放出期間：5/1～6/30 放出間隔：各メッシュ 1 時間あたり 1 個放出
浮遊条件	浮遊水深：D.L.-1.0m 浮遊期間：14 日間
着底条件	7 日以降、水深 D.L.-10m 以浅に到達した粒子は着底、もしくは、14 日経過後に着底
解析対象	水深D.L.-10m 以浅に着底した粒子を対象とした

検証項目②「ネットワークとソフト対策を組み合わせた藻場回復手法の有効性検証」は、流れ藻キャッチャーを海域に3点設置し、流れ藻重量の多寡やソフト対策（ウニ駆除）の有無の組み合わせより、流れ藻キャッチャー周辺基質のその後の海藻出現・繁茂状況の違いを比較することで実施する。

表 4-2-4 流れ藻キャッチャーとウニ駆除の組み合わせと期待される結果イメージ

	ウニ駆除有り	ウニ駆除なし
流れ藻供給量：多	新たな藻場を創出	磯焼けの継続、もしくは少量のホンダワラ類が発生
流れ藻供給量：少	少量のホンダワラ類が発生	磯焼けの継続

詳細な調査方法を下に記す。

春期（4月）の調査では、吊下げ式の防水カメラを船上から垂下し、海底の状況を船上のモニターで確認しながら周辺海域を調査し、流れ藻キャッチャーの設置が可能で、藻場

形成に適した環境を探索した。また、前年度に確認された核藻場5点についても同様の方法でモニタリング調査を実施した。これらの調査によって設定された流れ藻キャッチャー設置点の3点と対照区および、前年度ウニ駆除区画については、ダイバーによる詳細な調査を実施した。

実海域での流れ藻の移動軌跡調査は、GPSを取り付けた流れ藻3セットを海域の異なる点からそれぞれ流し、日中の3時間程度の移動軌跡を調べた。

流れ藻キャッチャーの設置イメージを図4-2-1に示す。

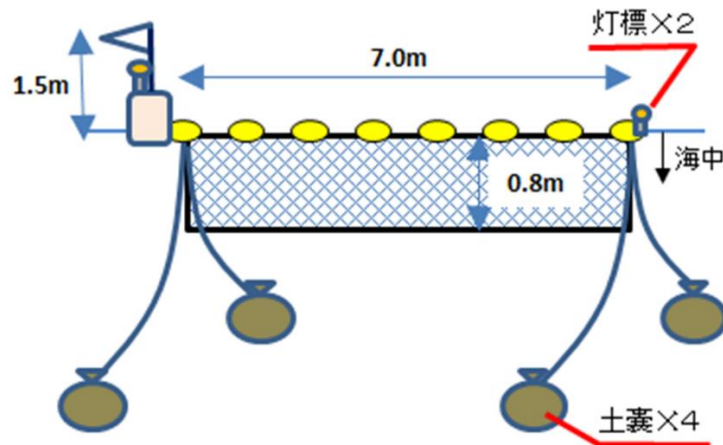


図4-2-1 流れ藻キャッチャー設置イメージ

ウニフェンスは長さ約30m高さ約70cmで、流れ藻キャッチャーを設置した3点のうち2点で流れ藻キャッチャーの直下の海底に設置した。

6-7月に実施した流れ藻の計測では、設置した3つの流れ藻キャッチャーにかかった流れ藻を回収し、種毎に湿重量を計測した。

ウニ駆除は設置された2点のウニフェンス内にて、九十九島漁業協同組合の漁業者によって実施された。フェンス内のウニ類をケレン棒・金属トング等で完全に割るまたは潰した。

シミュレーションによる流れ藻の移動予測については、次の2つの手法でその有効性を検証した。まず、GPSを取り付けた流れ藻3セットを核藻場3地点から放った際の実際の移動軌跡と、流れ藻に見立てた粒子を同時帯に同地点から放出した条件で予測される移動軌跡とを比較した。次に、モニタリングを実施した核藻場5点から流れ藻に見立てた粒子を放出し、流れ藻キャッチャー設置点に到達すると移動を終える条件を加え、流れ藻キャッチャー設置期間と同期間における各点の獲得粒子数を実際に流れ藻キャッチャーに掛かった流れ藻重量と比較した。

1月のモニタリングでは流れ藻キャッチャー周辺基盤における藻体の芽生え状況を調査し、昨年5-7月にかかった流れ藻の種や量、ウニ駆除の有無と、芽生えた海藻種・株数の関係性を検討した。

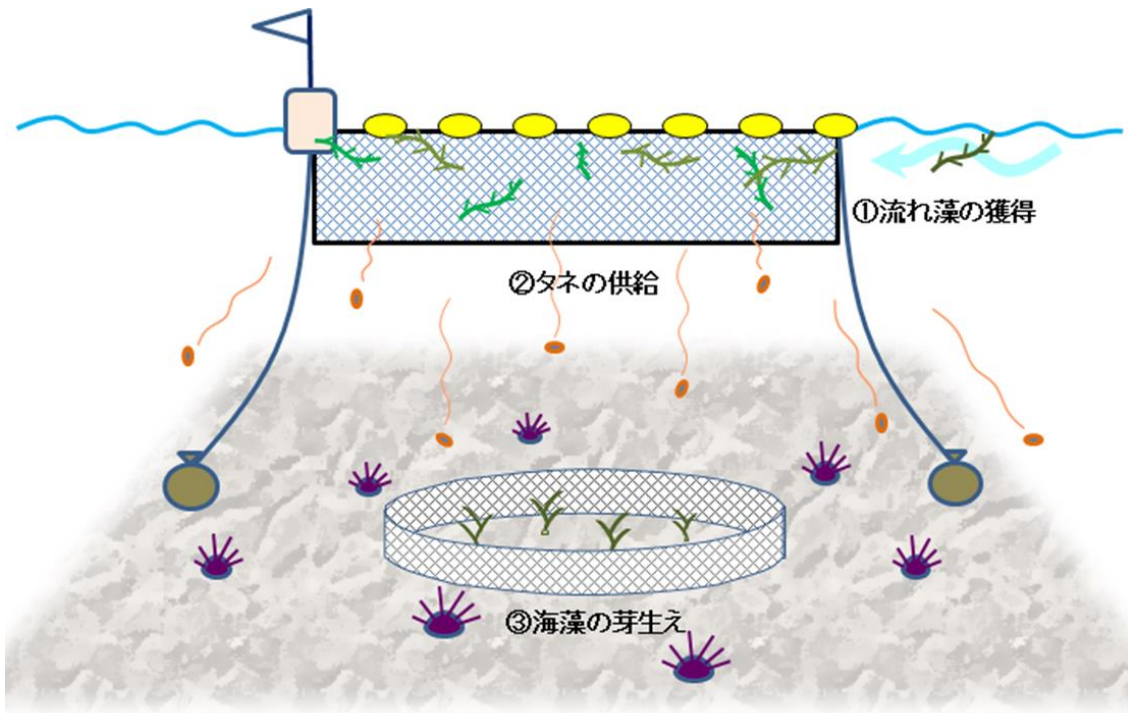


図 4-2-2 流れ藻キャッチャーとソフト対策による藻場回復手法のイメージ

②-4 結果

②-4-1 春期（繁茂期）のモニタリング調査  
調査地点を図 4-2-3 に示す。

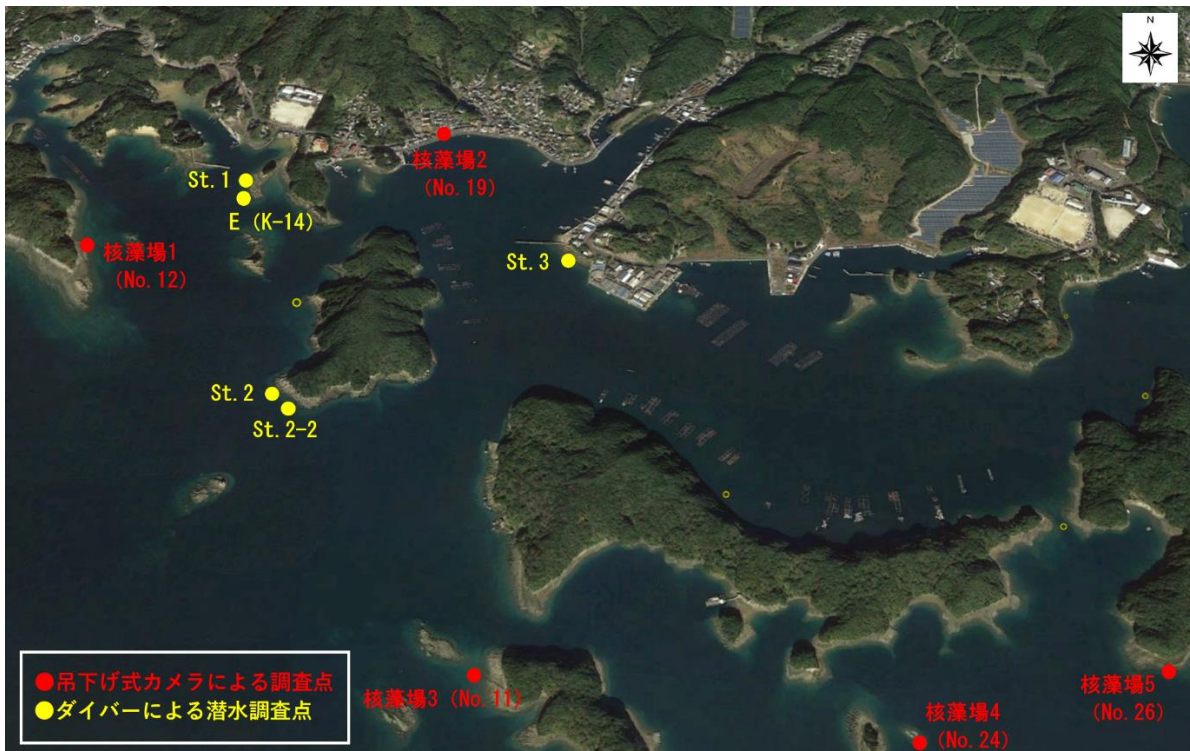


図 4-2-3 調査地点

前年度（H30年度）に確認した核藻場のモニタリングの結果（表 4-2-5）によると、各点でホンダワラ類を主とした大型海藻被度が 15-30%と高く核藻場が維持されていた。

表 4-2-5 核藻場のモニタリング結果

核藻場No.		1	2	3	4	5
No		12	19	11	24	26
水深 (m)		0.8	0.7	0.6	0.7	1.2
底質被度 %	コンクリート					
	岩盤	20		90	50	30
	岩塊(等身大≤)					
	巨礫(大人頭≤)	20	100		+	30
	大礫(拳大≤)	40		+	50	40
	小礫(米粒大≤)					
	砂(粒子確認)	20		10		+
	泥(粒子未確認)					
浮泥厚 (mm)		<1	<1	<1	<1	<1
景観被度 %	大型海藻類	20	15	30	20	20
	小型海藻類	15	45	35	45	35
	殻状紅藻	10	+	10	10	10
	固着動物等	15	10	10	25	20
	裸面・砂地	40	30	15	+	15
大型海藻	ワカメ	10	10	5	10	5
	キレバモク			+		
	マジリモク		+	5		
	アカモク			10	10	5
	ヤツマタモク	+				+
	マメタワラ	10	5	10		10
	エンドウモク	+				
小型海藻	アオサ属の一種(7才リタイフ)		+			+
	アオサ属の一種			+		
	ミル	+		+	+	+
	ウミウチワ					+
	フクロノリ	10	30	30	30	30
	カゴメノリ		15		10	
	不明褐藻綱	+	+		+	
	イバラノリ属の一種			+	+	
	殻状紅藻					
	無節サンゴモ	+	+	10	10	10
イワノカワ科	10					
ウニ類 多寡	ガンガゼ類	r	r		r	
	ムラサキウニ	r		r	r	

流れ藻キャッチャーの設置点を決定するにあたっては、対象海域内を調査した結果、流れ藻キャッチャーが設置でき藻場の形成に適した環境条件（船舶の航行に支障がない、底質が小礫・砂・泥でない、十分な磯幅を有する、堆積物が少ない、水深 5m以浅、近辺に養殖施設などが無い等）を持つエリアは限られ、図 4-2-3 の St.1～St.3 の 3 点を流れ藻キャッチャー設置点として潜水モニタリング調査を実施した。加えて、St.2 の約 50m 南東を流れ藻キャッチャーの影響の少ない対照区として St.2-2、前年度にウニ駆除を実施した E（前年度 K-14）も同様に調査を実施した。

調査の結果、St.1～St.3 および St.2-2 はいずれも大型海藻はほとんど見られなかった。ウニ密度は St.1 で 2.4 個体/m<sup>2</sup>とやや低いが他の St.2、St.3、St.2-2 では高く、5 個体/m<sup>2</sup>を超えていた。E（K-14）では大型海藻の被度が 25%と高く、ウニ密度も 0.8/m<sup>2</sup>と低く保たれており、前年度のウニ駆除のみの対策の効果が見られた（表 4-2-6）。前年度

モニタリング調査との比較（表 4-2-7）では前年度に比べホンダワラ類の被度が 5%から 25%へと大幅に増えていることから、当該調査点では流れ藻によるタネの供給があったものの、ウニ類による食圧によりこれまで磯焼けが継続していたと考えられた。

表 4-2-6 潜水モニタリング結果

調査場所		E (K-14)	St. 1	St. 2	St. 3	St.2-2 (対照区)					
水深 (m)		1.0	2.0	1.5	1.5	1.9					
底質被度 %	コンクリート										
	岩盤	100	65	100	100	75					
	岩塊(等身大≤)										
	巨礫(大人頭≤)		35	+		10					
	大礫(拳大≤)					15					
	小礫(米粒大≤)										
	砂(粒子確認) 砂泥(粒子未確認)										
視程距離 (m)		6	6	8	7	7					
浮泥厚 (mm)		<1	<1	<1	<1	0					
景観被度 %	大型海藻類	25	5	+	+						
	小型海藻類	60	15	20	60	+					
	殻状紅藻(無節サンゴモ等)	10	35	50	20	50					
	固着動物等	5	20	25	10	35					
	裸面・砂地	+	25	5	10	15					
大型海藻・ 藻類 被度 % (個体数)	ワカメ	+(1)	5(2)	+(1)	+(1)						
	キレバモク	20(52)		+(1)							
	マジリモク	5(4)									
	イソモク										
	アカモク			+(1)							
	ヤツマタモク										
	タマハハキモク										
	マメタワラ										
優占海藻 被度% (大型海草・ 藻類以外)	ミル		+	+	+	+					
	イソガワラ科			10							
	ウミウチワ	+									
	モズク属の一種	+				+					
	フクロノリ	60	10	10	60						
	カキノテ属の一種	+									
	オバクサ			+							
	イバラノリ属の一種		+								
	ユカリ										
	ソゾ属の一種		+	+							
無節サンゴモ	10	35	50	20	50						
イワノカワ科	+	+	+	+	+						
主な 植食性動物 (個体数)	ヒメクボガイ										
	コシダカガンガラ	(2)				(4)					
	ギンタカハマ	(1)	(3)		(1)						
	ウラウズガイ		(2)	(3)		(3)					
	ガンガゼ類			(9)	(11)	(2)					
	アカウニ			(2)		(6)					
	ムラサキウニ				(1)						
	ツマジロナガウニ			(1)							
ウニ類 個体/m <sup>2</sup> 、 (10m×1m間の ウニ類を1m <sup>2</sup> に換算)	ガンガゼ類 4cm以上		0.2	2	0.7	5.1	2.8	4.6	1.4	12.5	1.3
	4cm未満	0.2			1.3		2.3		3.2		11.2
	アカウニ 4cm以上					0.5	0.4				
	4cm未満						0.1				
	ムラサキウニ 4cm以上		0.2	0.4	0.3	0.7	0.4	0.6	0.4		
	4cm未満	0.5	0.3	0.1			0.3		0.2		
	ツマジロナガウニ 4cm以上		0.1			0.1	0.1				
	ツマジロナガウニ 4cm未満	0.1									
ウニ類の合計	0.8		2.4		6.4		5.3		12.5		

※( )内は株・個体数



表 4-2-7 E (K-14) の前年度との比較結果

海藻種類		平成30年6月	平成31年4月
大型海藻・藻類 被度 % (個体数)	ワカメ	10	+
	キレバモク		20
	マジリモク		5
	アカモク	5	

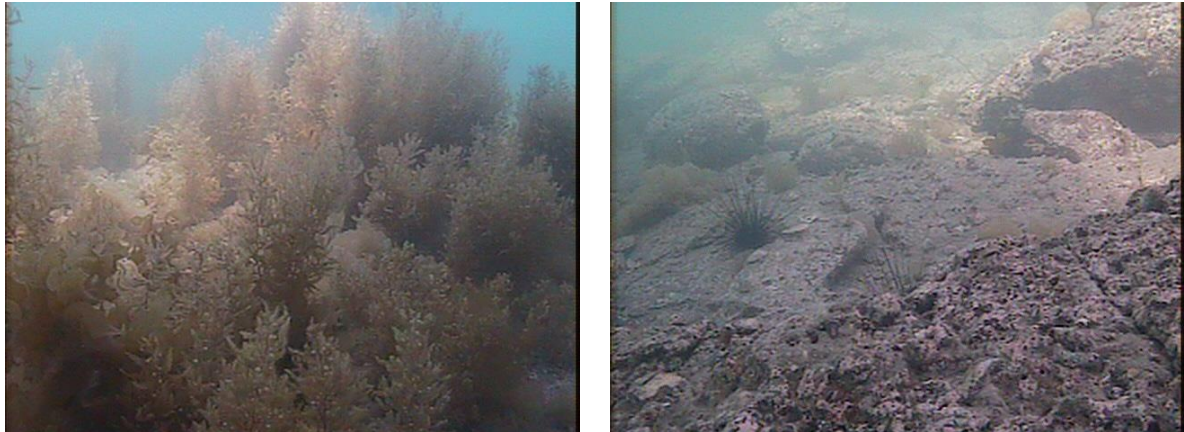


図 4-2-4 E と周辺の状況比較 (左：調査点 E、右：周辺海底)

②-4-2 実海域での流れ藻の移動軌跡調査と予測結果の比較

使用する流れ藻は海域中にある真珠養殖施設などに掛かっていた流れ藻を採集し、その中から、重量 1kg 程度で十分に浮力を保った比較的新しいものを 3 セット選定し、それぞれに GPS を取り付けた。各流れ藻の投入・回収時間と流れ藻の軌跡調査実施状況を示す。

表 4-2-8 各地点における流れ藻放流時間

放流場所	調査日	投入時刻	回収時刻	放流時間
No.11	2019 年 5 月 13 日	13:51	16:16	2h25m
No.12		13:40	17:08	3h28m
No.24		13:55	16:40	2h45m



図 4-2-5 GPS 付き流れ藻の放流状況

移動予測は 1 時間単位となるため、可能な限り実際の放出時間に合わせ、同日 14 時～17 時の条件で実施した。実際の移動軌跡と予測による移動軌跡を図 4-2-6 に示す。

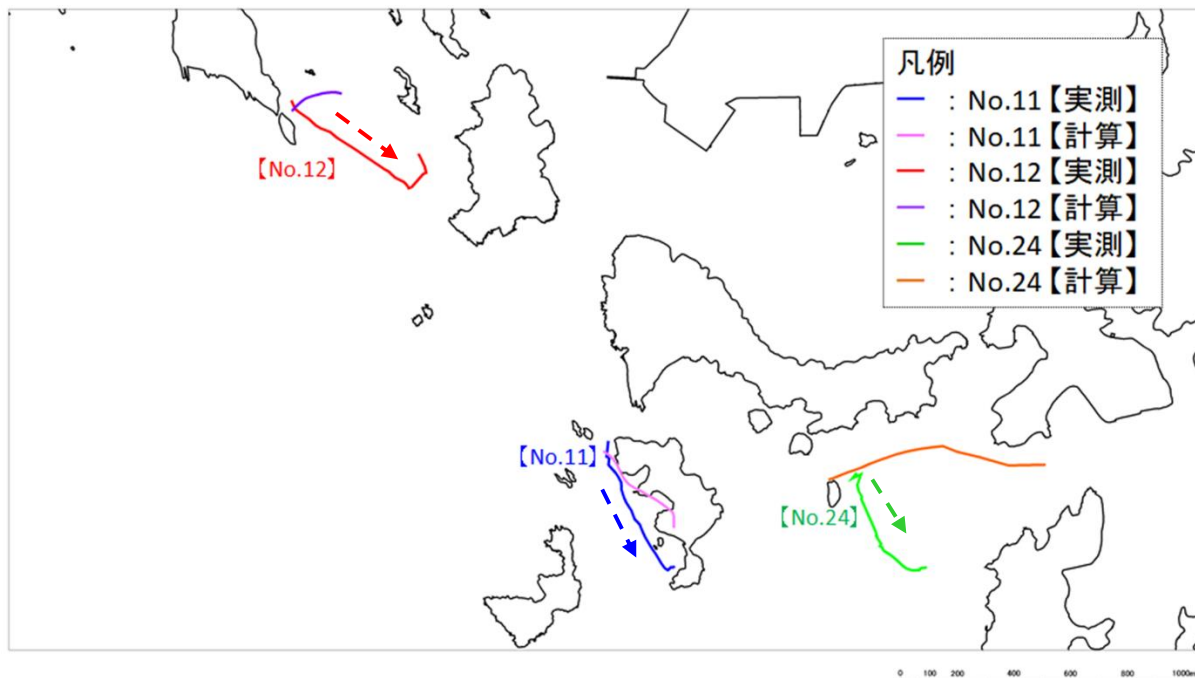


図 4-2-6 実測と計算予測での流れ藻の移動軌跡

実測結果と計算結果を比較すると、概ね東方向に移動することは実測・計算ともに同様であるが、移動方向に最大 70 度程度の違いが見られる。移動距離も実測では計算に比べて大幅に短い場合 (No.24) と長い場合 (No.12) があり、実測と計算に同様の傾向があるとは言いがたい。No.11 については、実測と計算結果が一致している。ただし、これは全体的に実際の流れが東向きであったため、東側にある島が東方向への移動を制限した結果、実測と計算のズレが抑えられたと考えられる。

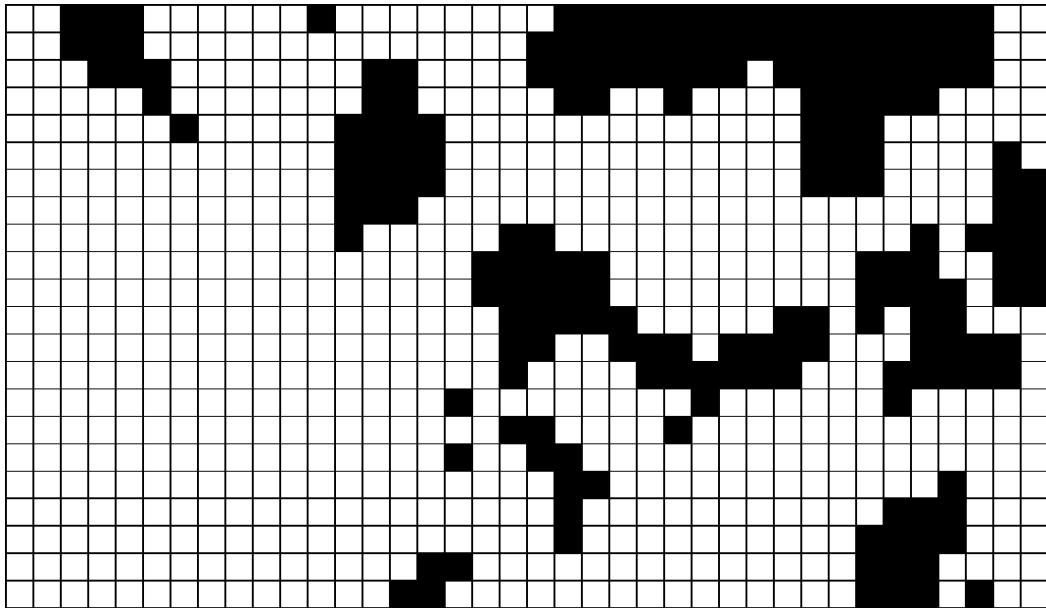


図 4-2-7 予測計算に用いた対象海域を再現した地図

実測と計算の結果が合わなかった最大の理由は、シミュレーションの際のコンピュータへの負荷を考慮して設定された 100mメッシュによる海域地図の再現性にあると考えられる。図 4-2-7 は図 4-2-5 と同範囲における計算上の再現地図であるが、100m未満の小島は再現されていない。例えば No.12 の東側の小島がそうである。

計算精度を高めるにはコンピュータの性能、計算時間が求められるため、複雑な地形を有する地先での予測にこの方法を用いるのは現時点では課題を残す結果となった。

#### ②-4-3 流れ藻キャッチャーの設置と流れ藻キャッチャーにかかった海藻

春期モニタリング調査（②-4-1）の結果から定めた流れ藻キャッチャーの設置点と流れ藻キャッチャーの設置状況を次に示す。なお、流れ藻キャッチャーは3地点とも5月14日に設置し、7月17日に回収した。設置期間は約2ヶ月である。



図 4-2-8 流れ藻キャッチャー 3 点の設置箇所



図 4-2-9 流れ藻キャッチャー設置状況（海上、海中）

設置した流れ藻キャッチャーに掛かった流れ藻は、5月22日、6月4日、6月19日、7月17日の4回に分けて回収し、地点毎・海藻種毎の湿重量を記録した。流れ藻キャッチャーに掛かった海藻種は地点ごとに差が見られ、St.1ではマジリモク・キレバモク・マメタワラが、St.2ではアカモク・フクレミモク・マジリモク・キレバモクが、St.3では圧倒的にマジリモクが多く掛かる結果となった。しかし、期間中の大型海藻合計重量は3点で7~11 kgと大きな違いは見られなかった。流れ藻キャッチャーに掛かった流れ藻について、詳細結果を表 4-2-9 に示す。

表 4-2-9 流れ藻キヤッチャーに掛かった海藻

観察地点	St.1(学校前)						St.2(前島南)						St.3(港そば)					
	5/22 1週間	6/4 3週間	6/19 5週間	7/17 9週間	期間計 2ヶ月	期間計 2ヶ月	5/22 1週間	6/4 3週間	6/19 5週間	7/17 9週間	期間計 2ヶ月	期間計 2ヶ月	5/22 1週間	6/4 3週間	6/19 5週間	7/17 9週間	期間計 2ヶ月	期間計 2ヶ月
アマモ科	1	2			3						0				4			4
アマミジグサ科			53		53						0							0
					0				28		28							0
ホンダワラ科			107		107						0				18			18
			954	205	1,159			1,142		1,142								0
	10	2,227	1,182	144	3,563	3	182	1,598	183	1,966	56	55	9,961	396	10,468			
					0					0					92			92
					0			43		43								0
		228	135		363			51		51		306						306
	5	39	38		82	1	211			212				25				25
		334	124		458	74	2,096	855		3,025	6	2	27					35
		248	4		252		725	225		950								0
		23	997	47	1,067		263	283		546				789	189			978
				114	114		2,400	224		2,624					5			5
			96		96					0								0
				36	36		15			15								0
イバラノリ科					0				19	19								0
湿重量計(g)	16	4,108	2,888	341	7,353	78	2,278	7,303	962	10,621	62	363	10,916	590	11,931			
種数計	3	9	9	4	13	3	2	10	6	12	2	3	7	3	9			
大型海藻の湿重量計(g)	15	4,053	2,781	341	7,190	78	2,278	7,303	915	10,574	62	363	10,894	590	11,909			
大型海藻の種数計	2	7	8	4	10	3	2	10	4	10	2	3	5	3	7			

注1)単位g、+は1g未満を示し、計には含まれていない。( )内の数字は株数を示す。

注2)網掛けは大型海藻を示す。

ユニフェンスは6月4日に設置した。ユニフェンスは母藻からのタネ供給が見込まれる流れ藻キャッチャーの直下に設置するが、流れ藻キャッチャーを設置した3点の内、1点（St.2）においては、他点との比較の為にユニフェンスは設置していない。よって、ユニフェンス設置場所は St.1 直下と St.3 直下の2ヶ所である。



図 4-2-10 ユニフェンス設置箇所（St.1、St.3）と設置状況

なお、ユニフェンス内のウニ類駆除は九十九島漁協内の漁業者の協力により6月16日に実施された。駆除個体数は St.1 内で約150個体、St.3 内で約300個体であった。さらに、ユニフェンスの回収時の7月17日に St.1 で約110個体、St.3 で約130個体、モニタリング時の2020年1月15日に St.1 で約160個体、St.3 で37個体を駆除し、合計のウニ駆除数は St.1 で420個体、St.3 で467個体となった。

#### ②-4-5 流れ藻キャッチャーにかかる海藻量の予測

流れ藻キャッチャーを設置した3地点における、設置期間と同期間の流れ藻量を予測した。流れ藻の放出点は核藻場（四季藻場）が確認されている5点（No.11、No.12、No.19、No.24、No.26）とした。放出された流れ藻に見立てた粒子が流れ藻キャッチャー設置点に到達した時点で流れ藻キャッチャーに掛かったものとみなした。粒子追跡計算条件を下に記す。

表 4-2-10 粒子追跡計算条件

項目	設定値
放出条件	放出水深：D.L.-1.0m 期間①：2019/5/14～2019/6/4 期間②：2019/6/5～2019/7/14 放出間隔：各メッシュ 1 時間あたり 1 個放出
浮遊条件	浮遊水深：D.L.-1.0m 浮遊期間：14 日間
着底条件	7 日以降、水深 D.L.-10m 以浅に到達した粒子は着底、もしくは、14 日経過後に着底。もしくは、流れ藻キャッチャーの設置箇所に該当するメッシュに粒子が移動した場合に着底

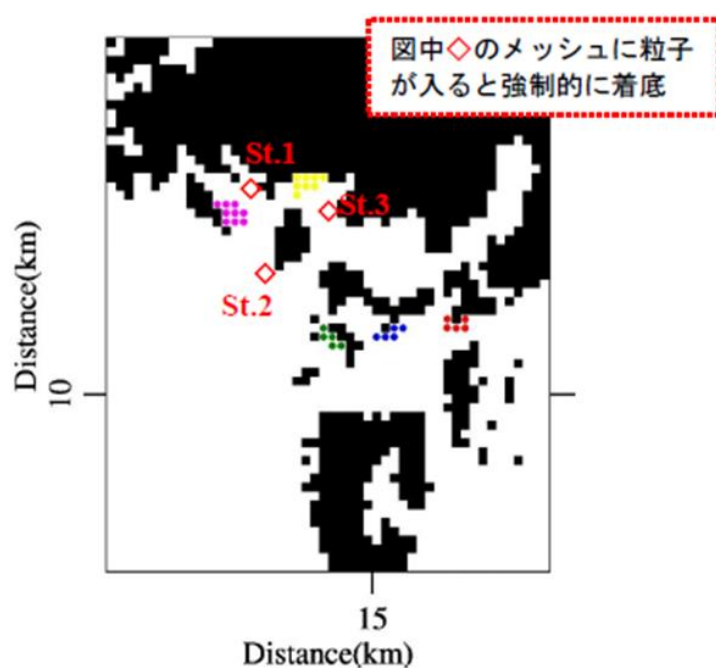


図 4-2-11 流れ藻放出点と流れ藻キャッチャー設置箇所

シミュレーションの結果、St.3 には St.1 と St.2 の 3 倍程度の流れ藻が掛かる予測結果となった。

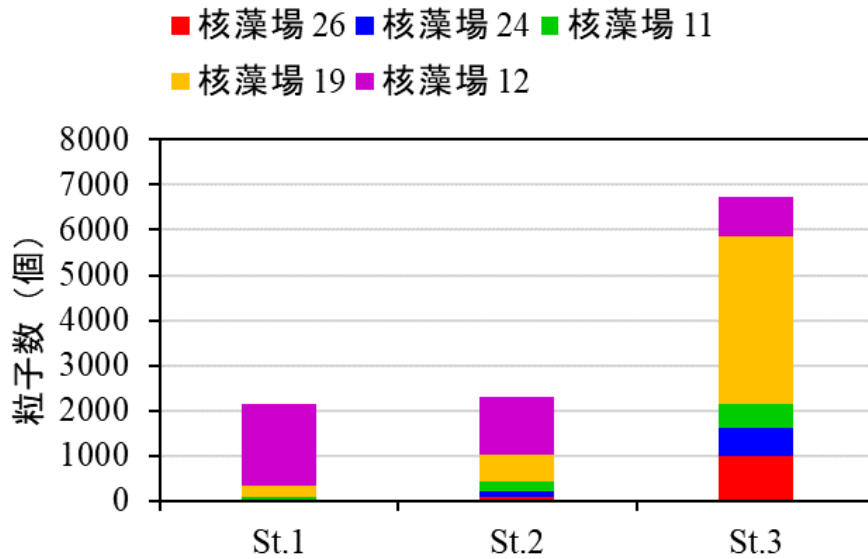


図 4-2-12 流れ藻キャッチャー設置点毎の流れ藻（粒子）予測結果

表 4-2-11 大型海藻の実測結果

	St1	St2	St.3
春藻場構成種計(g)	5,294	8,800	10,600
四季藻場構成種(g)	1,896	1,774	1,309
合計(g)	7,190	10,574	11,909

大型海藻の実測値と比較すると、四季藻場構成種に限り比較した場合も、大型海藻合計と比較した場合も、予測値とは大きく異なる結果となった。

原因としては、予測に用いた海域地図の再現精度、海域内の藻場把握精度、海域内の養殖施設への流れ藻の掛かり等が考えられる。しかし、これらを正確に把握し予測計算モデルに反映することはコンピュータの性能と解析時間の面から難しく、現状での実用には課題を残す結果となった。

#### ②-4-6 海藻幼体のモニタリング調査

春期～夏期の流れ藻キャッチャーによるタネ供給とウニ駆除の効果を確認するため、2020年1月15日にモニタリングを実施し、海藻幼体の出現状況やウニ密度等を確認した。

モニタリング地点と各地点での対策状況を下に示す。



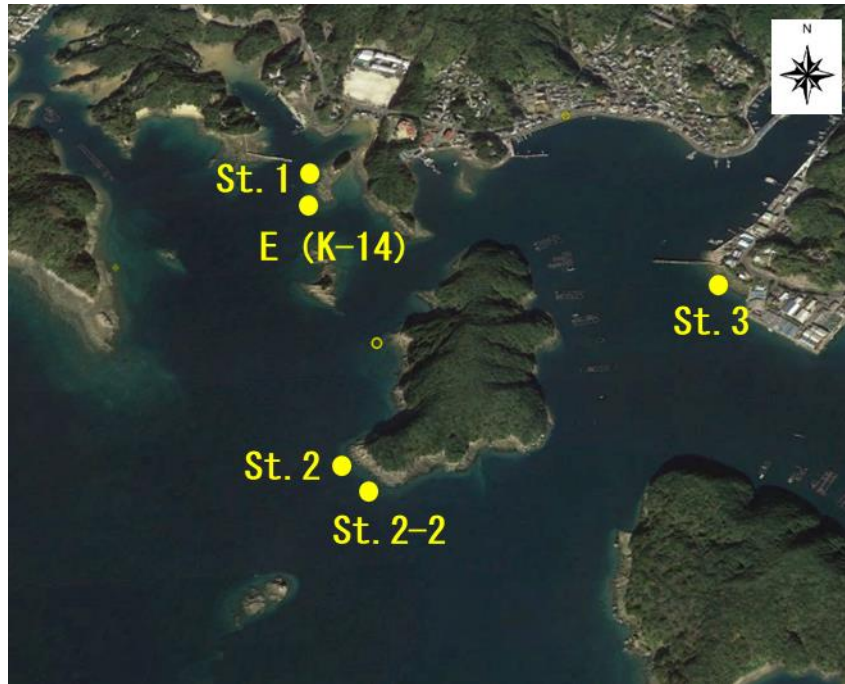


図 4-2-13 モニタリング地点

表 4-2-12 各モニタリング地点の対策状況

	St.1 対策区	St.1 対照区	〈参考〉 E	St.2	St.2-2	St.3 対策区	St.3 対照区
流れ藻 キャッチャー	○	○	×	○	×	○	○
ウニ フェンス	○	×	×	×	×	○	×
ソフト対策 (ウニ駆除)	○	×	×	×	×	○	×

※調査点 E は前年度にウニ駆除のみを実施している

各地点の流れ藻キャッチャーにかかった海藻データと 1 月のモニタリング結果を下表にまとめた。

表 4-2-13 モニタリング結果と流れ藻キヤッチャーに掛かった流れ藻

詳細情報	St. 1			〈参考〉 St. 1横 H30対策区	St. 2		St. 2-2	St. 3		
	流れ藻 (g)	対策区	対照区		流れ藻 (g)	St. 2		流れ藻 (g)	対策区	対照区
流れ藻キヤッチャー	/	○	○	-	/	○	-	/	○	○
ウニ駆除	/	○	-	-	/	-	-	/	○	
ウニ密度 (個体/m <sup>2</sup> )	/	3.3	8.7	1.9	/	7.9	4.5	/	1.9	8.3
ワカメ	0	有	-	-	0	-	有	0	11	6
キレバモク	1,159	有	-	12	1,142	-	-	0	有	-
マジリモク	3,563	-	-	62	1,966	-	-	10,468	16	1
アカモク	458	-	-	-	3,025	有	有	35	有	-
流れ藻合計 (g)	7,190	/	/	/	10,574	/	/	11,909	/	/

※「有」は観察枠内では確認されなかったが、周辺区画内で確認したことを示す

1月調査時点で海藻の幼体が確認できたホンダワラ類はキレバモクとマジリモクの南方系ホンダワラ類とアカモクのみであった。今後、春の繁茂期にかけてこれら以外のホンダワラ類が確認できると考えられるが、本年度の結果としては今回確認できたホンダワラ類に着目した。主な結果と考えられる要因は下の通り。

- ☑全体的に流れ藻キャッチャーに多く掛かった海藻種程、多くの幼体が確認される傾向が見られた。
- ☑St.3で最も顕著な結果となり、対策区と対照区でウニ密度・幼体株数ともに顕著な差が見られた。特に、流れ藻の約9割を占めたマジリモクが対策区で圧倒的に多く見られ、対照区でも唯一見られたホンダワラ類幼体はマジリモクであった。
- ☑St.1もSt.3と同様の対策を実施し一定の効果が確認できたが、対策区内のウニ密度がST.1に比べ高かった。それにより対策区で確認されたホンダワラ類の幼体が少なくなったと考えられる。ウニ密度が高かった理由として、設置後の波浪によりフェンスが近辺の枝状サンゴに掛かり、サンゴ越しにウニが侵入したためと推測される(図4-2-14)。なお、本モニタリングと同時にフェンス内のウニ類を駆除した。
- ☑St.2は流れ藻キャッチャーだけの対策であり、ウニ駆除を実施していない。そのためウニ密度は高く、ホンダワラ類海藻の幼体もほとんど確認できないが、最も流れ藻量が多かったアカモクのみ確認された。
- ☑St.2-2は流れ藻キャッチャーによる母藻供給もなくウニ駆除も実施していないが、St.2とほぼ同様の幼体確認状況であった。したがって現時点では、流れ藻キャッチャーによる母藻供給だけでは対象海域のウニの食圧に抗えないことが示唆された。
- ☑参考モニタリング点EはH30年度に対策をウニ駆除(ウニフェンスなし)のみを実施している。前年度対策の結果は②-4-1に記した通り、キレバモク(被度25%)とマジリモク(被度5%)が優先する藻場となった。1月のモニタリング結果からウニ密度も低く維持されており、モニタリング7点中で最多のホンダワラ幼体が確認された。



図4-2-14 St.1 ウニフェンスとサンゴ

※フェンス調整後の写真、調整前はフェンスがサンゴに絡まっていた

## ②-5 まとめ

### 【検証項目①：シミュレーションによる流れ藻移動予測の有効性検証】

上記結果②-4-2と②-4-5から現時点では流れ藻の移動予測の有効性を確認できなかった。ただし、九十九島のような地形が複雑な多島海域でなく、より単純な地形の海域においては有効な移動予測ができる可能性がある。また、コンピュータの性能が上がり、対象海域をより精細に再現することができれば、有効な流れ藻の移動予測へと繋がる可能性がある。

### 【検証項目②：ネットワークとソフト対策を組み合わせた藻場回復手法の有効性検証】

上記結果②-4-1、②-4-3、②-4-4および②-4-6から、ネットワークとソフト対策（ウニ駆除）を組み合わせた藻場回復手法の有効性が示唆された。今年度示唆された主な内容を下に示す。

- ☑本海域では流れ藻によるタネ供給はあるものの、ウニの食圧により磯焼けが継続していた可能性が高い。
- ☑流れ藻キャッチャー（幅7m×高さ0.8m）を約2ヶ月設置することで、10kg程度のホンダワラ類流れ藻を収集することが可能である。
- ☑流れ藻キャッチャーに掛かった海藻が母藻となり、周辺にタネを供給できる。
- ☑流れ藻キャッチャーによるタネ供給だけではウニの食圧が上回るため効果が薄く、流れ藻キャッチャーと組み合わせることで、より効果的に藻場を回復できる。
- ☑十分な流れ藻がある場所ではウニ駆除だけでも藻場を回復させることができるが、より確実に流れ藻を獲得するために流れ藻キャッチャーを併用することが有効である。

## ②-7 引用文献

- 中山哲巖・八木宏・藤井良昭・伊藤靖・三浦浩・安信秀樹・杉野博之・山田達夫  
(2009) 瀬戸内海全域を対象とした流動・低次精算モデルの開発及びマコガレイ稚稚仔分散仮定への適用. 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol.B2-65, No.1, 2009, 1126-1130
- 八木宏・中山哲巖・浜口昌巳・佐野朝昭・藤井良昭・杉松宏一 (2011) 瀬戸内海周防灘中津干潟周辺におけるメソスケールの流れの構造と浅利浮遊幼生の分散特性. 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol.67, No.2, 2011, I\_966- I\_970
- 杉松宏一・大村智宏・大美博昭・辻村浩隆・堀正和・中山哲巖 (2016) 海洋数値モデルを用いた大阪湾におけるマコガレイ稚魚の生態系ネットワークの評価. 土木学会論文集 B2 (海岸工学) , Vol.72, No.2, I\_1375- I\_1380, 2016
- 遠藤次郎・杉松宏一・八木宏・宇田川徹・小口哲史・大村智宏・中山哲巖 (2017) 鹿島灘・九十九里浜沿岸域における流動数値モデルの検討. 土木学会論文集 B2 (海岸工学) , Vol.73, No2, I\_1171- I\_1176, 2017

### ③久留和地区（神奈川県横須賀市）における調査結果

#### ③-1 目的

大分県佐伯市名護屋湾では、磯焼け対策を継続したことでフェーズシフトが生じ、対策を実施していない漁場でも藻場が形成され、広範囲に藻場が回復した。このメカニズムとしては流動によるタネの移動（ネットワーク）が大きく影響していると考えられる。したがって、沿岸流の上流側で藻場の回復もしくはタネの供給があれば、下流側で磯焼け対策を実施すると藻場が回復し易いと予想される。

そこで、アラメ・カジメを対象にした藻場の早期回復を目標に、遊走子の移動予測を元に下流側のタネの供給地点での藻場の創出の可能性を検討することを目的とした。さらに、遊走子が供給されると予測された場所において、ソフト対策（ウニ駆除）の実施により、ネットワークとソフト対策を組み合わせた藻場回復手法の有効性を検討する。

なお、磯焼けが深刻で地元の漁業者の協力も期待できることから、実験海域は前年から継続して神奈川県横須賀市久留和漁港周辺とした。

#### ③-2 調査計画

前年度に構築した予測モデルを元にタネの放出地点と着底地点を推定し、対策実施場所を絞り込むこととした。また、久留和漁港周辺の藻場の分布状況を調査し、対策実施候補場所を事前確認した上で、スポアバッグの設置・ソフト対策（ウニ駆除）を実施した。その後も継続的にウニを駆除し、アラメ・カジメの幼体を確認することで、ネットワークとソフト対策を組み合わせたアラメ・カジメ場の回復手法の可能性を検討した。

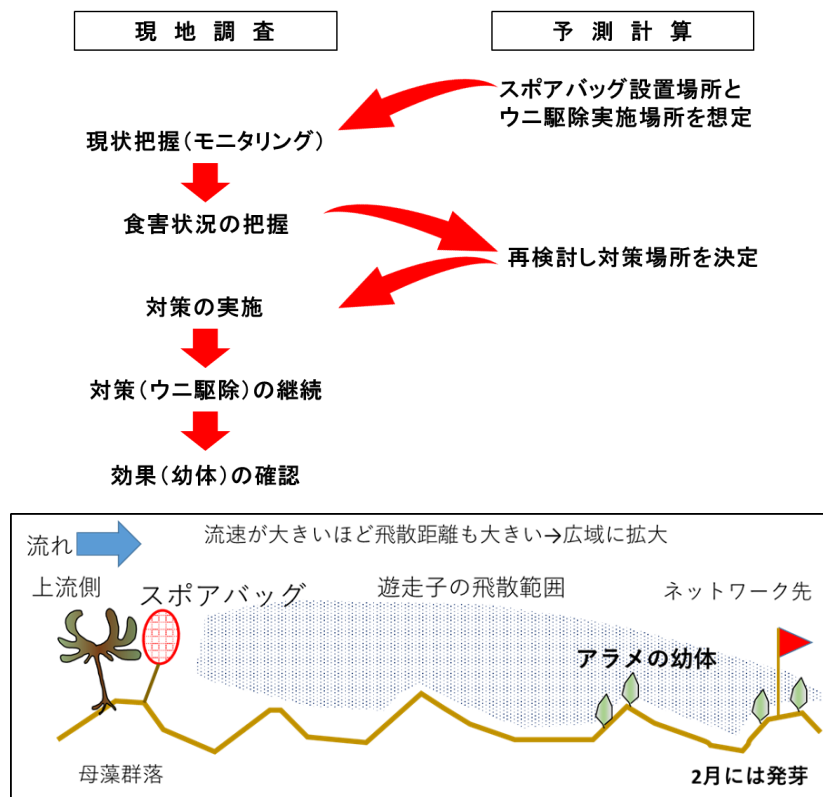


図 4-3-1 平成 31 年度調査フロー図と実証イメージ

表 4-3-1 平成 31 年度調査計画

月次	実施事項
4-6 月	・ 予測計算による対策候補地の絞り込み
7 月	・ 対象海域のモニタリング調査
9 月	・ 事前調査（母藻の確認） ・ 漁業者の幹部との協議 ・ 対策実施場所の決定
10 月	・ スポアバッグ設置 ・ 漁業者への実験内容の説明会を実施 ・ 漁業者、ボランティア等によるウニ駆除
12 月	・ スタッフによるウニ駆除
1 月	・ 調査ラインの設定 ・ スタッフによるウニ駆除
2 月	・ 海藻幼体のモニタリング調査 ・ 結果のとりまとめ

### ③-3 方法

タネの予測計算に用いたモデルを下に示す。

対象海域の久留和漁港沿岸は、調査結果より海浜流が卓越していると推察される。そのため、本検討ではエネルギー平衡方程式により算出したラディエーション応力を海洋潮汐モデル（Princeton. Ocean Model(POM)）に組み込むことで、流動場の波浪による影響を考慮した。なお、海底地形は日本水路協会の海底地形デジタルデータ M7000 を使用した。

流動場の計算はアラメ・カジメが成熟する 2018 年 10 月～11 月の平常時な波浪（GPV 波浪データにより波向 SW、 $T1/3=8.0s$ 、 $H1/3=1.0m$ ）、風況（アメダス辻堂）および主要 4 分潮を外力として計算した。なお、2018 年 10 月に測定した平常時の現地の流速実測値と検証したところ、ほぼ同様な流速値であった。

対象とする海藻のアラメ・カジメは秋に遊走子を大量に放出し、岩礁に着底する。遊走子の寿命は海中に放出されてから数時間から 1 日程度であり、ほとんどの遊走子は数時間で着底することが判っている。上記の計算モデルを用いて遊走子の放出場所、遊走子の着底場所を絞り込み、スポアバッグ設置場所とソフト対策実施場所を決定する材料とした。

対策区におけるモニタリング調査、ウニ駆除は基本的にダイバー（2 名以上）による潜水作業で実施した。

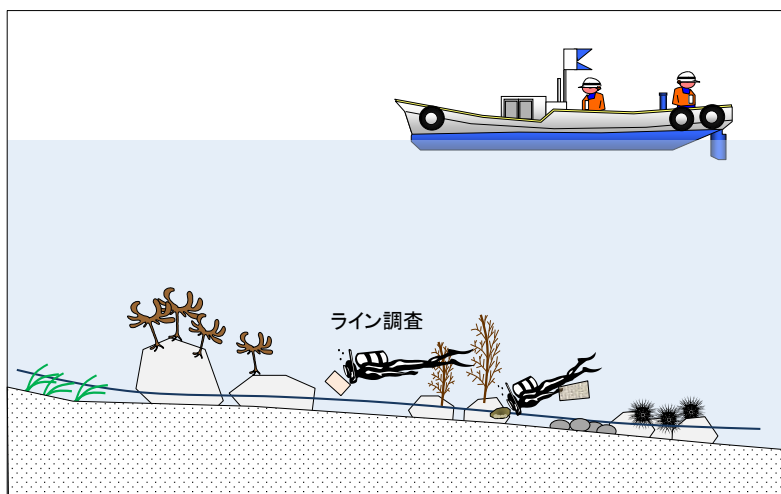


図 4-3-2 潜水調査イメージ（例：ライン調査）

被度調査は対象海域に 6 測線を設定し、各測線に沿って、ダイバーが位置、水深、底質、海藻被度、植食動物の密度等を測定した。ウニ駆除を実施する区画内では複数点のコドラート調査により、基質、水深、ウニ密度、海藻被度、種類を記録した。

対策の実施方法は母藻を入れたスポアバッグの設置と、ウニ駆除である。スポアバッグは久留和漁港周辺のアラメの葉部を採取し陰干しし遊走子が放出される状態を確認後、網袋に入れて製作せいた。スポアバッグは予測計算と現地調査によって選定した適地（黒島背後）に設置した。ウニ駆除は将来的な核藻場として期待される黒島背後とスポアバッグからの遊走子が着底すると予測される場所で実施した。

スポアバッグの設置とウニ駆除による対策の効果は、2 月に幼体の芽生え状況を調査することで把握することとした。黒島背後の対策区（ウニ駆除区）とその対照区、遊走子の

着底予測場所の対策区（ウニ駆除）とその対照区、更に、遊走子の放出場所と着底予測を直線で結んだライン調査を実施することで、遊走子の着底先を推測することとした。



図 4-3-3 調査場所の設定

### ③-4 結果

#### ③-4-1 対象地区の適地選定

秋季の代表的な波高 1.0m が海岸線に直角な SW 方向から作用した場合の平均的な流れを下図に示す。久留和漁港の沖、北西側の長者ヶ崎側に循環流が見られる。また、黒島周辺の流れは久留和防波堤の方に流れている傾向がある。

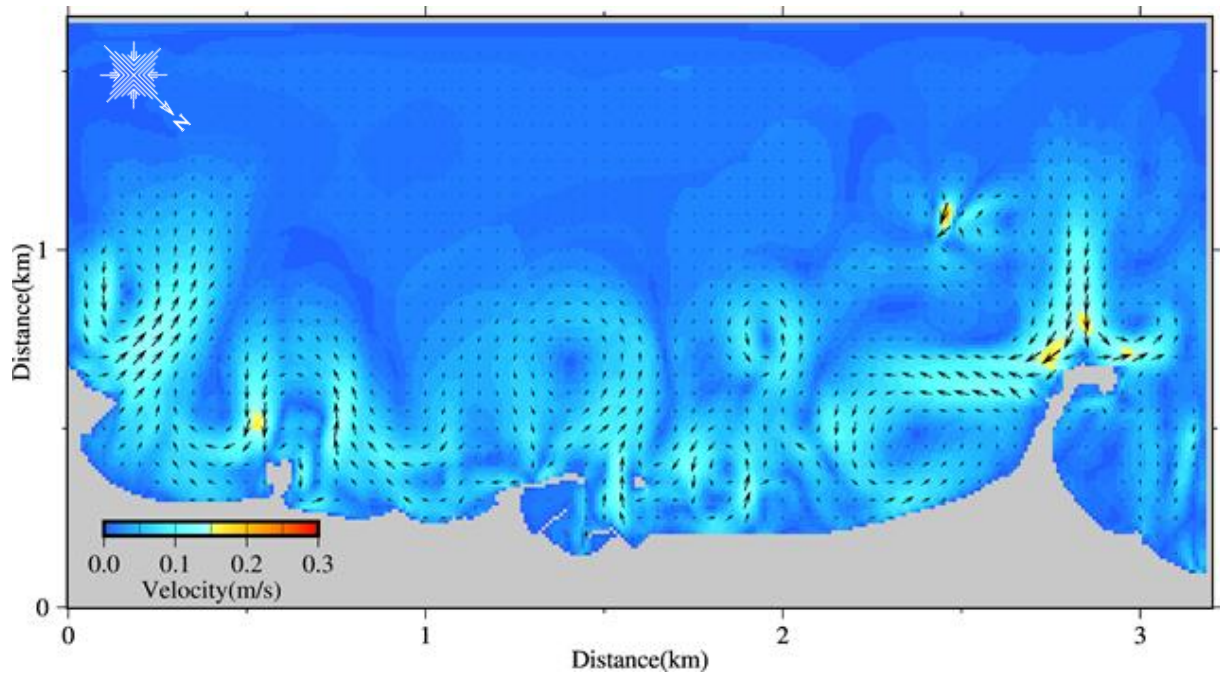


図 4-3-4 久留和漁港周辺海域の波浪を考慮した流れのベクトル図



上記の流速ベクトル図は流れの方向が概ね判るので、この図を参考にアラメ・カジメの遊走子の流れを想定できる。ただ、どの位置にタネの供給源があればどのように移動するかといった疑問には答えにくい。

そこで、対象海域においてスポアバッグの設置箇所の候補地を絞り込むこととした。その方法としては、まずは海藻が繁茂する水深帯として水深約 3m に母藻があることを仮定し、久留和漁港周辺の各々離れた 10 点をタネの供給源とし、各点から放出された遊走子が海底に着底する場所を計算することとした。計算の波浪条件は海藻の成熟期の代表的な波浪（沖波で波高 1m）とした。上図と同様の条件である。次に、遊走子を各点から放出させることにしたが、遊走子の放出時間に関する知見がないため、昼も夜もなく各地点の海底上 1 m の高さから 1 時間ごとに粒子を 1 個放出することとした。ここで、遊走子は荒川・松生(1990)が求めた静止流体中での沈降速度（0.85cm/min）および波の鉛直流速により沈降するものとした。

図 4-3-5 に計算結果を示す。遊走子の供給場所は①～⑩の位置である。①から放出された赤い遊走子は防波堤に沿って南東に大きく拡散した。②～④から放出された遊走子は久留和漁港の港口周辺から沖方向へ集中して着底した。⑤から放出された遊走子も②～④と似た傾向だが、漁港の岸側に移動する遊走子も多い。ただし②は放出点から着底予測エリアまでの移動距離は少ない。⑥～⑧は放出点から大きくは移動せず多くが放出点の周辺に移動すると予測された。⑨⑩から放出された遊走子は大部分が放出点周辺に滞留すると予測された。

以上の結果から、10 点のうち③④に代表される港口周辺が、遊走子がある程度移動し集中して着底すると予測されたため、放出点として効果的であると考えられる。

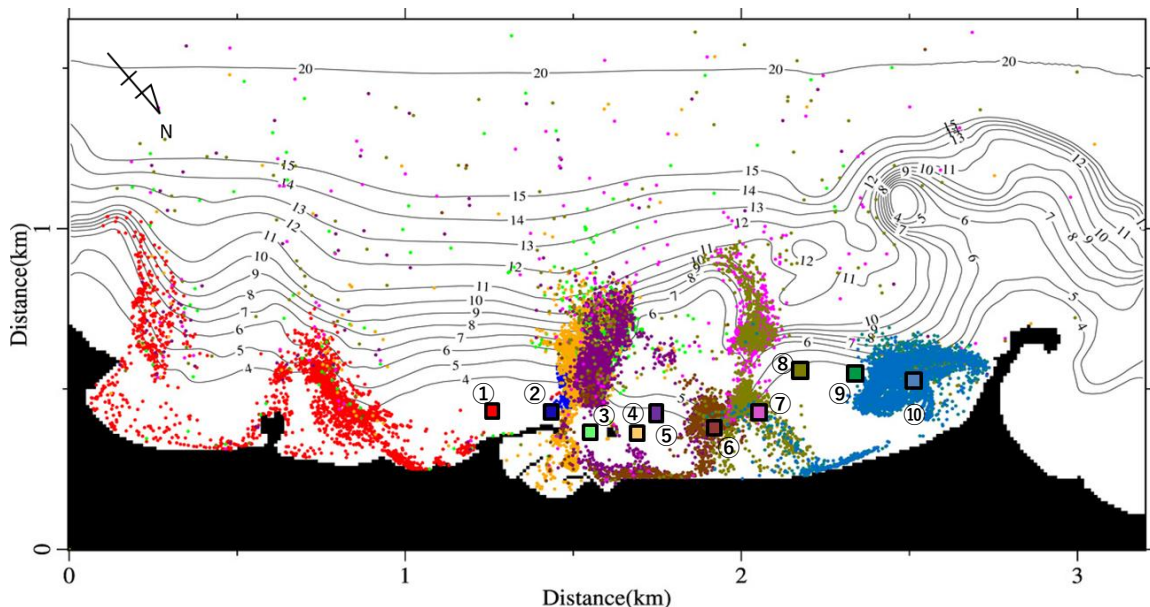


図 4-3-5 久留和漁港周辺での遊走子移動予測

候補地をさらに絞るため、港口から 150m 程度に位置する黒島周辺の 8 地点から遊走子を放出した場合の着底先を予測した。結果を図 4-3-6 に示す。

予測結果から、8 地点のうち多くの点では久留和漁港防波堤先端から 50~200m 程度沖に幼生が集中して着底すると予測された。中でもより集中的に着底すると予測され、スポアバッグへの波当たりを考慮し、黒島背後である No.3, No.4 を遊走子放出点として設定することとした。なお、スポアバッグ設置点と仮定した黒島背後は将来的な核藻場候補地として H30 年度からウニ駆除を継続している区画に非常に近いことから、黒島背後の藻場が復活すれば、防波堤先端の沖に遊走子が流れ、そこが藻場になれば、図 4-3-5 で見られるように、防波堤に沿って南東に広く藻場が形成される可能性がある。

上記の遊走子着底予測結果から、防波堤沖海域の中でソフト対策（ウニ駆除）実施区画を設定することとした。詳細な区画設定場所は 7-9 月のモニタリング結果によって、基質、水深、藻場分布状況等の条件から設定する事とした。

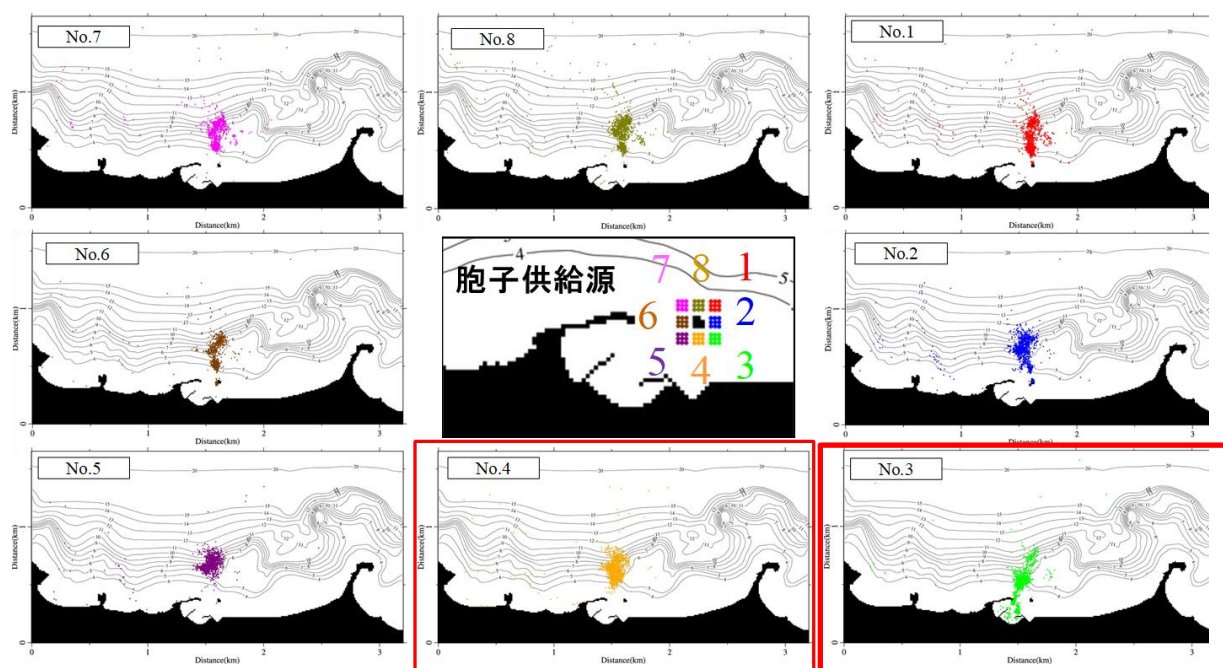


図 4-3-6 黒島周辺での遊走子移動予測

### ③-4-2 7月および9月のモニタリング結果

7月 8-9 日にモニタリング久留和漁港周辺のモニタリング調査を実施し、9月 13 日の調査において対策地点の決定、スポアバッグ作成用のアラメ母藻の残存状況を確認した。

2018 年と 2019 年 7 月の久留和漁港周辺のモニタリング調査における藻場分布状況を図 4-3-7a と図 4-3-7b に示す。2 年の結果を比べると、アラメ、カジメともに分布範囲については大きな変化は認められなかった。しかしながら、両種が 10% 以上の被度の範囲は、アラメでは縮小傾向、カジメでは拡大傾向が認められた。また、久留和漁港北西の沿

岸浅所は特にアラメ被度が高い岩礁域が維持されており、秋期に予定されるスポアバッグ設置の際の母藻として期待された。

詳細な結果は表 4-3-2～表 4-3-6 に示す。

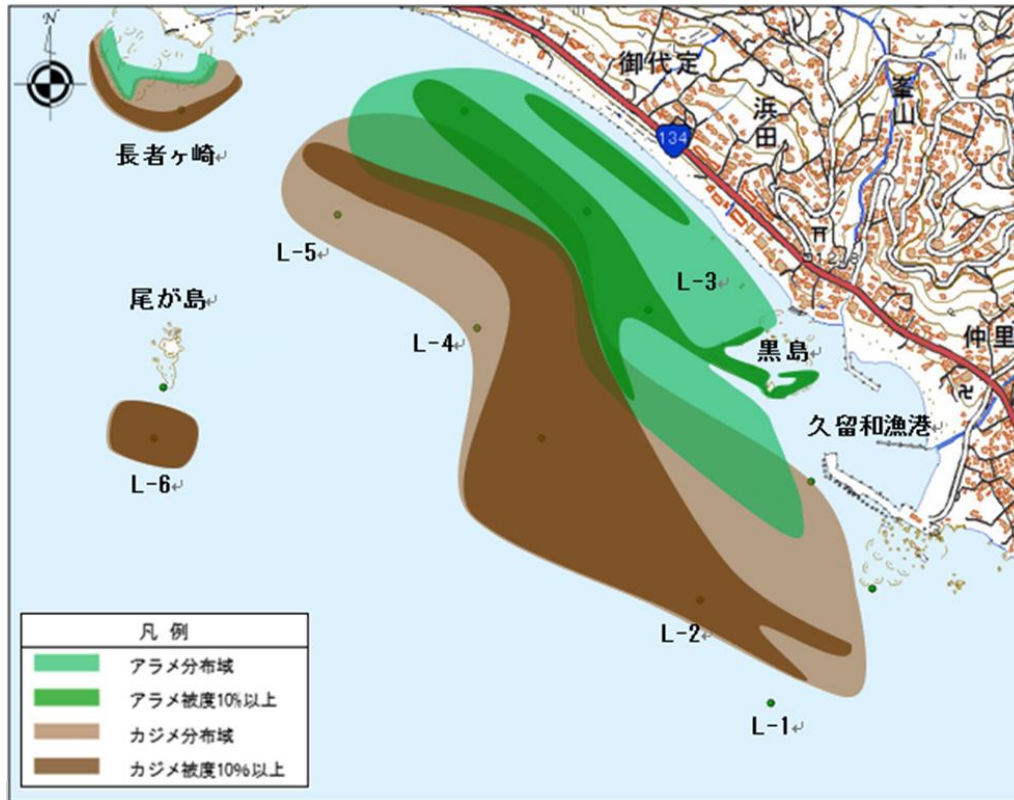


図 4-3-7a 2018 年 7 月の久留和漁港周辺藻場分布

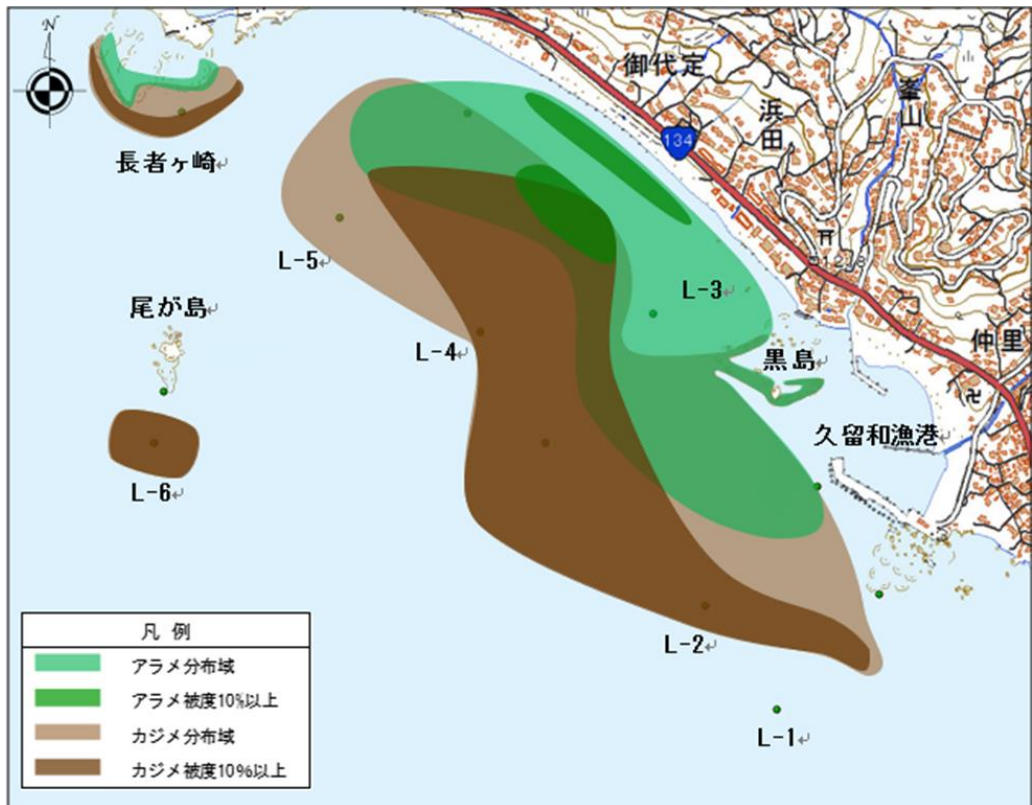


図 4-3-7b 2019 年 7 月の久留和漁港周辺藻場分布

表 4-3-2 2019 年 7 月 L-1 側線調査結果

番号	出現種	測線 L-1															
		基点からの距離 (m)															
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
水深 (m)		2.4	3.5	4.1	5.1	5.6	6.4	7.1	7.4	7.9	7.9	8.4	8.8	9.0	9.2	9.5	9.8
底質		G	G	G	G	G	G	G	G	G	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
1	植物 大型	カジメ			+	15	10	10	30	+	10						
		多年体			(1>)	(4)	(2)	(1)	(4)	(1>)	(2)						
		初年体			(1)	(1)	(1>)	(2)	(1)	(1>)	(7)						
1	植物 小型	無節サンゴモ類		20	10	20	40	20	20	20	20	10					
2		イワノカワ科		10	10	10	10	10	5	10	10						
3		ヤバズグサ									30						
4		カニノテ				5	+	10	5	20	30	20					
5		エチゴカニノテ		10	20	40	40	10	5	10	20	10					
6		ヒメカニノテ		10	10	10	5	5									
7		ピリヒバ		5													
8		ヘリトリカニノテ属		40	30				+								
1	動物	サザエ		(2)	(1)	(1)		(1)		(1)							
2		ガンガゼ類					(1>)		(1>)								
3		ムラサキウニ		(12)	(2)	(1)	(2)	(1)	(1>)								

注1) 水深はT.P.を基準面とした。また、底質階級は以下に示す通り。

G: 岩盤 R: 等身大以上 T2: 等身大~人頭大 T1: 人頭大~こぶし大 T0: こぶし大~米粒大 Sd: 米粒大以下

注2) 表中の数値は被度(%)を示し、+は被度5%未満であることを示す。また( )内の数値は1㎡あたりの個体数を示す。

表 4-3-3 2019 年 7 月 L-2 側線調査結果

番号			測線 L-2																	
			基点からの距離(m)																	
			0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300		
			水深(m)																	
底質			G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G			
			T1			Sd		Sd	T2	Sd	Sd	Sd	G	Sd	G	Sd	G			
出現種																				
1	植物	大型	アラメ	+	+	+	+		+											
			多年体	(1>)	(1>)	(1>)	(1)		(1>)											
			初年体	(1)		(1>)														
2	植物	大型	カジメ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
			多年体	(1)	(1)	(1)	(1>)	(1>)	(1)	(1)	(1)	(1)	(3)	(2)	(8)	(12)	(8)	(12)	(13)	
			初年体	(1)	(1)	(1)	(1>)	(1>)	(1)	(1)	(1)	(1)	(3)	(2)	(8)	(12)	(8)	(12)	(13)	
1	植物	小型	無節サンゴモ類	80	10	40	40	70	10	5	20	20	30	30	5	10	30	10	10	
2			イワノカワ科		10	5	5	10	30	20	5	5	10	5	5	5	10	10	10	
3			ヤハズグサ												10					
4			カニノテ									+	5	10	10	5	40	20	20	20
5			エチゴカニノテ		5	20	+	+	20	20	20	30	20	25		5	5	5	5	5
6			ヒメカニノテ			+						+	+	5	5					
7			ピリヒバ		10	5	5	20												
8			ヘリトリカニノテ属		60	40	20	5	30	30	30	30					+	5	5	5
1	動物		サザエ	(2)	(1)		(1)	(3)			(1)	(1)		(1)		(1)				
2			ガンガゼ類										(1>)							
3			ムラサキウニ	(13)	(4)	(5)	(2)	(7)	(2)	(3)	(2)	(2)	(2)							

注1) 水深はT.P.を基準面とした。また、底質階級は以下に示す通り。

G: 岩盤 R: 等身大以上 T2: 等身大~人頭大 T1: 人頭大~こぶし大 T0: こぶし大~米粒大 Sd: 米粒大以下

注2) 表中の数値は被度(%)を示し、+は被度5%未満であることを示す。また( )内の数値は1㎡あたりの個体数を示す。

表 4-3-4 2019 年 7 月 L-3 側線調査結果

番号			測線 L-3																		
			基点からの距離(m)																		
			0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300			
			水深(m)																		
底質			G	G	G	T2	R	G	T2	T2	T2	T2	G	G	G	G	G	G			
			T1	T2	T2	T1	T2	T2	T1	T1	G	T1	T2	T0	T1	Sd	Sd	Sd			
出現種			T0	T1	T1	T0	Sd	T1	Sd	Sd	T1	Sd	T1	Sd	T1	Sd	T0	T1			
1	植物	大型	アラメ	5	+	+	+	+	+	+	+	+	5	+	+						
			多年体	(1)	(1>)			(1>)	(1>)		(1>)	(1)	(1)	(1)	(1)						
			初年体	(2)	(1>)	(1>)	(1>)	(1>)		(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(1)						
2	植物	大型	カジメ					+	+	+	+	10	+	20	20	5	20	40	40		
			多年体					(1>)	(1)	(1)	(1)	(1>)	(2)	(1)	(1)	(1)	(4)	(4)	(7)	(5)	(1)
			初年体																		
1	植物	小型	無節サンゴモ類	20	10	10	10	+	5	10	20	20	10	40	20	20	30	20	20		
2			イワノカワ科	10	10	20	10	5	30	40	10	10	5	10	5	5	5	5	5	5	
3			ユイキリ					5	5	10	5	5									
4			カニノテ							+	+	+	+				+	+	5	5	
5			エチゴカニノテ	50	10	5	40	5	20	5	+	5	10	30	30	10	10	30	30	30	
6			ヒメカニノテ	+				+	+	+	+	+	5	5	5	+	5	5			
7			ピリヒバ	20	20																
8			ヘリトリカニノテ属	20	50	70	30	60	50	30	30	50	40	10	10	20	5	5			
9			キントキ			+	+	5	+	20	5	10	5	+	+	+					
1	動物		サザエ	(2)	(1)	(1)				(1)		(1)		(1)							
2			ムラサキウニ	(8)	(2)	(2)			(2)	(4)	(3)	(2)		(1)	(1>)	(2)					

注1) 水深はT.P.を基準面とした。また、底質階級は以下に示す通り。

G: 岩盤 R: 等身大以上 T2: 等身大~人頭大 T1: 人頭大~こぶし大 T0: こぶし大~米粒大 Sd: 米粒大以下

注2) 表中の数値は被度(%)を示し、+は被度5%未満であることを示す。また( )内の数値は1㎡あたりの個体数を示す。



表 4-3-6 2019 年 7 月 L-5 側線調査結果

番号	出現種	測線 L-5																	
		基点からの距離(m)																	
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300		
水深(m)		3.3	3.9	6.1	5.5	6.1	6.7	7.3	7.4	7.9	7.8	8.2	8.6	8.6	8.5	8.6	8.5		
底質		G	Sd	Sd	Sd	Sd	T2	T1	T0	T0	G	T1	T1	T1	T2	T1	T1		
		Sd	G	G	T2	T2	T1	T2	T1	T1	T1	T2	T2	T2	T1	T2	T2		
		T1	T1	T1	T1	T1	T0	Sd	T2	T2	T2	T0	T0	T0	T0	T0	Sd		
1	植物 大型	アラメ		+	+											+	+	+	+
		多年体			(1>)										(1>)	(1>)	(1>)	(1>)	
		初年体	(1>)	(1>)															
2		カジメ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10	5	+	+	5	5	+	
		多年体												(1>)	(1>)	(1)	(1)	(1>)	
		初年体	(1>)	(1>)	(1>)	(1)	(1)	(1>)	(1>)	(1>)	(1>)	(9)	(4)	(1>)	(1>)	(2)	(1)	(1>)	
3		ヨレモクモドキ												+					
														(1)					
1	植物 小型	無節サンゴモ類	+	+	+	+	+	+	+	5	5	5	5	5	5	5	5	20	
2		イワノカワ科	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	5	
3		ヤブレグサ		+	+			10	10	20	10	20	10	10	10				
4		クロミル					5	5	5	+	5	5	10	10	10	5	5	5	
5		ヒラミル										+	+	5	5				
6		ヤハズグサ				+													
7		ヒラガラガラ					+	+	+	+	+	5	10						
8		マクサ			+	+	+	20	20	30	20	+	+	+	+	+	+		
9		ユイキリ													+	+	5	5	
10		カニノテ					+	+			+	+	+	+	5	+	+	+	
11		エチゴカニノテ	20	5	20	5	+	+			+				+	+	+	+	
12		ヘリトリカニノテ属	+	+	5	5	10	+	+				+	+	+	5	5	5	
13		キントキ													+	5	5	5	
14		オオバキントキ				+	+	+	+	+									
15		ユカリ	10	+	+														
1	動物	ガンガゼ類			(1)														

注1) 水深はT.P.を基準面とした。また、底質階級は以下に示す通り。

G: 岩盤 R: 等身大以上 T2: 等身大~人頭大 T1: 人頭大~こぶし大 T0: こぶし大~米粒大 Sd: 米粒大以下

注2) 表中の数値は被度(%)を示し、+は被度5%未満であることを示す。また( )内の数値は1㎡あたりの個体数を示す。

さらに前年度、将来的な核藻場創出を目指しウニ駆除を実施した黒島背後周辺の調査結果を表 4-3-7 と図 4-3-8 に示す。前年度（2018 年 11 月～2019 年 2 月）のウニ駆除の結果がウニ密度とアラメ、カジメ藻体密度に表れている。対策区内においては顕著にウニ密度が低く、アラメ、カジメ藻体密度も対照区に比べ 2 倍程度高く、前年度に芽生えた幼体が生長している結果となった。

表 4-3-7 2019 年 7 月黒島背後調査結果

番号	出現種		測点	対策区					対照区					
			水深(m)	2.8	2.9	2.9	2.9	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
			底質	T2	T2	T2	G	G	G	T2	G	T2	T2	G
			T1	T1	T0	T1		T1	T1	T1	G	T1		
1	植物	大型	アラメ	10		5							+	
			多年体											
			初年体	(2)		(2)							(1)	
2			カジメ	+		+	5			+			+	
			多年体											
			初年体	(1)		(1)	(2)			(1)			(1)	
1	植物	小型	無節サンゴモ類	10	10	10	10	10	30	40	30	70	40	
2			イワノカワ科											20
3			ヘラヤハズ					+						
4			マクサ						5					
5			エチゴカニノテ	30	30	30	30	30	70	70	30	+	+	
6			ピリヒバ											20
7			ヘリトリカニノテ属	20	20	20	20	+	+	10	+	10	10	
1	動物		ムラサキウニ			(2)	(2)	(4)	(8)	(9)	(13)	(17)	(6)	

注1) 水深はT.P.を基準面とした。また、底質階級は以下に示す通り。

G: 岩盤 R: 等身大以上 T2: 等身大~人頭大 T1: 人頭大~こぶし大 T0: こぶし大~米粒大 Sd: 米粒大以下

注2) 表中の数値は被度(%)を示し、+は被度5%未満であることを示す。また( )内の数値は1㎡あたりの個体数を示す。

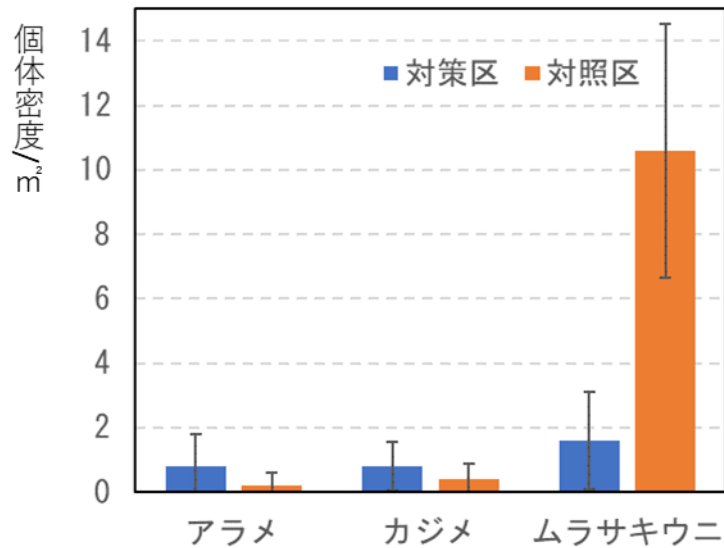


図 4-3-8 2019 年 7 月黒島背後調査結果

2019 年 9 月の調査において、結果③-4-1 で予測された、黒島背後から遊走子を放出した際の着底範囲から、基質・水深等からアラメの成育に適した対策区を設定した。

なお、9 月の調査においても久留和漁港北西沿岸のアラメは十分に残存しており、10 月設置予定のスポアバッグ用の母藻として利用することとした。





図 4-3-9 調査結果から立案された対策実施イメージ

【留意事項】

2019年9月時点で残存していたアラメ母藻は10月のスポアバッグ製作・ウニ駆除実施時にアイゴによる食害で葉部が消失していたことが判明した(図4-3-10)。相模湾内の沿岸のアラメ情報収集を行ったが、もともと近年のアイゴの食害により減少していた状況に加え、9月と10月に横須賀周辺に来襲した台風15号、19号(図4-3-11)の影響で海藻が流出し激減した。よって、スポアバッグ製作・遊走子放出をアラメでは断念し、急遽、カジメの母藻を活用した実証試験を行うことに変更した。



図 4-3-10 久留和漁港沿岸のアラメの状況(左:7月、右:10月)

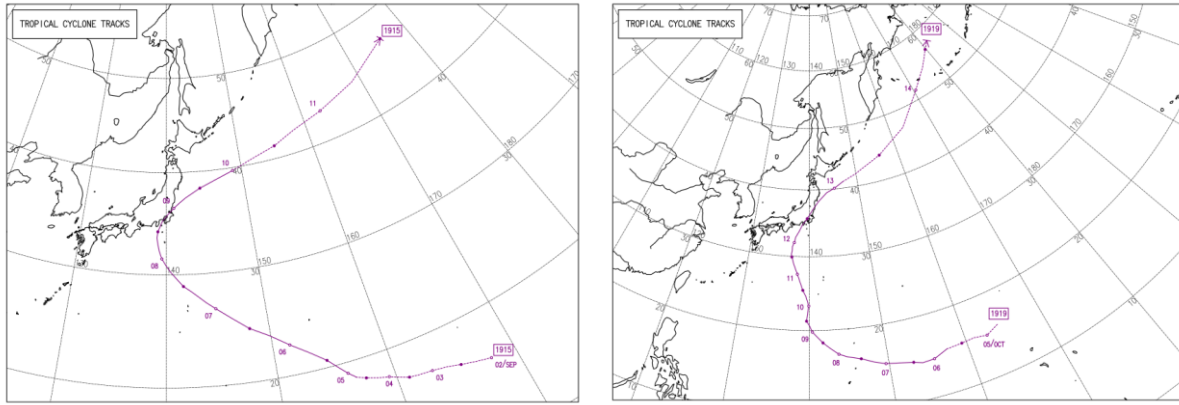


図 4-3-11 台風の進路（左：15号、右：19号）

### ③-4-3 遊走子の放出およびウニ駆除の実施

スポアバッグの設置とウニ駆除の実施は10月7-8日にかけて実施した。

スポアバッグとしては久留和漁港周辺海域から成熟したカジメの葉部を収集した。採取した海藻は、主に海底を漂う成熟した寄り藻を活用した。収集した藻体は久留和漁港内の日陰にて約3時間陰干した。藻体は成熟しており子嚢斑が確認された。陰干し後海水に着け葉の表面から茶色い雲が浮かぶ（遊走子の放出）ことを確認した。スポアバッグには1袋あたり500gの藻体を入れ、計30袋のスポアバッグを計画通り黒島背後に1昼夜（約24時間）設置した。

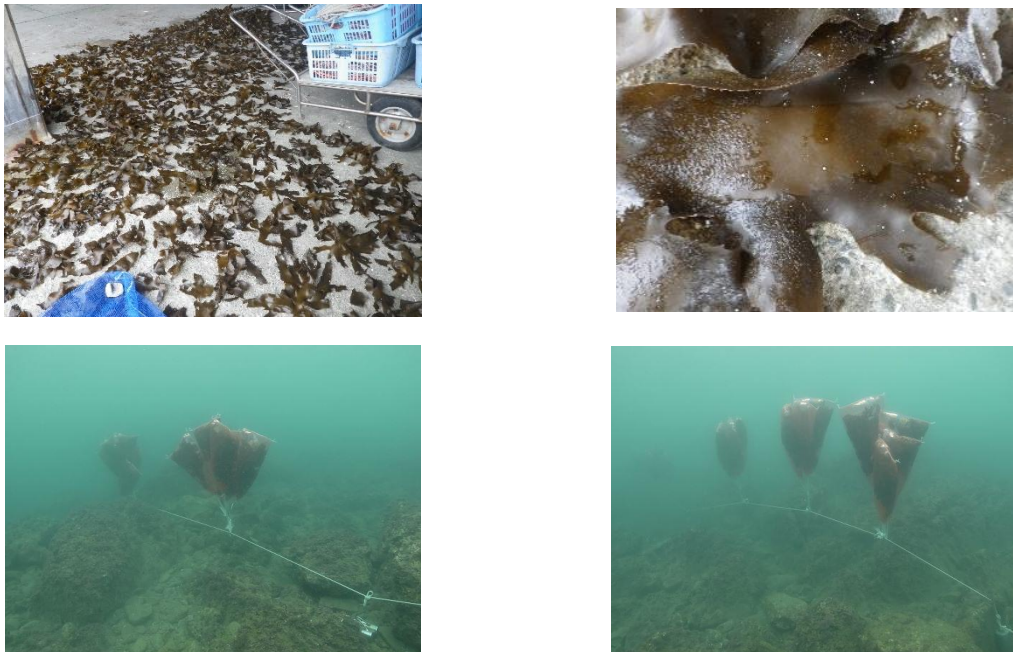


図 4-3-12 陰干し（左上）、子嚢斑（右上）、海中の設置状況（下段）

ウニ駆除は前年度同様の黒島背後と予測計算で設定した防波堤沖で実施した。実施場所を示す。ウニ駆除は10月8日に地元ボランティアダイバーや東京海洋大学の学生ダイバーの計10名で大規模に実施した。また、大規模駆除後も12月と1月にダイバー2名でそれぞれ実施した。

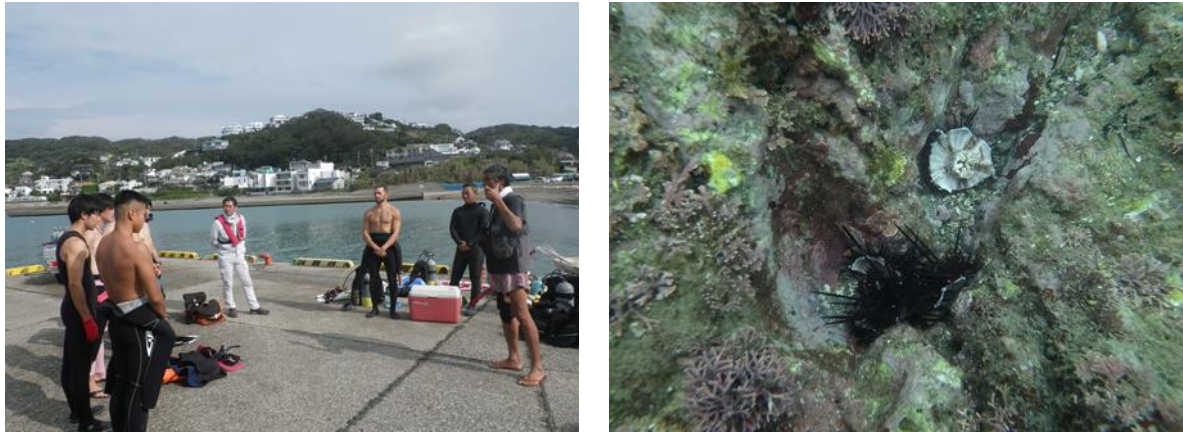


図 4-3-13 10月のウニ駆除実施（左：参加ダイバー達、右：駆除されたウニ）



図 4-3-14 対策場所（2区画）

表 4-3-8 ウニ駆除数量（個体数）

除去状況⇒	H30 年度総数	R1.10	R1.12	R2.01
黒島横対策区	19,100	1,200	500	600
黒島横対照区	—	—	—	—
防波堤沖対策区		3,100	850	1,400
防波堤沖対照区	—	—	—	—

③-4-4 スポアバッグ設置点と防波堤沖対策点間ライン調査

遊走子の移動範囲を把握するため、スポアバッグ設置点（起点）と防波堤沖対策点（終点）を結んだライン上の被度を観察した。なお、設定した調査ラインは予測計算によるスポアバッグ設置点からの流れの向きとほぼ同じ方角である。

調査結果からライン上にはアラメがまばらに見られたが、どれもアイゴの食害によると考えられる状況で葉部が失われていた。食害に遭う前に遊走子が放出された可能性も考えられるが確証はない。また、基点から 30m 地点よりカジメの点生が継続して見られた。これらの藻体からの遊走子の放出も考えられるが、10月に設置したスポアバッグ 30袋から放出された遊走子の影響が最も大きく発芽状況に表れると考えられる。



図 4-3-15 設定ライン

表 4-3-9 ライン上調査結果

距離 (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	
水深 (T.P.)	-3.3m		-3.9m		-5.1m		-5.6m		-5.7m		-5.6m		-5.6m		-5.7m		-5.4m		-5.2m		-5.5m		-5.3m		
底質	T2		T2		T2		T1		T2		T2		T2		T2		G		G		G		G		
	T0		T0		T0		T0		T1		T1		T1		G		T2		T2		T2		T0		
種名							Sd		Sd		Sd		Sd		Sd		Sd		Sd		Sd		Sd		
アラメ							1	1			2	2		1		2	1	5	1						
カジメ					1	2	6	3	7	4	11	8	3	4	8	5					2	1	1	5	1
カジメ科幼体																		1							

距離 (m)	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180
水深 (T.P.)	-5.1m		-4.8m		-4.3m		-4.2m		-4.1m		-4.2m		-2.9m
底質	G		G		G		G		G		G		G
	T0		T0		T0		T0		T0		T0		T0
種名	Sd		Sd		Sd				Sd		Sd		
アラメ													
カジメ		1			1		2			1		1	
カジメ科幼体					2			3					

注1) 距離 0mがスポアバックの設置地点。

注2) 個体数の単位は個体/5㎡

注3) 底質階級は以下に示す通り。

G: 岩盤 R: 等身大以上 T2: 等身大～人頭大 T1: 人頭大～こぶし大 T0: こぶし大～米粒大 Sd: 米粒大以下



図 4-3-16 ライン上でみられたアラメ  
葉部が残っていない茎のみ

### ③-4-5 海藻幼体の確認

スポアバッグから放出された遊走子からの芽生えとウニ駆除の効果を確認するため、令和2年2月10日にモニタリング調査を実施した。調査位置と結果を下に示す。



図 4-3-17 調査場所

表 4-3-11 調査結果

調査場所	12月事前調査 ※L.1、L.3起点は7月調査		2月調査	
	ウニ密度	アラメ・カジメ	ウニ密度	アラメ・カジメ
黒島横対策区	6.6	0.0	3.4	8.0
黒島横対照区	13.0	0.0	18.8	2.6
防波堤沖対策区	6.6	0.0	7.0	2.6
防波堤対照区	9.8	0.0	15.2	1.6
L.1 起点	12.0	※0.0	17.6	3.2
L.3 起点	8.0	※3.0	15.2	0.6
新規ライン	別表	別表	別表	別表

表 4-3-12 ライン上調査結果 (2020年2月)

距離 (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
水深 (T.P.)	-3.3m		-3.3m		-3.9m		-4.7m		-5.0m		-4.8m		-4.6m		-5.0m		-5.0m		-4.8m	
底質	T2		T2		T2		T2		T0		T2		T2		T2		T2		Sd	
種名	T1		T1		T1		T0		T1		T1		T1		T1		T1		T2	
	T0		T0		T0		Sd		Sd		Sd		Sd		Sd		Sd		T1	
アラメ									4		2		1		4		5		2	5
カジメ							1	1	1	8	8	5	8	4	10	2	7	1	3	1
カジメ科幼体	4	1	1	14	3		2	1	2	9	7	8	7	9	6		3	1	2	
ワカメ	10	1	2	1			2	6											1	

距離 (m)	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
水深 (T.P.)	-4.6m		-4.5m		-4.6m		-4.5m		-4.2m		-3.4m		-3.5m	
底質	G		Sd		Sd		G		G		G		G	
種名	T2		G		G		Sd		T1		T0		T0	
	Sd		T2		T2		T2		Sd					
アラメ	1													
カジメ	3					2	1				2			
カジメ科幼体	1			2			1	3		8	2	2	2	1
ワカメ				1						3		1	1	1

注1) 距離 0mがスポアバックの設置地点。

注2) 個体数の単位は個体/5m<sup>2</sup>

注3) 底質階級は以下に示す通り。

G: 岩盤 R: 等身大以上 T2: 等身大~人頭大 T1: 人頭大~こぶし大 T0: こぶし大~米粒大 Sd: 米粒大以下

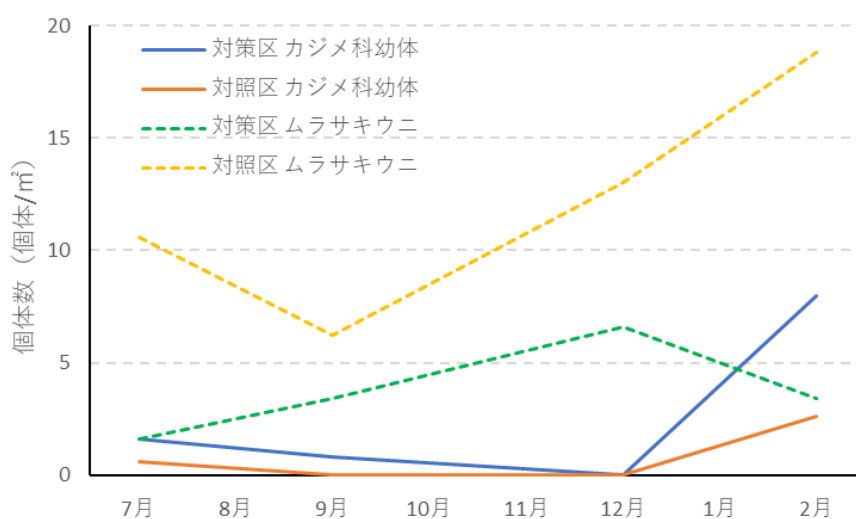


図 4-3-18 ウニ密度、アラメ・カジメ密度の推移 (黒島背後)

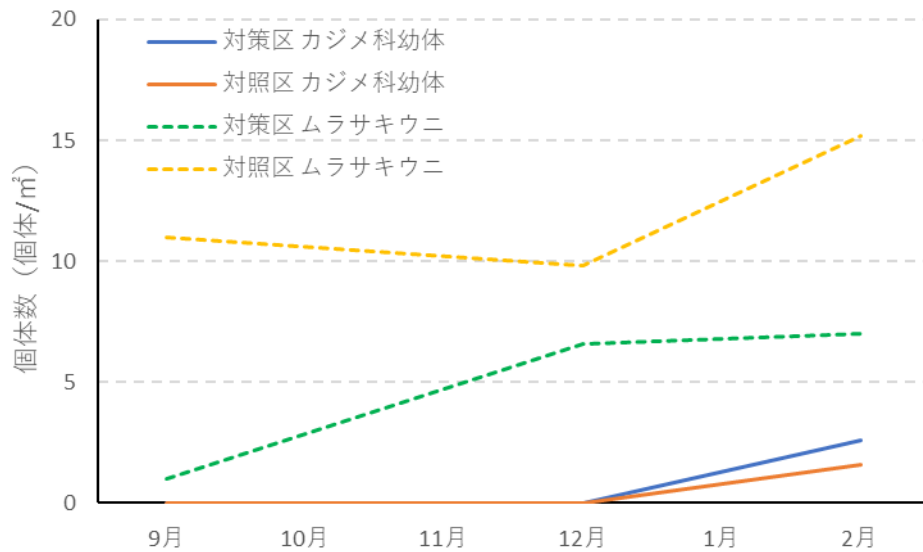


図 4-3-19 ウニ密度、アラメ・カジメ密度の推移（防波堤沖）

モニタリング結果からウニ密度は黒島背後、防波堤沖ともにウニ除去の効果が見られ、対策区内でウニ密度が低く、対照区に比べカジメ科幼体数が多いことから、ウニ駆除の効果は継続して表れていると考えられた。各調査場所のカジメ科幼体数を比較すると、スポアバッグを設置した黒島背後で顕著に多いことから、各点でスポアバッグの効果が最も見られたのは設置点である黒島背後であると考えられる。また、スポアバッグ設置点（起点）から防波堤沖対策区（終点）までのライン上においては、基点から 15m 付近で最も多くの幼体が見られた。基点から 50m 前後においても連続してカジメ科幼体が見られるが、これは同様の範囲にカジメ母藻も分布しているため、スポアバッグの直接の効果とは言えない。逆に起点から 50m 前後のカジメ母藻から、基点から 15m 付近に遊走子が供給される可能性は、起点から終点へ向かう流れの向きから考えて低いと考えられる。よって当海域でカジメの遊走子が着底する範囲は母藻周辺から 20m 程度までと考えられた。

数値シミュレーションではこの数倍の距離まで遊走子が移流すると計算されたが、カジメの幼体が観察された箇所はかなり短い距離であった。この差の大きな原因の一つは数値計算では M7000 という海底地形デジタルデータを使用しているが、転石や巨礫などの分布などの海底の微地形は無視され、スムージングされた地形であり、現実の海底を計算に反映できていないものと考えられる。M7000 では黒島から防波堤先端にかけてはなだらかに深くなっているが、実際には高さ 1～2m 程度の転石が部分的に分布しており、その頂部にはカジメの幼体が見られた。すなわち、スポアバッグから沖の計算上の遊走子の着底場の間には大きな不陸があり、そこでカジメの移流が止められている可能性高い。

さらに、基本的な事項としては、アラメ・カジメの遊走子がいつ放出されるか不明であることである。数値解析では単純に 1 定間隔で遊走子を放出させたが、実際にはどのように放出しているか、全く知見がない。遊走子の放出の仕方の仮定が現実には則していない



ことと、スポアバッグを設置した時の海象条件が計算の条件と合っているかどうかを検証できていない。

計算精度を上げるには、海域の詳細な 3 次元地形を計測し、モデルの計算格子をかなり小さくし、各種の条件をうまく設定すれば、精度は向上し、遊走子の移動距離がより正確に求まるであろう。しかし、実用上は、漁業者の目線で、卓越する流れの方向を考慮することが非常に重要であり、アラメ・カジメはその流れの方向に 20m 程度まで遊走子が移流すると予測し、磯焼け対策を進めることが重要である。このように、アラメ・カジメ類においては海藻のタネの移動は小さく、そのネットワーク範囲は狭域であると推測される。ただし、成熟した葉体が台風時の強い流れに流され発生する寄り藻をタネの供給源として考えた場合には、より広域なネットワークを形成する可能性があると思われる。

### ③-5 まとめ

以上の結果から明らかになった、示唆されることを下に示す。

- ☑当海域におけるアラメ・カジメ遊走子の移動予測について、移動方向の予測の点においては一定の有効性があると考えられる。
- ☑同様に、移動距離においては計算結果から予測されるほど遊走子は遠く移動しないと考えられる。
- ☑ウニの駆除によるアラメ・カジメ場回復への効果が確認された。ただし、高い効果を発揮するには継続的な駆除が必要である。
- ☑遊走子の移動予測とソフト対策（ウニ駆除）を組み合わせることによるアラメ・カジメ場の回復手法は有効であると考えられるが、遊走子の移動距離は短く、流向に沿って徐々に藻場を広げていく方法が最も有効であることが示唆された。

小課題5について：

本調査は、本事業の目的を踏まえた検討を反映させて「磯焼け対策ガイドライン」（平成27年3月）の改訂を行うものである。本課題の検討事項は下記の3つであり、図5-1の作業フローに従って検討した。各検討事項別にその成果を以下に示す。

- ① 現行ガイドラインのレビュー
- ② ガイドラインの見直しの方向性
- ③ 改訂版ガイドラインの骨子（案）の検討

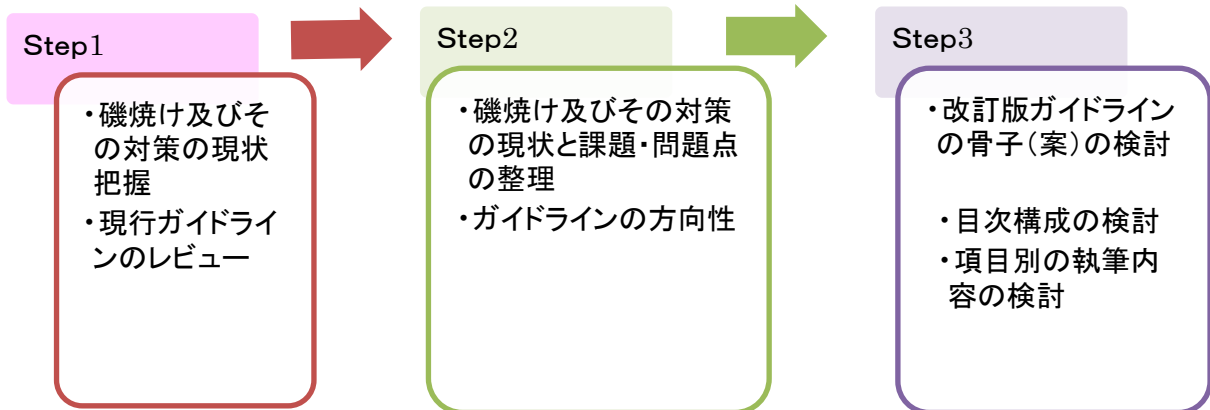


図 5-1 作業フロー

① 現行ガイドラインのレビュー

1) 磯焼け及びその対策の現状把握

(1) 水産庁の取組み

現行ガイドラインのレビューを行うにあたって、まず、最近の国の動き、既存資料（過去のアンケート結果）や、都道府県の藻場ビジョンの進捗、都道府県等へのハードとソフトの連携させた取組みに関するアンケート調査等を実施した。漁港漁場整備長期計画においては、藻場の衰退、海水温の上昇に対して重点課題として取り上げられている（図5-2参照）。

新たな漁港漁場整備長期計画の概要（平成29～33年度）

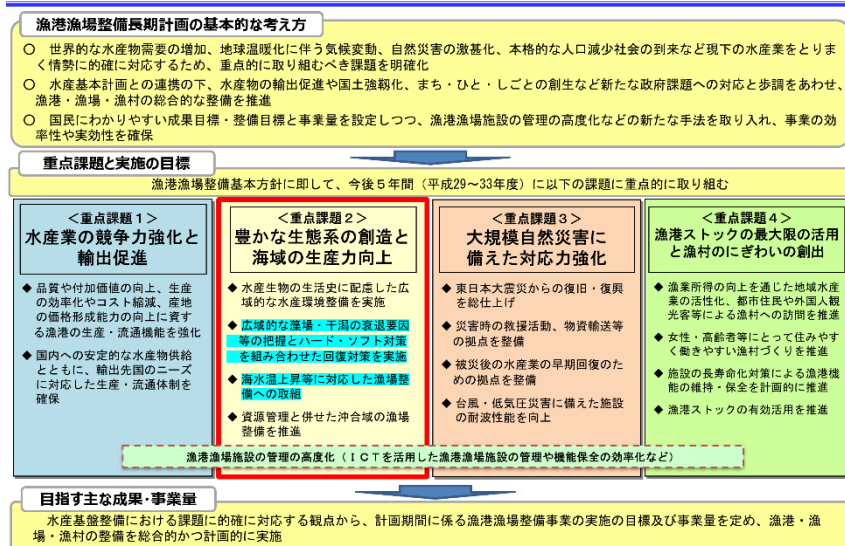


図 5-2 漁港漁場整備長期計画（出所：水産庁）

特に、藻場・干潟に対しては、気候変動に伴う海水温上昇等の影響を危惧し、実効性のある効率的な藻場・干潟の保全・創造に資するハード・ソフト施策が一体となった広域的な対策を推進する「藻場干潟ビジョン」の策定を関係都道府県に求めている（図 5-3 参照）。



図 5-3 藻場干潟ビジョン（出所：水産庁）

気候変動による影響については、「気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン」の中で、海水温の上昇、海面上昇、酸性化、クロロフィルの変化などの環境変化により水産分野に様々な影響を及ぼし、藻場に対しては、①ウニやアイゴ・ブダイ等の食害生物の増加、②夏季の高水温による海藻草類の枯死、③藻場構成種の変化、④磯根資源の減少、⑤藻場面積の減少傾向による産卵・保育機能の低下が指摘されている（図 5-4 参照）。

## 「気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン」 (2017.6)

### ● 気候変動に伴う海水温上昇等の影響とは...

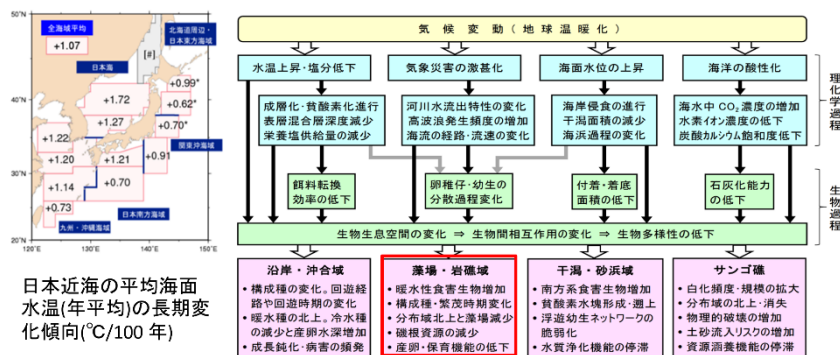


図 5-4 気候変動による水産生物への様々な影響（出所：水産庁）

また、このような影響に対して次のような対策が提案されている。

- ウニ類や魚類の食害生物増加については、食害生物の除去、防除対策を実施する。あわせて、藻場造成（播種・移植・基質確保）により海藻草類を増やす対策を実施する。
- 高水温による海藻草類の衰退、藻場構成種の変化や、分布域の北上への対応としては、高水温耐性種を作出し、播種・移植を行う。また、生物多様性に配慮した材質や構造形式の選定についても検討する。
- 台風・低気圧災害の激甚化への対応としては、消波対策および藻場造成（播種・移植・基質確保）によって海藻草類を増やす対策を実施する。
- 海面水位上昇については、嵩上げを検討する。

これらの状況を踏まえ、水産庁はこれまでに藻場保全に関する様々な取組みを進めてきた（図 5-5 参照）。

**①技術の開発と普及**

- 平成19年2月に磯焼け現象の具体的な対応策をまとめた「**磯焼け対策ガイドライン**」を公開。
- 平成22年度から平成26年度まで「水産生物の生活史に対応した漁場環境形成推進事業」を実施。
  - ・漁場機能を阻害する要因（食害魚類）の除去技術の開発
  - ・漁場機能増進技術（小型海藻を活用した藻場の短期回復手法等）の開発実証
- 平成27年3月に植食性魚類等の生態に関する知見の充実（アイゴ、イスズミの行動・採食行動）や磯焼け対策の実施事例の追加等を行い、ガイドラインを改訂、周知。



**②取組に関する情報共有**

試験研究機関、地方公共団体、漁協等が参画する会議を全国レベル及び地域レベルで開催

- <水産庁>
  - ・磯焼け対策全国協議会(平成19年度～)
- <県>
  - ・北海道磯焼け対策連絡会議(平成21年度～)
  - ・(長崎県)地域別磯焼け対策会議(平成25年度～)



磯焼け対策全国協議会の様子

**③補助事業による支援**

- <公共事業(水産基盤整備事業)>
  - 水産環境整備事業(内容:藻場の造成を支援)
  - 磯焼け対策緊急事業(平成19年度～平成27年度)、水産資源を育む水産環境保全・創造事業(平成28年度～)
  - (内容:藻場の造成と併せて、食害生物対策、海藻類の移植・播種等の実施を支援)
- <非公共事業>
  - 水産多面的機能発揮対策事業(第1期:平成25年度～平成27年度、第2期:平成28年～平成32年度) (内容:漁業者等が行う藻場保全のための活動を支援)



ウニ除去状況

図 5-5 水産庁の藻場保全に関する様々な取組み

## (2) アンケートからみた藻場・磯焼けの現状

水産庁が 2017 年度に、全国藻場の推移を把握するため、都道府県担当者へアンケート調査を実施されており、それによれば、現在（2016 年）は、1978 年に比較して 6 割程度まで減少しているが、2007 年頃の予測から下げ止まりの傾向がみられている（図 5-6 参照）。

また、衰退の理由を図 5-8 に、衰退した海底の状況を図 5-9 に示す。

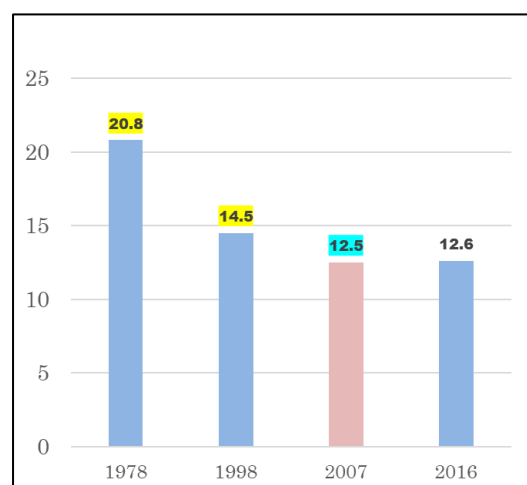


図 5-6 藻場面積の推移（出所：水産庁）

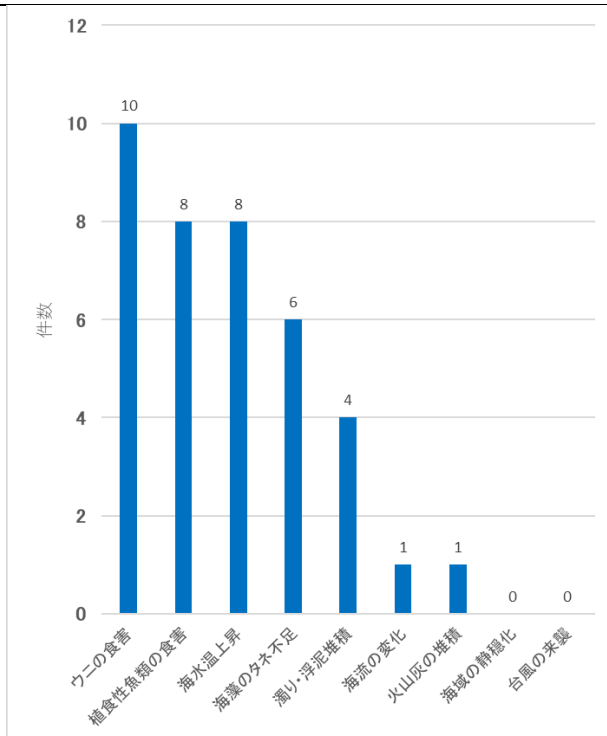


図 5-8 藻場の衰退理由

【詳細】回答都道府県: 13 件

- ・ ウニの食害は、青森県、宮城県、千葉県、三重県、福井県、徳島県、福岡県、長崎県、熊本県、大分県と、全国的な傾向がみられる。
- ・ 植食性魚類の食害は、千葉県、三重県、徳島県、福岡県、長崎県、熊本県、大分県と、南日本に多くみられる。
- ・ 海水温の上昇は、青森県、福井県、徳島県、香川県、福岡県、長崎県、熊本県、大分県と、全国的な傾向が窺える。
- ・ 海藻のタネ不足は、青森県、徳島県、香川県、福岡県、長崎県、熊本県と、瀬戸内海、九州に多くみられる。
- ・ 濁り・浮泥の堆積は、福井県、長崎県、熊本県でみられる。

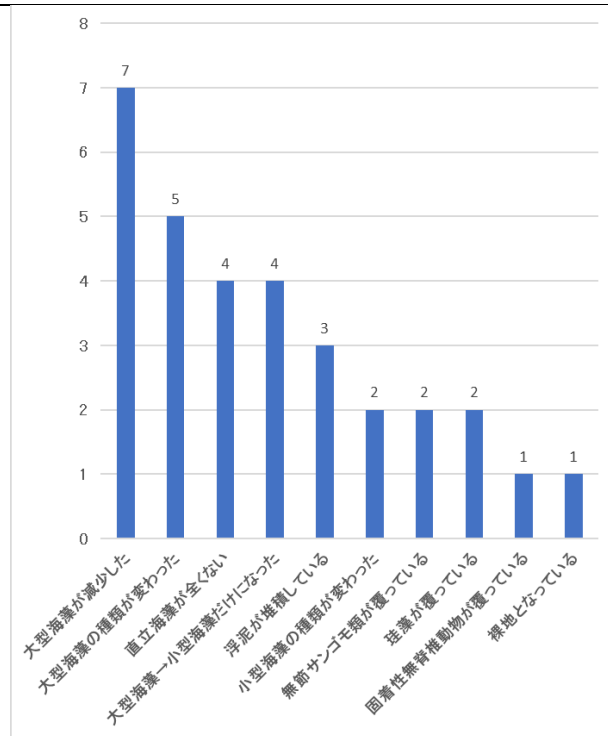


図 5-9 藻場の減少した海底の様子

【詳細】回答都道府県: 13 件

- ・ 大型海藻が減少しているのは、青森県、千葉県、徳島県、香川県、福岡県、長崎県、熊本県と全国的な傾向が窺える。
- ・ 大型海藻種が変わるのは、青森県、徳島県、香川県、長崎県、熊本県と、やや南日本に多い傾向がみられる。
- ・ 直立海藻が全くないのは、青森県、宮城県、千葉県、熊本県と、やや北日本に多い傾向がみられる。
- ・ 大型海藻→小型海藻にだけになったのは、三重県、福岡県、長崎県、熊本県と南日本に多い傾向が窺える。

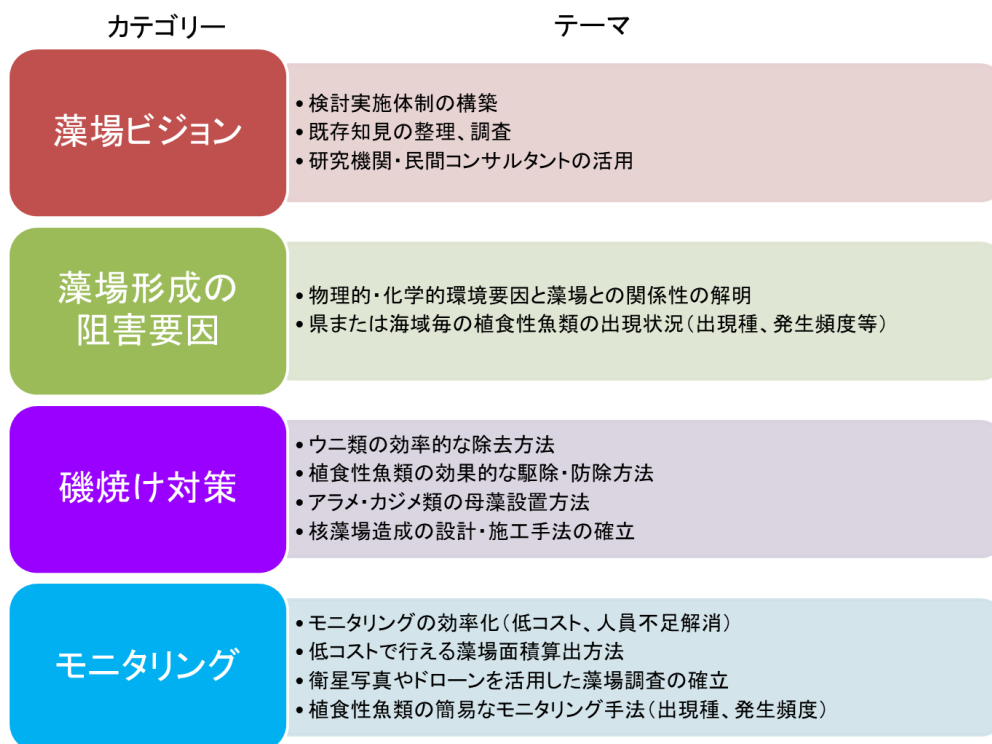
図 5-8 の衰退要因の海水温の上昇は、海藻の活性に影響するため、図 5-8 で海水温の上昇に回答された 8 件の県の図 5-9 の回答を整理してみると、次のような傾向がみられた。

- 青森県：大型海藻がなくなる、大型海藻の種類が変わる、大型海藻と小型海藻の両方がなくなる。
- 福井県：小型海藻の種類が変わる、浮泥が堆積している、無節サンゴモ類が覆っている。
- 徳島県：大型海藻が減少、大型海藻の種類が変わる

- 香川県：大型海藻が減少、大型海藻の種類が変わる
- 福岡県：大型海藻が減少、大型海藻がなくなり小型海藻だけになった
- 長崎県：大型海藻が減少、大型海藻の種類が変わる、大型海藻がなくなり小型海藻だけになった
- 熊本県：全項目に回答
- 大分県：固着性無脊椎動物が覆っている

このことから、海水温の上昇のみられる県では、大型海藻が減少し、海藻種・小型海藻へ遷移しているように推察され、上述した**気候変動の影響**が地域からも窺える。

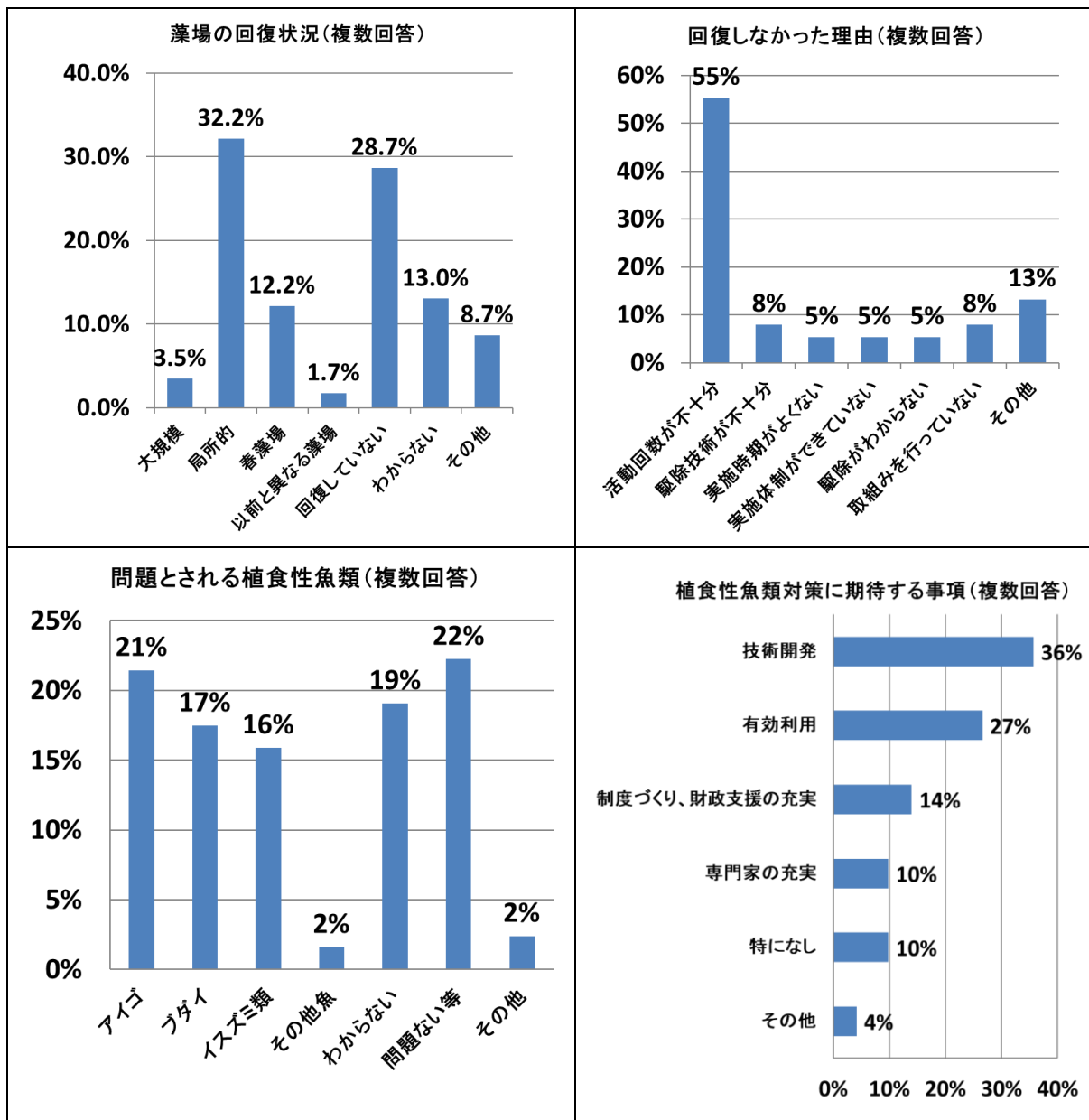
こうした状況を踏まえ、都道府県においては藻場・磯焼け対策に関して、次のようなテーマを持っている（図 5-10 参照）。



（出所：水産庁アンケート,2017）

図 5-10 都道府県が思う藻場・磯焼け対策に関するテーマ

一方、水産多面的機能発揮対策事業を実施する各地の活動組織に関しても、同時期にアンケート調査（2017）が実施されており、その結果の一部は次のとおりである（図 5-11 参照）。



(出所：水産庁アンケート,2017)

※補足：本アンケートは、水産多面的機能発揮対策事業がスタート（2013年）後、5年目に実施されたものである。

図 5-11 水産多面的機能発揮対策事業の活動組織に対するアンケート結果（一部）

こうした状況を踏まえ、都道府県においては藻場・磯焼け対策に関して、次のようなテーマを持っている（図 5-12 参照）。

カテゴリー	テーマ
計画・実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 保全活動場所の選定・範囲の考え方</li> <li>• 人材育成のための研修会</li> <li>• 活動メンバーの高齢化</li> </ul>
ウニ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 潜水しなくても効率的なウニ駆除技術の開発</li> <li>• 小型巻貝の除去手法(対象種、採捕方法)</li> </ul>
植食性魚類	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 植食性魚類の生態</li> <li>• 効率的な植食性魚類の駆除と有効利用</li> </ul>
海藻のタネ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 母藻の安定供給</li> <li>• 母藻の採取と保管方法</li> <li>• 移殖海藻の着生率の向上</li> </ul>
モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 簡易なモニタリング手法(面積把握等)</li> </ul>

（出所：水産庁アンケート,2017）

図 5-12 活動組織が思う藻場・磯焼け対策に関するテーマ

## 2) アンケート調査

### (1) 都道府県向けアンケート

都道府県を対象に図 5-13 の調査表を用いてアンケート調査を実施した。

実施期間：令和元年 8 月 28 日～9 月 9 日

アンケートデータ数：37 件

#### 「藻場造成・磯焼け対策の水産環境整備事業に関するアンケート」

岩礁性藻場を対象とします。アマモ等の海草類は含みません。平成 24～30 年度（2012.4～2019.3）に実施された水産基盤整備事業において、「水産資源を育む環境保全・創造事業」等を活用したハード・ソフト対策が一体となった取組を実施されている事業を対象としています。アンケートの結果は、「藻場回復・保全技術の高度化検討調査（水産庁、2018-2020）」の調査研究等で活用させていただきます。以下の質問について、回答用紙にご記入ください。



表 5-1 アンケート設問

No.	設問内容
Q 1	平成 24～30 年度（2012.4～2019.3）までの水産環境整備事業の内、貴都道府県が実施されたハード・ソフト対策が一体となった取組件数はいくつありますか。また、その規模（造成面積）は合計でおよそ何ヘクタールとなりますか。
Q 2	平成 24～30 年度（2012.4～2019.3）間のハード対策の内、貴都道府県の代表的な 5 地区を選定しご記入ください。
Q 3	平成 24～30 年度（2012.4～2019.3）間のソフト対策の概要について、貴都道府県の代表的な 5 地区を選定しご記入ください。
Q 4	ハード・ソフト対策が一体となった取組の効果を具体的に教えてください。 ※優良事例及び不良事例を集めていますので、できる限り前広に情報提供をお願いいたします。 また、参考資料等があれば添付いただければ幸いです。
Q 5	ハード・ソフト対策の連携に向けて工夫された点と具体的な取組の内容を教えてください。
Q 6	ハード・ソフト対策の連携が一体となった実効性のある取組に向けての課題、あるいは問題となっている事項を教えてください。 ※優良事例及び不良事例を集めていますので、できる限り前広に情報提供をお願いいたします。 また、参考資料等があれば添付いただければ幸いです。
Q 7	今年度の磯焼け対策全国協議会（令和 2 年 2 月ごろ予定）で取り扱って欲しいテーマがあれば、具体的に記載してください。 ※全国協議会で知りたい事や学びたい事があればご自由にご記入ください。

【調査結果】

表 5-2 平成 24～30 年度（2012.4～2019.3）までの水産環境整備事業の内ハード・ソフト対策が一体となった取組件数と造成面積（ha）

No.	都道府県	取組件数	造成面積 (ha)	No.	都道府県	取組件数	造成面積 (ha)
1	北海道	5	34.5	21	大阪府	0	
2	青森県	2	76.5	22	兵庫県	0	
3	岩手県	0		23	和歌山県	0	
4	宮城県	-		24	鳥取県	0	
5	秋田県	0		25	島根県	0	
6	山形県	0		26	岡山県※	(1)	(8.3)
7	福島県	0		27	広島県	1	6.4
8	茨城県	5	6.6	28	山口県	16	9.5
9	千葉県	0		29	徳島県	5	4.0
10	東京都	0		30	香川県	18	14.6
11	神奈川県	1	0.2	31	愛媛県	0	
12	新潟県	1	2.0	32	高知県	0	
13	富山県	0		33	福岡県	7	9.8
14	石川県	0		34	佐賀県	0	
15	福井県	4	4.4	35	長崎県	27	342.0
16	静岡県	0		36	熊本県	1	30
17	愛知県	0		37	大分県	2	1.7
18	三重県	1	11.0	38	宮崎県	0	
19	滋賀県	-		39	鹿児島県	8	1.4
20	京都府	-		40	沖縄県	0	
※岡山県の取組みはアマモ場のため合計から除く。				合計		91	554.6

表 5-2 から、ハード・ソフト対策が一体となった取組は全国で 16 件（40%）。その内、磯焼け対策の取組みは 2 件（北海道、長崎県）、他は通常の藻場造成（増殖場）で、天然礁近傍の砂地に着定基質を整備。ただし、後者は整備後に磯焼けが起きないように、間隔を開けて基質を設置したり、実績のある着定基質を選定されたりしている。また、整備後はモニタリングを実施し、適宜ソフト対策（食害動物の除去、スポアバッグ等）を実施されている。

次に、表 5-3 に示す取組みのあった県から代表的な地区（表 5-2 で○で囲んだ数字）について概要を示す（詳細は 5-4 を参照）。

表 5-3 取組み地区の概要

No	都道府県	概 要
①	北海道	・藻場ビジョンを踏まえた磯焼け対策の取組み ・嵩上げ礁、脚のある藻場礁、高さのある藻場礁
2	青森県	・砂地に着定基質を設置しコンブ等を繁茂させ、周辺でソフト対策（ウニ密度管理や雑海藻駆除）を実施
3	茨城県	・アワビの増殖場（アラメ繁茂）として整備、整備後は試験場がモニタリングを実施
4	神奈川県	・モニタリングから基質の投入が有効と判断された場合は、ソフトとの連携を考慮してハード整備を検討
5	新潟県	・核藻場造成（ガラモ場）と試験研究機関のモニタリング
6	福井県	・石材敷設とソフト対策（ウニフェンス、食害対策） ・水産多面の専門家にソフト対策指導
⑦	三重県	・ハードとソフト対策（食害対策、スポアバッグ）の連携で藻場（アラメ場）が繁茂
8	広島県	・砂地に間隔を開けて着定基質を設置してモニタリング
⑨	山口県	・藻場造成後、海藻の繁茂がみられなかったので、ソフト対策（スポアバッグ）を実施、クロメの幼体を着生させる
10	徳島県	・2 t 石の囲い礁とモニタリング ・効果のある藻場礁や磯焼け対策技術を試験研究
11	香川県	・着定基質（石材・ブロック）の設置と外部委託によるモニタリング
12	福岡県	・天然藻場の近隣で着定基質が不足している場所の砂地に 2 t 石材を投入し、周辺をソフト対策（ウニ除去、母藻投入・種苗供給）。
⑬	長崎県	・核藻場礁の成功事例と、課題・問題点の事例 ・食害対策を漁協に委託
14	熊本県	・天然礁近傍の砂地に間隔を開けて着定基質を設置し、ソフト対策（食害動物の除去、競合生物の除去）
15	大分県	・海藻の減った天然礁近傍の砂地に石材を投入し、ソフト対策（食害動物の除去、母藻投入）
16	鹿児島県	・藻場の維持・管理の取組が実施可能な場所でハード整備を実施

表 5-4 (1) 平成 24 年度以降でハードとソフトが連携した各地の取組み

No.	都道府県	造成面積 (ha)	ハード対策		PDCA				藻場の状況	参考資料	
			実施年度	取り組み内容	実施期間	ソフト対策		情報共有			
						ソフト対策	体制				モニタリング
1	北海道	34.5	H24-	囲い礁、単体ブロックの設置、ウニの食害を防ぐ嵩上げ礁・既存施設の嵩上げ改良	H25-H33	母藻の設置、海藻の種苗投入、ウニの密度管理、食害生物の除去	水産多面的	水産多面的事業等を活用し、着生状況等のモニタリングを実施	藻場ビジョン策定時に検討会を実施。	神恵内村では、平成 24 年度時点ではほぼ消失していたコンブ場が平成 29 年度には 2.2ha 回復し、ウニの漁獲量低下にも歯止めが掛かった。	○
2	青森県	76.5	H23-25	水深 10m 付近の砂地各 0.5ha に着定基質を、間隔をあけて設置。	H25-	ウニ密度管理、コンブ種苗投入	水産多面的	水産多面的事業等を活用し、着生状況等のモニタリングを実施	「水産多面的報告会」で、他県の活動事例の情報収集。		
3	茨城県	6.6	H26	既存藻場に近接して、水深 5m 付近の海底の砂地に着定基質を、間隔をあけて設置。	H24-	ウニの密度管理、岩盤清掃	水産多面的	・水産試験場及びメーカーによる設置後の調査 ・漁業者が漁業作業中に状況を把握	県内の漁協及び採掘漁業者のアフビ担当者会議で、藻場の状況・水産試験場の情報を共有。	・整備から 3 年ほどでアラメ海中林の形成が見られている。 ・特に川尻地区は整備面積の半分である約 0.5ha にアラメが生育し拡大傾向にあるため、アフビ種苗の放流場所として利用。	
4	新潟県	2.0	H24-25	水深 10m 付近の磯焼け域に食害防止網付藻場礁と囲い網を設置	H25-28	小型巻貝類等の底生植食動物の除去(月 1~3 回の頻度)、ホンダワラ類の母藻移植	試験研究機関	試験研究機関の潜水目視観察	—	同海域の藻場は回復傾向にあり、H24~H29 の間で約 10ha が回復した。	
5	福井県	4.4	H28-29	・水深 5m 以浅の海底に石材を敷設し、その上に 1t または 2t 内外の自然石を、間隔をあけて設置。 ・水深 10m 以浅の海底に石材を敷設し、その上に着定基質を、間隔をあけて設置。	H22-27	ウニフェンスの製作と設置、食害生物の除去	環境生態系・水産多面的	試験研究機関による資源量調査	—	水産多面的のサポーターの指導で天然藻場から徐々に周辺に広げていくように小型の藻場礁を設置。少しずつ海藻が繁茂。	
6	三重県	11	H24-	熊野灘沿岸の磯焼け海域において、藻場礁などを設置。	H25-	・ウニ類駆除、種苗投入、スポアバック ・着定基質表面の更新及び堆積汚泥の除去	水産多面的	ハード整備のモニタリング(藻場分布、食害生物等分布)を外部委託。	「水産資源を育む環境保全・創造事業」で実施したモニタリング調査等の報告を有識者、県、市町、水産研究所及び漁協ら各担当者を集めて年度末に懇談会として開催し、有識者からの意見徴収や関係者へ情報共有。	ハード整備とソフト対策の連携でハード整備の藻場造成以上の藻場面積が回復してきている。	○
7	広島県	6.4	H28-30	水深 5m~10m 付近の海底に投石し、投石帯より沖側に着定基質 84 基を、間隔をあけて設置した。	H30-	—	—	投石及び着定基質設置 2 年後以降に 2 年間、藻場と魚類分布の潜水目視観察を外部委託。	モニタリング結果を市町や地元の関係者に情報提供している。	設置箇所全体に藻類が覆われ、魚類も天然藻場に比べて多い結果となっている。	
8	山口県	9.5	H24-26	水深 5~10m で、既存の藻場付近に藻場ブロック 23 基、石材礁 22 礁を設置した。	H27-28	ウニ駆除、スポアバッグ、アラメ種苗の設置	環境生態系、水産多面的	・設置 3 年間、外部委託で潜水目視観察。 ・年に 2 回程度、藻場分布調査を活動グループや水研センターが実施。	・県市町と水研センター、活動組織メンバーを集めて、毎年 3 月に担当者会議を実施。 ・水研センターから漁業者にソフト対策手法(ウニ駆除、母藻の投入、ウニフェンスの設置、海藻種苗の設置等)の提案、実施の指導を実施。	・H25 年 7 月の高水温によりアラメ等が大量枯死したが、ハード及びソフト対策を継続実施してきたことで、多くの地区で天然幼体が確認された。 ・阿武町奈古地区は、漁場整備後に海藻が生育していなかったことから、阻害要因を確認したところ、種不足が要因と推察されたため、スポアバッグ(クロメ)を実施したところ、6 ヶ月後にクロメの幼体が確認された。	○

表 5-4 (2) 平成 24 年度以降でハードとソフトが連携した各地の取組み

No.	都道府県	造成面積 (ha)	ハード対策		PDCA				藻場の状況	参考資料	
			実施年度	ソフト対策	情報共有	ソフト対策		情報共有			
						ソフト対策	体制				モニタリング
9	徳島県	4.0	H25-26	天然藻場周辺に、自然石(約2t/個)、ブロックによる囲礁	H28	実施なし		年に1回秋～冬に藻場分布の潜水目視観察を水産研究課が実施。		魚類による食害が散見されるものの、良好なアラメ・カジメ藻場が形成されている。	
10	香川県	14.6	H25	着定基質と石材の設置		実施なし		ハード整備のモニタリング(藻場分布、食害生物等分布)を外部委託。			
11	長崎県	342.0	H27-29	水深15m以浅の海底の砂地に石材を敷設し、海藻の種系を取付た食害防止ネット付きの着定基質を、間隔を空けて設置。	H29-R1	植食性魚類の駆除	食害動物駆除を地元漁協に委託	食害動物駆除の実施後3年間、業務委託により、海藻の種類・被度や魚類・ウニ類の分布状況等の調査を実施。	モニタリング結果により、藻場造成の効果検証を行っている。	・時間の経過とともに、種苗の保護ネットには小型海藻と付着動物によって目詰まりを引き起こしている。このため、内部への光が遮られ、潮通りも悪くなること等により、取り付けた種苗は枯死している。 ・磯焼けが進む中、藻場礁に設置する海藻の種系を作るための、母藻の採取自体が困難となっている。	○
12	熊本県	30.0	H25-30	藻場が減少した海域において、水深7～10m付近の海底に、着定基質(投石)を、間隔をあけて設置した。	H26-	食害生物(ウニ類)の駆除、競争生物(ウミアザミ)の駆除、スポアバック	水産多面的、熊本県単独事業、天草市単独事業	県水産研究センターが主体となり、年に1回(5～6月頃)の頻度で、海藻類出現種及びその湿重量の潜水調査を実施。	県、市、漁協及び漁業者が集まり、モニタリング結果を基に、今後の取組についての協議。	・過去(H4年環境省調査)と比較して藻場面積が低水準であったが、整備区域では海藻類の増加を確認した。 ・漁業者から、ウニ類の身入りが向上した声があった。	
13	大分県	1.7	H26-30	藻場が減少傾向にある海域で、水深5m付近の海底の砂地に捨石を敷設した。	H28-30	母藻の設置、食害生物(ウニ類、魚類)の除去、岩盤清掃	水産多面的	定期的に藻場分布と被度の潜水目視観察を実施。	—	—	
14	鹿児島県	1.4	H24	着定基質と石材の設置	H27-29	食害生物(ウニ類)の駆除	水産多面的	潜水目視観察を実施。	水技センターが、藻場造成の研究成果等について、漁業者が参加する研修会等による普及と現場指導を実施。	—	



# 【三重県】ハードとソフトの連携で藻場が繁茂した事例



周辺に藻場がみられる海域

藻場回復事例：甲賀工区（志摩市阿児町甲賀地先）

対象種：カジメ、サガrame

- 概要： 藻場造成工（囲い礁）石材は大割石を1層敷設。水深：5.0～6.5m  
A＝1.0ha（平成25年、平成26年度施工）

甲賀工区の藻場造成は、カジメ、サガrameによる藻場が、比較的安定して形成されている。植食動物による食害は確認されているものの、大きな被害は見られず、海藻の生産量と食圧のバランスが概ね保たれており、アワビ類、サザエ、イセエビ等の根付資源も比較的良好な状態である。

**磯焼けしていない海域での増殖場整備（藻場造成）と藻場の維持管理が行われている優良事例**



造成直後



現在

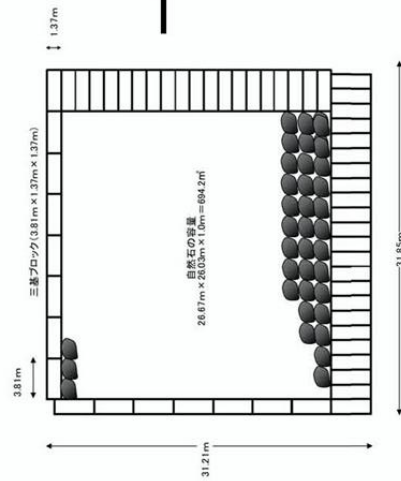
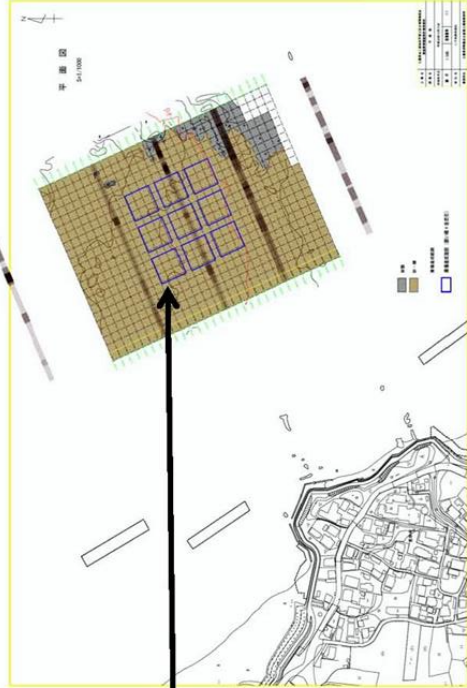


図 5-13 (2) 三重県の取組み

# 【山口県】藻場造成後、ソフト対策によって藻場の回復がみられた事例

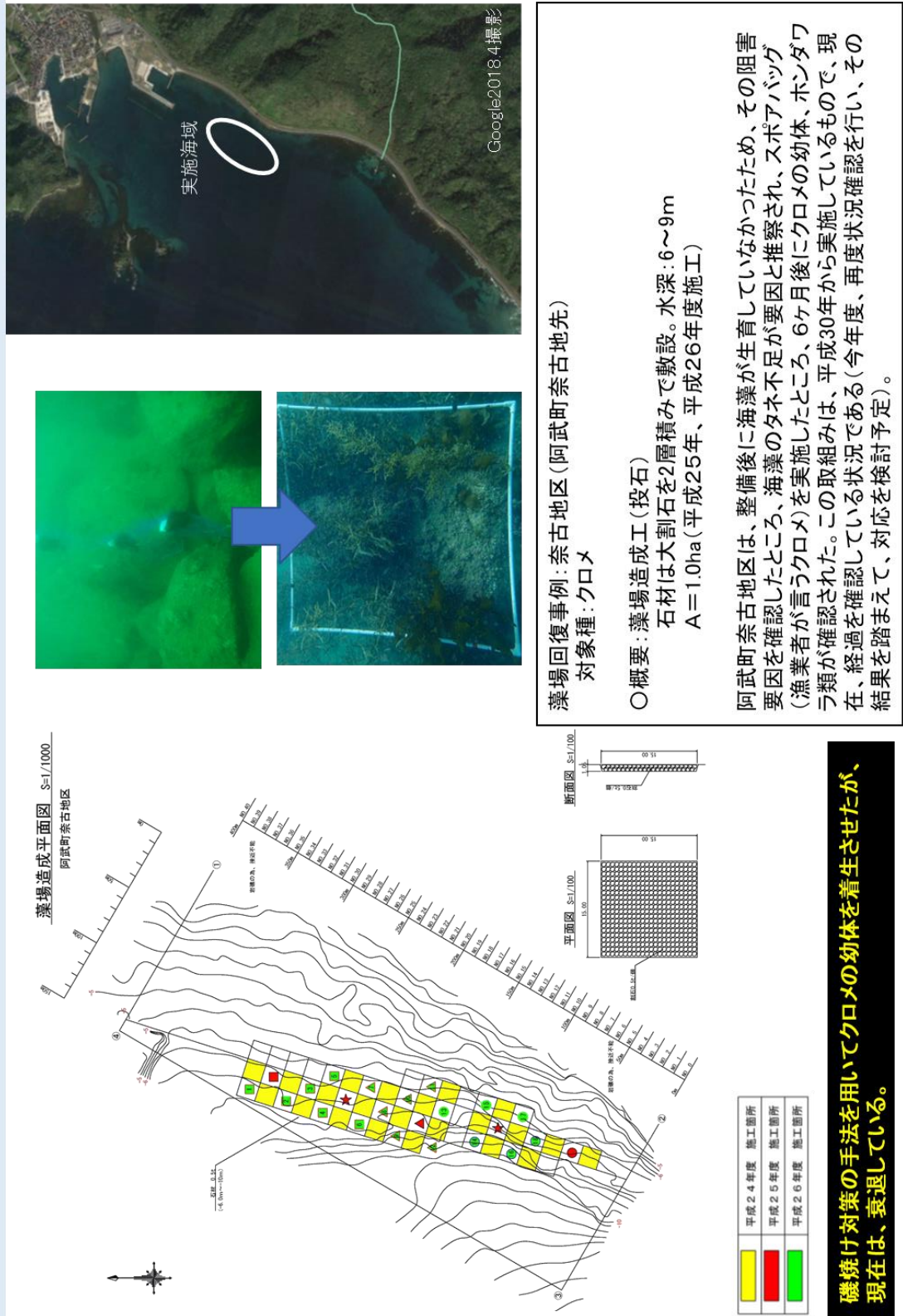


図 5-13 (3) 山口県の取組み

## 【長崎県】核藻場礁の成功事例と課題・問題点

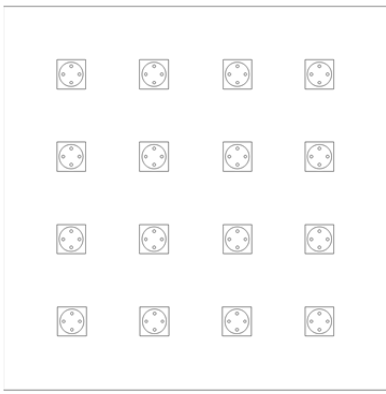
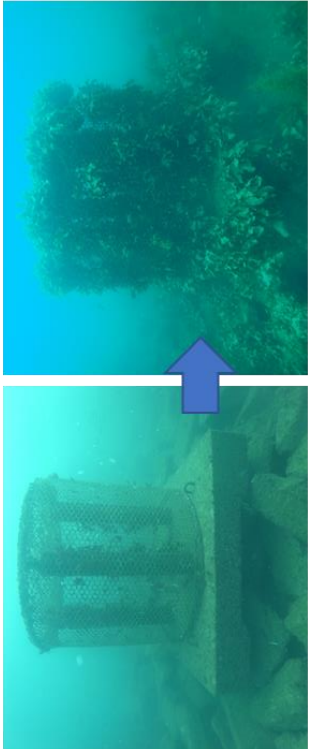
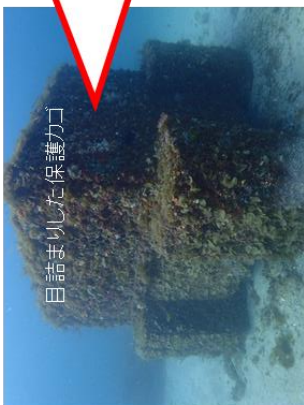
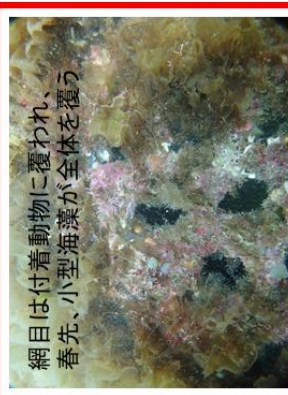

<p>場所：平戸市 獅子地先 水深：9-12m 設置後：2.5年</p>	 <p>マダいの増殖場として、砂地の海底の40m x 40mの範囲内に石材を敷設。石材の上にカゴ付き藻場礁を設置されている。周辺には天然のクロメ場が形成されている。</p>	<p>核藻場造成は場所によっては効果がみられるものの、カゴの目詰まり等による種苗の枯死などの問題解決が必要である。</p>	 <p>カゴの中の海藻からタネが放出されて周辺に繁茂した状態</p>	
<p>場所：杵岐島 机島 水深：13-15m 設置後：3年</p>	 <p>目詰まりした保護カゴ</p>	 <p>網目は付着動物に覆われ、春先、小型海藻が全体を覆う</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>カゴの目詰まりによって、内部に取付けられた種苗は枯死・消滅し、核藻場礁の機能が損なわれていた。</li> <li>シリコンを塗布したネットや防藻網が、現在開発中。</li> <li>カゴに入れる母藻や種苗の確保に苦慮している。</li> </ul>

図 5-13 (4) 長崎県の取組み



(2) 水産多面的機能発揮対策活動組織向けアンケート

水産多面的機能発揮対策講習会に参加されていた活動組織を対象に図 5-15 の調査表を用いてアンケート調査を実施した。水産多面的機能発揮対策講習会実施日は下記のとおりである。

- 青森会場 7月16日(火)
- 東京会場 8月28日(水)
- 広島会場 9月27日(金)
- 福岡会場 10月29日(火)

アンケートデータ数：26件

藻場保全活動に関するアンケート	
藻場の保全活動の実態を把握したいので、以下の質問にお答え下さい。 <b>活動組織の代表者の方</b> に記入をお願いします。 岩礁性藻場を対象とします。 <b>アマモ等</b> の海草類は含みません。	
活動組織名	記入者
<b>Q1</b> 協定面積の中に藻場礁が設置されていますか？ a. ある <b>→Q2・Q3・Q4</b> b. ない <b>→Q4</b> c. わからない。 <b>→Q4</b>	<b>※Q1でa.と回答された方</b> <b>Q2</b> 藻場礁で藻場の回復・磯焼け対策が実施されていますか？ a. 実施している。 <b>※a.回答された方</b> ：いつ頃から実施されていますか。 <b>a-1</b> 今年から <b>a-4</b> 3年前 <b>a-2</b> 1年前 <b>a-5</b> 3年前より以前から <b>a-3</b> 2年前 <b>a-6</b> わからない b. 実施していない。 c. わからない。
<b>Q3</b> <b>※Q2でa.と回答された方</b> 藻場礁でどのような保全活動をされていますか？ a. 食害動物の除去                      b. 母藻投入・種苗移植                      c. ウニフェンス d. その他 (                      )	<b>Q4</b> 多面的活動などによって藻場が回復、あるいは拡大していますか？ a. している。                      b. していない。                      c. わからない。
<b>Q5</b> <b>※Q4でa.と回答された方</b> 藻場が回復したことで、漁獲が増えましたか？ 増えた。                      b. 増えていない。                      c. わからない。 <b>※a.回答された方</b> ：漁獲の上がった魚種等を下記に記入してください。	<div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>
<b>Q6</b> 最近、同じ保全活動を継続していても、思ったような成果が出なくなってきたと感じますか？ a. 感じる。                      b. 時々感じることもある。                      c. 感じない。	<b>Q7</b> 今後も活動を続けないと藻場の維持はできないと思いますか？ a. 思う。                      b. 少し思う。                      c. 思わない。                      d. わからない。
<b>Q8</b> 今後も活動を続けて行く上での課題・問題点を教えてください？	<div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>

図 5-14 アンケート用紙

【調査結果】

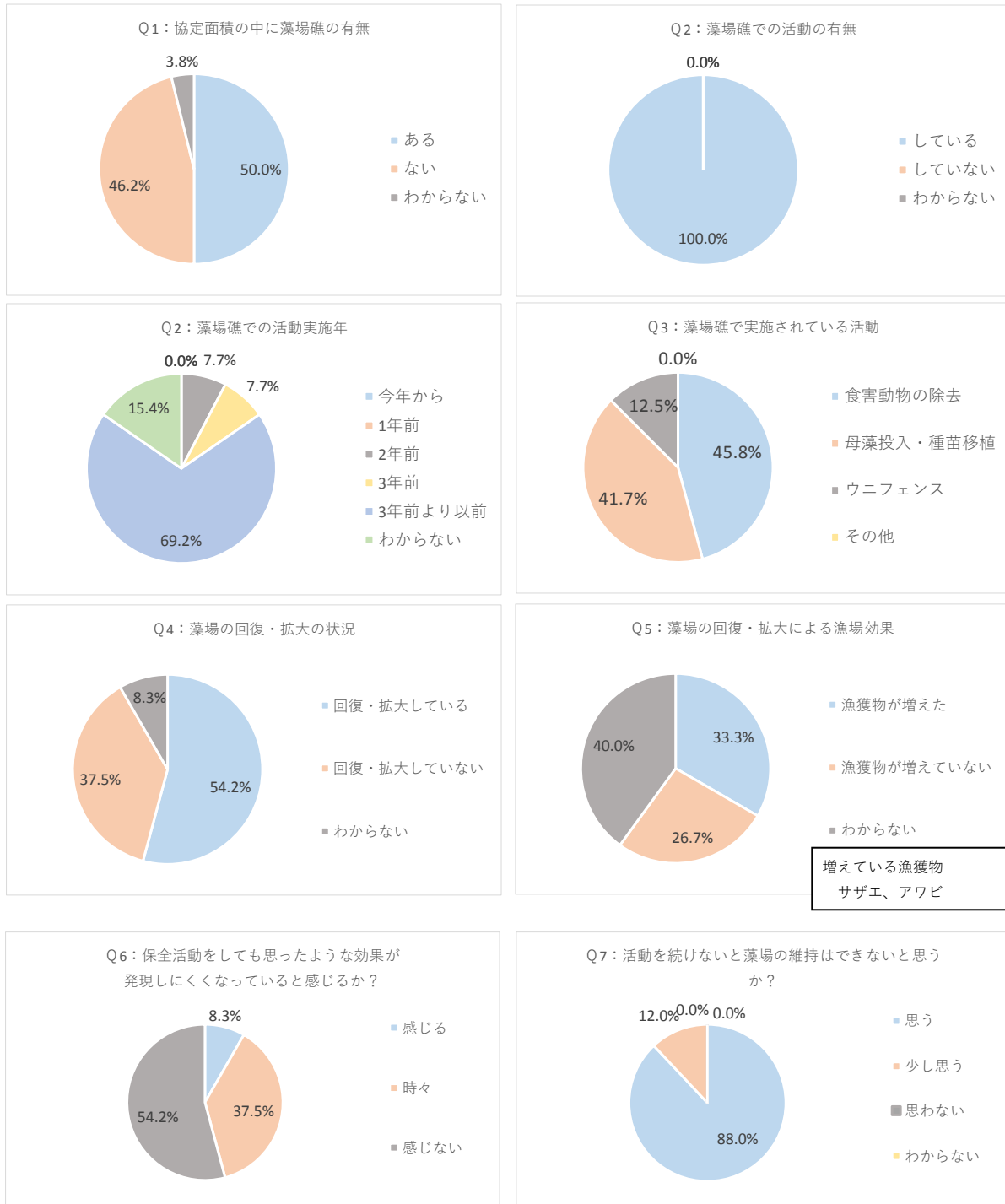


図 5-15 アンケート結果

3) 現行ガイドラインのレビュー

国の取組み、2017年、2019年のアンケート結果を踏まえ、現行ガイドラインの改訂に向けての課題・問題点を整理した（表 5-5 参照）。

表 5-5 現行ガイドラインの課題・問題点の整理（案）

項目	現 状	課題・問題点
実海域及び現場	① 藻場の減少、分布域と分布水深の変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>広域藻場分布の効率的なモニタリング</li> <li>藻場情報プラットフォーム</li> </ul>
	② 藻場衰退要因の複合化(植食動物の活発化、ホットスポット、塩分・栄養塩低下、濁りによる光不足、堆積物、波浪の激化等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>藻場衰退要因の適切な把握(地域で何が変化したかを正しく捉えられていない。)</li> <li>要因に対応した対策技術</li> </ul>
	③ 局所的に著しい磯焼け	<ul style="list-style-type: none"> <li>基質の設置、タネ供給、施肥、駆除等の実効性のある高い<b>複合対策手法</b></li> </ul>
	④ 藻場回復ネットワークの分断	<ul style="list-style-type: none"> <li>藻場回復ネットワークの解明</li> <li>藻場回復ネットワークの強化</li> </ul>
	⑤ 植食動物による食圧の増大、分布域の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>植食性魚類の動態解明(回遊、分布、資源量)</li> <li>植食性魚類の効率的な除去手法の開発</li> </ul>
	⑥ 植食動物の捕食動物の減少	<ul style="list-style-type: none"> <li>捕食動物を利用した藻場回復手法</li> </ul>
	⑦ 浮泥堆積による着生阻害	<ul style="list-style-type: none"> <li>藻場礁の機能及び設計手法の見直し</li> </ul>
	⑧ 海域栄養塩の低下	<ul style="list-style-type: none"> <li>実用的な施肥技術</li> </ul>
藻場ビジョンの推進	⑨ 局所的な藻場分布の把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>広域藻場分布の効率的なモニタリング</li> <li>藻場情報プラットフォーム</li> </ul>
	⑩ 局所的な藻場造成や保全活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>広域的な観点からの計画手法</li> <li>藻場回復ネットワークの解明</li> <li>藻場回復ネットワークの強化</li> </ul>
	⑪ 各地に協議会や部会を設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>藻場ビジョンに準拠した地域活動</li> </ul>
	⑫ 活動組織の設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>機動力の高い実働組織の設置</li> <li>活動する人手不足、高齢化、リーダーの不足</li> <li>藻場ビジョンとの連携</li> <li>時期、範囲等の適切な対策の実施</li> <li>漁港等に保全活動用シャワー等の確保</li> </ul>
	⑬ PDCA サイクル	<ul style="list-style-type: none"> <li>人材育成、専門家の派遣</li> </ul>
	⑭ 数値目標の設定とフォローアップ	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業成果の適切な評価</li> </ul>
ブルーカーボ	⑮ 2009年10月に国連環境計画(UNEP)の報告書において、海洋生物に取り込まれた(captured)炭素が「ブルーカーボン」と命名され、吸収源対策の新しい選択肢として提示された。	<ul style="list-style-type: none"> <li>藻場の保全・回復等のCO<sub>2</sub>の吸収源としての可能性の評価</li> <li>CO<sub>2</sub>吸収評価のための藻場のモニタリング技術</li> </ul>

## ② ガイドラインの見直しの方向性

表 5-5 の整理から課題・問題点を、改訂する磯焼け対策ガイドラインの構成カテゴリーに落とし込んだ（図 5-16 参照）。

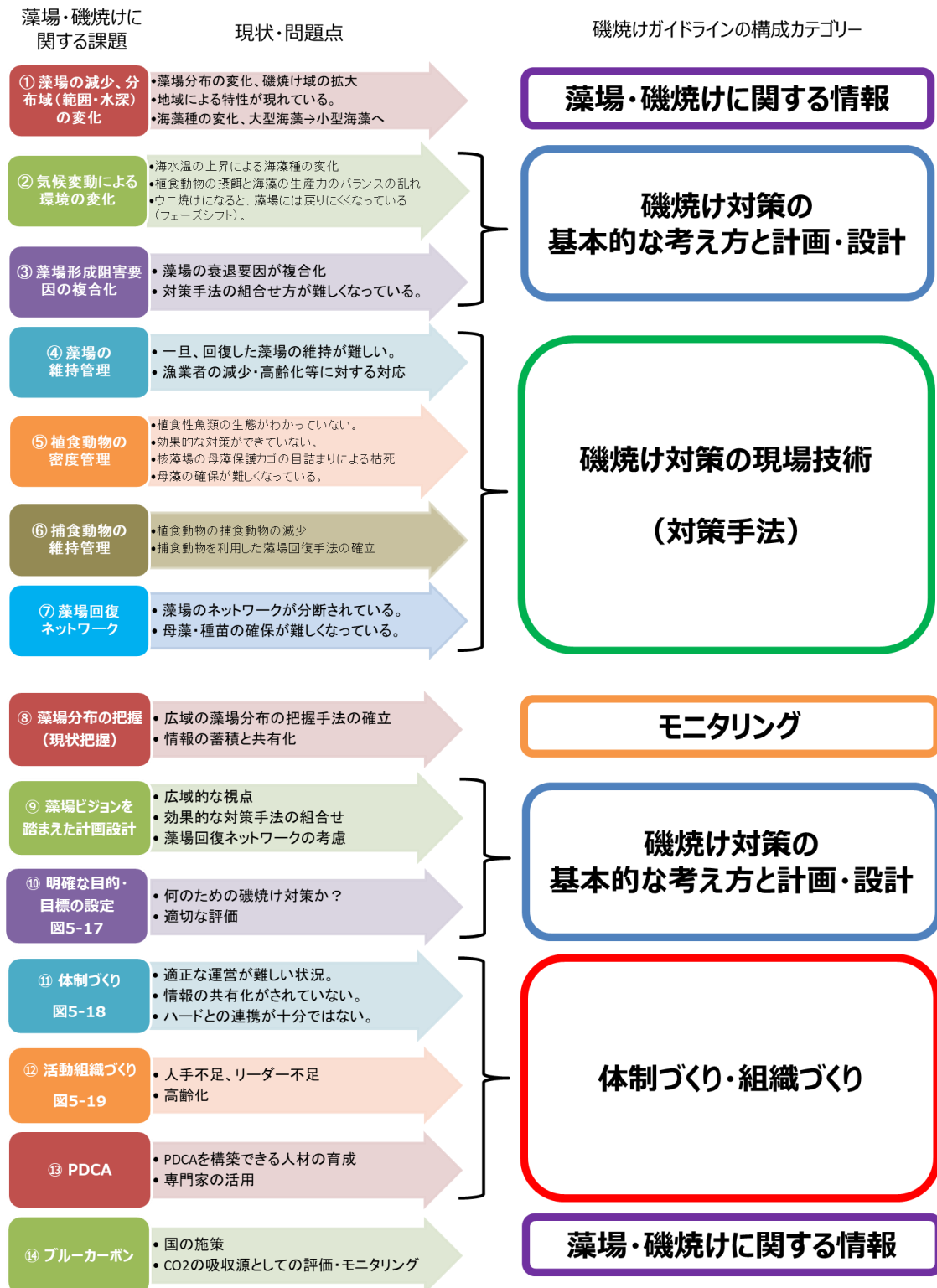


図 5-16 磯焼け対策ガイドラインの見直しの方向性

図 5-16 の中で特に、これまでのガイドラインでは、植食動物の摂食量と海藻の生産量とのバランスを整え、藻場を形成させることを目標とし、そのための磯焼け対策手法とその留意点を取りまとめてきたが、これからのガイドラインでは、**気候変動による環境変化の厳しい中**にあっても、PDCA サイクルを回して継続的に磯焼け対策を実施することで、藻場の維持・増大による水産資源の増大を目標とすることに改め、改訂するガイドラインでは、磯焼け対策技術のブラッシュアップに加え、計画・体制づくりを含めた総合的な取り組み方をまとめることが必要である。

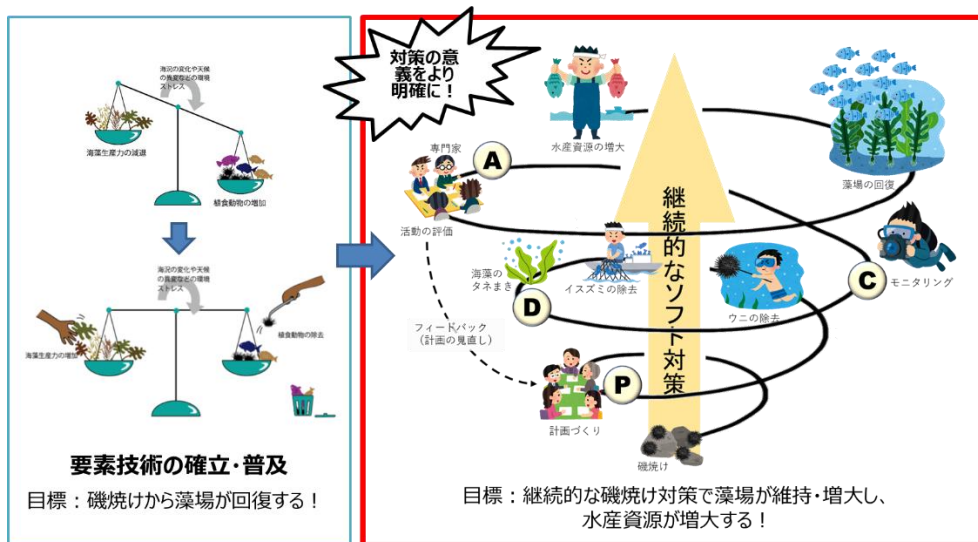


図 5-17 磯焼け対策の目的・目標のシフト

また、この目標を達成させるためには、確実な PDCA の実施のための体制づくり・活動組織づくりが必要である（図 5-18 参照）。そのための対策として、一部で実施されている専門家を活用した取り組みが重要と考えている（図 5-19 参照）。

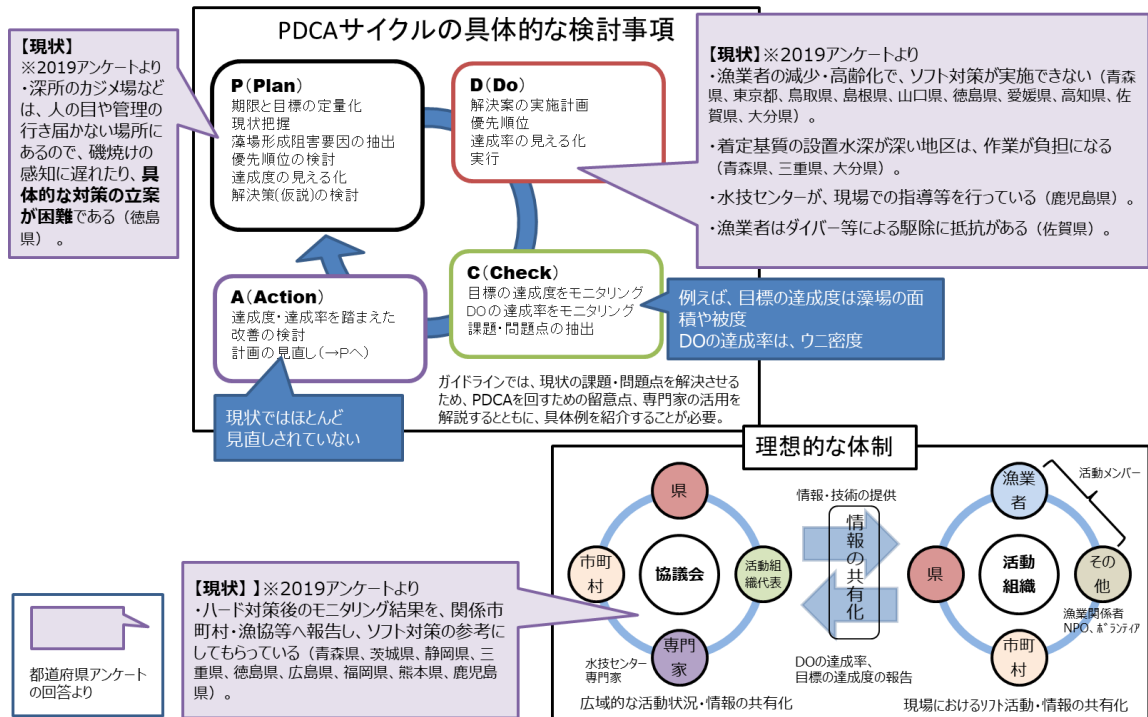


図 5-18 体制づくり・活動組織づくりの課題・問題点

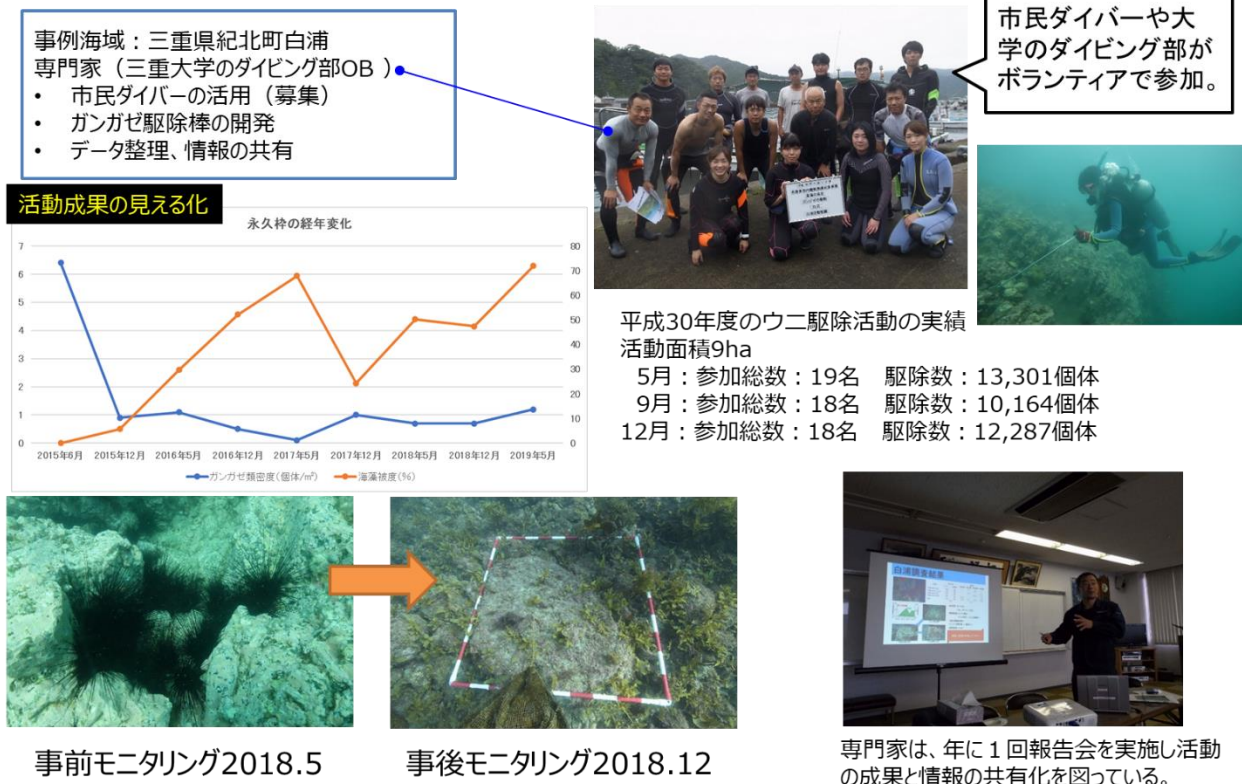


図 5-19 専門家を活用した組織づくりの事例（三重県）

### ③ 改訂版ガイドラインの骨子（案）の検討

②で検討された改訂版ガイドラインの全体像（図 5-20 参照）をもとに、改訂版ガイドラインでは内容の拡大と 2 つの章を追加する目次構成とした（図 5-21 参照）。

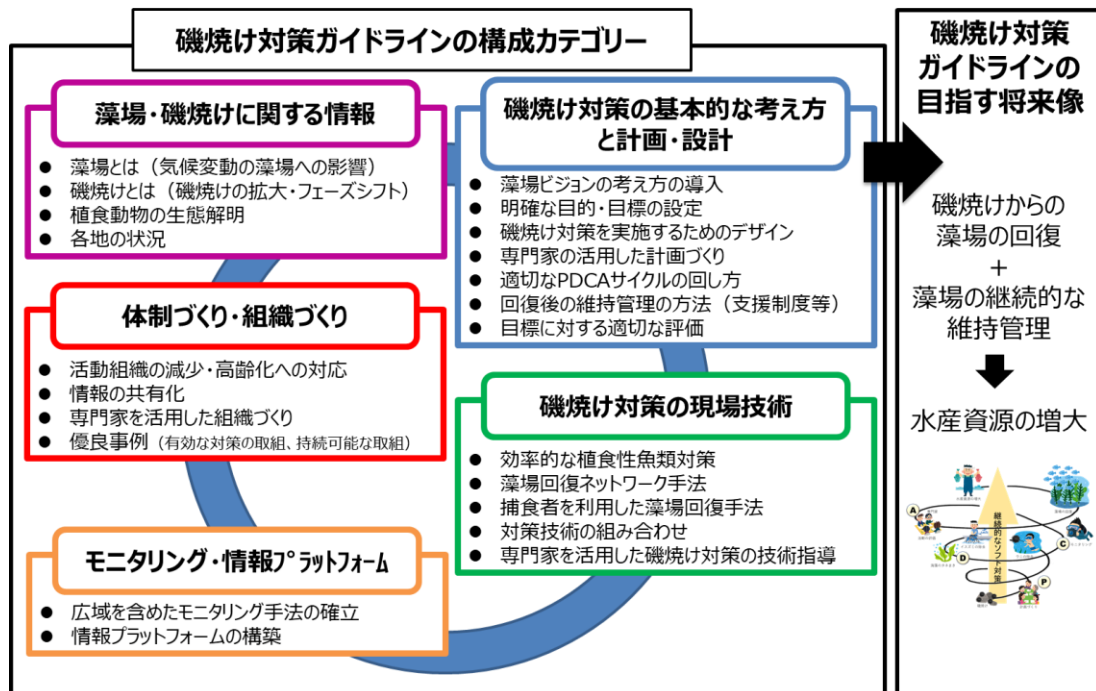


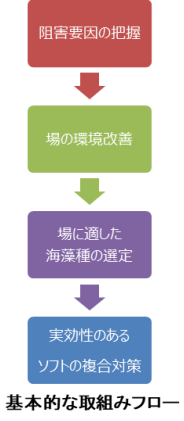
図 5-20 改訂版藻焼け対策ガイドラインの全体像

<p><b>【目的】</b> 本調査では、藻場の回復・保全技術、維持管理技術及びモニタリグ技術の一連の検討を行い、藻焼け対策ガイドラインの改訂を行う。</p>	
<p><b>【現行】</b> はじめに 1. ガイドラインの趣旨 2. 藻場とは 3. 藻焼けとは 4. 藻場・藻焼けに関する最近の知見 5. 藻焼け対策の手順 6. 植食動物の有効利用 7. 藻焼け対策の実施事例 参考資料</p>	<p><b>【改訂案】</b> はじめに 1. ガイドラインの趣旨 2. 藻場とは (内容の追記・更新) 3. 藻焼けとは (再編成、内容の追記・更新) 4. 我が国沿岸の藻焼けの現状 (全国版に拡充) 5. 藻焼け対策の計画・体制づくり (新設) 6. 藻焼け対策手法 (技術の拡充・更新) 7. 藻焼け対策の取組み (優良事例の増) 8. 持続可能な取組み (優良事例の増) 9. 情報の共有化と専門家の育成・活用 (新設) 参考資料</p>

図 5-21 改訂版藻焼け対策ガイドライン見直し（案）



この中で新設する5章と9章については、次の理由と内容で新設する予定である（表5-6参照）。

章	新設理由	内 容
5章	<p>従来は現場でソフト対策を進める上での実行計画づくりの考え方を示されているだけであったが、改訂版ガイドラインでは、国が考える藻場・干潟ビジョンの基本的な考え方（広域的な視点、ハードとソフトの組合せ、PDCAサイクルの構築）を踏まえ、継続的に磯焼け対策を実施することで、水産資源を増大させることを目標とする計画づくりとそのための体制づくりを示す。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・藻場ビジョンの考え方を踏まえ右図の磯焼け対策の基本的で取り組む。</li> <li>【計画づくりにおける留意事項】</li> <li>・水産資源の増大を目的とする磯焼け対策</li> <li>・PDCAサイクルを構築した取組み</li> <li>・植食動物の除去+海藻のタネの供給をセットで実施する</li> <li>・ハードと連携して取組む</li> <li>・回復後も継続的に管理が可能である</li> <li>・専門家の活用</li> </ul> 
9章	<p>現在、全国の活動組織、試験研究機関、行政等で収集されている藻場に関するデータが一元化されていない。この藻場に関するデータを集約させることでビッグデータ化し、藻場ビッグデータを用いた磯焼け対策の問題解決、あるいは情報コンテンツ・新たな有益な情報発信の場として、関係者間で共有できるプラットフォームを構築して行く（図5-22参照）。改訂版ガイドラインでは、藻場情報プラットフォームの構築と活用方法を示す。</p> <p>また、併せて、藻場情報プラットフォームを活用し、調査・計画立案から現場指導までと幅広く磯焼け対策に関する知識と経験を身につけた専門家育成のための制度づくり（メンター制度）とその活用方法を示す。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・藻場に関する情報の共有化藻場に関する情報プラットフォームの構築の考え方</li> <li>・情報化するデータの標準化</li> <li>・利用ルール（標準仕様）</li> <li>・システム構成</li> <li>・専門家制度（メンター制度）の構築</li> </ul>

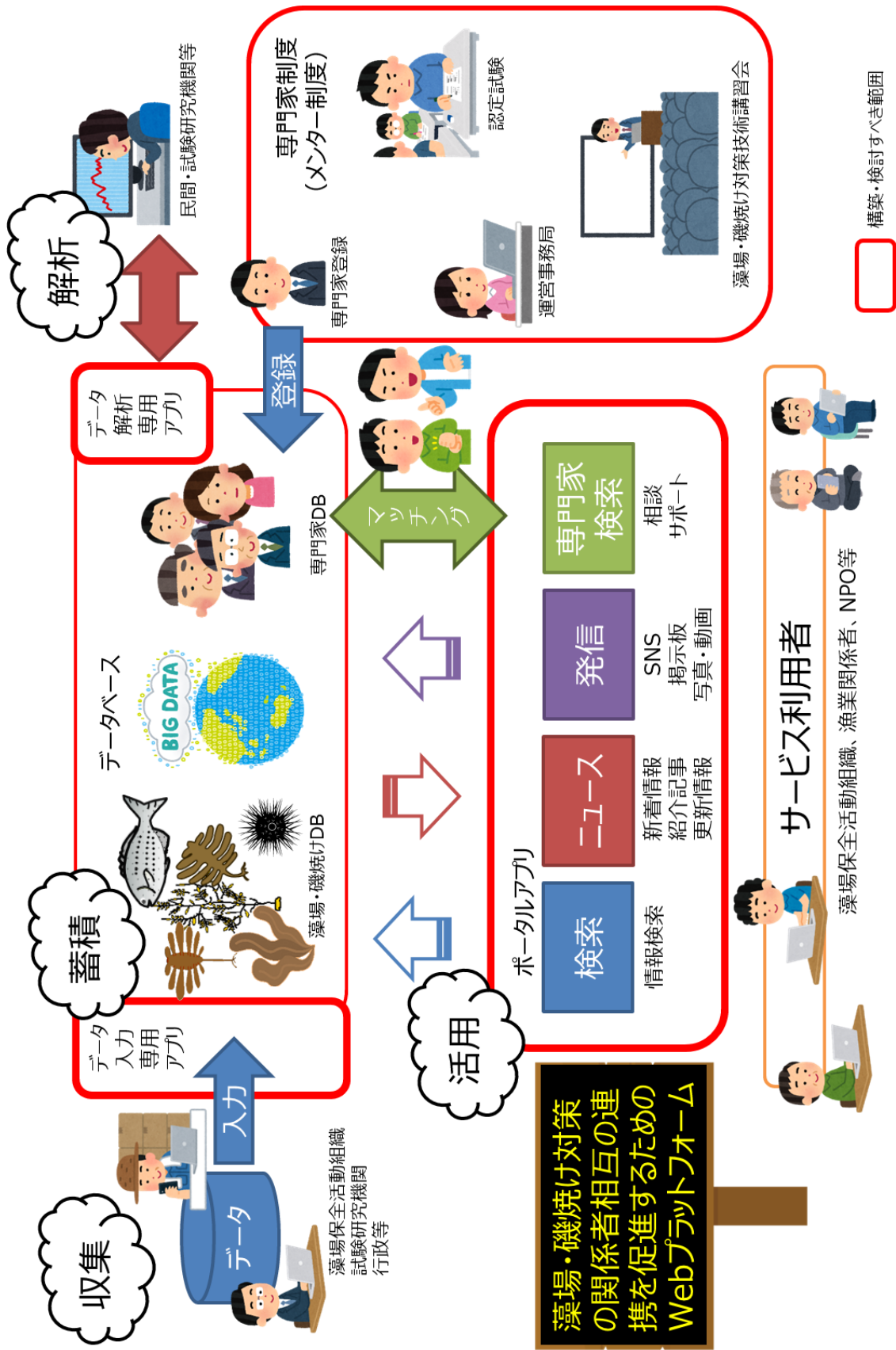


図 5-22 漁場情報プラットフォーム (イメージ)

表 5-6 (1) 改訂版磯焼け対策ガイドラインの骨子 (案)

章	目次(案)	記述ポイント	追加事項	調査項目・方法	スケジュール	備考
	まえがき はじめに					
1章	1. ガイドラインの趣旨	・気候変動による各地の藻場の状況 ・磯焼け対策技術のブラッシュアップ ・計画・体制づくりを含めた総合的な取り組み方	・気候変動による影響を追記する。 ・継続的な磯焼け対策による水産資源の増大を示す概念を示す。			
2章	2. 藻場とは 2.1 藻場の区分 2.2 藻場の役割 2.3 藻場構成種の生活史 2.4 藻場の季節的消長	<b>【藻場に関する基礎と黄な情報】</b> 2.2>藻場の水産的役割・重要性の強調。 2.2>ブルーカーボンの機能の追加。 2.4>現行 4.5 に記述のある四季藻場、春藻場を追加記述。	・ブルーカーボンの機能を記述する。	・既存資料(港空研等)のレビューする。		
3章	3. 磯焼けとは 3.1 磯焼けの定義 3.2 磯焼けの影響と回復までの期間 3.3 我が国の磯焼けの原因としくみ 3.4 磯焼け海域の概観と事象の特徴 3.5 磯焼けと区別すべき景観・事象  3.6 我が国の磯焼けの変遷 3.7 トップダウン・ボトムアップのコントロールおよび攪乱	<b>【磯焼けに関する基礎的な情報】</b> 3.1>定義、磯焼け診断指針の問題点を指摘 3.2>磯焼け研究の始まりについて解説 3.3>磯焼けの発生・継続による磯根資源の変化について解説 3.4>日本の磯焼けの原因としくみを解説 3.5>磯焼けの景観。磯焼けと無節サンゴも関係を解説。磯焼けとは異なる現象について解説 3.6>磯焼けの1900～現代までの経時的な拡大状況を解説 3.7>ウニと海藻の関係とは別に栄養塩と海藻との関係、バランスについて解説	・現行「3.6 磯焼け研究の事始め」と統合する。 ・気候変動による藻場への影響。 ・現行「3.8 ウニや魚の食害による磯焼け」と統合する。 ・現行「3.7 磯焼けの増加と拡大」と統合 ・3.7 わかりやすい図を作成する。			
4章	4. 我が国沿岸の磯焼けの現状 4.1 藻場の衰退状況 4.2 ウニの分布と藻場の衰退 4.3 植食性魚類の分布と藻場の衰退 4.4 海区别的磯焼けの特徴	<b>【各地の藻場・磯焼けに関する情報】</b> ・4.1>全国の最新情報の整理 海藻種の変化を記述する。 ・4.2>最初にキタムラサキウニ、ムラサキウニ、ガンガゼの生態的特徴の概略を記述する。 ・4.3>最初にアイゴ、イスズミ、ブダイの生態的特徴の概略を記述する。 ・4.4>海区别的に磯焼けの特徴を、既存資料(藻場ビジョン報告書、アンケート調査等)を参考に記述する。	・現行ガイドラインの図表の更新 ・キタムラサキウニ、ムラサキウニ、ガンガゼの生態的特徴。 ・アイゴ、イスズミ、ブダイの生態的特徴。  ・地域ブロック単位(8ブロック程度)の藻場の状況・海藻種の変化、衰退・回復要因及び対策の特徴を記述・地図化する。	・藻場ビジョン報告書(48 海域分)、都道府県を対象としたアンケート調査からデータを整理して、図表等に取りまとめる。 ・増殖場データベースから一定期間経過した藻場礁(2000 年以降)情報を入手し、アンケート調査で藻場の状況を把握する。	・アンケートは4月、5月末までに集計する。	
5章	5. 磯焼け対策の基本的な考え方と計画・設計 5.1 藻場造成と磯焼け対策の考え方  5.2 実効性の高い磯焼け対策の視点  5.3 計画づくり 5.4 体制づくり 1)都道府県・市町村の体制 2)活動組織の体制 5.5 維持管理 5.6 事業評価の考え方	<b>【磯焼け対策の基本的な考え方と計画・設計】</b> <b>【体制づくり・組織づくり】</b> ・5.1>現行 3.11 と藻場ビジョンの考え方を踏まえた計画づくりを示す。 * 水産基盤整備の藻場造成の考え方(従来)、磯焼け対策としてのハード・ソフトの考え方を整理して記述 ・5.2>下記の内容を記述する。 * 水産資源の増大を目的とする磯焼け対策であること * PDCAサイクルの取組み、最低限必要な事項を示す * 活動組織の人材不足と高齢化に対応した計画づくりとすること * 磯焼け対策支援として専門家を活用すること(詳細は9章)。 * 植食動物の除去+海藻のタネの供給をセットで実施すること * ハードと連携して取組むこと * 回復後も継続的に管理(メンテナンス)が可能であること ・5.3>5.2 の視点を考慮した実施フローの作成と各項目の検討事項や留意事項を記述する。 ・5.4>藻場ビジョンから PDCA の優良事例を抽出して紹介する。 ・5.5>一旦回復した藻場の適切な維持管理の方法を記述する。	・各県の藻場ビジョン(藻場造成と磯焼け対策)(48 海域/90 海域)の考え方を整理した上で、磯焼け対策の基本的な取組み方を示す。 ・多面的の優良事例の整理から、体制づくりの必要性を解説する。 ・活動組織の弱体化(漁業者の減少・高齢化)で対策が十分でない場合でも、専門家を活用することで、適正に PDCA を回すことができることを解説する。 ・磯焼け対策の計画づくりにおける留意事項を基本的な取組みフロー(右図)に沿って解説。上記の視点をもって考える計画づくりの流れを示す。 ・一旦回復した藻場の維持管理の必要性と維持方法の考え方を解説する。 ・磯焼け対策による成果の評価の考え方を解説する(例えば、目標の達成度は藻場の面積や被度達成率は、ウニ密度)。	・藻場ビジョン報告書、多面的報告会の発表者を参考にヒアリングを実施する。 ・実施体制・PDCA については、アンケート調査、その後ヒアリングを実施する。	・6 月までにヒアリングを終える。	

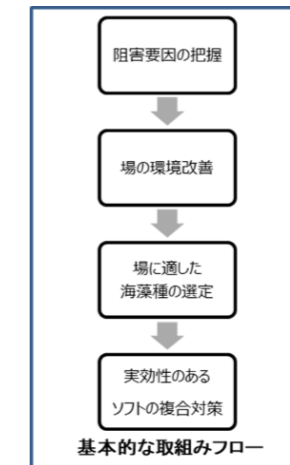


表 5-6 (2) 改訂版磯焼け対策ガイドラインの骨子 (案)

章	目次(案)	記述ポイント	追加事項	調査項目・方法	スケジュール	備考
6章	6. 磯焼け対策手法 6.1 磯焼けの感知 A. 磯焼けの感知 6.2 現状把握 B1. 現状把握調査とそれに基づく要因の特定 B2. 要因を特定するための簡易な現地実験と調査 B3. 衛星やドローンを活用した藻場分布の調査手法 6.3 磯焼け対策手法 E1. ウニの除去 E2. 魚類の除去 E3. フェンス E4. 海藻のタネの供給 E5. 基質の提供 E6. 基質形状の工夫 E7. 栄養塩の供給 E8. 流動促進 E9. 捕食者の利用 E10. 開発途上の技術 6.4 対策技術の組合せ 6.5 モニタリングと対策の評価	<b>【磯焼け対策の現場技術】【モニタリング】</b>  ・6.2> 衛星やドローンを活用した藻場分布の画像解析手法とその精度も記述する。  ・E2>ブダイのはえ縄、イスズミトラップの効率的な漁獲方法を記述する。駆除効率と効果の持続率も記述する。 ・E3>フェンスの作り方を記述する。 ・E4>ネットワークを考慮した藻場回復手法を追加する。 * 母藻の安定供給の方法を記述する。 * 母藻の採取と保管方法を記述する。 * 移殖海藻の着生率の向上(取付時の留意点)を記述する。 ・E5>浮泥堆積は基本現行通り。漁港漁場新技術の藻場礁に関する情報を確認する。 ・E7>基本現行通り、最近の知見に更新する。 ・E9>捕食者を利用した藻場回復手法の方法を記述する。  ・6.4>植食動物の除去と海藻のタネの供給等の組合せ手法を記述する。  ・6.5>既往の文献や水産多面的で実施されている評価の考え方を参考に記述する。	・考え方は現行と概ね同じとし、活動組織保全活動の実態(活動面積、時期、人数、対策方法等)を成果の上で比較分析、活動組織の困っている点、専門家の活用の有無、より丁寧に要素技術を解説する。  ・E1:人の目や管理の行き届かない場所における磯焼けの感知はどうしたらよいか? ・E1:深の深い場所におけるウニの除去方法 ・漁港漁場新技術が紹介する磯焼け対策用の藻場礁の紹介。 ・栄養塩の供給は、最新情報があれば更新する。 ・E8:嵩上げ礁の設計方法を紹介する。 ・6.4:大分県名護屋の事例等を参考に複合対策の事例を紹介する。	・多面的の報告書(水産庁)、活動組織(約300組織)を対象にアンケート調査を実施。データを整理して、活動成果の分析・解析を行う。	・アンケートは4月、5月末までに集計する。	
7章	7. 磯焼け対策の取組み 7.1 浅子(長崎県)のウニ駆除とフェンスによる藻場の再生 7.2 崎山(長崎県)のイスズミトラップによる藻場の再生 7.3 名護屋(大分県)のブダイ駆除による藻場の再生 7.4 志摩市甲賀(三重県)ハード整備による藻場の再生 7.5 徳島県・福岡県の大型石を用いた藻場造成 7.6 神恵内村(北海道)嵩上げ礁 7.7 外海(長崎県)学生が参加する磯焼け対策 7.8 相島(福岡県)海藻ネットワークによる藻場の再生 7.9 沼津平沢(静岡県)藻場の再生と維持管理 7.10 捕食者を利用した藻場回復手法	<b>【事例紹介】</b> 7>優良事例を記述する。 ※左の地区は現時点での候補地に変更する可能性がある。		・アンケート・ヒアリングから優良事例を絞り込み、現地の取組みの実態を把握する。 ・ヒアリングで面積あたりの原単位や仕事量を把握する。	・7月までに優良事例候補を絞り込む。	7.1の浅子は豊かな海づくり大会で受賞 7.2崎山、7.7外海は新聞で紹介 7.5大型石を用いた藻場造成は磯焼け対策全国協議会で発表 7.8相島は磯焼け報告会で発表
8章	8. 持続可能な取組み 8.1 キャベツウニ(神奈川県)・冬ウニ(北海道) 8.2 ウニ殻堆肥(鹿児島県) 8.3 植食性魚類の料理・定食(長崎県) 8.4 アイゴの燻製(城ヶ島、東町)	<b>【事例紹介】</b> 8>優良事例を記述する。 ※左は現時点で把握している取組みの候補地。		・アンケート・ヒアリングから優良事例を絞り込み、現地の取組みの実態を把握する。	・7月までに優良事例候補を絞り込む。	
9章	9. 情報の共有と専門家の育成・活用 9.1 情報の共有化 9.2 専門家の育成・活用	<b>【情報プラットフォーム】【体制づくり・組織づくり】</b> ・藻場情報プラットフォームの構築する内容を記述する。 ・計画の立案・アドバイスができる専門家の新規登用・認定制度の構築等を記述する。		・都道府県と活動組織を対象としたニーズアンケート調査を実施。	・アンケートは4月、5月末までに集計する。 ・7月までにフレームの構築。 ・7月までにメンター制度の骨子づくり。	
	参考資料1 用語説明 参考資料2 許可・法律関係 参考資料3 主な海藻 参考資料4 代表的な植食動物	参考資料1>追加・修正 参考資料2>改訂に合わせて修正 参考資料3、4>現行通り				
	コラム・技術資料	内容の全体的な見直し	・高水温適正株の移植後の効果 ・水産有用種の好む藻場の種類			

## f 今後の課題

小課題 1 について：

### (ア) 藻場調査に関するマニュアルの検討

真鶴町沿岸における調査では潜水、船上カメラ、音響測量、ドローン空撮により藻場分布の把握を試みた。ただし、衛星画像については組み込めなかったものの、同時期のアーカイブ画像を解析することで比較することができると考えられる。

また、空中写真による藻場判別の教師データとして潜水や船上観察によりスポット（点）データを取得することが必要となる。今回は潜水調査と船上カメラにより現地データを取得したが、空中ドローンや ROV（Remotely Operated Vehicle）を用いることでより効率的に教師データを取得できる可能性があり、その方法についても検討することが必要と考えられる。

### (イ) 画像を活用した広域藻場モニタリング手法の検討

人工衛星については、精度 80%以上での藻場の有無判別が可能であることを検証できた。今後、新規打ち上げが活発な新しい人工衛星の利用や他の手法との組合せ等を含め、精度を確保するあめの解析手法をマニュアルとしてとりまとめる必要がある。

ドローン画像については、精度 80%以上での藻場の有無判別だけでなく、被度の把握や褐藻、紅藻、緑藻の綱別判読の可能性があり、その検証を行うとともに、現地調査方法を含めてマニュアルとしてとりまとめる必要がある。

水中カメラ画像については、海藻種を増やして、より汎用的な適用条件における精度検証が必要である。

小課題 2 について：

### ① ブダイのバイオテレメトリー調査

本調査により、ブダイの適切な除去範囲は 2km 程度のスケールであることが示唆され、地先レベルの対策でも十分に対応できると考えられた。また、ブダイは定住性が高く、適切な除去範囲を設定すれば DeLury 法の前提条件を満たす可能性が高いと考えられた。しかし、本調査で 1 か月以上の長期間のデータが取れた個体は 9 個体に限られており、今後は結果の信頼性を高めるために、より多くの個体で調査する必要がある。また、本研究成果が他の海域でも確認できるような一般性のあるものか否かについても検証する必要がある。

### ② 植食性魚類の除去とその食圧の関係性の評価

現在の磯焼けガイドラインでは、ブダイの除去手法として、刺網による除去を推奨している。しかし、本調査により、刺網で強い漁獲圧をかけても小型個体や大型個体で取り残しが生じることが示唆された。このため、大型海藻がほぼ消失している状況下では、刺網だけでは残された大型海藻への食圧を十分に減少させることが難しいと考えられた。今後は、クロメへの食圧を減少させるために、ブダイの大型個体と小型個体を除去する技術を開発するとともに、クロメの現存量を増やす取り組みを実施する必要がある。

### ③ 有効な除去技術の開発・検討

本研究により、刺網では中型個体が、延縄では大型個体が比較的良好に漁獲できることが明らかとなり、この 2 つの漁法を組み合わせることでブダイを効率的に除去でき

る可能性が示唆された。一方で、小型個体は取り残しており、その漁獲手法の開発が課題として残された。今後は、延縄の鈎や餌のサイズを工夫することで小型個体が漁獲できないか検討する必要がある。また、延縄については試験的に実施したことから、実施回数が少ないため、追加試験を実施し、再現性を検証する必要がある。また、アマモは本調査で釣獲率が低かったが、イガメ藻（イガメ＝ブダイの俗称）の名称でブダイの磯釣りに使われている。アマモは凋落期（秋）を除き容易に入手できるので、延縄を毎年実施する上で重要な餌となる可能性が残されている。

#### ④母藻設置実験（次年度の調査に向けた取り組み）

クロメの幼体の出現状況が悪い場合、タネ播きに使ったスポアバッグの活用なども検討する必要がある。

#### 小課題3について：

高知県池ノ浦地区では、イセエビの捕食とウニの生息密度との関係が明瞭になっていない。イセエビの捕食の影響範囲を推定するため、捕食圧（係留実験による測定を想定）を測定し、それとウニ密度との関係を調べる必要がある。

鹿児島県指宿地区では、放流した大型イセエビの影響を追跡調査し、同様の手法の有効性を検討する。

イセエビによるウニ捕食の影響が明らかになりつつあるが、分布域が重なるガンガゼに対しては捕食の影響が全くわかっていない。水槽実験によりその影響を明らかにする必要がある。

ウニの捕食者としてのイシガニの影響が明らかになりつつあるが、海藻の再生までつながるかというカスケード効果は実証されていない。イシガニにより海藻が再生することを現地のゲージ実験により検証する必要がある。

得られた結果を踏まえて「捕食者を利用した藻場回復の手引き」（案）を改訂する必要がある。

#### 小課題4について：

植食動物の除去により回復した藻場が基点となり、除去対策をしていない周辺に藻場が広がった事例を収集し、①種供給、②流況、③食害、④海域環境等の観点から成功要因を分析し、「磯焼け対策ガイドライン」の「計画づくり」に具体的に反映させていく必要がある。また、この考え方は、下記に示す「九十九島海域」、「三浦半島西岸海域」の取組を通じて実証する必要がある。

九十九島海域（長崎県佐世保市）の小佐々地区の取組について

①本年度確認できたホンダワラ類は芽生えが早いと思われる一部の種のみであり、多くの種の出現を確認できていない。さらに繁茂期となる春期の状況を確認する必要がある。

②流れ藻キャッチャーによる流れ藻の収集量が一過性でなく再現性があることを確認する必要がある。また、周辺の藻場繁茂状況と流れ藻量を本年度と比較し流れ藻量の傾向を探る。

③これらの結果を加え、最終的にネットワークとソフト対策を組み合わせた藻場回復手法の有効性を評価する。

三浦半島西岸（神奈川県横須賀市）の久留和地区の取組について

①今回確認された幼体が生長・生残し、どの程度の藻場となるかを半年程度経過後に確認する。また、幼体の段階ではアラメとカジメを判断できないため、夏期もしくは秋期にモニタリング調査を実施し確認する必要がある。

②本海域では近年アイゴによる食害がアラメ・カジメ場衰退の大きな要因となっているため、少なくともアイゴの食害の影響が大きくなる秋期まで調査を継続し、アイゴの食害に対して藻場を維持できるか、またはアイゴ対策を別途要するのかを調査する。

小課題5について：

本年（1年目）に検討された「改訂版 磯焼け対策ガイドライン」の骨子に沿って、2年目は不足している項目についてのアンケート調査やヒアリング等を実施し、効率的にガイドライン改訂案作業を行いながら、検討委員会に諮って「改訂版 磯焼け対策ガイドライン」を取りまとめる。

# 広域藻場モニタリングの手引き（案） ver. 200220

## 目次

- 1 マニュアルの目的
- 2 用語の定義
- 3 マニュアルの利用方法
- 4 藻場調査の目的別調査方法の選択
  - (1) 藻場調査の目的について
  - (2) 藻場調査に求められる精度について
  - (3) 藻場調査の目的等に応じた調査手法
  - (4) 藻場調査手法選択のためのフローチャート
- 5 藻場調査方法の概要
  - (1) 潜水観察による方法
  - (2) 船上から観察する方法
  - (3) 音響測量による方法
  - (4) 衛星画像による方法
  - (5) 航空機+Digital Mapping Camera の空撮画像による方法
  - (6) 航空機+ALB（航空レーザー測深）による方法
  - (7) 無人飛行機の空撮画像による方法
  - (8) 藻場モニタリング手法の利点・欠点の比較
- 6 藻場調査の実施方法
  - (1) 潜水観察による方法
  - (2) 船上から観察する方法
  - (3) 音響測量による方法
  - (4) 衛星画像による方法
  - (5) 航空機の空撮画像による方法
  - (6) 無人飛行機の空撮画像による方法
- 7 実用事例
- 8 藻場の時系列変遷を調べる
- 9 課題
- 10 参考資料



## 1 マニュアルの目的

近年、全国的に藻場が衰退する磯焼けが問題になっており、水産庁は、漁業者自らが主体となって藻場の回復を計画・実行できる具体的な対応策を系統的にまとめた「改訂磯焼け対策ガイドライン」を平成27年3月に示した。この中で、藻場調査については、主に地先レベルまでの局所的な範囲を対象とした手法（潜水調査、船上調査、音響測深機調査）が紹介されている。

一方、「藻場・干潟ビジョン」では、対策実施箇所に止まらず、湾、灘スケール程度の広域なモニタリングを行い、広範囲の海域環境の変化を把握することの重要性を指している。実際、人口衛星、航空機、無人航空機（ドローン等）による空撮画像から、広域の海洋環境を把握することが普遍的になってきている。そのため、現在では調査範囲の広さや調査目的に応じた手法を用いることで、より効率的に藻場分布を把握できるようになってきた。

しかし、これまで既存の藻場調査手法を網羅し、漁業者、国・都道府県等の行政機関、研究機関等が、それぞれの藻場調査目的によって適切かつ経済的な調査方法を選択するための指針はなかった。また、これまで藻場調査の手法について標準化が行われておらず、過去や他海域との比較が容易ではないという問題もある。

以上を踏まえて、「磯焼け対策」における広域藻場モニタリングに関する調査マニュアルを作成するものである。

## 2 用語の定義

マニュアルで使用されている用語の定義は次のとおりである。

表2. 本マニュアルで使用されている用語の定義

※ 定義について、素案内容として例示したものである。

用語	定義（解説）
藻場	沿岸の浅海域において海藻あるいは海草が繁茂している場所あるいはそれらの群落群や群落内の動物を含めた群集のことをいう。
マニュアルの利用者	漁業者：漁業者、漁業協同組合、漁業者が組織する研究会等と言う。 行政機関：国、都道府県、市町村で試験研究機関を除いたものと言う。 研究機関：大学、国・都道府県、独立行政法人等の試験研究機関と言う。 NPO：藻場の保全回復活動を行う組織と言う。
被度（景観被度）	海藻が海底面に占める割合 海底を直上から見て、ある景観区分の投影面積の合計が海底面に占める割合(%)である。各区分の合計は必ず100%となる

調査海域の範囲	地先：アワビ、サザエ等磯根資源を採捕している漁業者から通常漁場としている範囲 小湾：名護屋湾、小田和湾など数km <sup>2</sup> ほどの範囲 湾：東京湾、相模湾などの規模の湾を指す 灘：遠州灘、播磨灘のように海岸線の長さが数十キロ程度ある海域
精度 (正答率)	潜水調査で得られる情報を100%の精度（正答率）としたとき、他の調査手法で得られる情報の精度とする。
〇〇〇〇	

### 3 マニュアルの利用方法

このマニュアルは、藻場調査の代表的な手法である潜水調査だけでなく、他の調査手法についても、得られる情報、その精度、必要な機材、調査方法、調査時間、必要な費用等について整理し、空撮画像や潜水調査によって得られた画像の標準的な分析方法について、解説している。しかし、マニュアルの内容には専門的なものも含まれるので、利用者が調査目的に応じて適切な調査手法を選択することは、必ずしも容易ではない。そこで、利用者は、4-(4) 藻場調査の目的別調査方法の選択に示したフローチャートに応じて選択していけば、利用者の属性、調査目的、必要とする情報精度等から適切な調査手法を選択できるようにする。

また、複数の調査方法を組み合わせることによって、より広い範囲を少ない労力で調査できる方法も選択できるように工夫している。

### 4 藻場調査の目的別調査方法の選択

調査目的によって必要とする情報は、藻場（大型海藻）の有る無し程度から海藻の種類毎の被度、底質被度、食害生物の状況の把握を求める場合まで様々である。県レベルの広範囲の調査においても可能な限り細かい情報を得ることが理想であるが、調査時間、費用等の面から実際に行うのは困難である。一方、全国的に磯焼けの進行が年々進んでおり、前年度には健全な藻場であったところが、今年は藻場の衰退が認められる事例があり、得られる情報は限られていても広範囲を迅速な調査を求められる場合もある。

そこで、調査目的、調査範囲、費用等から適切な方法を選択できるようにする必要がある。

#### (1) 藻場調査の目的について

藻場調査の目的には、藻場の現状把握、経年変化や他海域との比較等、藻場衰退要因の

把握、磯焼け対策効果の検証が考えられる。情報・精度は、海藻の種類、量、底質の状況、植食動物の種類、量に関し全て得られるのが理想であるが、調査目的によっては、これら全ての情報を必要としない場合もある。本マニュアルでは地先といった小さなスケールから灘、県といった広域レベルまでの藻場の（ア）現状や（イ）経年変化を把握することを目的とした、調査手法を紹介する。

#### ア) 現状把握（地先、湾、灘、県）

藻場の現状把握をとり、限られた期間、予算の中で灘、県レベルで調査する場合と地先、小湾レベルで調査する場合では調査手法は異なってくる。小規模な海域を対象とする場合には、潜水調査、船上調査が得られる情報量の多くの場合適しているが、灘、県レベルの範囲を短期間で調査する場合には、空撮画像の利用を検討する必要がある。

#### イ) 経年変化の把握

過去の調査において撮影した藻場の画像や衛星画像等が利用できる場合には、同様の空撮画像において画像処理技術を活用することによって比較可能である。被度を比較する場合には、調査方法の違い等を考慮する必要がある。

### (2) 藻場調査に求められる精度について

調査目的、調査範囲によって求められる情報や精度は異なってくる。例えば、調査範囲が県レベルで、行政機関が施策の必要上藻場の面積を把握することが目的であれば、衛星や航空機で取得した画像から判別すれば、十分な精度を得ることは可能である。しかし、漁業者が磯焼け対策を実施するのであれば、地先について海藻の種類、量、植食性生物の種類、量等について知る必要があり、潜水調査か船上調査の実施が必要である。

また、灘・県レベルの調査範囲で精度の高い情報を得るには、調査時間や費用が制限要因となるので、目的によっては潜水調査、船上調査と空撮画像を組み合わせることも必要となる。

### (3) 藻場調査の目的に応じた調査手法

調査の選択に当たっては、調査目的、調査主体の所有している技術、予算等によって調査方法は限られてくる。そのため、このマニュアルの利用者は自ら所有する調査機材、技術、予算等の条件を考慮して適切な選択をしなければならない。

目的や精度、調査範囲に応じた手法を簡便に選択できるように次ページにフローチャートを作成した（図 4-(4)-1～図 4-(4)-3）。このフローチャートに従えば、自分の調査に用いるべき手法が選ぶことができる。

(4) 藻場調査手法選択のためのフローチャート

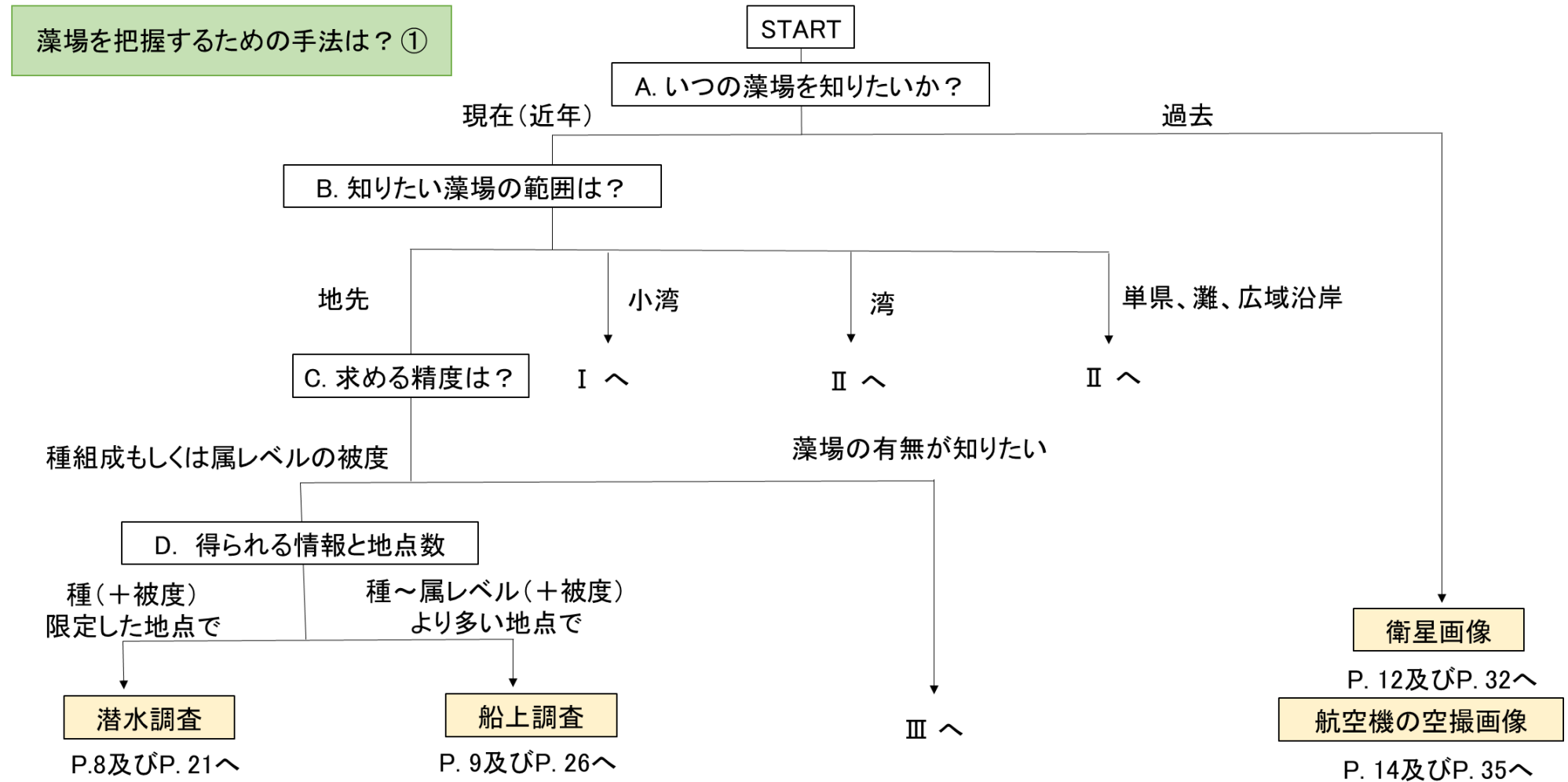


図 4-(4)-1 藻場調査手法選択フローチャート (1)

藻場を把握するための手法は？②

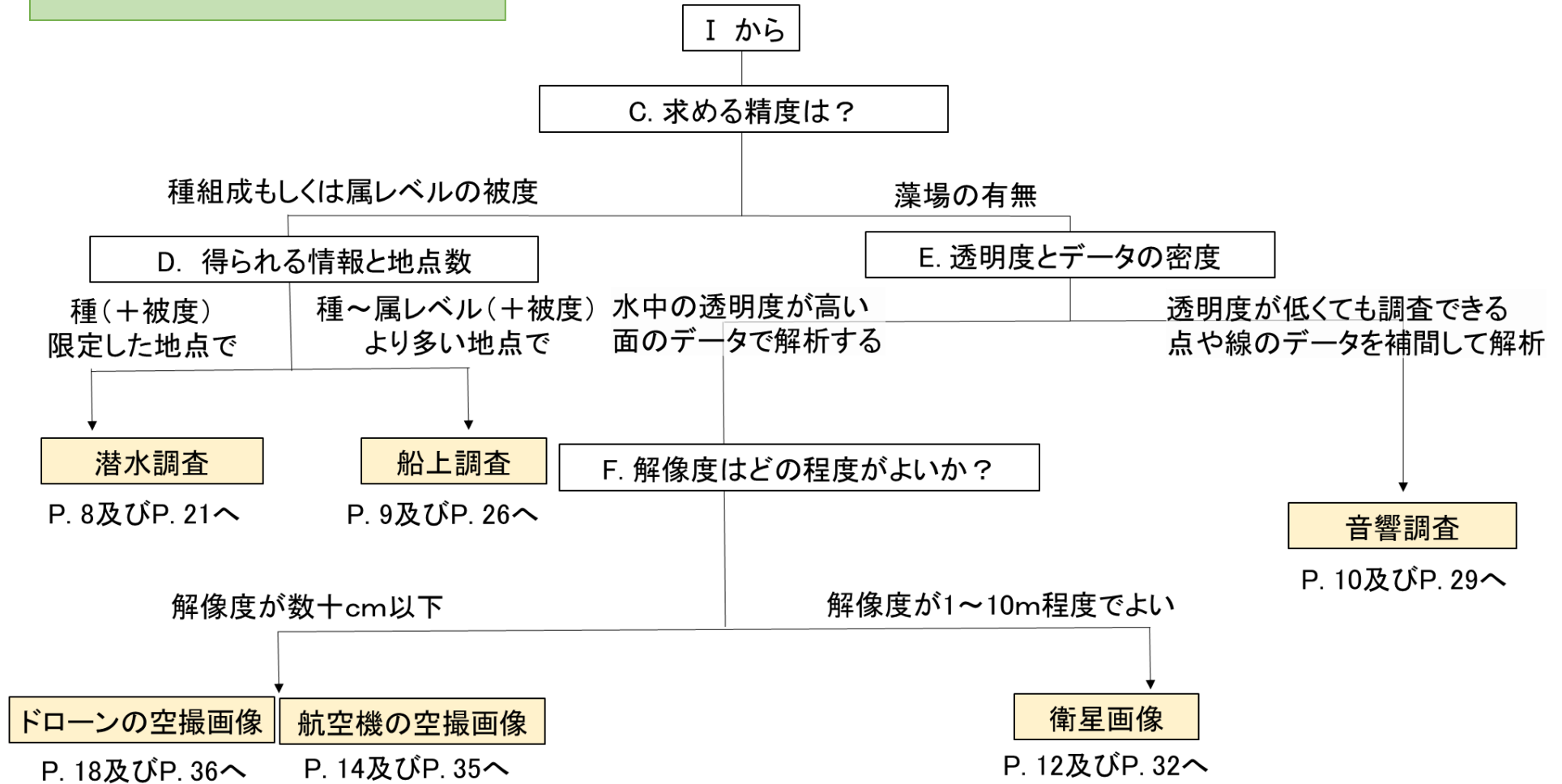


図 4-(3)-2 藻場調査手法選択フローチャート (2)

藻場を把握するための手法は？③

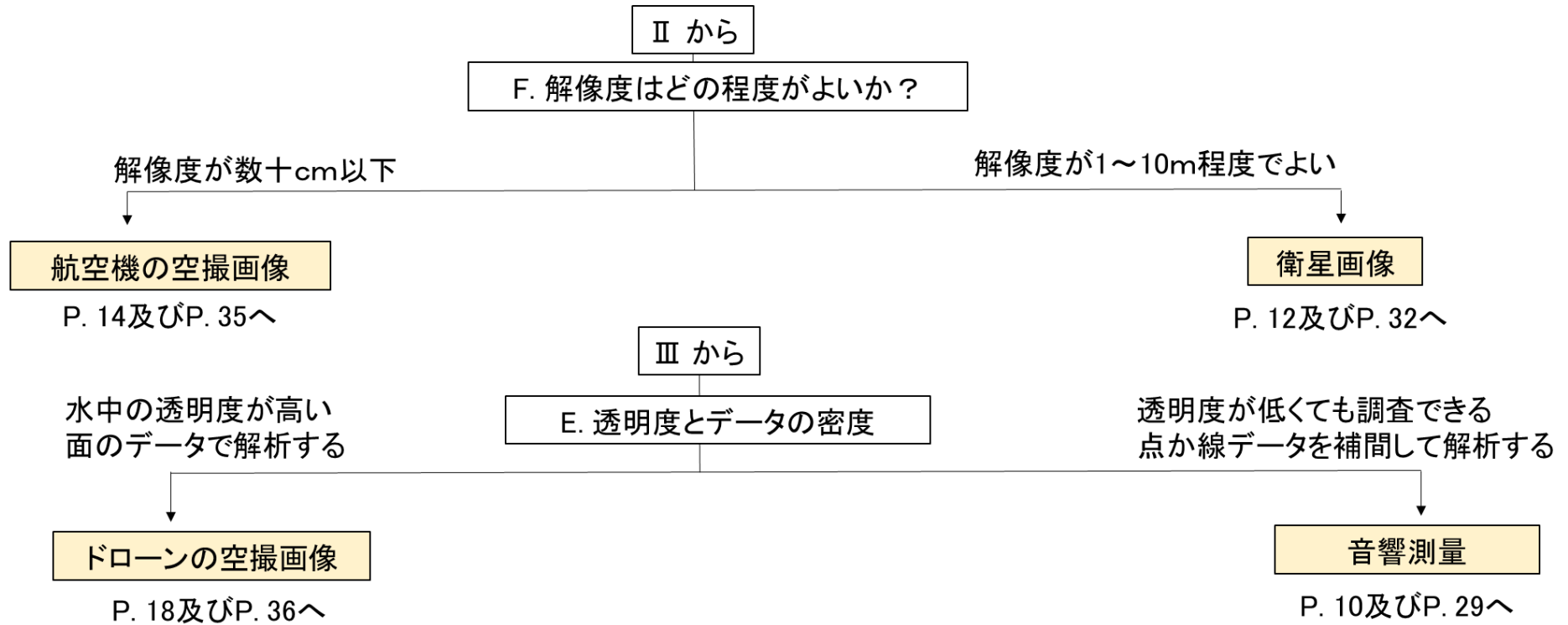


図 4-(3)-3 藻場調査手法選択フローチャート (3)

## 5 藻場調査方法

4のフローチャートで適切な調査手法を選択するために、各調査方法の実施方法（機材、実施概要）、取得可能情報、調査範囲、空間精度、技術的優位性、技術的課題、コスト、時間について整理して記載する。

※各手法のさらに詳細な説明が必要な部分は今後コラムなどを加える予定。

### (1) 潜水観察による手法

藻場調査においてもっともポピュラーな方法であり、ダイバーが調査点やラインを設定し、藻場の海藻種や被度、底質の状況などを把握する（図 5-(1)-1）。



図 5-(1)-1 潜水調査風景

#### ア 実施方法について

##### a 使用機材

小型船舶、潜水機材、野帳ボード、方形枠、カメラ＋防水ハウジング、GPS

##### b 実施概要

ハンディ GPS などで調査地点を設定し、方形枠に含まれる海藻分類（大型海藻か小型海藻）、種、被度、底質、水深、植食動物（ウニ類や巻貝類など）を潜水記録する。

#### ウ 調査範囲

地先で地点ごとに行うポイントやライン上、エリアなど 1km<sup>2</sup>以内と比較的狭い範囲。

#### エ 空間精度

空間精度は調査したプロットやトランセクト上でほぼ 100%の判別が可能である。

#### オ 技術的優位性

潜水観察によるデータは空撮画像（衛星、航空機、ドローン）による藻場マッピングの教師データとして必要である。

#### カ 技術的課題

地点やライン上のピンポイントのデータが取れるが、調査点が多くなると時間がかかる。海藻や植食動物、魚類の種同定ができる者が必要である。

#### キ コスト

自前で潜水するのであれば無料。委託する場合は 50m ライン当たり約 7 万円、平方キロメートル当たり 1650 万円という事例があり、広範囲を対象とすると高額になる。

#### ク 時間

調査点間の距離にもよるが、藻場のコードラート調査だと 1 日あたり～30 地点（約 30 分

/10点)、トランセクト調査だと～5 トランセクト程度 (1 トランセクトあたり 20～40 分 /80～200m)。

ア～クをまとめると以下のようなになる (図 5-(1)-2)。

<p><b>取得可能情報</b>            種類 : ◎ (種名まで)            被度 (%) : ○            底質 : ○            周辺環境 : ○</p>	<p><b>調査範囲</b>            地先            プロット、側線、エリア            (0.0001～1km<sup>2</sup>)</p>	<p><b>時間</b>            点調査            22～43分 / 3～4点            ライン調査 (1ラインあたり)            40～60分 / 80～200m</p>
<p><b>技術的優位性</b>            ・潜り漁師も実施可能            ・教師データとして併用可</p>	<p><b>技術的課題</b>            ・潜水技術が必要            ・海藻の同定ができる者が必要</p>	<p><b>コスト</b>            自前 : 無料            + 用船料 (～5万円/日)            委託 :            6.7～7.5万円/50mライン            1,650万円/km<sup>2</sup>            (1,000m×11側線)</p>
<p><b>空間精度</b>            調査プロット内で            ほぼ100%判別</p>		

図 5-(1)-2. 潜水観察に関する整理項目

## (2) 船上から観察する方法

船上から観察する方法も、藻場調査の手法として古くから用いられてきた。船の上から箱メガネや水中カメラ、ROV を用いて藻場を観察して情報を収集する。

### ア 実施方法について

#### a 使用機材

小型船舶、箱メガネ、水中つり下げ型カメラ、ROV、測深機、GPS

#### b 実施方法

ハンディ GPS など調査地点を設定し、調査船を藻場が存在する海域で蛇行または縦横に低速で走らせながら、箱メガネなどを用いて藻場の存在を確かめ、海藻分類 (大型海藻か小型海藻)、種、被度、底質、などを記録する。表層の透明度が低いなど目視観察が困難な場合はケーブル水中ビデオカメラや ROV による観察も有効である。

### イ 取得可能情報

海藻の属レベルの種類 (元々の情報があれば種組成も)、被度、底質について取得可能。岩陰等にいる磯根資源や食害生物について得られる情報は限られる。

### ウ 調査範囲

地先で地点ごとに行うプロットや側線上、エリアなど 1km<sup>2</sup> 以内と比較的狭い範囲。より広範囲 (3km<sup>2</sup>) を調査した事例もあるが、地点間の距離が離れてしまう。

### エ 空間精度



観察する水深や使用するカメラ等によっても異なるが、ほぼ 100%の判別が可能である。

#### オ 技術的優位性

技術的優位性については、潜水調査などと比べても比較的簡便により多い地点数を行えることや、漁業者にも実施することが可能であること、また海中に入らなくてもデータが収集できるということで、潜水士資格などを持っていない人でも行えるという利点がある。潜水調査と同様に教師データとして併用可能である。

#### カ 技術的課題

技術的課題については、潜水調査と同様、海藻の同定ができるものが必要であることや、使用する水中カメラなどの性能によって空間精度が変わることが挙げられる。

#### キ コスト

##### 実施方法 1)～3)

コストは、自前で行う場合は、基本的に無料できる。水中カメラを購入する場合は 8 万円～16 万円ほどで購入可能。委託する場合は、船上目視のみで 330 万円/km<sup>2</sup>の事例がある。

#### ク 時間

1 時間当たり 20～30 地点

ア～クをまとめると以下のようなになる (図 5-(2)-1)。

<b>取得可能情報</b> 種類：○ (使用機器による) 被度 (%)：○ 底質：○ 周辺環境：△ (水深による)	<b>調査範囲</b> 地先～湾 プロット、エリア (～3km <sup>2</sup> ) ※調査点の配置による	<b>時間</b> 点調査 1 時間 / 20～30 点
<b>技術的優位性</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・比較的簡便</li><li>・漁業者にも実施可能</li><li>・海中に入らなくて良い</li><li>・教師データとして併用可</li></ul>	<b>技術的課題</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・海藻の同定ができる者が必要</li><li>・使用する水中カメラの性能</li></ul>	<b>コスト</b> 自前：無料～ 水中カメラ 8 万円～16 万円 (うみなかみるそうくん) 用船料 (～5 万円/日) 委託： 30 万/km (船上目視) 330 万円/km <sup>2</sup> (1,000m×11 側線)
<b>空間精度</b> 調査プロット内で ほぼ 100%判別		

図 5-(2)-1. 船上観察に関する整理項目

### (3) 音響測量による方法

魚群探知機、ストラクチャーソナー、マルチビームソナーなどを用いて、調査測線上やその周囲の藻場分布や底質の状況を把握する手法。

#### ア 実施方法について

## 1) 魚群探知機による藻場調査

### a 使用機材

小型船舶、魚群探知機、固定具

### b 実施方法

計測ラインをGPSソフト（例、カシミール3D）などにより決め、そのライン周辺の海底反射情報を魚群探知機や、付属のダウンスキャン、サイドスキャンソナーで同時並行的に記録する。魚探やダウンスキャンでは船下の鉛直方向の反射情報だけが得られるが、サイドスキャンでは左右に水深の3～4倍の幅で海底反射情報が得られる。ただし、サイドスキャン画像からの海藻の判別は難しい（砂地と岩礁の区別は可能）。

## 2) マルチビームソナーによる藻場調査

### a 使用機材

小型船舶、マルチビームソナー、探知機の固定具、

### b 実施方法

マルチビームソナー自体が高価なため、民間会社への委託が基本となる。

## イ 取得可能情報

魚探・ソナーでは海藻と地面の反射の違いから海藻の分布を把握でき、分類群ごとの判別が可能な場合もある（例えば、ホンダワラ類とテングサ類など）（図5-(3)-2）。同時に水中カメラなどで海藻種を確認できれば、種判別が可能な場合もある。また、底質の情報も取得可能である。

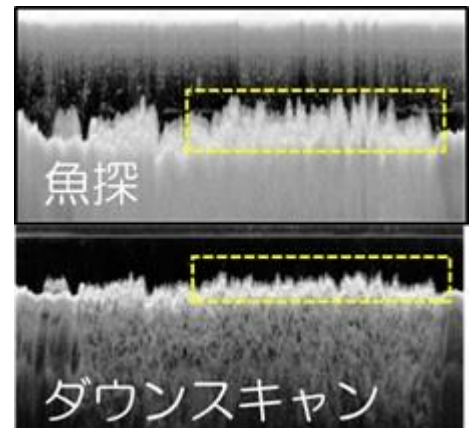


図5-(3)-2. 魚探とダウンスキャン画面に映る海藻（クロメ）の画像（黄色点線枠内）

## ウ 調査範囲

地先～小湾スケールの範囲となる（0.03～12km<sup>2</sup>）。

## エ 空間精度

調査範囲内では高い。サイドスキャンソナー及びマルチビームソナーでは測線周囲まで測深できる。

## オ 技術的優位性

透明度が低い場合や水深が深い場所でも適用できる。潜水観察よりも効率よく広い範囲を調査でき、水中に入る必要もない。マルチビームソナーは魚群探知機よりも広範囲のデータを取得できる。

## カ 技術的課題

極浅海域では船舶の進入が困難であり、他の手法による視覚情報の併用が必須となる。データ解析に手間を要し、専門知識が必要となる。

## キ コスト

### 【自前】

魚群探知機（Lawrance HSD）は20～40万円ほどで購入可能で船舶に設置する場合の固定具などは別途作成が必要。マルチビームソナーは測位動揺補正センサー、音速度計、PC、固定具などの基本構成を含めると1500～2700万円の購入費用がかかる。

### 【委託】

サイドスキャン・測深器を用いた調査（データ取得）だけの場合は20万円/km<sup>2</sup>程度、解析を含めると650万円/km<sup>2</sup>程度となる。

### ク 時間

4～9時間あたりで1.5～4km<sup>2</sup>の範囲を調査できる

ア～クをまとめると以下のようなになる（図5-(3)-3）。

<b>取得可能情報</b> 種類：△（他手法との併用必要） 被度（%）：△ 底質：○ 周辺環境：×	<b>調査範囲</b> 地先～小湾スケール （～12km <sup>2</sup> ）	<b>時間</b> 調査 4～9時間／1.5～4km <sup>2</sup>
<b>技術的優位性</b> 透明度が低い場合や 水深が深い場所でも 適用可	<b>技術的課題</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・極浅海域では船舶の進入が困難</li><li>・他の手法による視覚情報の併用が必要</li><li>・解析に時間がかかる</li><li>・各種計測機器及び複合システムがあり、最適化の検証が必要</li></ul>	<b>コスト</b> 自前購入： 魚群探知機20～40万円 マルチビームソナー1500～2700万円 委託： 簡易サイドスキャン ・測深器 20万円/km <sup>2</sup> （調査費のみ） 685万円/km <sup>2</sup> （解析費込）
<b>空間精度</b> 調査範囲内では高い（取得可能な情報は調査側線周辺のみ）		

図5-(3)-3. 音響測量による方法に関する整理項目

### (4) 衛星画像による方法

無料・有料のものを含めて様々な衛星で撮影された画像が利用可能となり、沿岸域のサンゴ礁や藻場、干潟などの生息場の分布判別に使われている（図5-(4)-1）。

#### ア 実施方法について

##### a 使用機材

ネット上の画像検索サイトから購入または無償ダウンロード（Sentinel など）する。

##### b 実施方法

基本的に画像検索サイトでアーカイブ画像を入手する（表5-(4)-1）。また、値段は高くなるが、場所や日時を指定し、新規撮影もできる。



図5-(4)-1. 衛星画像の例（大分県佐伯市名古屋湾）

## イ 取得可能情報

海藻の大まかな分類（褐藻、緑藻、紅藻など）程度までである。ガラモ場や海中林、アマモ類などは判別できる場合もあるが、種判別は種が少ない海域など状況が限られる。

## ウ 調査範囲

湾・灘～広域沿岸（25 km<sup>2</sup>～）

## エ 空間精度

藻場有無の判別（50～81%）

## オ 技術的優位性

広域を対象とし、広範囲の画像を比較的低コストで入手することが可能。RGB 以外の近赤外などを含めたマルチスペクトル画像も取得できる。

## カ 技術的課題

現地データ（藻場判別の確認用や教師データ）の取得が必要。天候や衛星画像が飛行する時間帯（夜はダメ）により撮影画像の入手に制約があり、過去の画像だと目的とする地域や時期のものが必ずしも手に入るとはいえない。ハレーションにより海面が見えない場合や計測可能水深（温帯域でせいぜい水深 15m 程度まで）に限界もある。画像解析には専用のソフトや熟練が必要となる。

## キ コスト

無料画像もあるが、アーカイブ画像購入で 150 円～1 万円/km<sup>2</sup>と幅がある（表 5-(4)-1）。ただし、最低購入面積が決まっている場合が多い（Worldview2 は 25km<sup>2</sup>、Rapid eye 500 km<sup>2</sup> など）。撮影した日が最近のもの、解像度が高いもの、バンド数が多いものほど、価格は高くなる。

表 5-(4)-1. 衛星画像の特徴と購入価格の目安（2019 年 11 月現在）

人工衛星	解像度 (マルチバンド)	バンド数	打ち上げ時期	アーカイブ価格 (1km <sup>2</sup> あたり)	新規撮影価格 (1km <sup>2</sup> あたり)	最小購入面積 (km <sup>2</sup> )
WorldView-2	1.85m	8	2009年10月	3500円～*		25km <sup>2</sup>
WorldView-3	1.24m	8	2014年8月	3500円～*	3000～10000円	25km <sup>2</sup>
WorldView-4	1.24m	8	2016年11月	3500円～*	3000～10000円	25km <sup>2</sup>
GeoEye-1	1.64m	4	2008年9月	3500円～*		25km <sup>2</sup>
Pleiades-HR	2.8m	4	2011年12月	2400円～*	2400円	25km <sup>2</sup>
SPOT-6,7	6m	4	2012年9月	220円～*	640円	100km <sup>2</sup>
RapidEye	5m	5	2008年8月	140円**	270円	500km <sup>2</sup> /3500km <sup>2</sup>
SkySat	2.0m	4	2013年11月			
Planet	3m	4	2014年	月額登録		

\*宇宙技術開発株式会社

\*\*[http://www.eotec.com/images/Pricing\\_RapidEye\\_products\\_ver1.pdf](http://www.eotec.com/images/Pricing_RapidEye_products_ver1.pdf)

## ク 時間

アーカイブデータの場合、ウェブサイトなどで購入対象日時と範囲を選択し、代理店に注文から納品まで1～2週間程度。Planetの場合、年間契約をすませていると、ウェブサイトから衛星画像をダウンロードできる。

ア～クをまとめると以下のようなになる（図5-(4)-2）。

<b>取得可能情報</b> 種類：△（大分類） 被度（%）：△ （藻場の有無や粗密の違い程度） 底質：×（別途必要） 周辺環境：×	<b>調査範囲</b> 湾・灘～広域沿岸 （25 km <sup>2</sup> ～）	<b>時間</b> ・画像納品 無料画像などだとすぐにダウンロード 納品まで1～2週間かかる
<b>技術的優位性</b> ・広域を対象 ・過去の画像もある	<b>技術的課題</b> ・教師データが必要 ・撮影画像の入手に制約 ・ハレーション ・雲量リスク ・藻場判別解析に専門技術が必要	<b>コスト</b> 無料のものは解像度10m以上（Sentinelなど） アーカイブ画像購入： 150～100000円/km <sup>2</sup> Worldview2は最小購入面積25km <sup>2</sup> で17万円～
<b>空間精度</b> 藻場の有無の判別 50～81%		

図5-(4)-2. 衛星画像による方法に関する整理項目

## (5) 航空機の空撮画像による方法

### ア 実施方法について

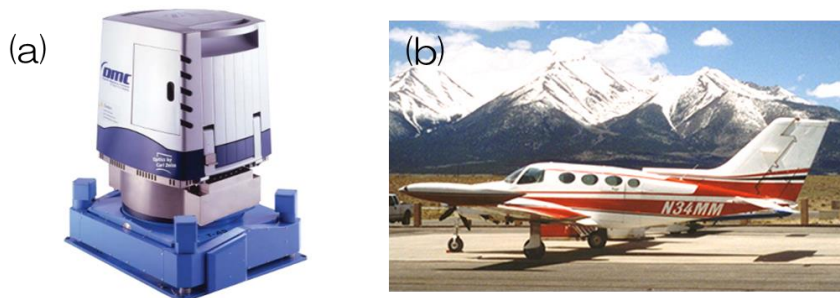
航空機からRGB、モノクロ、近赤外などのセンサーを備えたDigital Mapping Cameraを用いて空撮画像を取得し、画像解析により藻場を判読する方法。沿岸域では入手したい画像があることはまれだが、国土地理院や民間会社等によるアーカイブ提供サービス（無償、有償）もある。

#### a 使用機材

航空機、Digital Mapping Camera（図5-(5)-1）

#### b 実施方法

航空機を自前で保有している機関はほとんどないため、民間会社へ委託しての空撮が基



\*1 Digital

<http://aerialsurveysintl.com/DMC.html>

図5-(5)-1. (a)Digital mapping camera と (b) 測量用の航空機

本となる。

#### イ 取得可能情報

海藻の大まかな分類（褐藻、緑藻、紅藻など）などである。ガラモ場や海中林、アマモ類などは判別できる場合もあるが、種判別は近似種がない場合など状況に限られる。水深や透明度に左右されるが、底質情報が取得可能な場合もある。

#### ウ 調査範囲

湾・灘～、沿岸（～600km<sup>2</sup>）と広域に対応可能。

#### エ 空間精度

藻場有無の判別（65～88%）

#### オ 技術的優位性

広域の画像を取得できる。衛星画像に比べて低高度撮影するため、解像度の高い画像が取得できる（1200mで解像度 12cm 程）。RGB だけでなく、近赤外やその他の波長帯の光を取得できるマルチ・ハイパースペクトルカメラ（CASI など）も利用可能である。藻場判別解析に専門技術が必要であり、民間会社などに藻場のマッピングを委託できる。

#### カ 技術的課題

現地データ（教師データや藻場判別の確認用）の取得が必要となる。ハレーションに対応しなくてはならない。計測可能水深に限界あり、温帯域の場合、透明度の影響で水深 10m 以深の藻場の判別は難しい。オルソモザイク画像の作成や画像解析には専用のソフトや熟練が必要となる。

#### キ コスト

光学カメラでの撮影のみだと 7 万円/km<sup>2</sup>。空撮範囲 133km<sup>2</sup> のオルソモザイク画像作成込みで 550 万円という事例あり。

#### ク 時間

6-8 時間／360-554km<sup>2</sup> 空撮した事例あり。

ア～クをまとめると以下のようになる（図 5-(5)-2）。

<b>取得可能情報</b> 種類：△（大分類） 被度(%)：△（藻場の有無） 底質：× 周辺環境：×	<b>調査範囲</b> 湾・灘・単県 （～554km <sup>2</sup> ）	<b>時間</b> 空撮：6時間／360-554km <sup>2</sup>
<b>技術的優位性</b> ・広域を対象 ・衛星画像よりも高解像度 ・海況の良い日にちを指定可能	<b>技術的課題</b> ・教師データが必要（教師つきデータが主流） ・ハレーション対応 ・計測可能水深に限界有 ・藻場判別解析に専門技術が必要	<b>コスト</b> 7万円/km <sup>2</sup> （撮影のみ） 550万円/133km <sup>2</sup> （撮影+オルソ画像作成）
<b>空間精度</b> 藻場有無の判別に 対応可能な精度 （65～88%）		

図 5-(5)-2. 航空機（DMC）による方法に関する整理項目

## (6) 航空機+ALB（Airborne Laser Bathymetry、航空レーザー測深）による方法

### ア 実施方法について

海面で反射する近赤外レーザーと水中を透過するグリーンレーザーを航空機から投射し、藻場に反射するグリーンレーザーを観測することで、密生した海藻の分布状況（形状）を把握することができる（図 5-(6)-1）。

#### a 使用機材

航空機、ALB 機器

#### b 実施方法

航空機を自前で保有している機関はほとんどないため、空撮は民間会社への委託が基本となる。

(a)



※株式会社パスコより

(b)

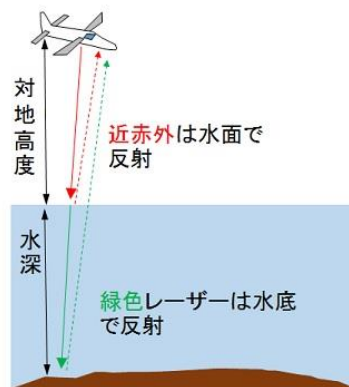


図 5-(6)-1. (a)ALB 機器の写真と (b) ALB の計測の仕組み

### イ 取得可能情報

海藻の大まかな分類（褐藻、緑藻、紅藻など）などである。ガラモ場や海中林、アマモ類などは判別できる場合もあるが、種判別は他種がない場合など状況が限られる。水深

や透明度に左右されるが、底質情報が取得可能な場合もある。

#### ウ 調査範囲

湾、沿岸（～30km<sup>2</sup>）と広域に対応可能。

#### エ 空間精度

藻場有無の判別（80%～）

#### オ 技術的優位性

DMC（実施方法1）に比べて低高度で撮影するため、解像度10cm以下の高精細な画像が取得できる。濁りの影響が少ない。海面から最大水深20m超えまで測定できる。

#### カ 技術的課題

現地データ（教師データや藻場判別の確認用）の取得が必要となる。ALB測深高度（500m程度）がDMCよりも低いいため、広域の調査は効率が低下する。藻場判別解析には専用のソフトや熟練が必要となる。

#### キ コスト

ALBレーザー測深の場合、30万円/km<sup>2</sup>。22 km<sup>2</sup>の範囲をALB測深及び光学カメラ撮影、測深データ、オルソ画像作成（藻場判読含まず）で700万円という事例あり。

#### ク 時間

6時間で4-27km<sup>2</sup>を空撮した事例あり（図5-(6)-2）。

<b>取得可能情報</b> 種類：△（大分類） 被度（%）：△（藻場の有無、粗密の違い程度） 底質：△（水深のみ） 周辺環境：×	<b>調査範囲</b> 湾、灘、単県 面的に対応可能 （～110km <sup>2</sup> ）	<b>時間</b> 空撮：6時間/4-27km <sup>2</sup>
<b>技術的優位性</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 広域を対象</li><li>・ DMCより高解像度</li><li>・ 濁りの影響が少ない</li><li>・ 密生した大型海藻の分布（形状）を把握可能</li><li>・ 海面から最大水深20m超えまで事例あり</li></ul>	<b>技術的課題</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 計測可能水深に限界</li><li>・ DMCより効率が低下</li><li>・ 解析に専門技術が必要</li></ul>	<b>コスト</b> 30万円/km <sup>2</sup> （撮影のみ） 700万円/22km <sup>2</sup> （ALB測深及び撮影・測深データ・オルソ画像作成）
<b>空間精度</b> 藻場有無の判別 80%～		

図5-(6)-2. 航空機（ALB）による方法に関する整理項目



## (7) ドローンの空撮画像による方法

UAV・ドローン（図 5-(7)-1）は比較的安価に購入可能になり、藻場調査のための空撮画像が比較的簡単に入手できるようになった。ドローン（無人航空機）に搭載した光学カメラ（RGB）（またはマルチスペクトルカメラ）の空撮画像から藻場を判別し、藻場分布を把握する方法について項目ごとに説明する。



図 5-(7)-1. 飛行中のドローン

### ア 実施方法

#### 1) 光学カメラ搭載ドローンによる藻場撮影方法

##### a 使用機材

ドローン、プロポ、記録野帳、双眼鏡

##### b 実施方法

手動操縦または自動操縦ソフトによる飛行により、目的の範囲で空撮を行う。自動操縦の場合は前もって飛行経路を計画できるのでスムーズに調査を行うことができる。ただし、自動操縦の場合は、目視外飛行となるため国土交通省への許可申請が必要となる。また、制限空域（高度 150m 以上）の飛行の場合も、同様に許可申請が必要である。

※詳細な方法については 7 (1) ウで今後整理する予定。

### イ 取得可能情報

アラメ・カジメ場、ガラモ場、アマモ場などは判別できる場合があるが、種判別は困難と思われる。水深や透明度に左右されるが、底質情報（岩盤、岩場、砂地など）が取得可能な場合もある。植食動物の分布など周辺環境の把握は難しい。

### ウ 調査範囲

基本的に地先、小湾程度（0.004～5km<sup>2</sup>）で、バッテリーの駆動時間が調査範囲の制限となる。大量のバッテリーを用意し、飛行高度 150m 以上の許可が取れば、より広い範囲の撮影が可能となる。

### エ 空間精度

撮影範囲内で正答率が 66.7～81.3%。

## オ 技術的優位性

ドローンの自動航行などに便利なソフトなどもあり、利用者自ら飛行範囲を設定し、目的の範囲で空撮できる。人工衛星、航空機より低高度（許可なしで高度 150m 以下、許可取得で 150m 以上）での画像となるので、解像度が高い画像（2～16cm/pixel）を取得できる。

## カ 技術的課題

飛行に熟練が必要となる。場所によっては関係者から飛行許可を取得する必要がある。撮影時の水面のハレーションや波浪、透明度により、藻場が海面に映らないと計測できない。解像度が高いためデータ処理に時間がかかることがある。オルソモザイク画像の作成や画像解析には専用のソフトや熟練が必要となる。

## キ コスト

自前で行う場合、ドローン本体と光学カメラを購入すると 12～90 万円程度となる。委託する場合、撮影のみだと 10 万円/12.5km<sup>2</sup>、解析も含めて 40～65 万円/km<sup>2</sup>程度で行える。

## ク 時間

沿岸域での高度 150m・飛行時間 15 分程度での撮影範囲は 0.5km<sup>2</sup>程度（Phantom 4）。高度 120m・飛行時間 40 分で 2km<sup>2</sup>という例もある（eBee RTK）。ドローンの準備、片付け、データ取り出しなど含めると飛行時間+15 分程度かかる。

ア～クをまとめると以下のようなになる（図 5-(7)-1）。

<b>取得可能情報</b> 種類：△（大まかな種類） 被度(%)：△ 底質：△ 周辺環境：×	<b>調査範囲</b> 地先、小湾 (～5km <sup>2</sup> )	<b>時間</b> 空撮（準備など含む） 25-40分/0.17- 2km <sup>2</sup> (1飛行)
<b>技術的優位性</b> ・自前で調査可能 ・人工衛星より高解像度 (高度150mでも解像度約4- 8cm)	<b>技術的課題</b> ・解像度は高いが、データ 処理能力の制約 ・雨天時は空撮できない ・ハレーション ・波浪や濁り ・計測可能水深の限界	<b>コスト</b> 自前： 12～90万円 (ドローン+光学カメラ購入) 委託： 10万円/12.5km (撮影) 40～65万円/km <sup>2</sup> (解析費込み)
<b>空間精度</b> 撮影範囲で正答率 66.7～81.3%		

図 5-(7)-1. ドローン空撮に関する整理項目

## (8) 既存藻場モニタリング手法の比較検討

各調査手法による取得可能情報、調査範囲、空間精度、技術的優位性、技術的課題、コストについて比較した(表 5-(7)-1)。取得可能情報については、最も情報が多いのが、潜水調査であり、海藻の種名や被度、底質や植食者の存在など周囲の環境まで把握できる。次

いで、箱めがねや水中カメラによる船上調査では海藻種や被度、底質はわかるが、潜水に比べて狭い範囲しか周辺環境は把握できない。音響ソナーやドローン、航空機、人工衛星による空撮画像から海藻を判別するには、まず、撮影範囲における潜水調査や船上調査による海藻の分布の現地データが必要となる。この現地データを教師として、広域の藻場分布をマッピングできる。音響ソナーやドローン、航空機、衛星の取得画像でも、その海域に小数の海藻種しか生育していない場合などは、海藻種の分類が可能な場合もある。ただし、空撮画像の解像度が細かいほど、種判別できる可能性が高い。

調査範囲は、潜水調査は地先、船上調査、ドローンが地先から湾程度に対して、航空機や人工衛星は広範囲を一度に調査可能となる。

コストの比較は、イニシャルコスト、調査範囲や検討すべき内容等により変化するため、注意が必要である。調査範囲と得られる情報や精度（正答率など）の関係を簡単に表すと、トレードオフの関係にある（図 5-(8)-1）。そのため、どのような藻場のデータがほしいか、どのような目的の調査かにより、利点と欠点を認識して調査手法を選択する必要がある。

表 5-(8)-1. 既存の藻場調査手法の整理（技術的課題や適用条件など）

	取得情報	調査範囲	精度(正答率)	コスト	時間
潜水調査	◎	地先	100% 種判別、被度も	自前：無料～ 委託：1650万円/km <sup>2</sup>	調査 1日/～30地点 1日/～10ライン
船上調査	○	地先～湾	100% 種判別、被度も	自前：無料～ 委託：330万円/km <sup>2</sup>	調査：1時間/20 ～30地点
音響ソナー	△	地先～小湾	100%近く 分類群分別	自前：30～2700万円 委託：20万円/km <sup>2</sup>	調査：4-9時間 /1.5-4km <sup>2</sup>
ドローン+RGB	△	地先、小湾	67～81% 藻場有無判別	自前：12～90万円 委託：40万円/km <sup>2</sup>	撮影：0.5時間 /0.3-0.5km <sup>2</sup>
航空機+DMC	△	湾、灘、単県	65～88% 藻場有無判別	7万円/km <sup>2</sup> （撮影のみ） 550万円/133km <sup>2</sup> （撮影+オルソ画像作成）	撮影：6時間 /13-554km <sup>2</sup>
航空機+ALB	△	湾、灘、単県	80%～ 藻場有無判別	30万円/km <sup>2</sup> ～（撮影のみ） 700万円/22km <sup>2</sup> （オルソ 画像作成、解析込み）	撮影：6時間 /15-24km <sup>2</sup>
人工衛星	△	湾、灘～ 広域	50～81% 藻場有無判別	無料～17万円/25km <sup>2</sup> xx万円/xxkm <sup>2</sup> （解析料 込み）	画像取得：無料画像はすぐ 購入の場合は約1週間

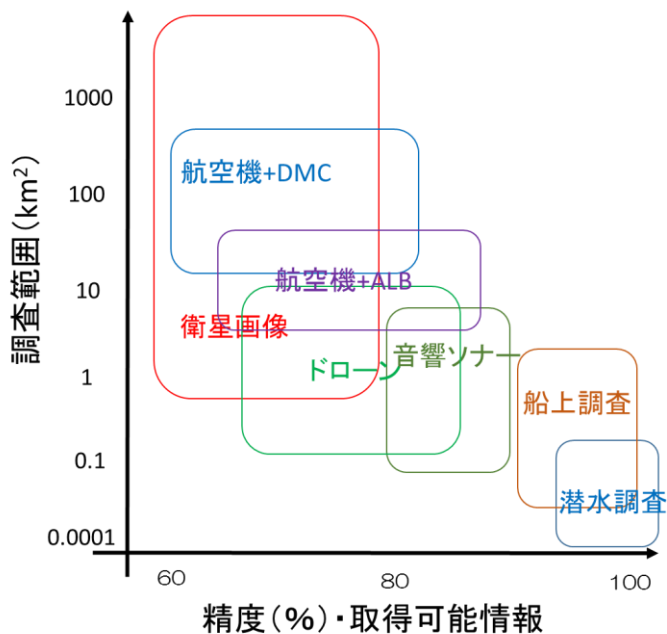


図 5-(8)-1. 調査方法の精度・取得可能情報と調査範囲の関係の簡易図

## 6 調査の実施方法

適切に藻場の現状を把握するための調査の計画から調査の実施、取りまとめについて調査手法ごとに記す。

### (1) 潜水観察による調査

#### ア 調査計画の立案

- ・初めに調査ポイントやラインを設定する Google Earth (無料) やカシミール 3D (無料) などで簡便に調査位置を設定できる。
- ・調査地点のファイル(KML ファイルなど) はハンディ GPS に入れて現場で利用する。
- ・調査前にどのような項目を記録するか決めておく。基本的な項目として、日付、地点 (緯度経度)、時刻、水深、海藻分類 (大型海藻か小型海藻) や種ごとの被度、底質の状況 (岩盤、岩、礫、砂など)、植食動物 (ウニ類や巻貝類、植食魚など) など。
- ・データの記録用紙の例として図 6-(1)-2

を示す。この表を耐水紙に印刷し、プラスチックのプレート板などにビニールテープなどで張り付けて潜水中の記録に用いると便利である。



図 6-(1)-1 カシミール 3D を用いて設定した調査ラインとポイント

調査日		調査場所					
地点名							
緯度							
経度							
時間							
水深 (m)							
底質被度	コンクリート						
	岩盤						
	岩塊(等身大≦)						
	巨礫(大入頭≦)						
	大礫(拳大≦)						
	小礫(米粒大≦)						
	砂(粒子確認)						
泥(粒子未確認)							
浮泥厚 (mm)							
景観被度 %	大型海藻類						
	小型海藻類						
	無節サンゴモ類						
	固着動物等						
	裸面・砂地						
大型/海藻類被度 % (個体数)	カジメ						
	1歳以上 (本/m <sup>2</sup> )						
	1歳未満 (本/m <sup>2</sup> )						
	(本/m <sup>2</sup> )						
優占海藻被度 % (大型海藻・藻類以外)							
主な動物被度 % (個体数)							
ウニ密度 個/m <sup>2</sup>	ガンガゼ						
	ムラサキウニ						
	アカウニ						
食害状況	海藻種程度						
特記事項							

図 6-(1)-2 データの記録用紙の例

## イ 調査機材

- ・潜水用具 (マスク、フィン、ウェットスーツ、フード、BC、レギュレーター、空気ボンベ)
- ・観察野帳、耐水紙、鉛筆
- ・ハンディ GPS (防水パックがあると便利) もしくは GPS 付き魚群探知機など

- ・デジタルカメラ+防水ハウジング
- ・コドラート (0.5m×0.5m、1m×1m など)
- ・ロープまたは測量ロープ (50~200m) 、浮き+ひも+おもり (ライン調査用)
- ・小型船舶 (水深が浅い藻場を調査するため1トン未満の船外機船が適している)

## ウ 調査の実施方法

### スポット調査

調査点を決めて海面上から GPS で緯度経度を記録し、その周囲にランダムに方形枠を置き (図 6-(1)-1) 、その中に含まれる海藻分類 (大型海藻か小型海藻) や種ごとの被度、底質、植食動物 (ウニ類や巻貝類など) などを記録する。方形枠を置いた状態の写真を撮影しておけば、調査後に確認や写真画像から判別することができる。



図 6-(1)-2 方形枠の設置写真. 左は主にマクサ、右はクロメが繁茂する方形枠の写真 (大分県名護屋湾)

### ライン調査

効率的に複数点の藻場分布を調べたい場合に行う方法。目的に合わせて岸沖方向の水深帯ごとなどにロープの始点と終点に浮きとおもりつけて海中に沈め調査ラインを作る。海

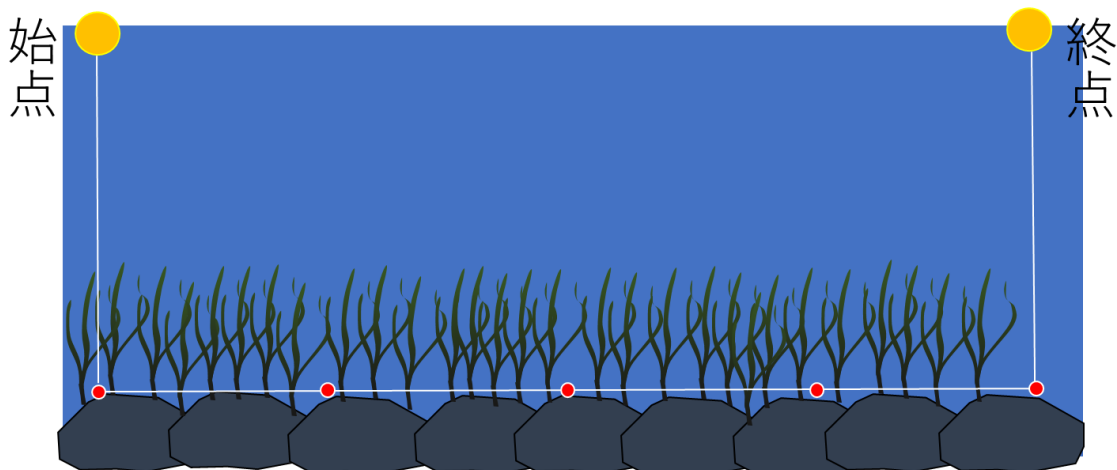


図 6-(1)-3 ライン調査の概要図

面上から調査ラインの始点と終点の浮きを目印に緯度経度を GPS で記録し、ラインの初めの位置からの距離ごとに、方形枠を置いて項目を記録する（図 6-(1)-3）。方形枠を置いた状態の写真を撮影する。ロープの途中の位置の緯度経度は始点からの距離を基に算出する。

### 海藻の被度について

被度とは、海底において方形枠（コドラート）を置いた際にその中で海藻類の占める面積の割合として算出する（図 6-(1)-5）。被度の観察は個人差が出るため、モニタリング開始時に調査参加者で同じ場所を見て、個人差を少なくすることが必要である。

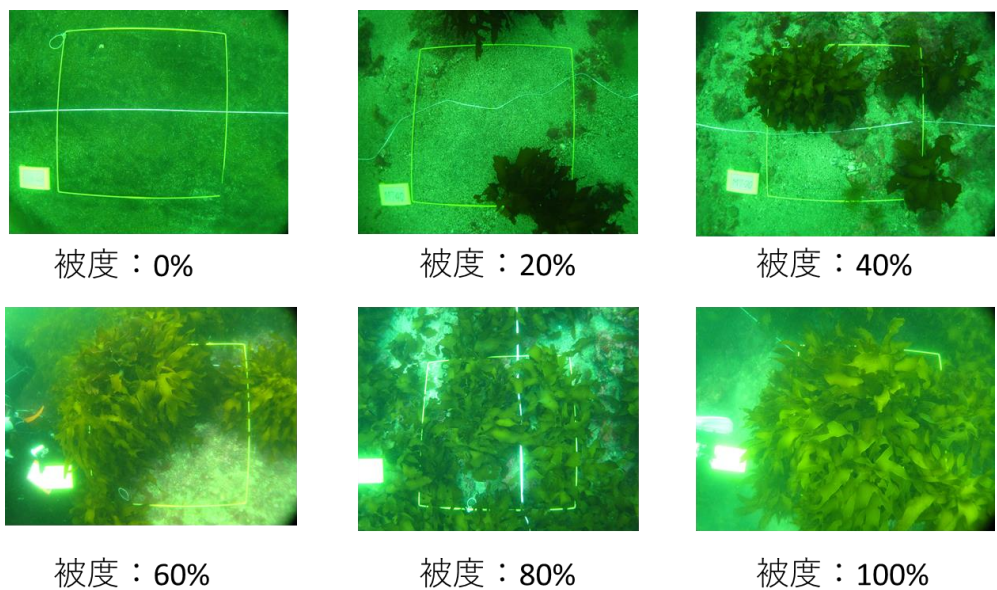


図 6-(1)-5 被度ごとの方形枠内の海藻（カジメ）の繁茂状況（神奈川県真鶴町）

### エ 調査結果の取りまとめ

整理したデータを基に海藻分類（大型海藻か小型海藻）や種ごとの被度などを図で表すとわかりやすい。図 6-(1)-6 は水深帯ごとの大型海藻と小型海藻およびカジメとテングサ類の被度を Excel で整理し、棒グラフにしたものである。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		地点名	A-d03	A-d06	A-d09	A-d12				
2		緯度	xxx1	xxx2	xxx3	xxx4				
3		経度	yyy1	yyy2	yyy3	yyy4				
4		時間								
5		水深(m)	3	6	9	12				
6	底質被 度(%)	コンクリート								
7		岩盤								
8		岩塊	100	100	50					
9		巨礫								
10		大礫			50	30				
11		小礫								
12		砂				70				
13	泥									
14	景観被 度(%)	大型海藻	70	80	50	10				
15		小型海藻	10	10	10					
16		有節石灰藻類	10	5		10				
17		無節石灰藻類								
18	海藻被 度	クロメ	70	80	45	0				
19		ヨレモクモドキ			5	10				
20		テングサ類	10	10						
21		ミル類			10					

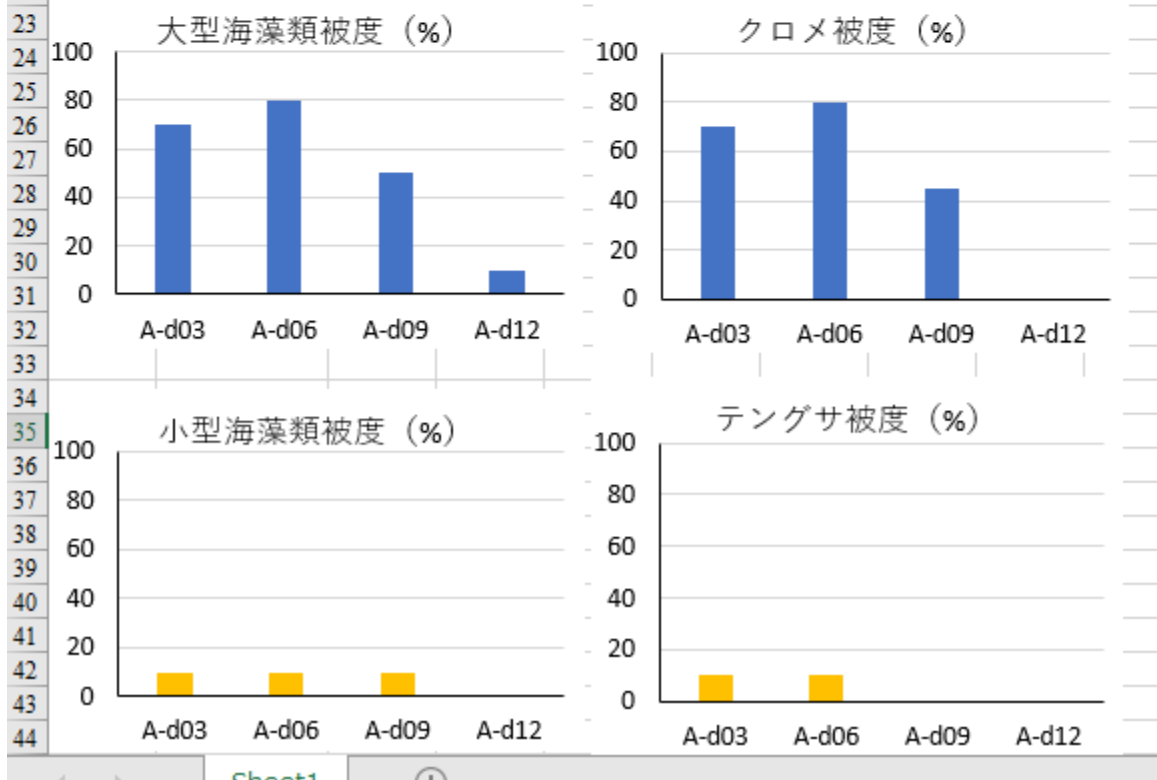


図 6-(1)-6 海藻被度のデータを整理してグラフにまとめた様子 (Microsoft® Office Excel を利用)



## (2) 船上からの調査

### ア 調査計画の立案

- ・初めに調査ラインや調査ポイントを設定する。無料ソフトウェアの Google Earth の新規目印や新規パスの機能やカシミール 3D を用いることで、簡便に調査位置の緯度経度を設定できる。
- ・調査前にどのような項目を記録するか決めておく。基本的な項目として、時刻、水深、海藻の種類、種類ごとの被度、底質の状況などがあげられる。調査中に記録する場合、潜水調査と同様の記録用紙を用いることができる（図 6-(1)-2）。

### イ 調査機材

- ・箱メガネ
- ・ケーブル水中ビデオカメラ
- ・ROV
- ・測深計または測深ロープ
- ・野帳または水中ノート、筆記用具
- ・ハンディ GPS（防水パックがあると便利）もしくは GPS 付き魚群探知機等
- ・小型船舶（水深が浅い藻場を調査するため 1 トン未満の船外機船が適している）

#### ケーブル水中ビデオ・カメラ

ケーブル水中カメラによる藻場調査は、スキューバ潜水によらず簡単に低コストで藻場の画像が得られる。箱メガネによる観察に比べて、深いところの調査が可能である。一方、使用するケーブル水中ビデオカメラの性能（撮影範囲、解像度等）によって、1 地点で観察できる範囲や得られる情報に限界があるため、スキューバ潜水より観察の精度が落ちる可能性がある。

ケーブル水中ビデオカメラの購入に当たっては解像度、データの保存方法、ケーブル長について注意する。解像度の低い機種は低価格であるが、海藻の種によっては判別することが難しくなるので、調査目的によって適切な解像度の機種を選択する。データの保存方法については、静止画で保存するのか動画で保存するのかを確認する。船上での調査中に静止画を撮影するのは労力がかかるため、動画保存のほうが好ましいと思われる。ケーブル長は、潮流でカメラ部分が流されることを考慮して、調査したい水深より余裕を持たせる。

#### ROV

ROV (Remotely operated vehicle) は、遠隔操作により水中を移動し観測等を行う機器である（図 6-(2)-1）。トランスポンダを装備でき、調査船の GPS 位置情報を元に ROV の水中の位置情報が得られる。またソナーも装備可能で、数十メートル先の岩礁や人工礁を探知できる。ROV を藻場のモニタリングに活用することで、従来よりも広い範囲の藻場の景観を、位置情報付きで取得することができる。近年は水中ドローンと呼ばれるより小型軽量の機器もある。

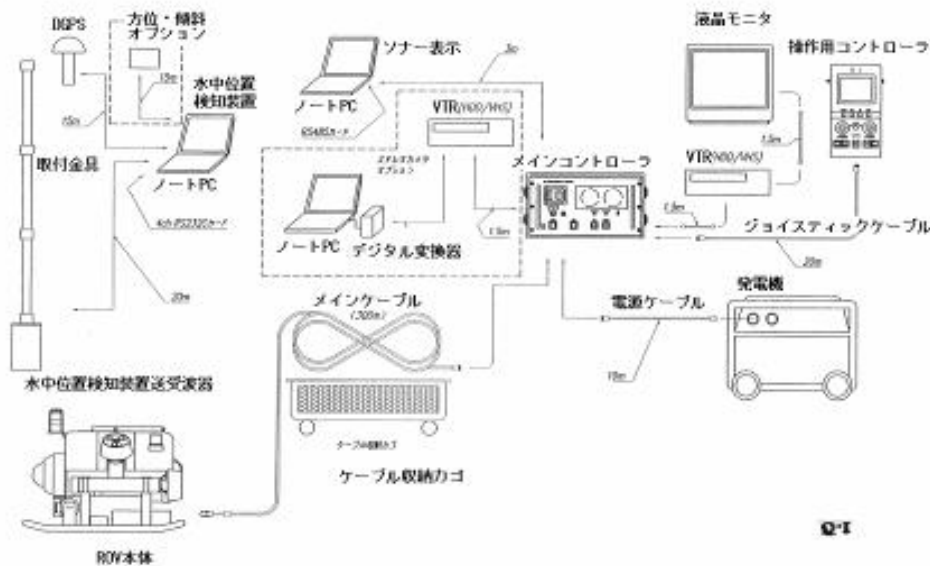


図 6-(2)-1 ROVの構成の一例 (Q I 社製DELTA-150)

### 測深機

調査海域の水深を把握するために、ポータブル測深計等により測深する。なお、魚群探知機を用いても測深可能で、連続的に海底地形を把握することもできる。

### ウ 調査の実施方法

#### 箱メガネ・ケーブル水中ビデオカメラによるスポット調査

予め、調査対象海域に等間隔に調査点を設定し、箱メガネまたはケーブル水中ビデオカメラで藻場を観察する。野帳に水深や種名、被度等を簡単に記録するとともに、画像を録画する。通常、保存した画像をもとに研究室で詳細な被度等を測定する(図6-(2)-2)。作業が終了したら次の調査点に移動する。以下同様の作業を繰り返す。

作業に要する人数は、最低計3名(船の操船1名、測深及びカメラの上げ下げ作業1名、観察ビデオ撮影及び野帳の記録1名)で、1点あたり数分で観察できる。カメラの上げ下げは岩にカメラが引っかかる可能性があるので注意が必要である。

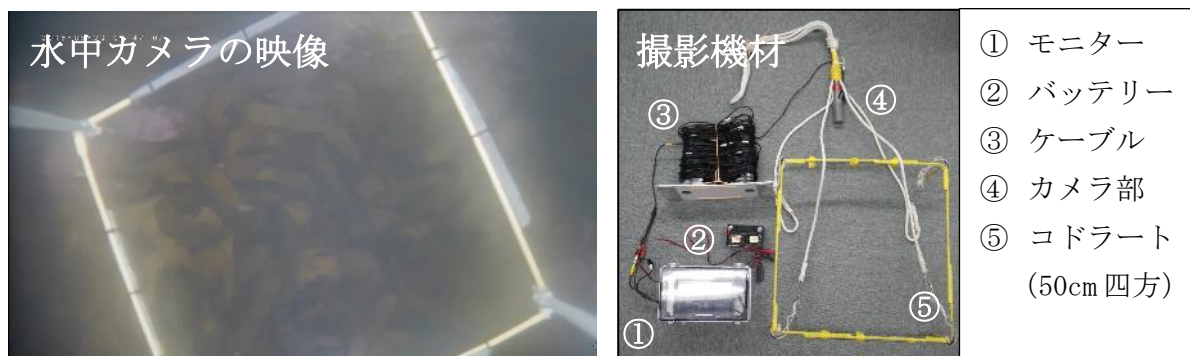


図 6-(2)-2 船上カメラの藻場映像と撮影機材一式

## 水中カメラによるライン調査

ライン調査は、予め GPS など設定したラインに従いケーブル水中ビデオ・カメラを船で曳航して、藻場を観察・記録する（図 6-(1)-1）。作業に要する人数は、船の操船 1 名、測深及びカメラの上げ下げ作業 1 名、観察ビデオ撮影 1 名の計 3 名。

この方法では、カメラが流されるためカメラの向きを定位することや観察地点を把握が難しいため、水深が比較的浅いところの調査に限られる。また、岩にカメラが引っかかる可能性があるなど注意が必要である。

## ROV による調査

調査対象海域に ROV を走行させて、藻場を観察・記録する（図 6-(2)-3）。トランスポンダを装備した ROV 以外は、ROV の正確な位置を把握することが困難なので、予めラインを設定しライン沿いに ROV を動かし、藻場を観察・記録する。

ROV の操縦は、十分な習熟が必要である。ここで紹介した DELTA-150 は、少なくとも 5 トン程度の船舶でなければ船上器材一式を積むことが難しい。また操船者および ROV のケーブル捌きを担当する者との、十分な意思疎通が欠かせない。

水中ドローンと呼ばれる小型の ROV は、安価な機種では波や潮流の影響を受け、思うように航行させることが難しい場合がある。一方、1 トン程度の小型船に積み込むことが可能である。

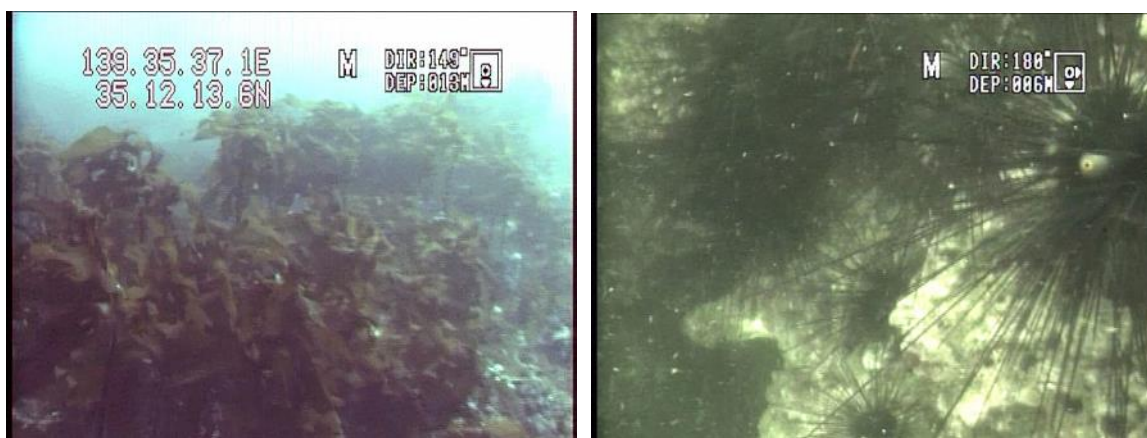


図 6-(2)-3 ROV の画像の一例（左：カジメ群落、右：ガンガゼの密集）

## エ 調査結果の取りまとめ

### 箱メガネ・ケーブル水中ビデオカメラによるスポット調査

潜水調査と同様に調査地点ごとに画像データから景観被度や底質被度を Excel など整理し、海藻分類や種ごとの被度を棒グラフで示すとわかりやすい（図 6-(1)-5）。

また、QGIS などのフリーソフトによって藻場の簡易的なマップを作製することも可能である。ポイント名、緯度、経度、大型海藻の被度をいれたエクセルの csv ファイルを作成することで、大型海藻の被度を段階別に ArcGIS や QGIS（無料）の地図上にプロットすることが可能である。

## ROVによる調査

得られる画像（動画）データは、ダイバーによる潜水調査や、上記の水中ケーブルビデオカメラ調査に準じて取りまとめればよい。GPS 位置情報を取得可能な機種であれば、画面上に表示され、付属 PC にも収録されている位置情報を、画像と合わせて記録する。

### (3) 音響測量による方法

#### ア 調査計画の立案

・初めに調査ラインやポイントを設定する。Google Earth（無料）の新規目印や新規パスの機能やカシミール3D（無料）を用いることで、調査位置を設定できる（図 6-(3)-1）。



図 6-(3)-1. Google Earth で設定した調査ライン（赤線）と実際に音響測量した際のライン（青線）（神奈川真鶴町沿岸）

#### イ 調査機材

- ・GPS 付き魚群探知機（魚探本体および振動子）（図 6-(3)-2）
- ・魚探の振動子の船への固定装置
- ・記録用の野帳
- ・小型船舶（水深が浅い藻場を調査するため 1 トン未満の船外機船が適している）



図 6-(3)-2. 簡易音響測器（魚群探知機）の船上での設置の様子と各種の名称

## ウ 調査の実施方法

設定した調査ポイント・ラインを魚探に SD カードなどに取り込み、魚探本体の画面上に地図と魚探の位置を表示させる(図 6-(3)-3)。調査ポイント・ラインに沿って船を 3 ノット(時速 5.6km/h)程度で走らせ、魚探やダウンスキャン、サイドスキャンのデータを記録する。調査は船を操縦する船長、前方の岩礁や障害物をする 1 人、メモや魚探本体でウェイポイントを記録する 1 人の 3 名以上で行うことが望ましい。6 時間の調査ならば、約 34km (3 ノット=5.6km/h ×6 時間=33.6km) のラインデータを取得できる。簡易音響測器(Lowrance)の詳細な操作方法については水産工学研究所 HP 上のマニュアルを参照(水産工学研究所、2011)。また、海藻が生えていることを確認するために、測定の測線上で(1)潜水観察や(2)船上調査により現地データを複数点取ることも必要となる。

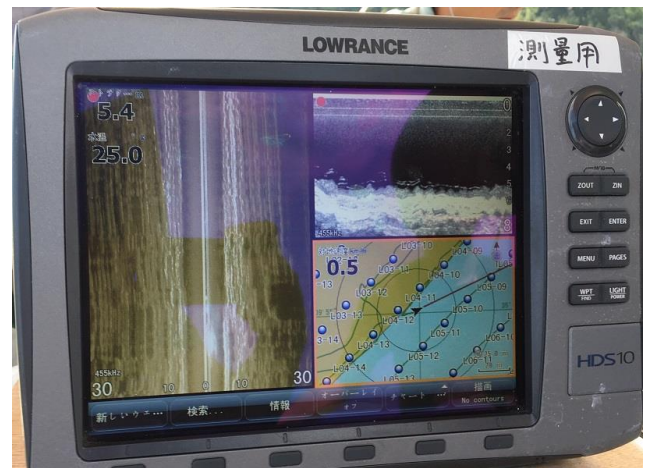


図 6-(3)-3. 測量中のストラクチャスキャン付き GPS 魚探(Lowrance)画面上のサイドスキャンの地形画像(左)、ダウンスキャンの地形画像(右上)、魚探本体の位置と調査点の地図(右下)

## エ 調査結果の取りまとめ 音響測量データの確認

実際に簡易音響測器で記録し、SonarTRX(Leraand Engineering Inc. 社製)に PC 上に取り込んだ 2 つの藻場のダウンスキャンの画像(s12 ファイル)を示す(図 6-(3)-4)(梶原ら 2014、水産工学)。ダウンスキャン画像では底質を詳細に確認することができる。左図は砂地に転石が人為的に投石された海域で、転石の上にはクロメが藻長約 1m、被度 100%近くで繁茂している場所の画像である。右図は藻長 1~1.5m のホンダワラ科のヨレモクモドキが被度 60%程度で繁茂している場所である。測量時の時系列で見ると左側が古いデータになり、右側のものほど時間が進んだ新しいデータとなる。反射の強弱は、白黒の濃淡で表され、反射の小さい水中は黒く表示されている。上部の白横線は海表面、そして下部の白線が海底面の反射となる。

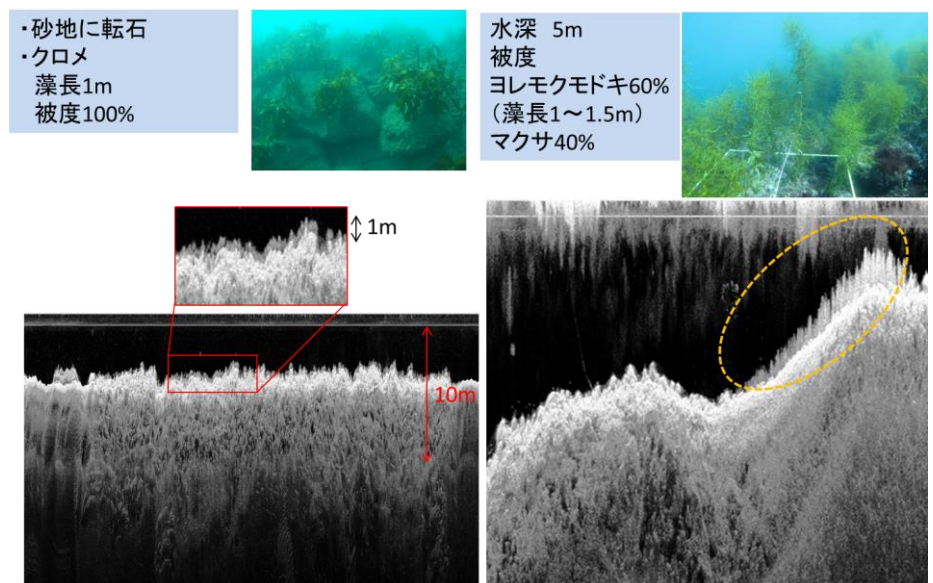


図 6-(3)-4. ストラクチャスキャン付き GPS 魚探(Lowrance)で記録したクロメとヨレモクモドキの藻場(大分県名護屋湾)のダウンスキャンの地形画像(梶原ら 2014、水産工学)(Sonar TRX を利用)

## 藻場の判別とデータ入力

記録したダウンスキャン画像を PC でソフトウェア ReefMaster (ReefMaster Software Ltd. 社製) に取り込んで (SonarTRX でも可)、目視で判別することができる (図 6-(3)-5)。ReefMaster から読みだした緯度、経度、観測時間のデータをエクセルファイルで表示し、ReefMaster 上の表示時間と合う行に藻場の在・不在 (在 = 1、不在 = 0) をエクセルなどに記録していく。ダウンスキャン画像から藻場の種類や被度までを判別するのは難しい。

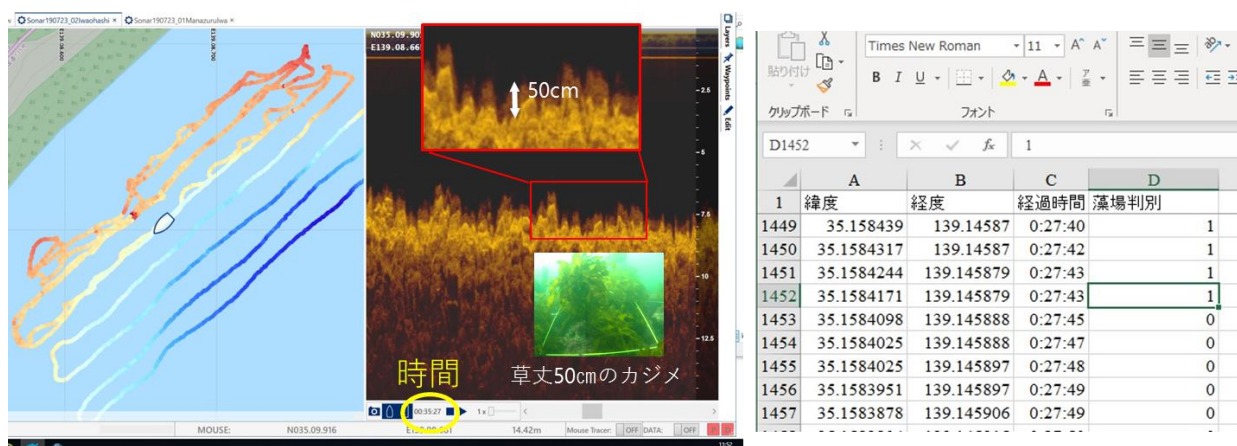
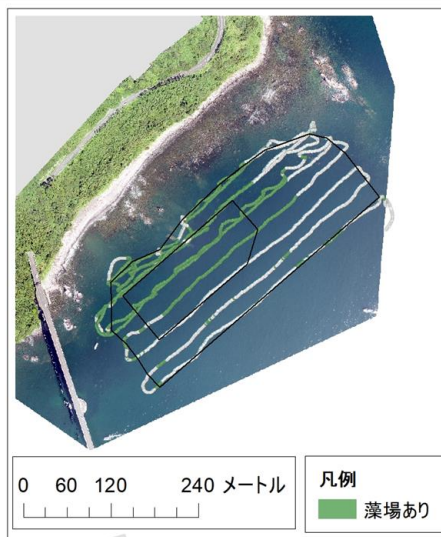


図 6-(3)-5. ストラクチャスキャン付き GPS 魚探(Lowrance)で記録したカジメの藻場 (神奈川県) のダウンスキャンの地形画像と藻場判別の記録 (Reefmaster 及び Excel を利用)

## 藻場分布のマッピング

上記で入力した藻場判別のデータ (緯度、経度、藻場在・不在といった項目) をエクセルの csv ファイルに整理し、ArcGIS や QGIS といった GIS ソフトで読み込む (図 6-(3)-6 ア)。このデータから、内挿 (計算によってデータの無い部分がある部分から推定すること) により、対象範囲全体の藻場分布を推定することができる (図 6-(3)-6 イ)。

(ア) 音響測量のデータ



(イ) 内挿によるマッピング

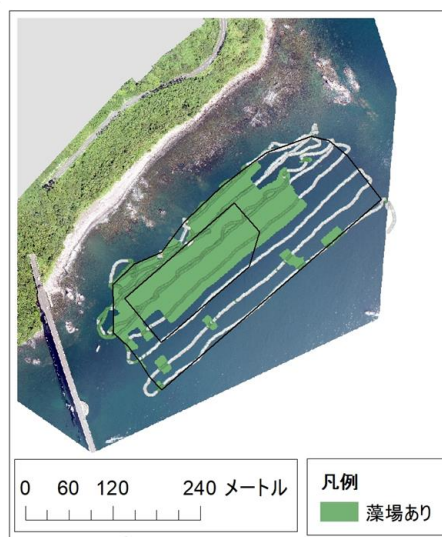


図 6-(3)-6. ア) 藻場判別の記録の csv ファイルを読み込み藻場在・不在を色分けした結果. イ) その結果を用いて藻場を内挿によりマッピングした結果 (ArcGIS を利用)

#### (4) 衛星画像による方法

##### ア 調査計画の立案

- ・藻場分布を推定したい範囲、年月を決めて、既存データの有無を確認する。必要に応じて画像解析に用いる教師データや検証データを得るための（１）潜水観察や（２）船上調査と有識者、漁業者へのヒアリング計画を立案する。
- ・衛星画像は、ウェブ上の衛星画像のアーカイブサイトで検索し、該当の衛星画像が存在するか確認する。なお、撮影時期について、ピンポイントの画像があることは少ないので、3ヶ月程度の幅を持って検索する。欲しい衛星画像の解像度やバンド数をもとに衛星画像を選択し検索する。藻場判読に適用可能な解像度 3m~5m 以下の衛星画像は表 5-(4)-1 を参照。
- ・画像選定にあたっては、撮影年月の他、雲の被度、波、透明度などの面で最も良好なものを目視判読により選定する。
- ・購入した衛星画像に基づいて衛星画像解析により藻場分布図（被度 25%程度（疎性）以上の藻場の有無の判別）を作成、現地調査データやヒアリング結果に基づいて、藻場分布の評価を行い、必要に応じて修正を行い、最終的な藻場分布図を作成する。
- ・藻場分布図に基づいて藻場面積を算定し、目的に応じて過年度との比較を行う。なお、藻場の最小面積に関する定義はなく、これまでは 1ha(100m×100m)以上（環境省：自然環境保全基礎調査）、0.25ha(50m×50m)以上（平成 24 年度水産庁）とする例がある。一方、最近の中高解像度の衛星画像を用いると、1画素は 2m~5m 四方程度であり、過年度の藻場面積とそのまま比較すると過大評価となる恐れがある。そのため、藻場面積の過年度との比較においては、藻場の最小面積に留意が必要である。

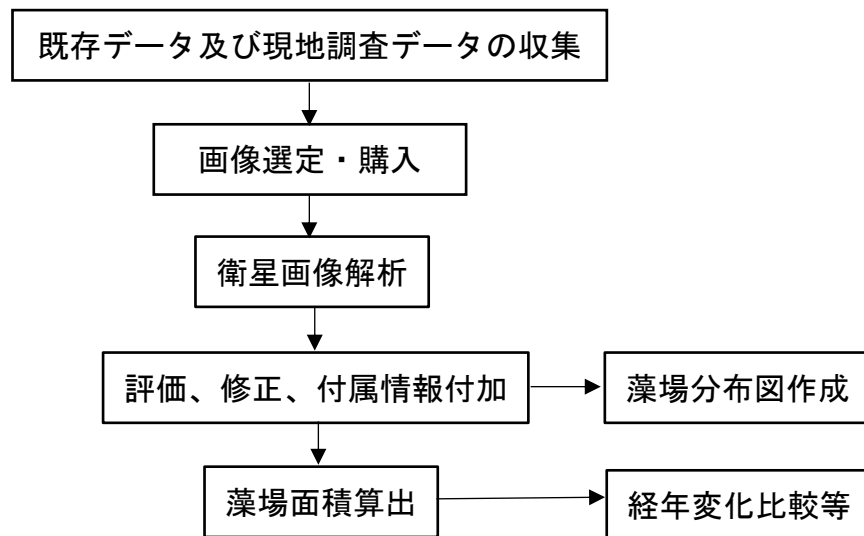


図 6-(4)-1. 衛星・空撮画像による藻場面積算定フロー

## イ 調査機材

特になし

## ウ 調査の実施方法

### 現地藻場データの取得

教師データや検証データを得るために（１）潜水観察や（２）船上調査により複数点の現地の藻場データを得る。

### 画像解析による藻場判別の手順について（航空機、ドローンと共通）

画像解析の基本的な処理フローは図 6-(4)-2 のとおり。

・衛星・空撮画像から藻場判読を行うには、幾何補正の後、陸域、雲域等のマスク処理、放射量補正などの前処理を行う。ただし、幾何補正については、補正済みの画像（オルソ画像）を購入できる。放射量補正は、衛星画像に記録される放射輝度に対し、海底面の情報を抽出する際に妨げになる大気中や水中での光の散乱や吸収の影響を補正するものであり、画像分類の精度確保において最も重要な工程である。藻場判読における水中補正は、Lyzenga et al (1981) の方法または Sagawa et al (2010) の方法が用いられる。

・Lyzenga et al (1981) の方法は、同様の底質地点（海藻がない砂質など）から抽出した 2 バンドの放射輝度値の相関からバンド間の比（消散係数比）を求め、これを解析対象海域の各画素に適用することで、DII (Depth-Invariant Index) と呼ばれる指標に変換し、海底面の違いを表す。

・Sagawa et al (2010) の方法は、同様の底質地点（海藻がない砂質など）から抽出したバンド毎の放射輝度と水深との相関（比例定数）を求め、これを解析対象海域の各画素地点の水深に応じて BRI (Bottom surface Reflectance Index) と呼ばれる指数に変換することで、海底面の違いを表す。

・BRI の算出には水深データが必要になるが、DII に比べて海底面の反射率に関する情報量が多く、より高精度での藻場判読が期待される一方、水深データの精度に依存する。水深データとしてよく利用される海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ（日本水路協会）は、藻場が多く形成される水深数 m 以浅の極浅水域のデータが含まれない場合が多い。日本沿岸では、DII は水深 5m 未満の海域、BRI は水深 5～15m の海域に有効とされている。

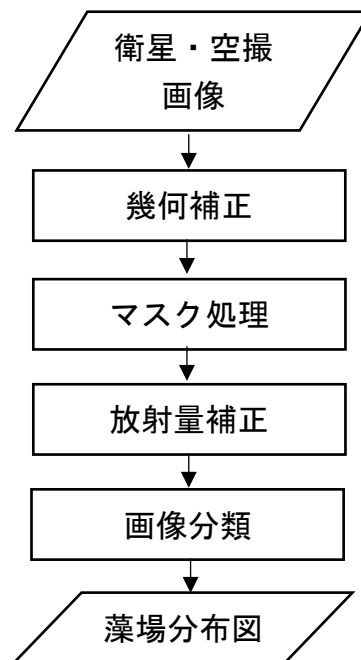
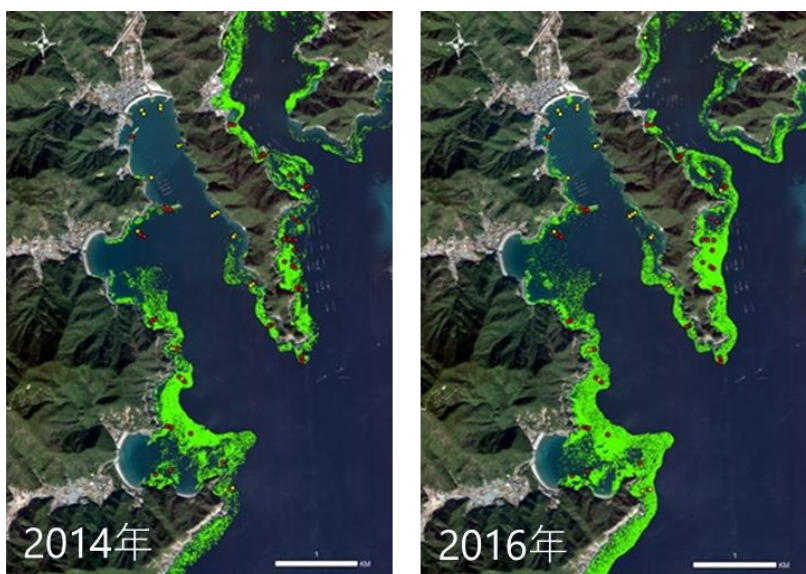


図 6-(4)-2. 衛星・空撮画像解析フロー



## エ 調査結果の取りまとめ

調査結果の例として、大分県名護屋湾の藻場分布図（2 時期の比較）を示す。



藻場面積：1.59km<sup>2</sup>

藻場面積：1.87km<sup>2</sup>

図 6-(4)-2. 衛星画像から判別した 2014 年と 2016 年の名護屋湾の藻場分布

### (5) 航空機の空撮画像・ALB による方法

#### ア 調査計画の立案

##### Digital Mapping Camera（航空写真）

- ・ 航空写真については、国土地理院の地図・空中写真閲覧サービス（<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>）や日本地図センター（<https://www.jmc.or.jp/index.html#!>）によるアーカイブ提供サービスがある。
- ・ ほしい時期のアーカイブ写真がない場合、航空測量会社に依頼して新規撮影する。撮影範囲（面積）、撮影時期、解像度、撮影縮尺（高度）を決めて、写真撮影を発注する。
- ・ 撮影に用いる航空デジタルカメラにはエリアセンサとラインセンサの 2 種類があり、前者の代表的なものとしてインタグラフ社の DMC シリーズやマイクロソフト社の UltraCam シリーズ、後者の代表的なものとしてライカジオシステムズ社の ADS シリーズがあり、航空測量会社によって保有機器は異なるが、各社とも藻場判読に必要な機能は満たしているので、カメラ機種まで指定する必要はない。
- ・ 航空写真は高度 300m～3,000m 程度で撮影され、撮影画角は 500m 四方～数 km 四方、地上解像度は数 cm～数十 cm、撮影縮尺は 1/2,500～1/20,000 程度であり、必要な精度と事業予算から適切な仕様を決定した上で、人工衛星、UAV とのコスト比較を行う。
- ・ 撮影時期については、撮影計画立案から実施に要する期間を見込んで発注する必要があり、年度当初の春季や天候障害の多い冬季で計画する場合は特に留意が必要である。
- ・ 成果は青、緑、赤、近赤外のデジタルオルソ画像データとして納品される。

## ALB

- ・ALB の適用を検討する場合は、対象海域に極端な濁りがなく一定の透明度が確保されていること、低高度（500m 前後）での航空機の飛行が可能であることを満たす必要がある。
- ・撮影に用いるレーザには、Riegl、Leica、Optech などがあり、航空測量会社によって保有機器は異なるが、各社とも藻場判読に必要な機能は満たしているため、カメラ機種まで指定する必要はない。
- ・使用するカメラによっても異なるが、測深精度は 0.15m 程度、透明度の 1.5 倍（最大測深 15m）程度まで計測することができる。
- ・アーカイブ提供サービスはなく、新規に撮影する必要がある。
- ・ALB を用いた藻場解析の研究報告はいくつかあるものの、適用できる水質の制約条件があるため、測深精度の検証が主に河川測量の分野で行われ始めた段階である。
- ・ALB による航空写真撮影の発注にあたっては DMC と同様に、撮影範囲（面積）、撮影時期、解像度、撮影縮尺（高度）を決定する。
- ・DMC に比べて低高度飛行が必要なため、費用的には DMC よりも割高になる。
- ・撮影時期は、基本的に DMC と同様に海藻の繁茂時期を考慮の上、波浪の影響がない静穏な時期での実施を計画する必要がある。
- ・成果は基本的に青、緑、赤、近赤外のデジタルオルソ画像データ及び水深データとして納品される。

## イ 調査機材

委託のためなし

## ウ 調査の実施方法

- ・航空写真を用いた藻場判読は、基本的に衛星画像と同じ要領で青、緑、赤、近赤外のスペクトルデータを用いて放射量補正、画像解析を行う。
- ・ALB では、水面から反射してくる近赤外パルスレーザと水中を透過して水底から反射してくるグリーンパルスレーザの反射時間の差から浅海部の水深を計測可能（約 5m メッシュ単位、水深 10m で約 0.3m の精度）であり、Sagawa et al (2010) の水柱補正が適用できる。（WorldView-2 など 8 バンドを有する人工衛星についても水深を求める実用的研究が進められている）

## エ 調査結果の取りまとめ

### 画像解析による藻場判別の手順について

画像解析の手順は衛星画像と同様である（P33）。調査結果の例として、神奈川県小田原市で航空機により撮影された空中写真から推定された藻場分布図を示す（図 6-(5)-1）。

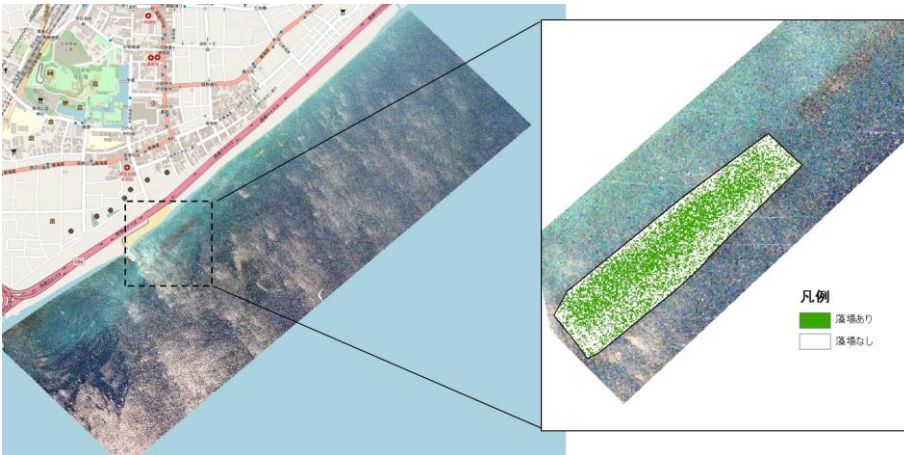


図 6-(5)-1. 航空機からの空中写真より推定され藻場分布

## (6) ドローンの空撮画像による方法

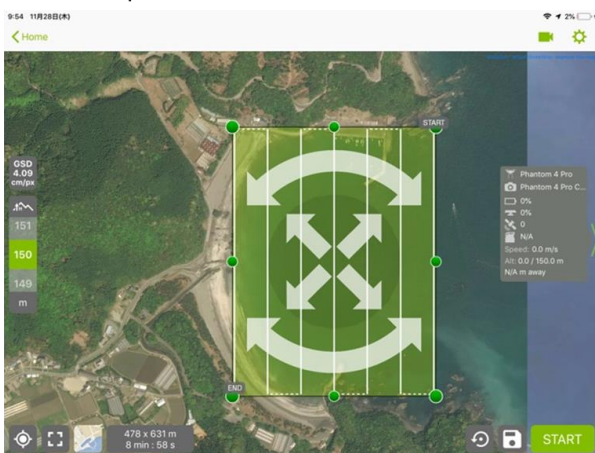
### ア 調査計画の立案

・ドローンで藻場分布を把握しようとする場合、手動操縦でも高度や位置を操作し空撮できるが、自動操縦ソフトを利用して飛行計画を設定することでより効率よく画像を取得することができる。

#### (1) 自動操縦ソフトについて

ドローンの自動飛行アプリ (Pix4D capture, DroneDeploy, Litch, DJI DS PRO など) を用いて、藻場の空撮を簡易に行うことができる。これらのアプリのうち Pix4D mapper, Drone Deploy, DJI DS PRO では撮影範囲を決めることで最適なルートを作ってくれ、自動で空撮してくれる。また、撮影画像間のオーバーラップ率 (写真の重なり具合、通常 60% 以上は必要) を設定するとそれに合わせたルートや撮影間隔となる。

#### Pix4D capture経路設定画面



#### Drone Deploy経路設定画面

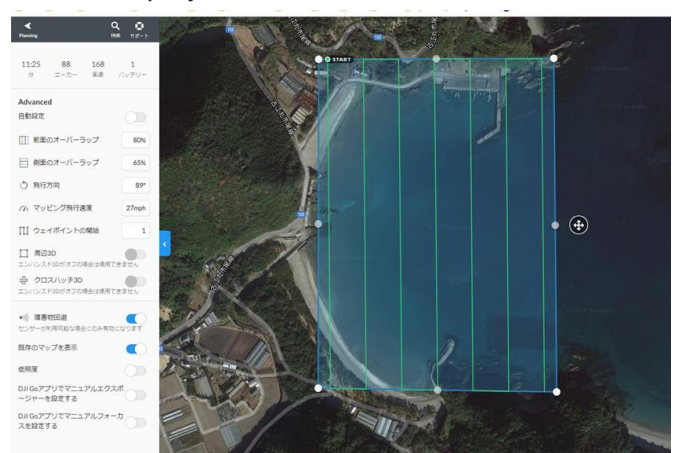


図 6-(6)-1. 自動飛行アプリ (Pix4D capture 及び DroneDeploy) による飛行経路の設定画面

#### (2) 制限空域や飛行方法に関する許可申請の方法について

藻場の撮影において、目視外飛行（モニター監視による自動操縦やFPV操縦も含む）、人口密集地域・第三者の人や物までの距離が30m以内の飛行を行う場合、管轄の国土交通省の航空局への許可申請が必要となる（通常10営業日ほど）。また、制限空域（高度150m以上や空港近く）での飛行も管轄の空港事務所への許可申請が必要なため、前もって準備しなくてはならない（通常12～14営業日ほど）。高度150m以上の飛行では航空管制部との調整も必要となる（空港事務所から指示がもらえることも）。このような制限区域での

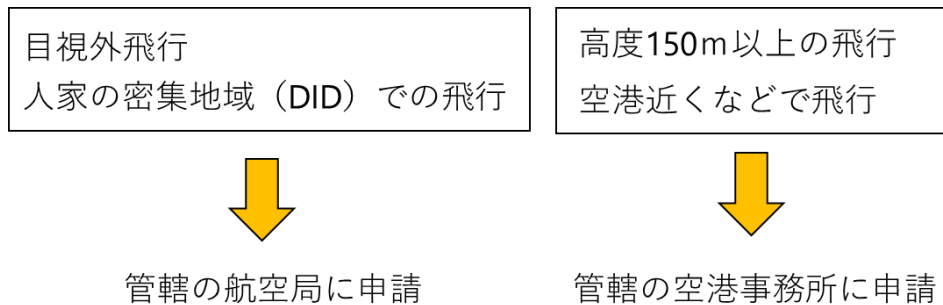


図 6-(6)-2. 藻場の空撮において必要性が高い飛行条件の許可申請先

飛行申請はWEB上のドローン情報基盤システム (<https://www.dips.mlit.go.jp/portal/>) を利用してオンライン上で行うことができる。また、その場所が制限区域かどうかはウェブサイト (DJI 安全飛行マップ: <https://www.dji.com/jp/flysafe/geo-map>) やスマートフォンのアプリ (ドローンフライトナビ、ドローン飛行チェックなど) を利用して前もって確認できる。

#### イ 調査機材

- ・ドローン+リモコン
- ・バッテリー予備+バッテリー充電器
- ・帽子、サングラス
- ・双眼鏡
- ・風速計
- ・記録野帳、鉛筆

#### ウ 調査の実施方法

##### 天候・海況・時間帯について

天候・海況を確認し、風が強い場合（風速5m/s以上）や雨が降りそうな場合は、安全面の考慮や機体墜落を防ぐためにも操縦しない勇気も必要である。特に船上で離着陸する場合は風が強いと難易度がかなり高くなる。

海の濁りが強い場合は空撮画像から藻場が見えないことが往々にしてある。調査地点の藻場の水深から判断して、少なくとも何mの透明度が必要か考える必要がある（水深5mにある藻場がみなければ透明度5mが最低限必要となる）。

空撮の時間は対象とする沿岸が影にならない時間帯を選ぶべきである。例えば、東岸にある藻場ならば太陽光が差す午前中に、西岸にある藻場の場合は太陽がある程度上がった昼近くや午後が良い。ただし、太陽が南中すると海面でハレーションが起りやすいこと

もあるので、現場での判断が必要となる。

### ドローンの空撮高度に関して

ドローンの空撮高度が低ければ低いほど画像の解像度が鮮明になるが、許可申請の不要な最高高度 150mからの撮影でも約 4 cm/ピクセルの通常の藻場判別には十分な解像度の空撮画像が得られる (DJI Phantom 4 pro の純正カメラの場合)。

海面及び均質な砂地しか映っていない画像ではモザイク処理 (複数の空撮画像を合成して 1 枚の画像にする、下記参照) を行うための目印 (沿岸の地形や漁港、消波ブロックなど) がいないため、うまく画像が合成されないことが起こる。許可申請のいらぬ最高高度の 150mから陸地部分が映るような形で撮影するか、高度 150m以上の飛行許可を取得して、高度 150m以上で陸地と藻場が同じ画像内に入るように撮影することが必要となる。

### 船上からのドローンの離着陸について

船上では、基本的に補助者がドローンをリリース・キャッチすることで離着陸することができる (図 6-(6)-3)。ドローンのプロペラが回り始めれば、補助者が手を放すことでドローンは簡単に離陸できる。一方、船上でのドローンの着陸は難易度が高く不安定になりやすい。安定的な方法の一つとして、まず撮影が終わったらドローンを船の前方近くまで移動させる。その後、ドローンの高度をキャッチする補助者の手と同じ高さまで下げ、その位置でホバリングさせる。そして、船をドローンの向きに動かすことで補助者にドローンをキャッチしてもらう。海上では船を静止させても波や風で横に動くことが多いため、船を進行させたほうが安定してドローンをキャッチできるのである。この離着陸の方法は、操縦者、補助者、船長との連携が重要なので、十分な打ち合わせが必要となる。船上でのドローンの着陸 (キャッチ) は不安定になりやすいため、安全のためにドローンにプロペ

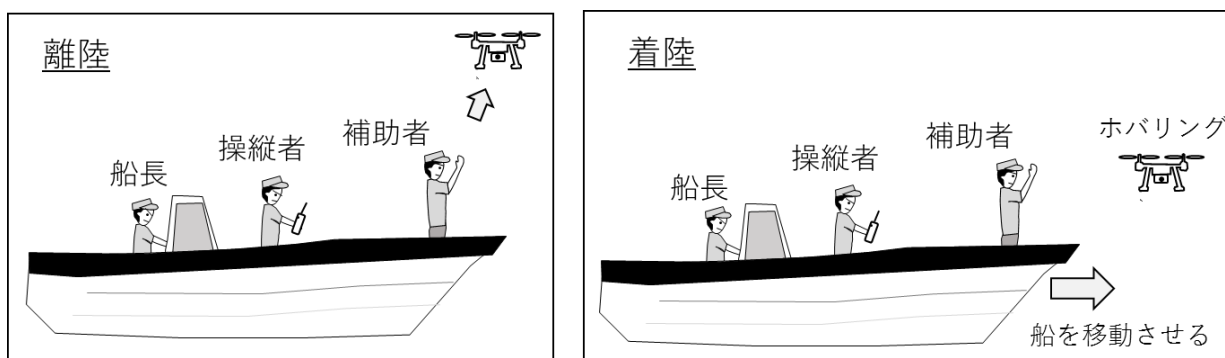


図 6-(6)- 3. 船上での安全なドローンの離着陸の方法

ラガードを付けることをお勧めする。

### エ 調査結果の取りまとめ

図 6-(6)-4 にドローンの空撮から藻場分布推定までの一連の流れを示す。

#### モザイク画像の作成

撮影した藻場の空撮画像が複数に及ぶ場合、通常、オルソモザイク処理 (複数の写真画像を 1 枚の画像にする) を行う。Pix4D mapper や PhotoScan (Metashape 2019 年) といったソフト (永久ライセンス購入で 50~70 万円、2019 年現在) を用いて、パラメータなどを

設定すれば自動でモザイク処理をしてくれる。Photoshop や GIS ソフトなどにより、目で見ながら画像と画像を重ね合わせることでモザイク画像を作成できるが、時間と根気が必要となる。

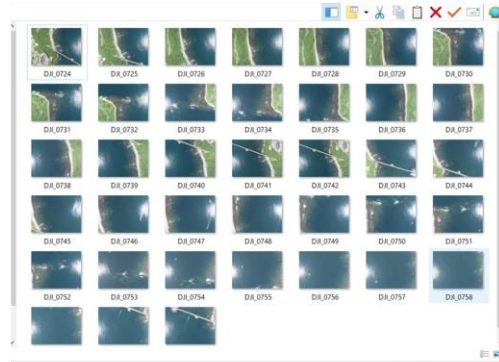
#### 空撮画像の画像解析

空撮画像の解析は衛星画像と同様である。

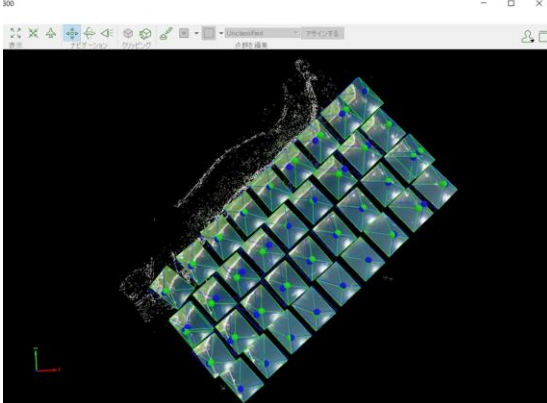
## 1. ドローンによる空撮



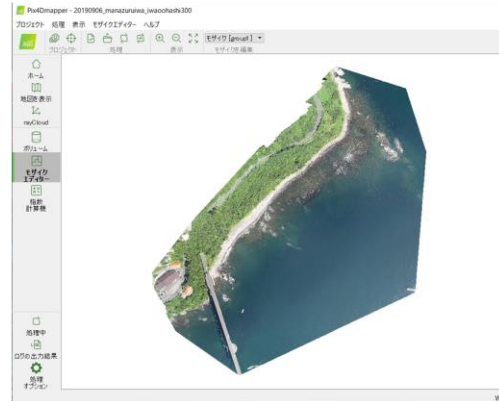
## 2. ドローンの空撮画像



## 3. ソフトを用いたモザイク処理



## 4. モザイク画像の作成



## 5. 藻場分布の推定



図 6-(6)-4. ドローンの空撮から藻場分布推定までの流れ

## 7 実用事例

上記で説明した手法の実用事例として、2019年7月23日～25日に神奈川県真鶴町沿岸の2地点（図7-(1)-1）において潜水調査、船上カメラ調査、音響測量、ドローンによる空撮を行い、藻場分布の把握を試みたので紹介する。

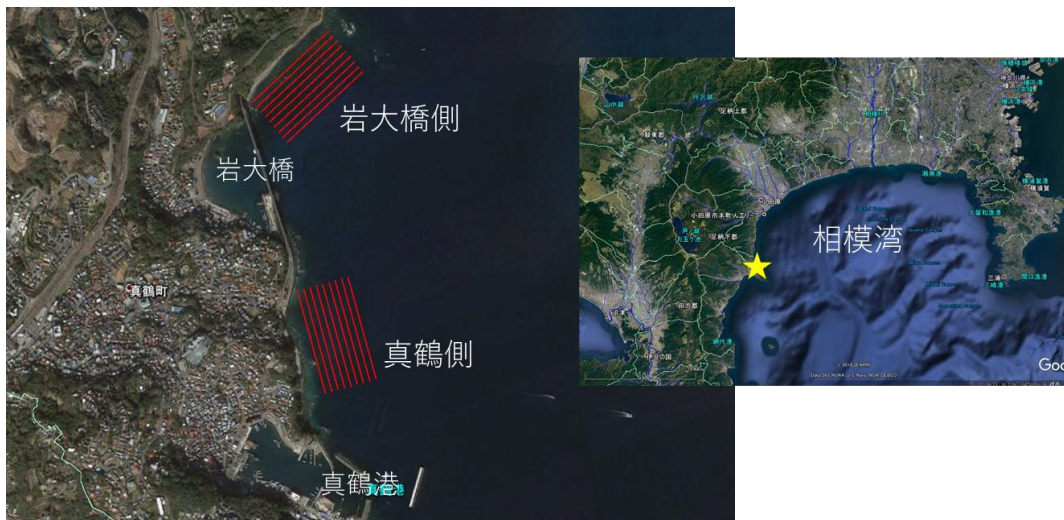


図7-(1)-1.調査地の地図（Google earth より）

(1)潜水調査の事例（図7-(1)-2）

岩大橋側において200mのラインを4本（44調査点）、真鶴側において200mのラインを5本（52調査点）水中に設定し、そのライン上で20mごとに1m×1mのコドラートを置いて写真を撮影し、海藻種、その被度、底質を記録した。調査範囲において40m×40mのエリアを設定し、エリア内の地点のカジメ被度を平均し、それにエリアの面積をかけることでカ

岩大橋側（44点）

真鶴側（52点）

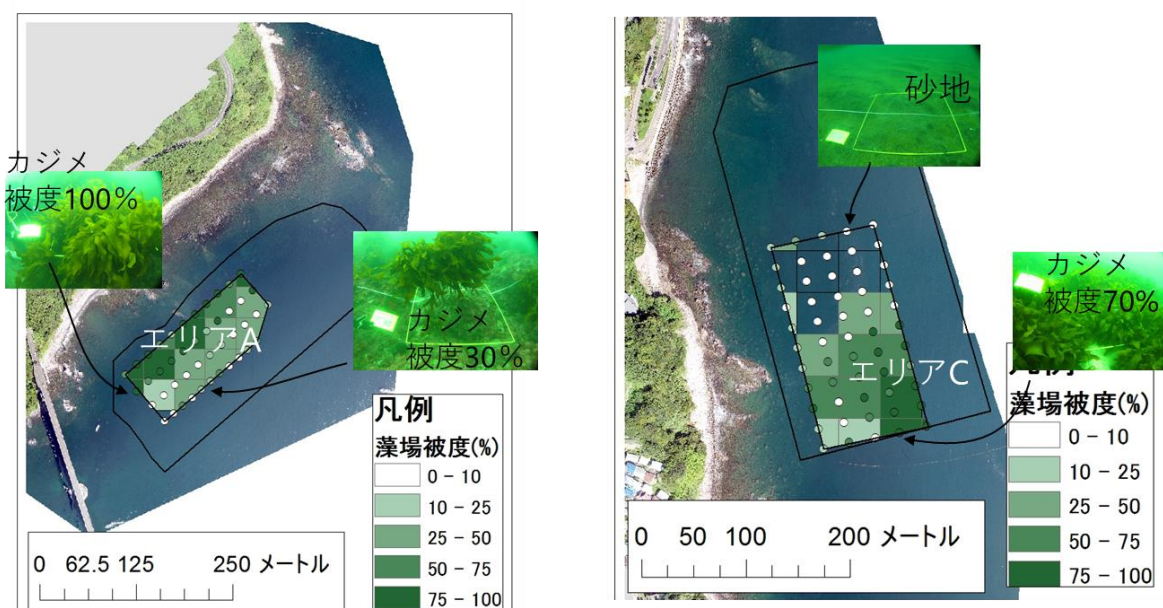


図7-(1)-2. 潜水調査点と推定されたカジメ場の分布

ジメ場面積を推定した。岩大橋側ではエリアAのカジメ場面積は7705 m<sup>2</sup>、エリアCのカジ



メ場面積は 7024 m<sup>2</sup> と推定された。

### (2) 船上カメラ調査の事例 (図 7-(1)-3)

岩大橋側において約 400mのラインを 7 本 (97 調査点)、真鶴側において約 400mのラインを 9 本 (113 調査点) 設定し、そのライン上で 0.5m×0.5m のコドラートを置いて船上カメラにより画像を撮影し、海藻種、その被度、底質を記録した。調査範囲において 40m×40m のエリアを設定し、エリア内の地点のカジメ被度を平均し、それにエリアの面積をかけることでカジメ場面積を推定した。岩大橋側ではエリア A のカジメ場面積は 7653 m<sup>2</sup> とエリア B のカジメ場面積は 19467 m<sup>2</sup>、エリア C のカジメ場面積は 5881 m<sup>2</sup> とエリア D のカジメ場面積は 12403 m<sup>2</sup> と推定された。

#### 岩大橋側 (97点)

#### 真鶴側 (113点)

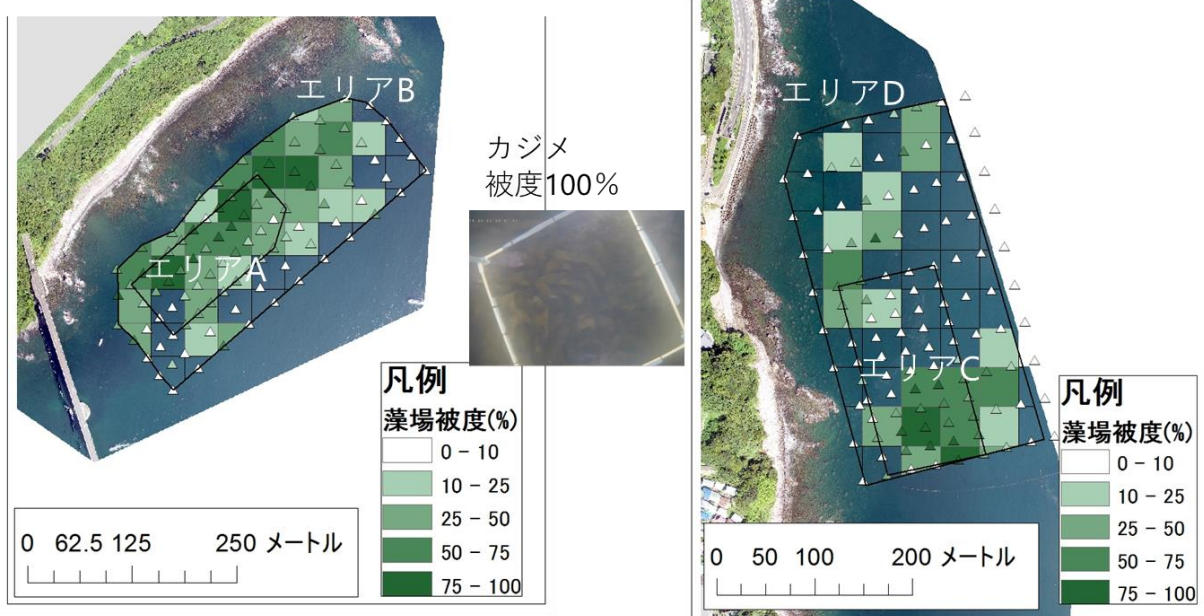
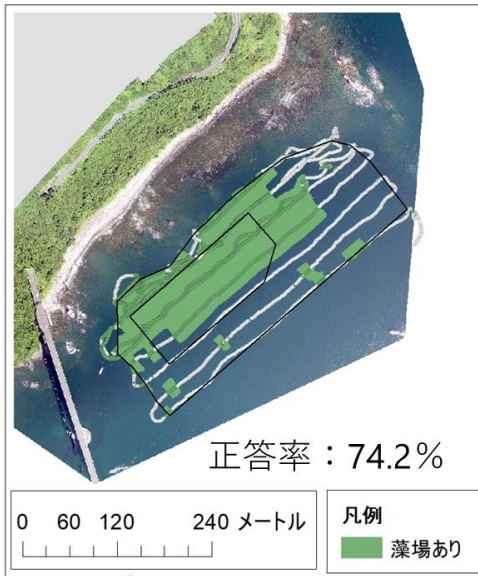


図 7-(1)-3. 船上カメラ調査点と推定されたカジメ場の分布

### (3) 音響測量調査の事例

岩大橋側において約 400mのラインを 7 本、真鶴側において約 400mのラインを 9 本設定し、簡易音響魚探の Lowrance を用いてライン上の音響測量を行った。この音響測量の画像データを基にカジメ場の判別を行い、調査エリア内のカジメ場を空間内挿により推定した。岩大橋側ではエリア A のカジメ場面積は 6216 m<sup>2</sup> とエリア B のカジメ場面積は 13463 m<sup>2</sup>、エリア C の藻場面積は 5050 m<sup>2</sup> とエリア D の藻場面積は 10300 m<sup>2</sup> と推定された。

### 岩大橋側



### 真鶴側

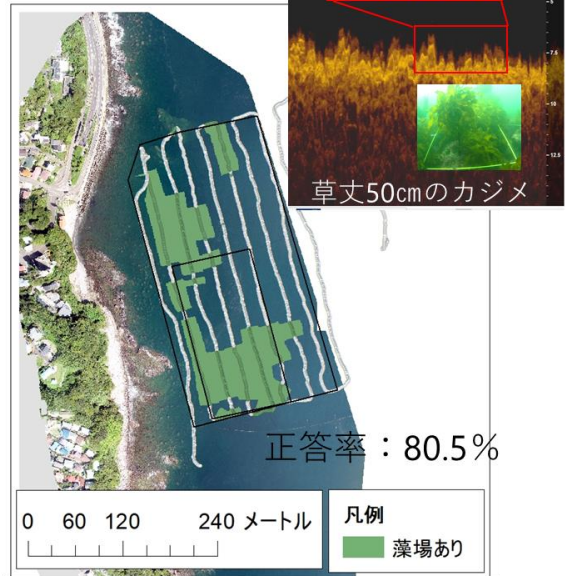
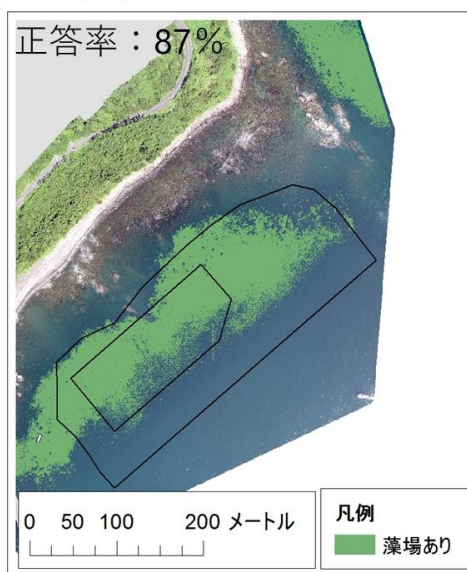


図 7-(1)-4 .音響測量の調査結果と推定されたカジメ場の分布

#### (4) ドローン空撮の事例

岩大橋側と真鶴側において高度 300m（高度 150m 以上からの許可取得）からドローンにより空撮を行った。この空撮画像を用いてカジメ場の分布を推定したところ、岩大橋側ではエリア A のカジメ場面積は 5719 m<sup>2</sup> とエリア B のカジメ場面積は 14009 m<sup>2</sup>、エリア C の藻場面積は 4313 m<sup>2</sup> とエリア D の藻場面積は 11480 m<sup>2</sup> と推定された。

### 岩大橋側



### 真鶴側

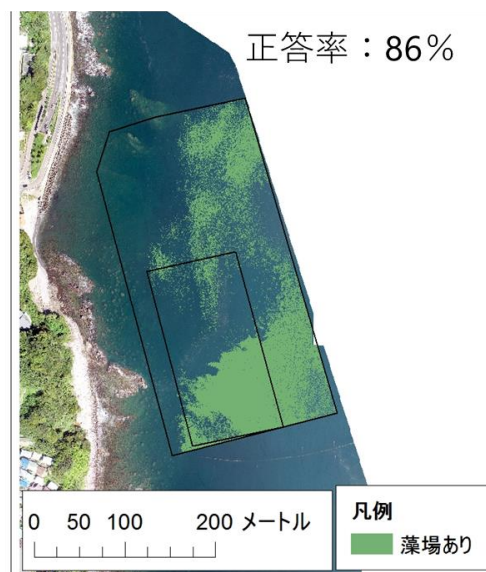


図 7-(1)-5.ドローンによる空撮画像から推定されたカジメ場の分布

## 8 藻場の時系列推移の把握

神奈川県小田原市沿岸の人工リーフにおいて（図 8-1）、藻場分布の把握のために潜水調査、音響測量、ドローンによる空撮を 2020 年 1 月 22 日に行った。加えて、漁業者にも人工リーフの藻場の繁茂状況に関して聞き取りした。また、木下ら（2006）における人工リーフの藻場被度データを取得するとともに、1999 年 12 月 7 日に対象地で撮影された航空写真を、国土地理院の地図・空中写真閲覧サービス（<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>）から取得した（図 1-2）。この 1999 年 12 月の画像に対して Lyzenga の水中補正を行い、2000 年 2 月の現地データを用いて教師付き分類により人工リーフ上の藻場分布を推定した。

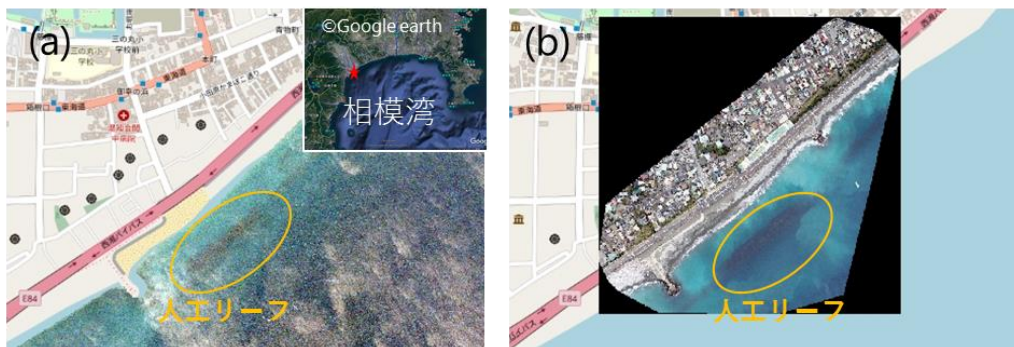
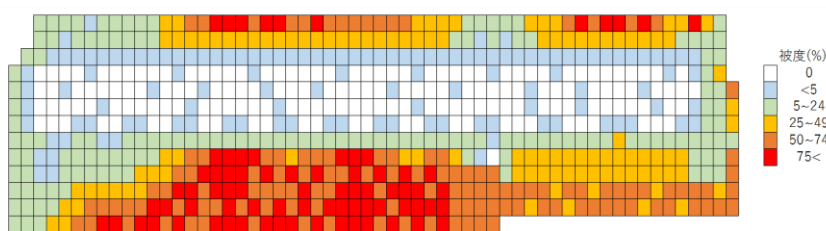


図 8-1. (a)1999 年 12 月 7 日に撮影された航空写真と (b) 2020 年 1 月 22 日に撮影されたドローン画像における小田原市沿岸の人工リーフ

2020 年 1 月 22 日の潜水調査及び漁業者からの聞き取りの結果、人工リーフではカジメ場は消失していることが明らかになった（図 8-2）。潜水調査中にホンダワラ類の新芽を確認した地点もあったが、大型褐藻（カジメ、ホンダワラ類など）はほとんど生育していない状況である。また、空中写真から 1999 年 12 月の藻場分布（被度 25%以上）が推定され、その面積は 5614m<sup>2</sup>と、2000 年 2 月に潜水観察の結果から藻場の面積（被度 25%以上）では 4743m<sup>2</sup>と算出された（図 8-3）。

ただし、1999 年の空中写真では波が立ち、海の透明度が低いことから画像の質が低く、現地調査の藻場分布との整合性は低かった（図 8-2a, 8-4）。また、2020 年のドローン画像では、現地調査でカジメ場が確認されなかったことやドローン画像を精査しても藻場は映ってなかったことから、推定された藻場面積は 0m<sup>2</sup>とみなした（図 8-3）。（1）と同

(a) 2000年2月の調査の結果



(b) 2020年1月22日の調査の結果

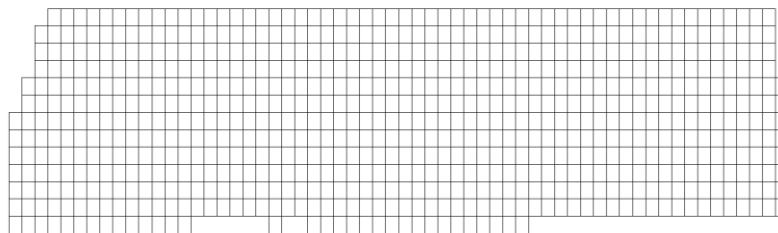


図 8-2. (a)2000 年 2 月と (b) 2020 年 1 月 22 日の小田原市沿岸の人工リーフにおけるカジメの被度. (a)は木下ら

様に今回の調査においても調査手法により推定された藻場面積が異なった。これは空中写真と現地調査の時期（1999年12月と2000年2月）の違いというよりも、手法の違いが影響したと考えられる。藻場の時系列変化を把握するためには同じ手法を用いることが推奨されるが、今回のように昔に藻場の潜水調査を行った地点をドローンで調査するといったことは増えていくだろう。この場合、調査手法の違いや精度を検証するためにも、部分的には潜水調査を行うなどといった工夫が必要と考えられる。

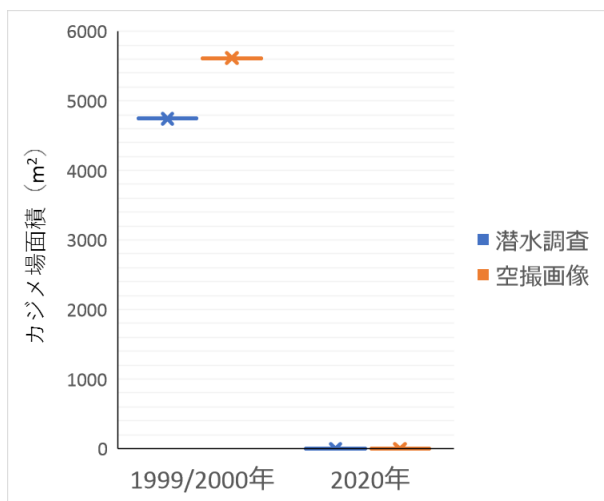


図 8-3. 1999・2000 年と 2020 年の藻場面積

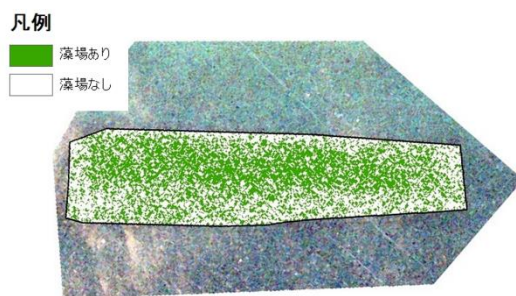


図 8-4. 1999 年 12 月の空中写真から教師付き分類により推定された藻場

## 9 その他

### (1) データの保存について

藻場の経年変化や他海域にとの比較検討を円滑にするためには、調査方法の標準化だけではなく、調査結果（画像、被度データ等も含む）を保存管理する体制を整備する必要がある。各手法で取得したデータを打ち込むメタデータの形式例や、空撮画像の条件のメタデータ、空撮・マッピング画像の保存方法などについて整理する。

## 10 参考資料

梶原 瑠美子、桑原 久実、濱田 保夫、中嶋 泰（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(3)：221-226

公益社団法人（2018）全国豊かな海づくり推進協会平成30年度藻場調査・磯焼け対策実習会テキスト

全国漁業協同組合連合会、全国内水面漁業協同組合連合会（2016）水産多面的機能発揮対策「環境・生態系保全」におけるモニタリングの手引き（暫定版）

水産工学研究所（2011）簡単に行える音響測器を用いた漁場調査に関する手引き  
[http://nrife.fra.affrc.go.jp/topics/onnkyoukiki\\_tebiki/onnkyou\\_tebiki.pdf](http://nrife.fra.affrc.go.jp/topics/onnkyoukiki_tebiki/onnkyou_tebiki.pdf)

## 捕食者を利用した藻場回復の手引き（二次案 rev.21）

## 目次

1. 本手引きの趣旨
2. 捕食者とその役割
3. 捕食による藻場の回復保全事例
4. 捕食者を利用した藻場回復手法の基本的考え方
5. 捕食者を利用した藻場回復のための考慮すべき条件
  5. 1 対象とすべき捕食者
  5. 2 捕食者の体サイズ
  5. 3 捕食者の生息密度と個体群規模
6. 対策の手順
7. 参考資料
  7. 1 捕食者による影響と藻場の回復力
  7. 2 野外における捕食圧の調査方法
  7. 3 水槽実験による捕食圧の推定方法
  7. 4 捕食者による植食動物の活動抑制効果の推定方法
  7. 5 捕食者の特定方法
  7. 6 捕食者の影響範囲の調査方法
  7. 7 捕獲せずにイセエビの体サイズを測定する方法

## 1. 本手引きの趣旨

ウニが大量発生し、その過剰な植食圧が藻場の減少要因として挙げられている。ウニの大量発生の原因について、海外ではウニの捕食者の乱獲が磯焼けの原因となっていることはよく知られ、全面禁漁区の設定が藻場のある豊かな生態系の回復に有力な手段として推進されている。この背景には、海外でも乱獲による資源の枯渇と漁業の崩壊を経験したことを契機に、大規模な全面禁漁区が設定され、一般漁場と禁漁区との比較研究が進んだことがある。

これに対して、我が国ではウニなどの植食動物が増えた原因や捕食者の影響については、ほとんど検討されることはなく、植食動物の人為的な除去などの対症療法的対策がとられてきた。また我が国沿岸域は地先ごとに地元漁村の排他的漁場として分割管理されてきたため、海外のように急激な乱獲に陥らなかった反面、大規模な禁漁区は設定されず、捕食者の影響を科学的に検討することも難しく、研究もほとんど行われてこなかった。しかし、我が国沿岸には規模は小さいが、漁業協同組合が管理する保護区が多数存在する。また最近の研究により、その中の一つである高知県 A 地区のイセエビ保護区において、周辺域がウニの優占する磯焼け状態になっているにもかかわらずイセエビの捕食により大規模な藻場が維持されていることが明らかになっている。国内では、捕食の間接的効果により大規模な藻場が維持されている事例はそれ以外にはまだ見出されていないが、調査の結果、他の海域でもイセエビが生息する場では程度の差はあるが、同様のウニの減少傾向がみられ、その普遍性が確認されていることや、イセエビ以外にも植食動物の捕食者は存在するが、磯焼け域ではほとんど消失していることが推察されている。

磯焼け対策として実施されている植食動物の除去は、対策を続けなければ、一度藻場が回復してもやがては元の磯焼け状態に戻ってしまう対症療法である。これに対して、捕食者を利用した藻場回復手法は、植食動物を増加させる原因そのものを制御する原因療法であり、持続的な効果が期待できる。その推進のためには、まず捕食者が水産資源として重要なだけでなく、藻場生態系の維持に重要な役割を果たしていることも理解し、その機能を発揮できるようにする必要がある。しかし、捕食者による藻場への影響は、ウニや植食魚の食害ように直接観察できないため、わかりにくく、海外でもすぐに認められたわけではない。また、禁漁区の設定により必ずしも藻場を回復できるわけでもなく、回復に必要な条件も知る必要がある。大規模な禁漁区がほとんどない我が国において捕食者を利用した磯焼け対策を推進するためには、海外での歴史的経緯や先行事例の理解は欠かせない。しかしながら、我が国では沿岸資源や漁場の管理方法が海外と異なり、海外と同じように大規模な禁漁区を設定することは現状では困難である。本手引きでは、A 地区保護区の実例を示しながら、現行制度下で適用可能な手法の方向性と具体的な方法の指針を示す。

## 2. 捕食者とその役割

本手引きでは、植食動物を捕食する肉食動物を捕食者という。

捕食者は、生物群集の中では個体数は少ないが、食物連鎖を通じて藻場の消長に大きく影響する可能性がある。その捕食者の個体群に最も大きな影響を与えているのが人による採捕である。豊かな藻場生態系を回復、保全するためには、藻場生態系における捕食者の役割の理解が必要である。

【解説】

### 1) これまでの藻場と捕食者との関係

生態系は様々な生物から構成され、複雑で入り組んだ食う・食われるの関係があるが、それらを食物段階から概観すると、ピラミッド状の構造をなしている。たとえば、海洋では、植物プランクトンや海藻などの植物が光合成によりエネルギーを作り出す生産者として生態系の土台をなし、その消費者である動物プランクトンやウニ・アワビなどの植食動物が植物に支えられている。さらに植食動物を食べる小魚や甲殻類などの肉食動物（捕食者）が植食動物によって支えられ、さらにそれらの肉食動物を食べる大型の肉食魚類が支えられている。動物が生物を捕らえ、消化し、体の組織を作る過程で多くのエネルギーが失われる。このため、植物を食べる植食動物、植食動物を食べる肉食動物といった食物連鎖で栄養段階が一段階上がるごとに個体数は少なくなり、その最上位には数が最も少なく、他のどの生物からも捕食されない頂点捕食者が君臨するピラミッド状になる。このような概念的な生態的構造を生態ピラミッドという。

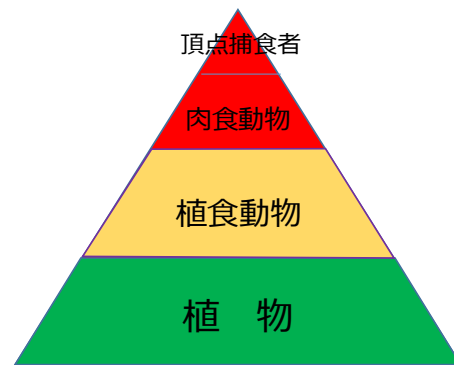


図1 生態ピラミッド

この生態ピラミッドによれば、栄養段階の高次のもはより低次のものに制限されるため、最終的には植物の量で規定されるので、植物よりも上位に位置する捕食者は生産力に関係しないことになる。これまでの我が国の磯焼け対策は、生態ピラミッドと同様の考えに基づき、「魚介類が減ったのは藻場が減ったからで、藻場を回復できれば魚介類がたくさん獲れる漁場に戻せる」と考えられ、磯焼けの原因や対策で捕食者が検討対象になることはなかった。

### 2) 藻場における捕食者の役割

以上の考え方とは異なり、現在の海外では、一般漁場と海洋保護区との比較研究が進み、捕食者の乱獲により磯焼けが発生することが広く認識されている。図2は、それを説明するための模式図である。植食動物としては、様々な生物種が想定されるが、これまでのところ、海外でもウニ以外の植食動物を対象にした研究は少ない。一般漁場では、ウニの捕食者が乱獲され、その結果、ウニが捕食から開放されて大量発生し、その過剰摂食により海藻が消失している。これとは対照的に、全面禁漁区では、捕食者個体群が回復し、捕食によるウニが減少し、藻場が回復することが明らかにされている。このように、捕食者の影響が栄養段階を次々に伝わる現象を栄養カスケードという。栄養カスケードは、少ない捕食者が生態系を大きく変えることから、

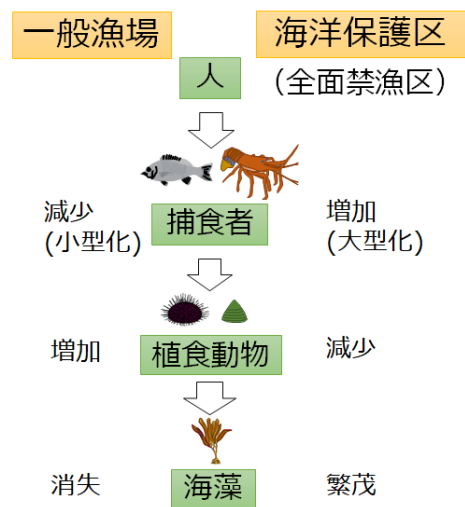


図2 一般漁場と海洋保護区での栄養カスケード



生態系の管理では非常に重要なメカニズムになっている。

以上のように、捕食者の乱獲は捕食者の資源そのものを減少させるだけでなく、植食動物の捕食を減少させることを通じて間接的に磯焼けを発生させる要因になっている。現在、地球温暖化も磯焼けの大きな要因の一つとして注目されている。地球温暖化も乱獲も人類の作り出した要因であるが、前者は地球規模での対策が不可欠であるのに対して、後者は地域規模での対策が可能であり、地域社会での取り組みが期待されている。

## コラム 1 生態ピラミッドと「緑の世界仮説」

生態ピラミッドは、1927年、チャールズ・エルトン(Elton 1927)によって示された古典的な見方であるが、1960年にヘアストンら(Hairston et al. 1960)により、後に「緑の世界」仮説と呼ばれる新たな見方が発表されるまでは、地球上のすべての生物に通じる原則として信じられてきた。その仮説とは、植食動物は植物を絶滅するまで拡大する能力をもつが、そうならず世界が植物で覆われているのは、捕食者が植食動物を制御しているからというものである。この「緑の世界」仮説が提唱された背景には、世界中で大型捕食動物が虐殺や乱獲により絶滅または激減し、植食動物が大量発生したという数多くの歴史的事実がある。

「緑の世界」仮説は多くの議論を呼んだが、その科学的検証は難しく、偶然を待つ必要があった。その最初の検証例が1974年、アリューシャン列島で偶然にも生き残ったラッコの生息する島でエステスら(Estes and Palmisano 1974)によって見出された。ラッコはイタチ科の動物で、その良質の毛皮を目的とした乱獲により、1900年代初頭には絶滅寸前まで減少した。ラッコがいなくなったアリューシャン列島の島々では海底一面が高密度のウニとサンゴモに覆われた不毛の場になっていたが、ラッコが偶然にも生き延び、群れを回復していた島(アムチトカ)では小型のウニがまばらにしか生息せず、多くの魚類が集まるケルプ(コンブ目の大型褐藻)の森になっていた。その差は歴然とし、またラッコがウニを食べ、ウニがケルプを食べるのはよく観察されたため、その原因も明らかであった。ラッコの棲むケルプの森は「緑の世界」仮説の疑う余地のない検証例となった。

このように、捕食者の影響が2段階以上の栄養段階を伝わっていく現象は、今日一般に栄養カスケード(カスケード cascade とは連続した小さな滝をいう)と呼ばれる。栄養カスケードは少ない捕食者が生物群集を大きく変えることから非常に注目されている。しかし、ラッコ-ウニ-ケルプの栄養カスケードのように、捕食者の役割を明確にできる実例が自然の海で見出されるのはまれである。たとえば北米でのロブスター-ウニ-ケルプの栄養カスケード仮説のように、ロブスターの乱獲がウニの大量発生を招き、磯焼けの原因になっていることを多くの証拠を挙げて推論しても、実験区を設けて直接証明していないことから、批判も受け、結論は得られなかった。

ウニの磯焼けがウニの捕食者の乱獲によるとする仮説が広く受け入れられるようになったのは、1970年代頃から諸外国で増えてきた全面禁漁区での研究に負うところが大きい。全面禁漁区が科学的検証に必要な大規模野外操作実験の実験区となり、特に1990年代以降、非常に多くの研究が行われ、藻場における捕食者の役割の重要性が明らかにされてきた。

### 参考文献

- Elton, C., 1927. *Animal Ecology*. Macmillan Co., New York.
- Estes, J. A., and J. F. Palmisano. 1974. Sea otters: their role in structuring nearshore communities. *Science* **185**:1058-1060.
- Hairston, N. G., F. E. Smith, and L. B. Slobodkin. 1960. Community structure, population control, and competition. *Am. Nat.* **94**:421-425.

## コラム 2 捕食者が植食動物に秩序と恩恵をもたらす

捕食者は植食動物には負の効果しかもたらさないと考えられるかもしれない。しかし、必ずしもそうではなく、むしろ捕食者が栄養カスケード効果を通じて植食動物に恩恵をもたらすことがある。その事例として、以下に述べるオオカミの再導入により森を復活させた米国イエローストーン国立公園の例はよく知られている。

米国では、オオカミはかつてシカなどの草食動物を食べる害獣として駆除され、イエローストーン国立公園では 1926 年に絶滅した。オオカミが絶滅してまもなく、ワピチと呼ばれる大型のシカが大量発生して、植物を食い荒し始めた。次世代の森となる若芽や若木は絶え間なく食べられ、ポプラやヤナギなどの木々が次々と枯死し、最後にはワピチが食べない植物ばかりが残る状態になった。これは、数の増えたワピチにとっても飢餓状態の不幸であり、磯焼け域に高密度に生息するウニにも相通じるものがある。しかし、森の衰退が明らかになっても、その原因をワピチによる食害ではなく、気候変動や多発する山火事などの別の要因に求める研究者も多く、頂点捕食者の役割がすぐに見直されることはなかった。オオカミの保護と復活が図れたのは、かなりの年数を経た、絶滅危惧種法が成立した 1973 年から 20 年以上も後である。

1995 年、多くの議論の末、カナディアン・ロッキーで捕獲されたオオカミ 14 頭がイエローストーン国立公園に放たれた。オオカミは数を増し、公園内に広がって 10 年後に 300 頭を超え、徐々に立木が回復していった。しかし、オオカミが戻ってきたからといって、ワピチが捕食により激減したわけではない。草原ではワピチの方がオオカミより速く走れるため、オオカミがワピチに襲いかかってもたいてい失敗し、たまに蹴飛ばされて死ぬことさえある。ところが、急傾斜地や谷間などは、ワピチがとっさに逃げにくく、捕食される可能性が高い。そのため、オオカミが潜んでいるかもしれない低木の茂みや急な斜面などでは、ワピチは恐怖により若芽や若木を自由に食べられなくなり、そこを起点に木々が復活していった。

捕食者の不在の環境下では、植食動物はあらゆる植物を際限なく食い尽くしてしまう。その結果、飢餓状態になり、数を減らす。しかし、植食動物は好まない植物まで食べながら飢えを凌いで、絶滅することはない。これに対して、捕食者の存在下では、植食動物の行動が制限され、植物の豊富な状態が維持される。捕食を免れて生き残った植食動物は豊富な餌により大きく成長できる。かつて我が国の多くの磯根漁場では、今よりもはるかに多くの大型のアワビやウニが生息していたが、大型海藻が繁茂していたと言われている。なぜそのような状態が可能であったのかについては、情報が残されていないため、推察する以外にないが、最も可能性の高い説明として捕食者も同時に多く生息し、上述と同じ状態が維持されていたことが考えられる。また、捕食の影響で留意すべき点は、捕食者が植食動物を捕食するのは容易でなく、その試みの多くは失敗するが、植食動物に大きな影響を及ぼすことである。短期間の実験では肉食動物が植食動物を食べないことはよくある。しかし、そのことを根拠に、実際の海でも捕食の影響がないと結論づけるのは早計である。捕食は長期にわたり生態系全体を変える要因としてとらえる必要がある。

### 参考文献

ウィリアム・ソウルゼンバーグ著「捕食者なき世界」(中野香方子訳)、文藝春秋、2014

### 3. 捕食者による藻場の回復・保全事例

#### 1) 海外の事例

漁獲圧が高く、資源評価でかなりの不確実性がある場合、最も確実性の高い生態系回復の手段として全面禁漁区の設定が推奨され、近年、全面禁漁区の数が世界的に急増している。これには、海洋保護区を設定しても、商業的漁業は禁止しても遊漁を禁止しないなどの部分的な規制では明らかな効果が得られない例が多いことが背景としてある。しかし、全面禁漁区での効果に関しては、生物相の変化が長期間にわたることが多く、それらを長期間にわたり周辺域と比較して調査した研究例は少ない。その中で、ウニの磯焼け域で設定された全面禁漁区において、捕食者－ウニ－海藻の栄養カスケード効果により藻場回復・保全されている海外の代表的例として表1に示す保護区を挙げるることができる。いずれの保護区も規模が非常に大きく、1 km<sup>2</sup>をはるかに超えている。

表1 捕食者－ウニ－海藻の栄養カスケード効果が明らかにされた海洋保護区（全面禁漁区）の例

保護区名	場所	設立年	面積	効果の概要
ケープ・ロドニー オカカリ・ポイント 海洋保護区 Cape Rodney to Okakari Point Marine Reserve	ニュージーラ ンド	1975	549.16 ha	保護区でフエダイ類 <i>Pagrus auratus</i> とミナミイセ エビ <i>Jasus edwardsii</i> が増加、大型化し、ウニ <i>Evechinus chloroticus</i> が減少し、ケルブ場が増 加し、不毛な場が減少した(Babcock et al. 1999)
タウハラヌイ海洋 公園 Tawharanui Marine Park	ニュージーラ ンド	1982	350 ha	
マリア島海洋保 護区 Maria Island Marine Reserve	オーストラリ ア タスマニ ア島	1992	1500 ha	保護区でミナミイセエビ <i>Jasus edwardsii</i> とペラ 類 <i>Notolabrus tetricus</i> が増加し、ウニ <i>Centrostephanus rodgersii</i> が減少し、海藻被 度が増加した(Ling 2012)
トレ・グアチエト海 洋保護区 Torre Guaceto Marine Reserve	イタリア	1992	2220 ha	保護区でウニ( <i>Paracentrotus lividus</i> と <i>Arbacia lixula</i> )の主要な捕食者であるタイ類 ( <i>Diplodus sargus</i> と <i>D. vulgaris</i> ) が増加、大型化し、ウニ が減少し、不毛な場が減少し、海藻被度が増 加した(Guidetti 2006)。
ラ・パルマ海洋保 護区 La Palma MPA	カナリア諸島	2001	3719 ha	保護区でウニの捕食魚( <i>Balistes caprisucus</i> , <i>Canthidermis sufflamen</i> , <i>Chilomycterus reticulatus</i> , <i>Bodianus scrofa</i> )が増加し、ウニ <i>Diadema</i> aff. <i>antillarum</i> が減少し、多年生海 藻 <i>Lobophra variegata</i> の藻場が拡大した (Sangil et al. 2012)

#### 2) 国内事例

磯焼け域に捕食の効果により藻場の大規模な維持が確認されている国内事例は、これまでのところ A 地区のイセエビ保護区以外にない。当地区は南から高温の海水を運ぶ黒潮の影響を強く受ける太平洋岸にあたる。

近年、当海域では水温上昇が顕著で、温帯種のホンダワラ類やアラム・カジメ類の藻場はすでに消失し(平岡ら 2012; Tanaka et al. 2012)、波浪の影響の強い極浅所に熱帯種のホンダワラ類が生残する以外は、岩礁は概ねウコの優占する磯焼け状態になっている。A 地区保護区は、そのような海域に位置する面積約 0.3 km<sup>2</sup> の小湾で、領域内では岩礁の大部分に毎年大型海藻が繁茂する特異な場となっている(図 3)。

A 地区保護区は、イセエビの資源保護のため、昭和 7 年頃から地元漁業協同組合が小湾全体を定めたもので、区内を分割した 6 区域の各々で年 1 回ずつ行われる共同操業以外には禁漁とされている。また、保護区内では投石礁(総面積約 1.4 ha)の整備や、漁獲制限サイズの自主規制により高知県の規定(体重 100 g)よりも大きい体重 180 g 以下の小型エビ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。その結果、ウコに対するイセエビの高い捕食圧により、ウコが非常に少ない領域が維持され、藻場の持続的な形成につながっている。

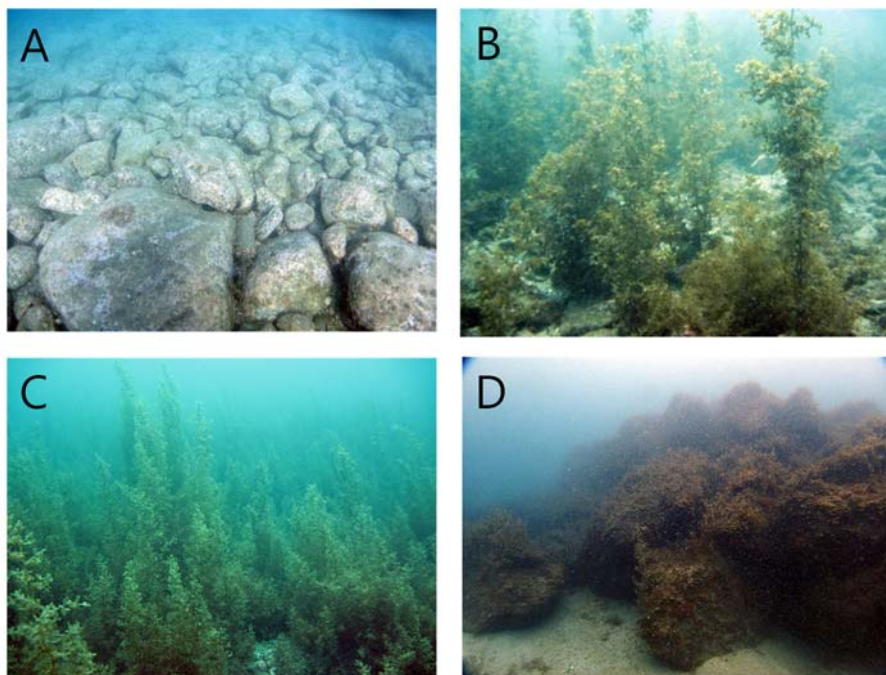


図 3 A 地区保護区周辺の岩礁の典型的例(A)と保護区内の深所まで広がる藻場(B、C)とイセエビの隠れ場となっている投石礁の例(D)。保護区外の巨礫・大礫場(A)にはウコが岩の下に隠れて高密度に生息しているが、保護区内の投石礁(D)にはウコはほとんど生息していない。

#### 参考文献

- Babcock, R.C., Kelly, S., Shears, N.T., Walker, J.W. and Willis, T.J., 1999. Changes in community structure in temperate marine reserves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **189**: 125–134.
- Guidetti, P., 2006. Marine reserves reestablish lost predatory interactions and cause community changes in rocky reefs. *Ecol. Appl.* **16**: 963–976.
- Ling, S.D., Johnson, C.R., Frusher, S.D. and Ridgway, K.R., 2009. Overfishing reduces resilience of kelp beds to climate-driven catastrophic phase shift. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **106**: 22341–22345
- 平岡雅規, 田中幸記, 田井野清也, 蜂谷 潤, 2012. 温暖化最前線の藻場変動と対応策. *海洋と生物* **34**: 314–318
- Sangil, C., Clemente, S., Martín-García, L. and Hernández, J.C., 2012. No-take areas as an effective tool to restore urchin barrens on subtropical rocky reefs. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **112**: 207–215.
- Tanaka, K., Taino, S., Haraguchi, H., Prendergast, G. and Hiraoka, M., 2012. Warming off southwestern Japan linked to distributional shifts of subtidal canopy-forming seaweeds. *Ecol. Evol.* **2**: 2854–2865

### コラム3 海洋保護区

海洋保護区 Marine Protected Area (MPA) に定まった定義はないが、比較的よく用いられているものとして国際自然保護連合 IUCN による以下の定義がある。

「潮間帯または潮下帯であって、そこにある水塊及び関連する動植物相、歴史的及び文化的特徴が、閉鎖された環境の一部または全体を保護するための法律または他の効果的な手段により保全されている区域」(川俣、訳)

この MPA には、一部の漁法や漁期だけを制限するものから、一切の採捕を禁止する全面禁漁区 no-take zone までの様々な保護の程度や内容のものが含まれてしまう。そのため、IUCN では MPA を表 A1 に示す 7 つのカテゴリーに分類している。全面禁漁区でも、特に法律により保護されたものを一般に Marine Reserve(MR)という。MR 以外の禁漁程度が比較的緩い MPA では藻場の維持に効果が認められないことが多い。

表 A1 IUCN による保護区カテゴリー

記号	保護区のカテゴリー	主な管理目的
Ia	厳正自然保護区	厳格な保護／科学的研究
Ib	原生自然保護区	厳格な保護／原生自然の保護
II	国立公園	生態系の保全と保護
III	天然記念物	特定の自然の特徴の保全
IV	生息地／種の管理区域	人の管理介入を通じた保全
V	海洋景観保護区	海洋景観の保全及びレクリエーション
VI	持続的資源利用保護区	資源の持続可能な利用

国際連合環境計画世界自然保全モニタリングセンター-UNEP-WCMC([www.protectedplanet.net](http://www.protectedplanet.net))が全世界の MPA のデータベースを取りまとめている。それによると、MR に相当するカテゴリー Ia と Ib の MPA は、世界全体で少なくとも 1720 区存在し、海洋面積の約 1%に当たる総面積 3,278,735km<sup>2</sup>を占める(2019 年 10 月現在)。我が国では、カテゴリー Ia または Ib の MPA としては西表島崎山湾(1983 年)と網取湾(2015 年)に設定されている自然環境保全地域(1,077 ha)以外にはない。共同漁業権区域は MPA カテゴリー VI に分類され、総面積は 86,031km<sup>2</sup>に及ぶが、no-take zone として登録されているものは都道府県が定める保護水面 50 区、27.34km<sup>2</sup>しかない。

#### 4. 捕食者を利用した藻場回復手法の基本的考え方

捕食者の保護区の設定、漁獲サイズの自主規制等により、崩れた植食動物と海藻とのバランスを回復させ、藻場の回復、保全を図る。

##### 【解説】

植食動物と海藻は食う—食われるの関係にあるが、海藻が食べられて減少しても、餌不足で植食動物が減少し、海藻が回復するということはない。これは、磯焼けの原因となっているウニや植食性魚類の大部分が、海藻以外にも動物を含む多様な生物を餌として利用しているためである。このため、海藻がどんなによく生育できる環境であっても、植食動物の生残や植食活動が何らかの理由で制限されなければ、海藻は必ず植食動物に食い尽くされてしまう。そうならず、通常の岩礁に海藻が生育できるのは、植食動物の生残や活動を制限する何らかの要因が作用しているからである。その要因の中で捕食は最も重要な要因になっている。

ウニや植食魚による植食圧が高い磯焼け海域で、海藻が局所的に残る場がある。しかし、それらは波浪の影響が恒常的に強い浅所や砂に薄く被われた大礫場または低塩分化する河口域や湧水域などの、植食動物の侵入が厳しく制限される特殊な物理環境の場に限られる。そのような場は本来、海藻の生育にとっても厳しい場で、生態学では一般に「避難場所」と呼ばれる。藻場を大規模に回復させるためには、避難場所を造成するのではなく、捕食者の個体群を回復させ、植食動物の加入や植食活動に制御が利いた、健全な藻場生態系を取り戻す必要がある。

そのため、ウニ除去等により藻場を回復した場合でも、捕食者の役割への配慮が必要である。藻場が回復すると、ウニ、アワビ、サザエなどの植食性水産有用種の生育状況が改善するだけでなく、捕食者も産卵のため来遊したり、棲み着いたりする。藻場に生息する捕食者は、直接的な捕食により植食動物の個体数を減らすだけでなく、その存在自体が植食動物の活動を制限することが海外の多くの研究で知られている。藻場の中に生息する捕食者の中には、比較的大型の植食動物を捕食するカニやウツボなどの捕食者だけでなく、小型の魚類も含まれ、ヨコエビ類やワレカラ類などの葉上動物を捕食することで大型褐藻類の生長に寄与している。

しかし、これまでの磯焼け対策では、捕食者の重要性は理解されなかったため、藻場に集まる捕食者も含む動物は対策の成果として無制限に漁獲され、藻場が生物の生息しない“ゴーストフォレスト ghost forest”化されてきた。藻場での捕食者の乱獲は、藻場の回復力（参考資料 7.1）を低下させていると考えられる。この観点から、藻場に生息する捕食者個体群を回復させ、捕食による植食動物の制御を通じて、植食動物と海藻との生態的バランスを図ることが肝要である。

捕食者を利用した藻場回復手法は、植食動物を除くという点では、従来の磯焼け対策におけるウニや植食性魚類の人為的除去と変わらないが、以下の2つの点で大きく異なる。一つは、捕食者を利用する手法では、植食動物は捕食者の餌として有効に利用される点で、植食動物の処分に困るようなことがない。もう一つは人為的除去と異なり、人の都合や自然条件によって制約されず、除去のための経費も道具も不要になることである。このような利点を活かし、当手法を推進する必要がある。

## 5. 捕食者を利用した藻場回復のための考慮すべき条件

### 5. 1 対象とすべき捕食者

保護の対象とする捕食者は、定着性があり、行動特性からも植食動物に対する高い捕食力が期待できる種とする。選定に当たっては、漁業者の動機付けになりやすい水産的価値の高い捕食者を選択することが望ましい。

#### 【解説】

植食圧が高い磯焼け域で、捕食により局所的に植食動物の空白地帯を維持するためには、保護区を設定し、捕食者の個体群を高い密度で保全する必要がある。しかし、捕食者は一般に移動性を有する。日常的に行動する範囲（行動圏という）が広い種では、行動圏よりも広い領域に保護区を設定しない限り、効果は期待できない。したがって、保護区に必要な規模は捕食者の種に依存するが、諸外国の事例では、捕食者個体群の回復が藻場回復まで波及する例は面積が1 km<sup>2</sup>をはるかに超えるような大規模なものであることが多い。そのように規模の大きい保護区を、集落単位で漁場を管理している我が国で設定するのは難しい。より小規模な保護区でも捕食者の生息密度を高められるよう、縄張りをもつ種や棲み場要求の高い種などの定着性のある捕食者を対象にして保全する必要がある。

植食動物の個体群の制限要因として捕食は重要であるが、具体的な研究例はウニ以外の植食動物では非常に少ない。ウニの捕食者に関する科学的知見は、海外では表1に示す多種多様な動物にわたるが、我が国ではほとんどがウニの放流種苗の食害に関するものに留まる。表2には、国内におけるウニとそれ以外の植食動物の捕食者について一般情報も含めて、潜在的捕食者を列挙している。これらの捕食者が植食動物をどの程度制限しているのかについてはほとん

表1 海外で挙げられているウニの捕食者

分類	捕食者
海産哺乳類	ラッコ
魚類	モンガラカワハギ類、ベラ類、オオカミウオ類、カレイ類、タイ類、タラ類
甲殻類	ロブスター類（イセエビ類を含む）、カニ類
棘皮動物	ヒトデ類

表2 国内で植食動物を捕食することが確認されている動物

植食動物	捕食が確認されている動物
ウニ	<b>海産哺乳類</b> ラッコ
	<b>魚類</b> イシダイ、イシガキダイ、クロダイ、マダイ、コロダイ、カゴカキダイ、オオカミウオ、コブダイ、クサビベラ、ササハベラ、オハグロベラ、キュウセン、ハリセンボン、クサフグ
	<b>甲殻類</b> イセエビ、イシガニ、フタハベニツケガニ、ヨツハモガニ
	<b>ヒトデ類</b> イトマキヒトデ
植食性巻貝類	<b>タコ類、カニ類、ヒトデ類</b> <b>肉食性巻貝類</b> ヒメエゾボラ
植食性魚類	<b>頭足類</b> アオリイカ <b>魚類</b> ウツボ



ど知られていない。また研究事例をみると、捕食者による植食動物の個体群制御を否定的に考える研究もあるが、大部分の捕食者—植食動物の間では知見が乏しく、捕食者による植食動物の制御については推察の域を出ない。

ウコの捕食者の中で、イセエビは、①日中の隠れ場を必要とし、定着性が高いこと、②夜行性であるため、日中岩の隙間等に隠れていても夜間、岩の表面へ這い出してくるウコ（図4）を捕食しやすいこと、からウコの強力な捕食者になり得る。



図4 A 地区周辺の磯焼け状態の大礫場表面の昼夜差：自動フラッシュによるインターバル撮影画像の例。日中、岩陰に隠れていたツマジロナガウコが夜間、岩の表面に這い出している。

なお、ラッコについては、環境省レッドリストの絶滅危惧 IA 類に登録され、保護の対象となっている。ラッコは近年、北海道東岸では千島列島などからの来遊数が増加傾向にある。しかしラッコが定着すると、水産重要種となっているエゾバフンウコを大量に食べるため、漁業に被害を与えるのではないかと懸念されている。

#### コラム4 投石礁にイセエビが棲み着けば、ウニの磯焼け対策になる

従来、投石礁はウニの好適な生息場になってしまい、海藻が生育しなくなると考えられてきた。しかし、投石礁に大型のイセエビが棲み着いている場合は、その捕食によりウニは非常に低い密度に制限されることが、A地区保護区（図3D）だけでなく、B地区のイセエビ保護区でも見出されている。

図5は、B地区のイセエビ保護区内に設置されている捨石マウンドと周辺漁業区の投石礁でのウニ優占種（ムラサキウニ）の生息密度と殻径組成の観測例である。イセエビが生息していない周辺漁業区の投石礁には比較的小型のムラサキウニが岩の隙間に多くみられた。これに対して、CL70 mm以上のイセエビ大型個体も高い密度で生息することが漁獲物調査により確認されている保護区捨石マウンドでは、ムラサキウニは捕食されにくい大型個体のみが非常に低い密度でしかみられず、イセエビによる捕食の影響を強く示唆した。

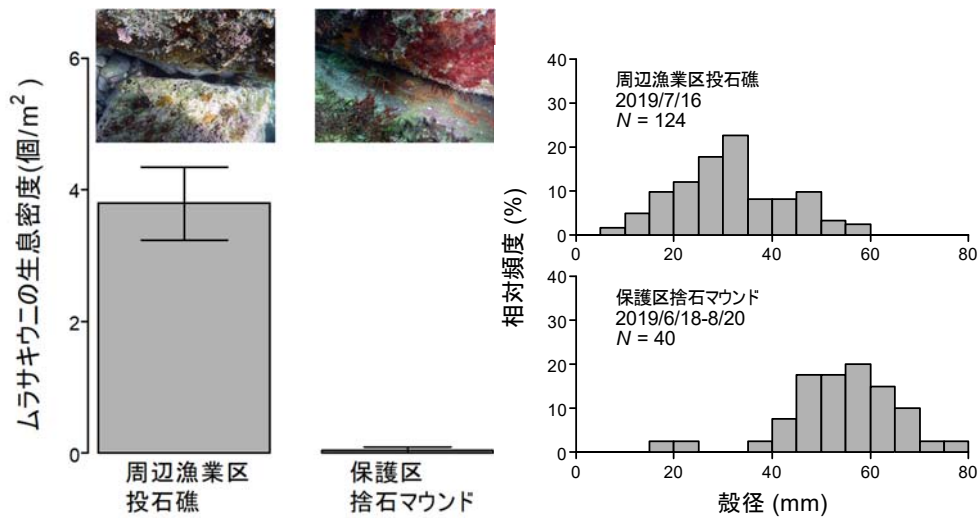


図5 徳島県B地区保護区捨石マウンドとその周辺漁業区投石礁でのウニ優占種（ムラサキウニ）の生息密度（平均±標準誤差）と殻径組成分布

## 5. 2 捕食者の体サイズ

捕食のサイズ依存性を考慮し、植食動物の大型個体も捕食できる捕食者大型個体を保護の対象とする。

### 【解説】

捕食は捕食者と被食者の体サイズに依存する。ウニやアワビなどの種苗放流でよく知られているように、被食者の捕食死亡率は発生初期段階で高く、成長に伴い低下する。一方、捕食者が漁獲により小型化すると、捕食能力が低下して被食者が被食を回避しやすくなるので、捕食者の体サイズは捕食圧を規定する重要な要因となる。

図6は、体長がほぼ等しいイセエビ2尾を収容した水槽内16区画(80×80 cm)に、殻径の異なるツマジロナガウニとムラサキウニをそれぞれ5個ずつ同時に入れて実施した捕食実験の結果である。イセエビは、捕食しやすい小型ウニから捕食する傾向があり、またムラサキウニよりも捕食されやすいツマジロナガウニでは、頭胸甲長 CL (両眼上棘基部中央点から頭胸甲後端中央点までの長さ)70 mm 以上の大型イセエビによってウニの大きさにあまり関係しない捕食がみられた。一方、ムラサキウニではCL70 mm以下のイセエビは殻径40 mm以上の大型ウニを実験10日後でもほとんど捕食できないといった顕著なサイズ依存性がみられた。この結果から、大型のムラサキウニを捕食させるためには、少なくとも CL70 mm 以上のイセエビが必要であると推察される。

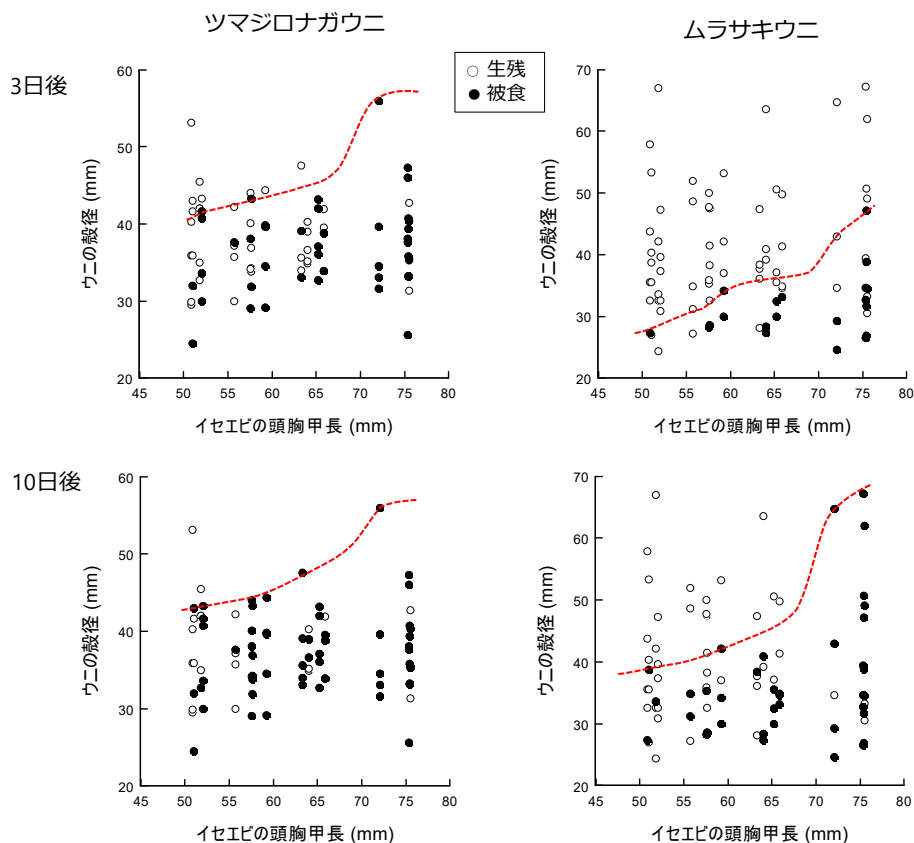


図6 イセエビによるウニの捕食実験結果 (川俣・田中、未発表)。赤色の破線は捕食できたウニの上限サイズの包絡線を示す。

表3 各都道府県が資源保護のため、採捕を禁止しているイセエビの体サイズ上限（2019年9月現在）

都道府県名	採捕禁止上限体サイズ ( )内は CL 換算値 <sup>1)</sup>
千葉県、東京都、神奈川県、静岡県、徳島県、高知県、鹿児島県	体長 <sup>2)</sup> 13 cm (CL 44 mm)
三重県	CL 42 mm
和歌山県、熊本県、宮崎県、長崎県	体長 15 cm (CL 51 mm)
大分県	全長 <sup>2)</sup> 20 cm (CL 68 mm)

<sup>1)</sup>CLへの換算には、経験式（井上 1963）： $BL = 2.908CL + 2.5$ を用いた。ここに、BL：体長(mm)、CL：頭胸甲長(mm)。

<sup>2)</sup>目の付け根から尾端までの長さ

捕食者の中には、イセエビのように重要な水産資源であるため、都道府県の漁業調整規則や漁協の自主規制により、採捕に体長制限（表3）を設け、小型個体を保護しているものもある。しかし、そのような資源管理では、捕食能力の高い大型個体が選択的に採捕されてしまうため、以下の二つの理由により植食動物の個体群を制御できなくなる可能性が高い。第一に、捕食者が小型のウニしか捕食できない場合は、捕食者が高密度に生息しても幼生から加入してくる稚ウニを捕食により完全に除去するのが難しいことである。そのため捕食可能な上限サイズ（被食回避サイズ）が小さければ、成長によりすぐにそのサイズを超えられてしまう。もう一つは、ウニの磯焼け域に局所的にウニの少ない領域を維持しようとしても周辺域から比較的大型のウニが移動してくれば、その増加を止められないことである。実際にオーストラリアのタスマニアでは、ウニの重要な捕食者であるミナミイセエビの資源保護のため、体長制限により小型個体の漁獲を禁止していても、ウニの大型個体を捕食できる大型エビが消失してしまい、大型のウニが増えて磯焼けが発生している(Ling et al. 2009)。

以上のように、イセエビのように磯焼け域に生息するウニの大型個体まで捕食できる能力をもつ捕食者であっても、捕食者に大型個体が存在しなければ、植食動物の個体群制御は難しい。また、植食動物の捕食に必要な捕食者の体サイズは、現在、漁業調整規則で規定されている採捕可能な最小サイズより大きい可能性が高い。そのことにも留意して、捕食者の大型個体をある程度残せるよう、漁獲管理を別に考える必要がある。

#### 参考文献

- 井上正昭. 1963. イセエビの相対成長について. 水産増殖 11:143–147.  
 Ling, S.D., Johnson, C.R., Frusher, S.D. and Ridgway, K.R., 2009. Overfishing reduces resilience of kelp beds to climate-driven catastrophic phase shift. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 106: 22341–22345

### コラム5 大型ウニを捕食できる捕食者がいなければ、ウニの増加を防止できない

イセエビが生息しているにもかかわらず大型ウニまで捕食できなければ、ウニの増加を防止できないことを示す事例として鹿児島県C地区沿岸の投石礁（図7）が挙げられる。当投石礁は、砂の薄く覆う冠砂域に設置されたものでイセエビ11～12尾が棲み着いている。イセエビの生息数は少ないが、投石礁も規模（57 m<sup>2</sup>）が小さいため、生息密度（4.8～5.2尾/25m<sup>2</sup>）は比較的高い。にもかかわらず、投石礁には殻径38 mmを超える比較的大型のムラサキウニが非常に高い密度（平均約28個/m<sup>2</sup>）で生息していた。これは、そのイセエビの大部分がCL50 mm以下の小型個体であるためと考えられる。CL50 mmのイセエビがムラサキウニを捕食できる限界サイズは図6の水槽実験の結果から殻径38 mmほどと推定される。そのため、殻径38 mm未満の小型ウニは、投石礁周辺には生息できても投石礁では捕食されてほとんど消失するが、殻径38 mm以上のウニが周辺から投石礁へ移動してくれば捕食されないため、増えることが予想される。図7の調査結果はその予想に合致する。

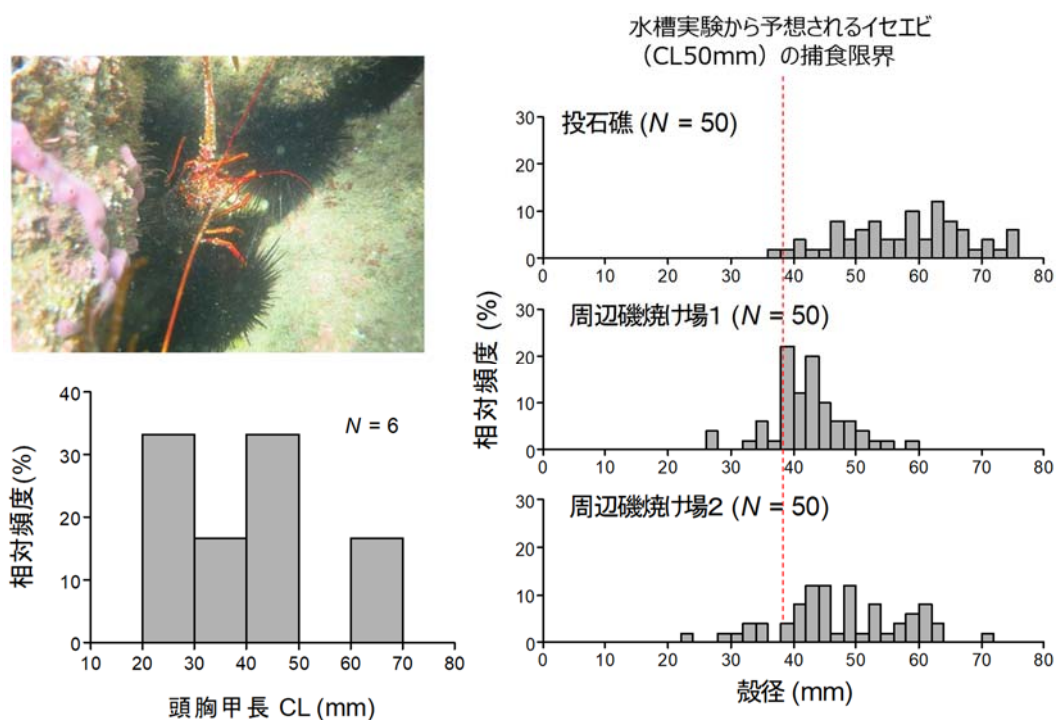


図7 鹿児島県C地区での事例：小型イセエビ11～12尾ほどが棲み着いた小規模な投石礁とその周辺磯焼け場でのムラサキウニの殻径組成。左下の図は投石礁でステレオ撮影による推定値したイセエビの頭胸甲長組成。

### 5. 3 捕食者の生息密度と個体群規模

捕食者を利用して藻場を回復・保全するためには、捕食者の漁獲管理と生息場の整備等により、高い密度と個体群規模の大きい捕食者を維持する必要がある。

#### 【解説】

植食動物の捕食者の多くは漁業や遊漁により、広域的に密度が低下し、体サイズも小さくなっていると考えられる。そのため、捕食の効果を高め、藻場を回復、保全するためには都道府県や地域レベルでの漁獲管理により、捕食者の生息密度の回復と大型化を図ることが望ましい。しかし、それができない場合でも、A 地区保護区のように、地先の組合単位で、捕食者の採捕を自主的に厳しく制限した保護区の設定により、捕食者を利用した藻場の回復・保全の可能性はある。

保護区の設定では、一般に設定可能な規模や場所が制約されるため、定着性のある捕食者であっても、限られた領域に捕食者が高い密度で定着するよう、捕食者の生息に適した場を選定する必要がある。もしそのような場が保護区内に十分に存在しない場合は、保護区内に捕食者の生息場を整備しなければならない。

A 地区保護区（面積約 0.3 km<sup>2</sup>）は、全面禁漁区の設定により藻場が回復している海外事例に比べてかなり小さく、保護の程度も完全禁漁よりも緩い。にもかかわらず、保護区のほぼ全域にわたり藻場が維持できている要因の一つとして、大規模な投石礁の整備がある。イセエビは夜行性の捕食者であり、日中、隠れるための隠れ場を必要とする。しかし、A 地区周辺の沿岸域では、イセエビが隠れ場として利用できる天然の場は限られている。このため、保護区内の投石礁がイセエビの好適な隠れ場が広く存在する特異な場となり、イセエビが周辺から移動してきて定着する量が増え、年 1 回の漁獲量とバランスして、大型個体が安定的に高い密度で維持されていると考えられる。

一般に捕食者の生息密度が生息場で高くなると、生息場での餌が枯渇するため、索餌活動が生息場の周辺へと拡大し、植食動物の密度の低下した領域もそれに伴い拡大する。大型のイセエビが多数生息する礁（隠れ場）周辺でのウニと海藻の空間的变化を図 8 に模式的に示す。イセエビは、日中、隠れ場に身を潜め、夜間そこから這い出して周辺を活発に索餌活動し、明朝には隠れ場に戻ることを繰り返す。そのため、捕食圧は隠れ場の近傍では高いが、隠れ場から離れるにつれて減少してある距離以上では周辺域と同程度の低い水準となる。その結果、隠れ場とその周辺はウニ密度が非常に低い領域となり、海藻が繁茂する。またその領域には、イセエビに捕食され難く、豊富な餌により成長した大型のウニと幼生から加入した稚ウニが低い密度でしか出現しないが、隠れ場から離れてウニの密度が次第に高くなると、ウニは小型化する。藻場域の縁辺部には周辺から餌を求めて移動してきたウニが比較的高い密度で集まり、摂食前線を形成することがある。

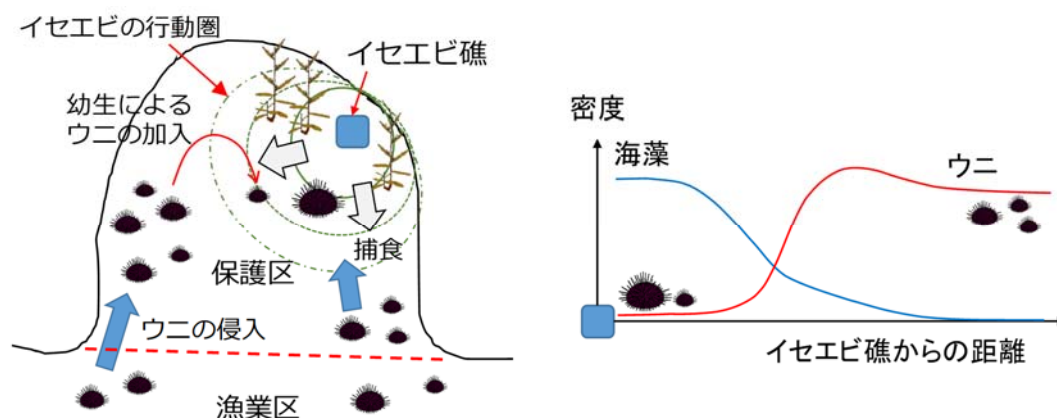


図 8 ウニの磯焼け域にイセエビの保護区を設定した場合の捕食によるカスケード効果の空間変化模式図

## コラム 6 投石礁はイセエビの好適な隠れ場

図9は A 地区保護区内の投石礁と造礁サンゴ域で、日中、目視観察により調べたイセエビの生息密度の調査例である。ここで、造礁サンゴ域とは、イセエビが隠れ場として利用する、造礁サンゴがよく発達した領域である。A 地区沿岸には、パッチ状の小さな造礁サンゴは多数あってもイセエビはほとんど生息しない。図9の結果は、投石礁でのイセエビの生息密度が年一度の秋に行われるイセエビ漁によりかなり低下するが、翌年の夏には回復すること、その回復後の密度が造礁サンゴ域に比べて約3倍も高く、投石礁がイセエビの好適な隠れ場になっていることを示す。このような投石礁は、面積でイセエビの生息する造礁サンゴ域の約7倍もあり、イセエビの主要な隠れ場となっている。

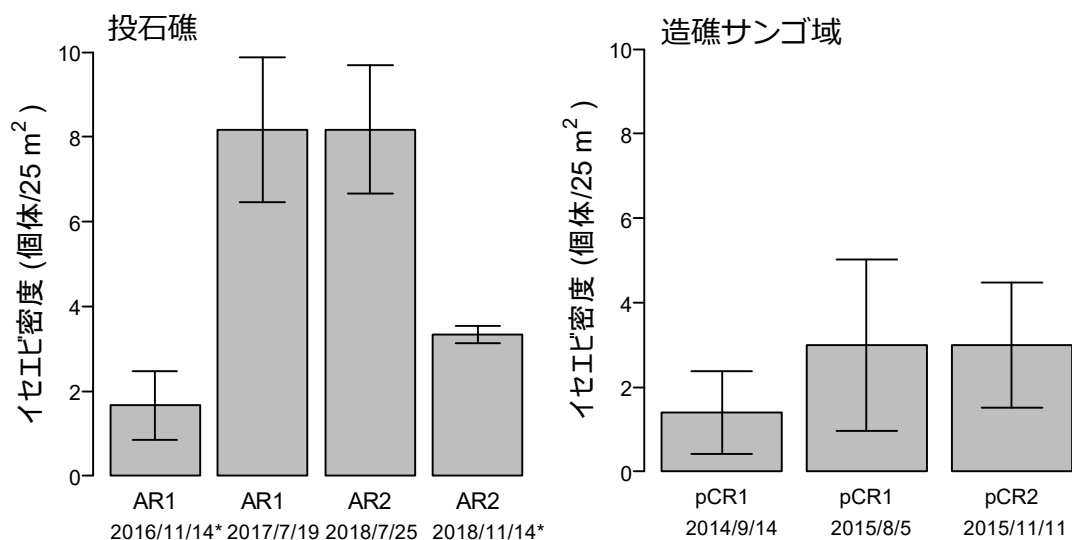


図9 A 地区保護区内の投石礁と造礁サンゴ域における日中のイセエビ密度 (Kawamata et al. (2019)のデータを含む)。棒グラフ下方の記号：地点名、\*付きの日付は年一度のイセエビ漁直後であることを示す。

### 参考文献

Kawamata, S., S. Taino, and K. Tanaka. 2019. Persistent macroalgal beds in the warming waters of southwest Japan: a trophic cascade in a marine protected area with artificial reefs. pp.96–99 in Proceedings of International Conference on Fisheries Engineering 2019. the Organizing Committee of the International Conference on Fisheries Engineering, Nagasaki, Japan.

### コラム7 A 地区保護区における投石礁からの距離に伴うウニと海藻の変化

図10はA地区保護区における、投石礁からの距離に伴うウニ密度と海藻被度の変化の観察例を示す。投石礁から50 m 圏内ではウニ密度は非常に低く、直立海藻が高い被度で覆う状態が維持されている。ウニ密度が明らかに増加し始めるのは、投石礁からの距離が60~70 m ほどに達してからである。しかし、投石礁からの距離が約70~90 m でのウニ密度は保護区外の磯焼け場での平均的な密度よりも高いにもかかわらず、直立海藻が投石礁の近くと同じように高い被度で出現した。これらの原因は明らかになっていないが、海藻の残っている領域に周辺からウニが蝸集していることと、投石礁の周辺に形成された大きな藻場から大量に供給される海藻の胞子や幼胚によって、藻場の領域はウニ密度から予想される領域よりも、少し拡大できることが一因と考えられる。

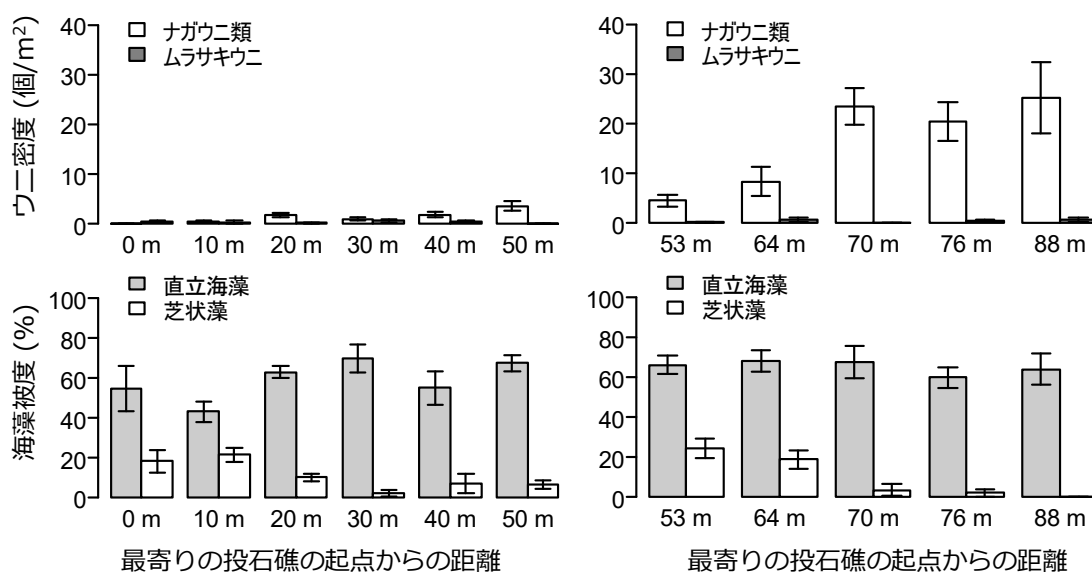


図10 A地区保護区内の投石礁からの距離に伴うウニ密度と海藻被度の変化 (Kawamata et al. 2019) . 投石礁の起点は最寄りの投石礁の縁辺部に設定.

#### 参考文献

Kawamata, S., S. Taino, and K. Tanaka. 2019. Persistent macroalgal beds in the warming waters of southwest Japan: a trophic cascade in a marine protected area with artificial reefs. pp.96–99 in Proceedings of International Conference on Fisheries Engineering 2019. the Organizing Committee of the International Conference on Fisheries Engineering, Nagasaki, Japan.



## 6. 対策の手順

捕食者を利用した藻場回復手法の適用では、まず磯焼け対策の現状認識と将来展望から、その必要性を十分に理解する。次に、植食動物と捕食者の現状把握、保護対象とする捕食者の決定、保護区の設定、漁獲管理計画の策定を行う。計画の実行は、計画(P)、実行(D)、評価(C)、改善(A)の PDCA サイクルを回すことにより、効果を確認しながら、捕食者大型個体を徐々に増やせるよう、規模拡大を図る。

### 【解説】

捕食者利用による藻場回復には、漁業者の収益を短期的に減少させる漁獲制限が求められる。また、我が国では捕食者に関する科学的知見は極めて乏しく、捕食者利用により回復できる藻場の規模や経済的価値を予想するのも困難である。このような現状を踏まえて以下の手順（図 11）により、捕食者利用による藻場回復手法をこれまでの手法に取り入れて補強する、または根本療法である当手法に変更することを検討する。

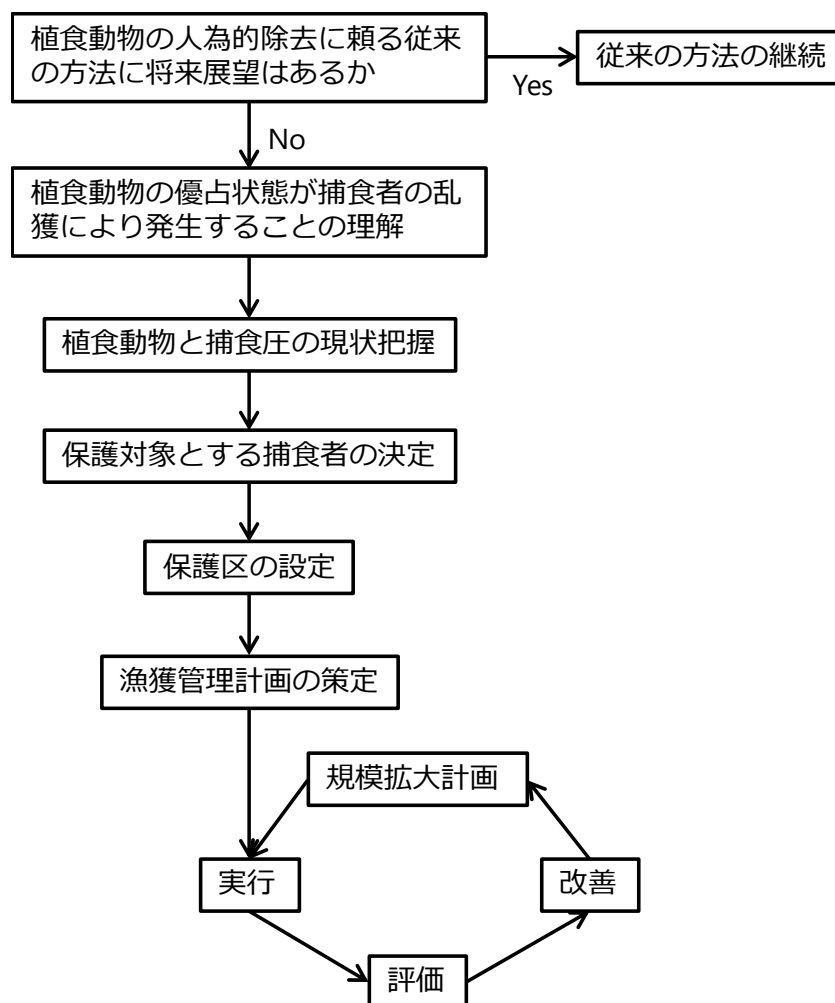


図 11 捕食者を利用する手法の手順

### 手順 1 従来の植食動物の人為的除去の有効性と将来性の検討

高い植食圧による磯焼けに対して、捕食者を利用した藻場回復手法の検討にあたっては、これまで進められてきた植食動物の人為的除去の有効性と将来性について検討するとともに、植食動物の大量発生による磯焼けが、漁業者自身が制御可能な捕食者の漁獲によって発生することを認識し、将来的には広域的な漁獲管理により、魚類を大量に漁獲する技術も漁船もなかった時代のように多くの魚介類が生息する豊かな藻場生態

系を取り戻せるという将来展望をもつことが重要である。

これまでの磯焼け対策では、大量発生した植食動物に対して、根本的な原因である捕食者の乱獲を放置したままで、人為的除去という対症療法が進められてきた。これは医療にたとえれば、食べ過ぎで動脈硬化や糖尿病などの生活習慣病にかかった患者に、食べ過ぎを放置したまま投薬などの医療行為を続けることに等しい。植食動物の人為的除去については、まずその有効性と経済性を再検討する必要がある。さらに、将来性についても、高齢化と人口減少による人手の確保が懸念される中で継続可能であるかも考え、これまでの対策の再評価を行う必要がある。

海外事例や A 地区保護区の事例を参考にして、捕食者の乱獲が、植食動物の大量発生を引き起こし、藻場の衰退をもたらすという状況が、各地の沿岸に当てはまらないかを、漁獲物の変遷などの歴史を振り返って検討する必要がある。もし、同様の状況が疑われれば、捕食者個体群の回復により、植食動物が減少し、藻場が回復している事例があることを理解し、本手法の適用を検討する。

## 手順 2 植食動物と捕食圧の現状把握

捕食者の乱獲が植食動物の優占状態を招いていることを示す確かな証拠を得ることを目的として、植食動物と捕食圧の現状把握を行う。そのために、まず藻場回復を図ろうとする磯焼け海域での植食動物と捕食者の生息状況を把握する。植食動物は、一般に小型個体ほど捕食されやすいので、植食動物の体サイズ分布を調査し、小型個体が多ければ捕食圧が低いと判断できる。また、植食動物を標識放流したり、海底に係留したりして、その後の生残率を調べることで、捕食圧の程度を調べることも有効である。その際、捕食にはサイズ依存性があることを考慮して、放流または係留する植食動物の体サイズを選択する。もし、小型の植食動物の生残率が高ければ、捕食圧は低いと判断できる。

## 手順 3 保護対象とする捕食者の決定

保護の対象とすべき捕食者を選定する。捕食者は、対象海域に生息する動物を調査しただけでは、乱獲により絶滅近くまで減少していたり、本来の捕食能力を持たない小型個体ばかりになっていたりして、見過ごされる可能性がある。このような見落としがないよう、現地での漁獲物だけでなく、文献や聞き取り調査により、潜在的捕食者を探索する。潜在的捕食者の中から、捕食能力の高い捕食者を選定する。捕食能力については、文献情報がなければ、捕食実験により調べる。捕食実験には、できるだけ大型の捕食者を用いて、植食動物のどのくらい大型の個体まで捕食できるか、また磯焼け域の平均的サイズの植食動物の年間捕食個体数等を調べる。捕食者の選定に際しては、イセエビのように水産有用種を選ぶことは資源保護にも役立つので推奨される。

## 手順 4 保護区の設定

捕食者の生息場となり得る、自然地形やウニ除去等による再生藻場の分布、および防波堤、投石礁、魚礁などの人工構造物の設置状況を把握するとともに、捕食者の生息に適した波浪、底質、水深等の条件を、文献や漁獲情報等を基に推察し、保護区の候補地の絞り込みを行う。保護区の設定では、管理のしやすさや現状の利用状況なども考慮する。

保護区設定では、特に漁獲制限に対する漁業者の抵抗感は強い。その点で、磯焼けや過疎化により、略奪的な利用しかなされてない漁場は利用頻度から受け入れやすい候補地として挙げられる。

## 手順 5 漁獲管理計画の策定

保護区内に生息する捕食者の個体数や体サイズ分布を予め把握しておき、それに基づいて残すべき捕食者の体サイズクラスの目標個体数または許容漁獲個体数を定め、漁獲管理を行う。

## 手順 6 PDCA サイクルによる継続的な実施

以下の項目の点検により、効果を確認しながら、漁獲管理と保護区を徐々に強化・拡大して、植食圧の高い磯焼け漁場を海藻の繁茂する優良漁場に変えていく。

- (1) 捕食者の個体数増加と大型化
- (2) 捕食者の周辺での植食動物の減少
- (3) 植食動物の減少に伴う藻場の拡大

最初の段階では小さな効果しかみられない。しかし、捕食者が存在すれば、捕食の効果は必ず現れる。その効果を見逃すことなく、把握し、規模を拡大していくことが肝要である。

## 7. 参考資料

### 7. 1 捕食者による影響と藻場の回復力

藻場は環境要因の変動や人為的攪乱により消長を繰り返しているが、衰退の程度がある範囲に留まれば、回復できる。その回復可能な衰退の幅を回復力という。捕食者による植食動物に対する影響はこの回復力を規定する重要な要因である。例えば、藻場は水温の高い年に一時的に衰退しても、捕食の影響が強く、植食活動が制御されている場合は、翌年に水温が平年に戻れば、回復しやすいが、逆に捕食の影響が弱く、植食活動が制限されない場合は、藻場が壊滅する危険性が高くなる。

植食動物に対する捕食者の影響には、植食動物の被食による個体数減少（以下、捕食圧という）だけでなく、活動抑制効果がある。この活動抑制効果は被食回避のための防衛行動と考えられ、植食動物が長時間、隠れ場に留まったり、捕食者から逃避したりする行動として観察される。

### 7. 2 野外における捕食圧の調査方法

捕食圧の調査方法としては、植食動物の係留実験と標識放流実験が一般に用いられる。係留実験とは、モノフィラメント糸を体組織の一部に貫通させて植食動物をある場所に繋ぎ止めるもので、移動範囲は限られるため、追跡調査が容易になるだけでなく、死亡の有無を確実に調べられる。しかし、植食動物が拘束により自然状態よりも捕食されやすくなるため、係留実験による死亡率は実際よりも高い「潜在的捕食圧」を反映したものとなる。このため、係留実験による死亡率は絶対的評価ではなく、場所間や植食動物の体サイズ群間の相対的評価として用いる。一方、植食動物の標識放流実験は、植食動物に標識を取り付けて野外に放流し、追跡して生残を確認することで、死亡率を推定する方法である。標識放流実験では、植食動物は自由に移動できるため、自然状態に近い死亡率が得られると期待できるが、植食動物の移動量が大きい場合や追跡期間が長くなる場合は追跡が困難になり、死亡率自体が求められなくなる可能性がある。このため、データを得やすい係留実験の方がよく用いられる。なお、係留実験では、係留自体が死亡原因になる可能性があるため、係留による影響がないことを水槽実験等で確認しておく必要がある。

捕食による死亡率は、植食動物の体サイズだけでなく、場所や時期に依存する。死亡率が高ければ、短期間で捕食が観察される。しかし、多くの磯焼け場では小さい体サイズの植食動物以外は捕食できる動物がほとんど消失しているため、植食動物の体サイズによって長期間にわたり捕食が全く起こらない可能性が高いと考えられる。そのため、磯焼け場では小型個体を含む様々なサイズ群の植食動物を用いて捕食圧を調査する必要がある。

#### (1)ウニの係留実験

ウニの殻に反口側から口側に向けて、中央の口器（アリストテレスのランタン）近くを避けて殻の周辺部にモノフィラメント糸を突き通す（図 12）。その方法として、布団針や縫い針を用いる方法が最も簡単である。その手順は以下のとおりである。まずウニを、口側を下にして木製の板の上に置く。次に、モノフィラメント糸を通した針を殻の周辺部に突き立て、金槌で打ち込む。このとき、口側の針先が棘を突いて少し大きめの穴が空いてしま

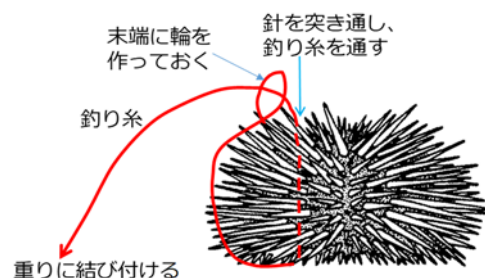


図 12 ウニの係留方法

うことがある。そのようなことが起こらないようにするためには、針先を簡単に突き通せる部分（歩帯）を探しながら小突くように針を打ち込む。最後に口側から少し出た針先をペンチで引き抜く。係留に使用するモノフィラメント糸には細くて強度の高い釣り糸が適している。大型のウニでは、捕食者が引っ張っても切れないよう、結節強度

の高いものを使用する。

イセエビが捕食者の場合、ウニが小さければ、殻ごと食べてしまい、ほとんど何も残らない。しかし、大型のウニに対しては、口器よりも少し大きめの穴を空けて、殻内の組織をきれいに食べて、殻はほとんど無傷のまま残る（図 13）ことが多い。そのような死殻はイセエビ類特有の捕食によるもので、捕食者の推定に用いることができる。

### 7. 3 水槽実験による捕食圧の推定方法

捕食者による植食動物の捕食量は、実験水槽での捕食実験により把握することができる。しかし、実海域では捕食者は植食動物だけでなく、様々な生物を消費しているため、実験水槽で捕食者に植食動物のみを不足なく与えて観察される捕食率は、潜在的な最大捕食率として用いる。この捕食率は、捕食者と植食動物の体サイズに依存するため、捕食実験では体サイズを捕食の要因として実験計画を立てる。

捕食には季節変化があるだけでなく、学習や脱皮も影響することがあり、短時間の捕食実験では最大捕食率が過小評価される可能性があることに留意する。図 14 は、イセエビ 1 個体にウニを不足なく与えたときのウニ捕食率の実験例である。実験開始直後からウニを捕食したイセエビ個体がある一方で、2 ヶ月近くウニを全く捕食しなかった個体もみられた。しかし、いずれのイセエビもウニを捕食し始めると、継続的に捕食するようになった。これらは、イセエビがウニの捕食を学習した結果と考えられる。

捕食者個体群による潜在的な最大捕食量は、捕食者のサイズ群ごとに求められる、捕食率×捕食者個体数の和として推定できる。

### 7. 4 捕食者による植食動物の活動抑制効果の推定方法

捕食者の存在が植食動物の植食活動を抑制する効果は、植食動物が長時間、隠れ場に留まったり、捕食者から逃避したりする行動として現れる。しかし、それらを定量的に評価するのは難しいので、次に述べるケージを用いた簡易的手法を用いるとよい。

ケージには、植食動物は通過できるが、捕食者は通過できない目合のものを用いる。植食動物を入れた大型水槽または植食動物の優占する磯焼け場にケージを設置し、その中に植食動物が好む海藻と一緒に捕食者を収容する。ケージの面積または収容する捕食者の密度を変えて、植食動物による海藻摂食量との関係を調べることで、捕食者による植食動物の活動抑制効果とその範囲を把握することができる。

図 14 は、インガニとキタムラサキウニを用いて、捕食者の存在が植食動物のいない空間を維持できる可能性を示した野外実験の例である。インガニはキタムラサキウニの捕食者であり、甲幅 86 mm の大型カニであれば、

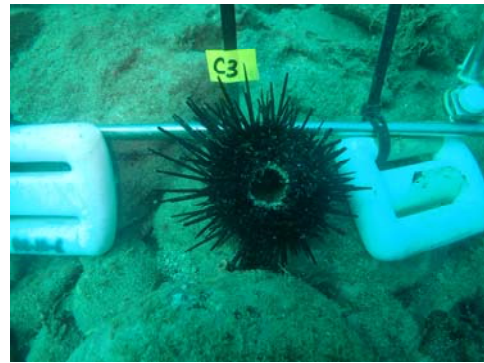


図 13 イセエビ特有の捕食痕のある係留ウニの死殻

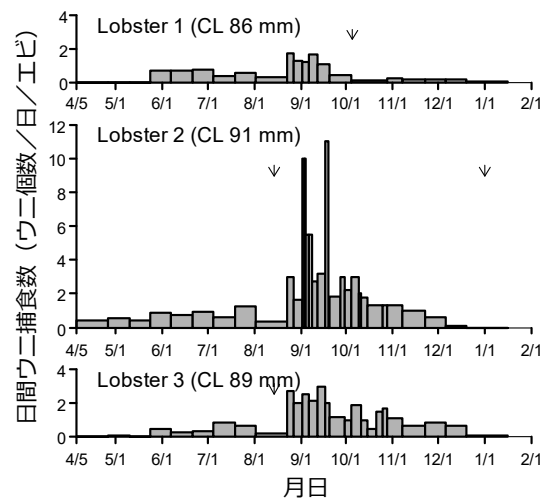


図 14 イセエビによるウニの捕食率の水槽実験例。ウニ：殻径 24～67mm のムラサキウニ、↓：脱皮日を示す。

殻径 55 mm のウニまで捕食できることが実験的に確認されているが、その捕食量は殻径 30 mm ほどの小型のウニであっても 1 個/日ほどで多くない。しかし、殻径約 30 mm 以下のウニが通過できる目合のケージ（70×70×15 cm）の中にコンブとともにイシガニを収容しておく、ウニの侵入が防止され、コンブは摂食されないことが確認された。このことは、カニのいるケージにウニが侵入しないのは、捕食されたためでなく、ウニがカニを忌避して（恐れて）侵入しなかったことを示唆する。

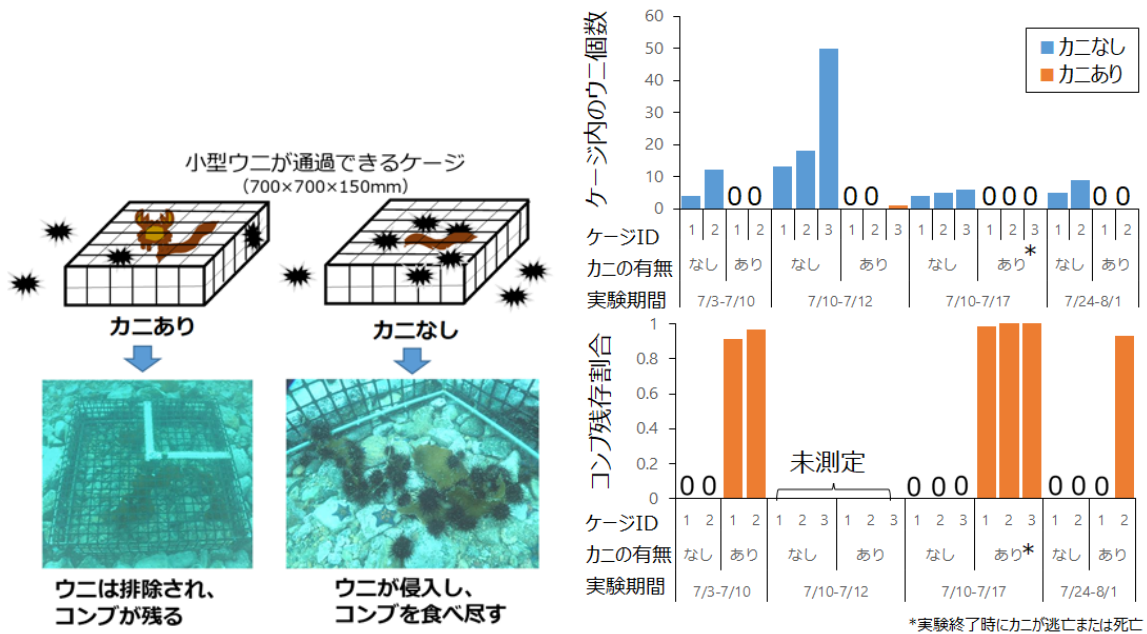


図 15 ウニの磯焼け場で実施したケージ実験の例。キタムラサキウニの高密度に生息する岩礁にウニが通過できるケージを複数設置し、ケージ内にコンブ葉片とともにイシガニ 1 尾を入れた実験区と入れなかった対照区で実験終了時でのケージ内のウニの個数とコンブの残存割合を比較。

## 7. 5 捕食者の特定方法

野外における植食動物の捕食者を把握する方法には、①放流した植食動物の潜水目視観察、②捕食者の胃内容物調査、③係留した植食動物をビデオまたは間欠録画、がある。①の方法は捕食圧が高く、短時間で捕食が観察できる場合に有効な方法である。②の方法は、捕食者が予めわかっていて確認のために行う場合には有効であるが、捕食者が複数種存在する場合にその相対的影響を把握するのは困難である。これに対して、③の方法は、植食動物の捕食を直接的に観察できるので、最も信頼性が高く、タイムラプス（インターバル）撮影機能を有する様々な録画機器が利用できる今日では比較的容易に利用して捕食者を特定することができる。ただし、捕食者が夜行性である場合や捕食頻度が低い場合は、夜間のタイムラプス撮影や長期間の間欠録画が難しいため、特定は必ずしも容易ではない。適切な撮影時間間隔の設定や撮影用ライトが必要である。

撮影時間間隔は、捕食シーンが撮影できるよう、少なくとも 1 回の捕食に要する時間よりも短くする必要がある。イセエビによるウニの捕食の場合は、ウニのサイズにもよるが、3～5 分間隔でも捕食シーンの撮影可能である。夜行性であるイセエビの夜間撮影にはフラッシュが利用可能である。間欠的なフラッシュはイセエビの行動にほとんど影響を与えることないので、タイムラプス撮影が可能である。海底をなるべく広範囲に撮影するため、カメラを海底から少し離れた高さに固定する。透明度にもよるが、海底から 1.2 m 離れて撮影しても画像から頭胸甲長を測定することができる。なお、夜間撮影用として赤外線ライトを用いたカメラがあるが、水中では赤外線は水に強

く吸収されてしまい使用に適さない。

図 16 は、A 地区保護区内でウニの捕食者を特定するため、釣り糸で重りに係留したキタムラサキウニを自動フラッシュによりインターバル撮影した画像の例である。小型(平均殻径 36 mm)と大型(平均殻径 63 mm)のウニを係留したところ、2 晩で CL40~150 mm のイセエビが観察されたが、ウニを捕食したのはすべて CL80 mm 以上の大型のイセエビであったことがわかった。

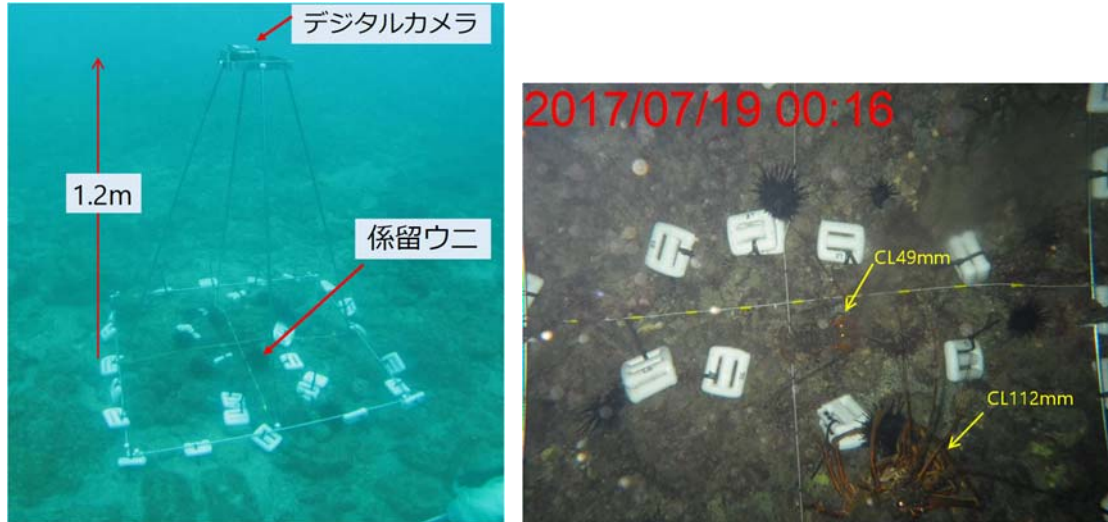


図 16 A 地区保護区内で行った係留ウニのタイムラプス撮影画像の例(川俣・田中, 未発表)。左側写真中央の小型イセエビは県が規定する採捕可能な下限サイズを超えているが、係留ウニを全く捕食しなかった。

### 7. 6 捕食の影響範囲の調査方法

イセエビのように捕食者の行動圏が生息場(隠れ場)の周辺に限られる場合、生息場の近傍では捕食圧は高いが、生息場からの距離の増加に伴い捕食圧は低下して、ある距離以上では周辺の磯焼け域と同じ水準になる。捕食圧が周辺域と同じ水準に達するまでの範囲がイセエビの行動圏と考えられる。イセエビによるウニの捕食圧は、ウニの係留実験により直接的に測定することも可能であるが、このような場合は以下のようにウニの生息密度とサイズ組成の調査からも推定できる。

イセエビの隠れ場から距離の異なる複数地点でウニの生息密度とサイズ組成を調査する。調査地点は、隠れ場からの距離以外の環境要因が同じになるよう、等深線に沿ってウニが好む大礫・巨礫場などの同じような底質条件の場を選ぶ。また、周辺対照区でも同じような

環境の場で同様の調査を行い、バックグラウンドのデータを取得する。図 17 は、A 地区保護区での調査結果の例で、イセエビの生息する投石礁からの距離別のウニ殻径組成を示す。図 9 に示したように、投石礁からの距離の増加に伴い、ウニの生息密度が増加するが、それだけでなく、ウニの最大サイズが小さくなり、全体的に小型化する。この投石礁からの距離に伴うウニの小型化は、ウニの生息密度が距離 70 m で非常に高い水準に達したの

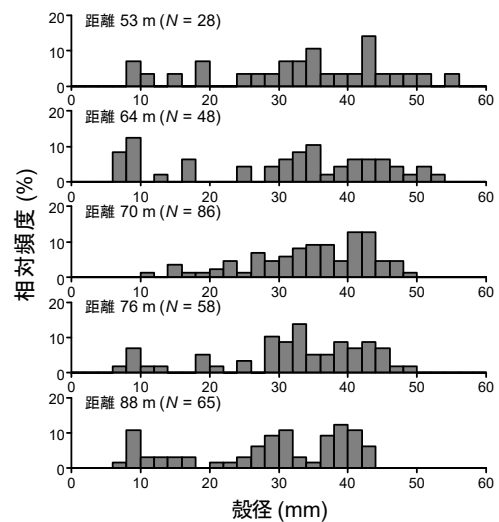


図 17 保護区内投石礁からの距離別のウニ優占種(ツマジロナガウニ)の殻径組成の測定例

に対して、少なくとも距離 88 m まで継続した。このような殻径サイズの組成の変化からも、捕食の影響範囲を推定することができる。

### 7. 7 捕獲せずにイセエビの体サイズを測定する方法

イセエビの体サイズは一般に頭胸甲長 CL (図 18) で表すが、日中、イセエビは巣穴に隠れているため、CL を目視したり、測定したりすることはできない。そのため、CL 調査はこれまではイセエビを捕獲して直接調べる以外に方法がなかった。しかし、保護区内のイセエビの体サイズ組成の調査では、捕獲せずに巣穴にいる状態で調べなければならないことがある。そのようなときに Kawamata and Taino (2018)の方法は有効である。

当方法では、ステレオカメラで巣穴に隠れた状態のイセエビを撮影する。撮影ではフラッシュを用いて鮮明な画像を得る。イセエビは、フラッシュにより逃げたりしないので、複数枚の写真撮影が可能である。ステレオカメラにより、3次元の写真測量が可能になり、予め決めた 14 の参照部位長 (図 18 左) のうち、可能なものを画像解析により計測する。参照部位長と CL との間には一定の関係式 (アロメトリー) が当てはまり、その関係式はすでに調べられているので、参照部位長から CL を推定することができる。イセエビ 1 尾に対して、通常は複数の参照部位長が得られるため、複数の CL 推定値が得られる。また、参照部位長と CL との関係には雌雄差があるものもないものがあり、その差を利用して雌雄判別が可能になり、より精度の高い CL 推定値が得られる。この方法により、95%のイセエビの CL を相対誤差 10%で推定でき、投石礁では、少し見にくい写真 (図 18 右) であっても発見されたイセエビ (触角しか見えない個体も含む) の約 85%以上個体の CL を推定できている。

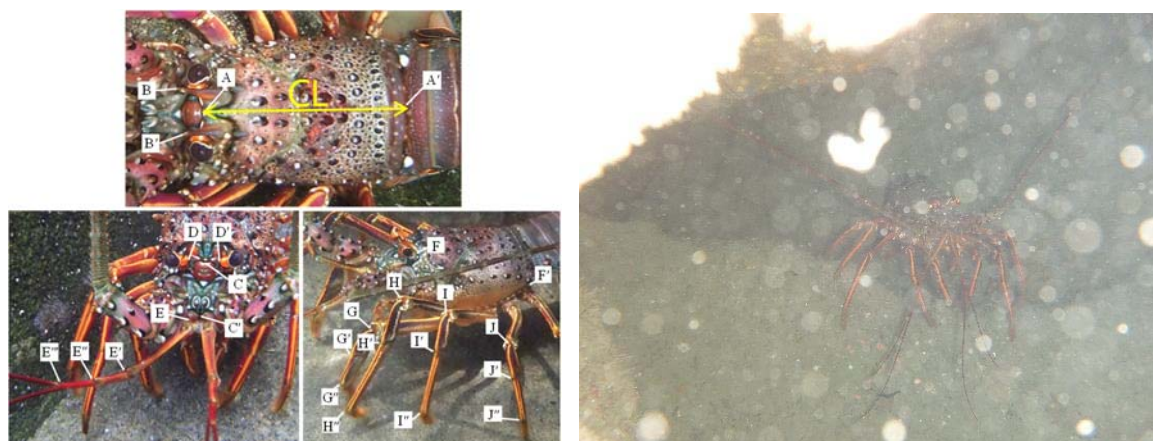


図 18 ステレオカメラを用いたイセエビの CL 推定法 (Kawamata and Taino 2018)での参照部位長の定義 (左) と CL を推定できた画像の例。参照部位長は C-C'間距離、D-D'間距離などで定義された長さ。

#### 参考文献

Kawamata, S., and S. Taino. 2018. A novel in situ method for estimation of the carapace length of sheltering spiny lobsters, *Panulirus japonicus*, via stereo photography. *Fisheries Research* **201**:56–67



執筆・事業課題担当者

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産工学研究所 川俣 茂

東北区水産研究所 八谷光介

徳島県農林水産総合技術支援センター水産研究課 棚田教生<sup>1)</sup>、中西達也<sup>2)</sup>

鹿児島県水産技術開発センター 猪狩忠光、市来拓海、吉満 敏

<sup>1)</sup> H30 年度担当

<sup>2)</sup> H31 年度担当