

平成30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 研究員

門田 立

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(技師①)

松本 力

調査研究部 主任研究員(技師②)

武田真典

調査研究部 主任研究員(技師③)

完山 暢

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

前川千尋

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

西 広海

漁場環境部 研究専門員

猪狩忠光

漁場環境部 研究専門員

平江多績

漁場環境部 研究員

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

小課題2： 植食動物の効率的な食害制御技術の検討

小課題3： 捕食者を利用した藻場回復手法の検討

小課題4： ネットワークを考慮した藻場回復手法の検討

以降に示すd方法、e結果、f今後の課題については、小課題別に記述する。

d 方法

小課題1について：

①既存の藻場モニタリング手法：これまでに実施されてきた藻場モニタリング調査（衛星、ドローン、音響等）手法に関する情報収集を行い技術的問題点や適用条件を整理する。また、各種の藻場モニタリング調査の結果が、相互に比較することができる評価手法を検討すると共に、調査マニュアル素案を作成する。

②広域藻場モニタリング手法：広域藻場モニタリング手法について、空撮画像を用いた手法開発を具体的に進めるため、調査海域を名護屋湾（大分県佐伯市）と相模湾（神奈川県小田原市地先）の2地区に設定し、人工衛星画像（WorldView-2）とドローン画像の取得と解析を実施する。各解析シーンでは、潜水による海底写真と植生データを取得済みである。以上のデータを用いて、教師付き分類（最尤法）、教師無し分類（ISODATA法）及びAIによる藻場解析を実施する。

小課題2について：

①植食性魚類の生態調査と刺網試験による除去効果の評価調査

大分県佐伯市名護屋半島沿岸で、植食性魚類を対象とした刺網による漁獲試験を実施し、得られた漁獲情報を解析し、植食性魚類の生息状況を検討する。また、ブダイの蝟集性を検討するため、潜水調査を実施し、産卵行動の観察を試みる。

刺網によるブダイの除去効果を検討するため、上記の漁獲データを用いて、Delury法（Leslie法とも呼ばれる）により除去前個体数を推定した後、除去率を算出する。また、ブダイの除去が藻場に及ぼす効果を判定するために、漁獲試験を実施した調査区内にモニタリング定点を設定し、海藻植生の目視観察と藻場の主要構成種であるクロメの生態調査を行う。なお、本試験の一部は水産多面的機能発揮対策で漁業者が行う植食性魚類の除去活動と協働して実施した。

②植食性魚類の効率的な除去手法の検討

大分県佐伯市名護屋半島沿岸で、延縄によるブダイの漁獲を実施し、漁獲効率の高い餌の探索を試みる。

③残存する四季藻場の維持機構解明

広域的には磯焼け帯である長崎市橘湾沿岸において、牧島地先には今もクロメとノコギリモクなどで構成される四季藻場が残るとの情報がある。これを検証するとともに、その維持機構を解明し、新たな磯焼け対策手法を検討する。

小課題3について：

ウニの優占する磯焼け域で、ウニの捕食者が多く生息する場の周辺でウニを減少させ、藻場を回復する手法について、以下を実施する。

①イセエビを捕食者とする先行事例調査：高知県須崎市池ノ浦のイセエビ保護区（既往研究により多くの大型イセエビが生息する投石礁とその周辺で、イセエビの捕食によりウニ密度が低く抑えられ、藻場が大規模に維持されていることが判明）において、広範囲に設置されている投石礁の設置範囲、イセエビの生息密度とサイズ組成、投石礁からの距離に伴うウニの密度とサイズ組成及び海藻被度の変化を調べる。

②イセエビを捕食者とする新たな事例の蓄積：イセエビによる捕食によりウニが減少し、海藻が生育している事例を徳島県と鹿児島県沿岸で探索する。

③イセエビ以外の捕食者の利用可能性の検討：イセエビの生息しない三陸沿岸でウニの個体群を制御し得る捕食者を水槽実験と現地調査により検討する。

小課題4について：

①名護屋湾（大分県佐伯市）の事例検証：植食動物の除去対策により大規模に回復した事例を用いて、藻場ネットワークによって起こるフェーズシフトの有効性を検証する。

②九十九島海域（長崎県佐世保市）の小佐々地区において、対象海域の現況調査、流れ藻の移動予測、次年度以降の調査計画の立案を実施する。まず、対象海域の現況調査として、漁業者に事前にヒアリングを実施し、対象海域において藻場が残存している地点や過去に藻場が見られていた地点を中心に28点で調査を実施する。調査方法として吊り下げ式の防水ビデオ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観察と記録を行い、映像はデジタル記録媒体に保存する。観察内容は、底質、海藻等の景観被度、水深、ウニ類の種別の多寡とする。次に流れ藻の移動予測について方法を記載する。九十九島海域のようにガラモ場を対象として、藻場ネットワークを考慮した新たな藻場の創出を行うにあたっては、流れ藻によるタネの供給が重要である。そのため、流れ藻の移動を予測することができれば、より効率的・計画的に藻場を創出できると考えられる。よって、流況シミュレーションモデルを構築し、流れ藻のネットワークを把握する。そのうえで、次年度の調査計画を立案する。調査計画の立案にはシミュレーションの結果を活用し、流れ藻の供給が期待される場所や流れ藻が頻繁に通過する場所を推定する。また、藻場ネットワークの構築においては次世代の再生産を考慮することでより効果的な対策となるため、流れ藻の発生源（ソース）と流れ藻の漂流先（シンク）の関係を体系的にまとめた結果（コネクティビティ図）も考慮した対策地の選定を行う。選定場所においてウニ駆除、流れ藻キャッチャーの設置等のソフト対策を組み合わせることで、それぞれの効果を検証できる計画を立案する。

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、調査適地の選定、対象海域の現況調査、海藻の遊走子の移動予測、次年度以降の調査計画の立案を実施する。かつてはアラメ・カジメの優良な藻場が形成されていた当海域において、近年、磯焼けが広範囲に広がっているという情報があり、漁業者や関係機関にヒアリングし、磯焼け対策の適地を選定する。次に、現状を把握するため、藻場の被度調査を実施し、磯焼けの状況を把握する。当海域はアラメ・カジメが分布する藻場であることから、これらが成熟する秋の流動環境が把握出来れば、海藻の遊走子の流動を予測し、効果的な磯焼け対策が可能になる。そこで、秋季に海藻の生育水深帯に流速計3台を設置し、対象海域の流動環境を把握すると共に、流況シミュレーションのキャリブレーションに利用する。流況および磯

焼けの現状をもとに、漁業者とも協議し、磯焼け対策を計画、実施する。特に、流況に配慮した藻場の拡がりを想定し、次年度以降の磯焼け対策を計画する。

e 結果

小課題1について：

①既存の藻場モニタリング手法

【目的】

藻場モニタリング手法は、従来から側線（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めがね等で海底に生育する海藻被度等を把握してきた。最近では、観測機器等の技術的進歩により、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量、水中カメラ等を用いた手法が行われるようになった。しかし、これらの手法は、統一性がないため、過去や他海域との比較が容易ではない。また、各調査手法の利点や欠点を体系的に整理したマニュアルがないため、漁業者や都道府県が地先や地域の藻場分布を把握したいときに手法の選択などで悩むことも多い。そのため、小課題1の①では、(1) 既存の藻場調査手法について情報を収集し、各手法に対する技術的な利点、問題点や適用条件など項目別に整理し、(2) その取得可能情報や精度、調査範囲などについて比較した。また、(3) モニタリング結果の相互比較が可能かを検討した。最後に、これらの成果を組み入れた、(4) 調査マニュアル素案を作成した。

【方法】

(1) 既存藻場調査手法の技術的課題・適用条件の整理

既存の藻場調査手法（潜水観察、船上観察、音響測量、ドローン空撮、航空機空撮、衛星画像）の特性について、取得可能情報、調査範囲、技術的優位性、技術的課題、空間精度（正答率）、調査時間、コストに分けて整理した。

【結果】

ア 潜水観察による手法

[調査方法]

藻場調査においてもっともポピュラーな方法であり、ダイバーが方形枠（コドラート）やトランセクトを設置し、藻場の海藻種や被度、底質の状況、植食動物の分布などを把握する。

[特性]

取得可能情報	調査範囲	時間
種類 : ◎ (種名)	地先	点 (枠) 調査
被度 (%) : ○	プロット、側線、エリア	22～43分 / 3～4点
底質 : ○	(0.0001～1 km ²)	トランセクト調査 (1ラインあたり)
周辺環境 : ○		40～60分 / 80～110m

技術的優位性 他手法を適用する場合も教師データとして併用可	技術的課題 海藻の同定が出来る者が必要	コスト 自前：無料 +用船料(～5万円/日) 委託： 1.7～7.5万円/50mライン 1,650万円/km ² (1,000m×11側線)
空間精度 調査プロット内で ほぼ100%判別		

[適用事例] 事例多数

イ 船上から観察する方法

[調査方法]

船上から観察する方法は、藻場調査の手法として古くから行われてきた。船の上から箱メガネや水中カメラ等を用いて藻場を観察して情報を収集する。また、簡便にダイバーが藻場の外縁に沿って海面を遊泳して調査する方法もある。

[特性]

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

[適用事例] 事例多数

ウ 音響測量による方法

[調査方法]

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。

[特性]

取得可能情報	調査範囲	時間
---------------	-------------	-----------

種類 : △(他手法との併用で○) 被度(%) : △ 底質 : ○ 周辺環境 : ×	地先～小湾スケール 側線 (～12km ²)	調査 : 4-9時間 / 1.5-4km ²
技術的優位性 透明度が低い場合や水深が深い場合でも適用可	技術的課題 ・極浅海域では船舶の進入が困難 ・他手法による視覚情報の併用が必須 ・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	コスト 購入費用 : 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 ² (調査費のみ) 685万円/km ² (解析費込)
空間精度 調査範囲内では高い		

[適用事例] 今尾ら(1985)、小松ら(2004)、奥村ら(2006)、Sonoki et al. (2016)

エ ドローン+光学カメラ (RBG) の空撮画像による方法

[調査方法]

ドローンの飛行により対象範囲の海面を空撮し、その空撮画像 (RBG) から藻場を判別する。

[特性]

取得可能情報 種類 : △(藻場の種類) 被度(%) : △ 底質 : ○ 周辺環境 : ×	調査範囲 地先～小湾(～5km ²)	時間 空撮 (準備など含む) 25-40分/0.17-2km ² (1飛行)
技術的優位性 ・自動航行ソフトなどを利用し、利用者自ら空撮画像を取得できる。 ・解像度が高い画像 (2～16cm/pixel) を取得できる。	技術的課題 ・飛行や画像解析に熟練が必要 ・解像度は高いが、データ処理能力の制約の可能性あり ・ハレーションや波浪、計測可能水深の限界により藻場が画像に映らないと計測できない	コスト 自前 : 12～90万円 (ドローン+光学カメラ) 委託 : 10万円/12.5km ² (撮影のみ)、40～65万円/km ² (解析費込)
空間精度 調査範囲で正答率 66.7～81.3%		

[適用事例] 山田ら(2017)、佐藤ら(2018)、Ventura et al. (2016)、
Casella et al. (2017)、Sturdivant et al. (2017)

オ 航空写真による方法

(ア) 航空機 (DMC)

[方法] 航空機からカラー、モノクロ、近赤外の取得画像の画像解析により藻場を判読
解像度は高度 1,200m で 12cm 程度

[特性]

取得可能情報 種類 : △ (大分類) 被度 (%) : △ (藻場の有無) 底質 : × 周辺環境 : ×	調査範囲 湾・灘・単県 面的に対応可能 (~554km ²)	時間 空撮 6時間 / 360-554km ²
技術的優位性 広域が対象 衛星画像よりも高解像度	技術的課題 ・教師データの取得が必要 (教師付データが主流) ・ハレーションや波浪、計測可能水深の限界により藻場が画像に映らないと計測できない	コスト 委託: 7万円/km ² (撮影のみ) 550万円/133km ² (撮影+オルソ画像作成)
空間精度 藻場有無の判別に対応可能な精度 (65~88%)		

[適用事例] Amy et al. (2016)、Mumby and Edwards (2002) など多数あり

(イ) 航空機 (ALB)

[調査方法]

R B Gに加え、近赤外とグリーンレーザーを同時に照射することにより浅海域を測量し、底質とそこに繁茂する藻場の形状を判別することで藻場分布を把握する。

[特性]

取得可能情報 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 : ×	調査範囲 湾・灘・単県 面的に対応可能 (~110km ²)	時間 空撮 6時間 / 4-27km ²
技術的優位性 ・広域を対象 ・解像度10cm以下の画像を取得でき、DMCよりも高解像度 ・密生した大型海藻の分布状	技術的課題 ・教師データの取得が必要 ・ハレーション対応 ・計測可能水深の限界有り ・広域の場合はDMCより効率	コスト 委託: 30万円/km ² (撮影のみ)、700万円/22km ² (ALB測深及び撮影・測深データ・オルソ画像作成)

況(形状)を把握可能 (海底面反射のデータ+藻場に反射するデータの利用)	が低下	
空間精度 藻場有無の判別 (80%~)		

[適用事例] 実証試験・研究レベルで適用事例あり
Webster et al. (2016)、Zhao et al. (2016)等

カ 人工衛星画像による方法

[方法]

人工衛星から撮影した 30m~1m以下の解像度、4~8バンドの画像の解析により藻場を判別する。

[特性]

取得可能情報 種類 : △(大分類) 被度(%) : △(藻場の有無、粗密の違い程度) 底質 : ×(別と必要) 周辺環境 : ×	調査範囲 湾・灘~広域沿岸 面的に対応可能 (25km ² ~)	時間 無料画像だとすぐダウンロードできる。 購入だと納品まで1-2週間かかる場合も。
技術的優位性 ・広域を対象とし、比較的低コスト ・RGB以外の波長帯のバンドの画像も入手できる	技術的課題 ・教師データの取得が必要 ・衛星画像の入手に制約 ・ハレーション対応 ・雲量リスク	コスト 無料のものは解像度10m以上(Sentinelなど) アーカイブ画像購入 150~10000円/km ² Worldview2は最小購入面積25km ² で15万円~
空間精度 藻場有無の判別 50~81%		

[適用事例] 環境省(東北沿岸、瀬戸内海)
Mumby and Eswards(2002)、Vahtmae and Kutser(2007)、Setyawidati et al. (2018)等多数

(2) 既存藻場モニタリング手法の比較

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 1-1)。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。音響ソナーによる測量画像や、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、潜水調査や船上調査による海藻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、種判別など取得できる情報が多いと考えられる。

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できる。また、コストは同じ調査範囲では潜水調査が最も費用がかかり、衛星画像が最も安くなる。ただし、コストの比較は、インシヤルコスト、途中の解析費用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。取得情報や精度（正答率など）と調査範囲の関係を図で簡単に表すと、トレードオフの関係にある（図1-1）。

表 1-1. 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 ²	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 ²	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：20～2700万円 委託：20万円/km ²	調査：4-9時間 /1.5-4km ²
ドローン+RGB	△	地先、小湾	67～81% 藻場有無判別	自前：12万円～ 委託：40万円/km ²	撮影：0.5時間 /0.3-0.5km ²
航空機+DMC	△	湾、灘、単県	65～88% 藻場有無判別	7万円/km ² （撮影のみ） 550万円/133km ² （撮影+オルソ画像作成）	撮影：6時間 /13-554km ²
航空機+ALB	△	湾、灘、単県	80%～ 藻場有無判別	30万円/km ² ～（撮影のみ） 700万円/22km ² （解析込み）	撮影：6時間 /15-24km ²
人工衛星	△	湾、灘～広域	50～81% 藻場有無判別	無料のものもある ～17万円/25km ²	無料画像はすぐDL 購入の場合は約1 週間で納品

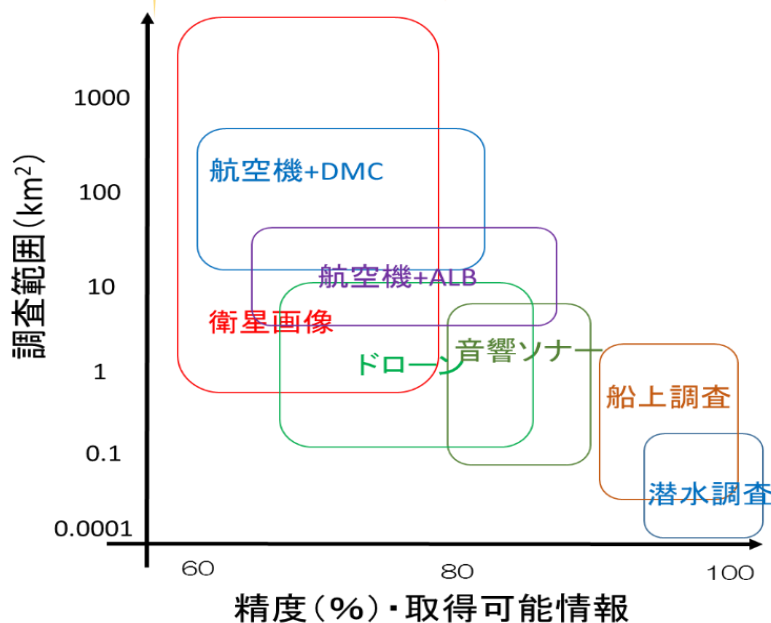


図 1-1. 調査方法の精度・取得可能情報と調査範囲の関係の簡易図

(3) モニタリング結果の相互比較

【方法】

藻場の分布把握のために神奈川県小田原市沿岸の江之浦漁港周辺で2018年9月20日に船上からの水中カメラによる観察、10月25日に潜水観察およびドローン空撮を行った。また、大分県佐伯市名護屋湾内で2018年11月4-6日に藻場の潜水観察、水上からのスノーケリング観察、ドローン空撮を行った。各地区において、潜水観察と海面からの観察（船上かスノーケリング）における海藻種の被度に違いがないか検討した。また、ドローン空撮画像はモザイク処理を施し、潜水観察や船上調査、衛星画像と比較できる画像データとして整理した。



図 1-2. 神奈川県小田原市江之浦沿岸（赤丸、白丸）と大分県佐伯市名護屋湾（白丸）の調査地点（地図は Google earth 利用）

【結果】

神奈川県小田原市沿岸では2018年9月20日の船上からの水中カメラによる観察と2018年10月25日に行った潜水調査による大型海藻の被度（%）の計測結果を比較した。その結果、潜水観察に比べて、船上調査の海藻被度が大きくなる傾向がみられた（図 1-3）。これは船上調査では潜水観察に比べて被度を過大評価する可能性があることを示唆している。ただし、調査地点や調査日の違いによる影響も考えられるため、注意が必要である。大分県佐伯市名護屋湾内では同一地点における潜水とスノーケリング観察のヨレモクモドキとクロメの被度を比較した。ヨレモクモドキとクロメともに両手法で観察された被度は同程度であり、これらの手法は比較可能であることが確認された（図 1-3）。

また、両海域においてドローンを用いて空撮し、オルソモザイク画像を作成した（図 1-4）。今後、この画像を用いた藻場分布のマッピング結果と他の調査手法の結果を比較検討する予定である。

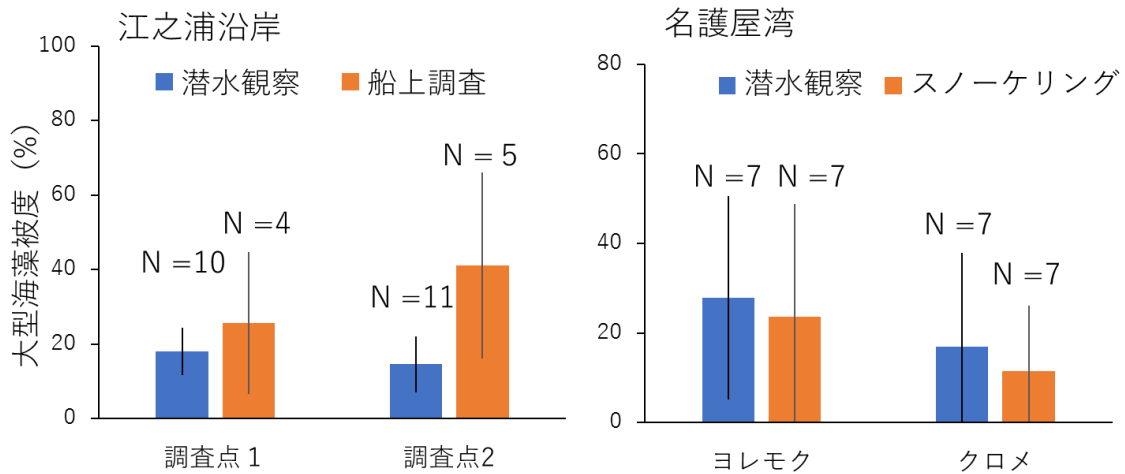


図 1-3. 江之浦沿岸の潜水観察と船上調査及び名護屋湾の潜水観察とスノーケリング観察の平均海藻被度（±標準偏差）の比較結果

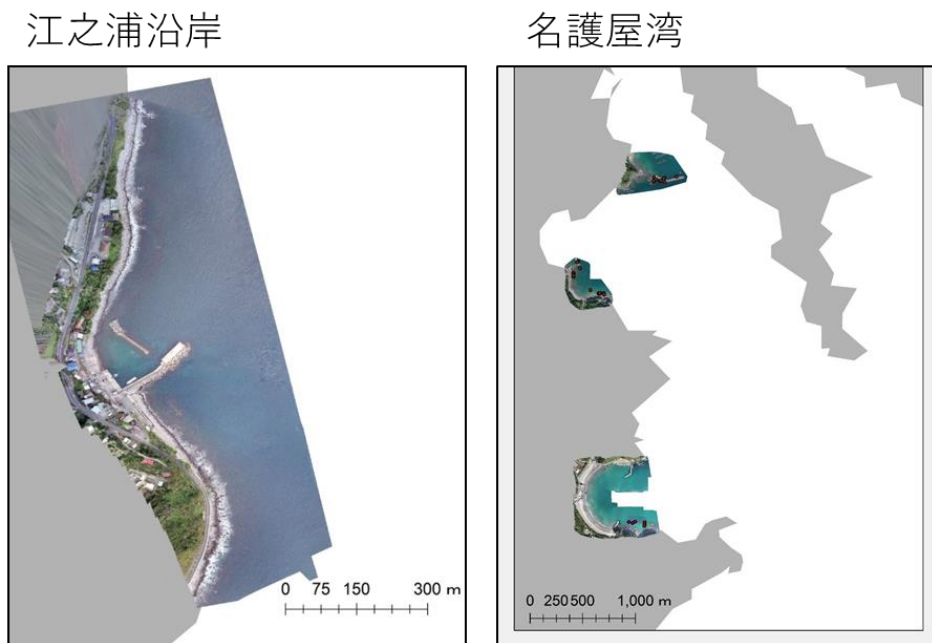


図 1-4. 江之浦沿岸と名護屋湾の空撮画像のオルソモザイク画像

(4) 藻場モニタリング手法に関するマニュアル素案の提案

藻場の調査方法には、それぞれ長所、短所があり、調査目的に応じて各調査方法の特性を踏まえて選択する必要がある。そこで、利用者が求める精度・目的・調査範囲に応じて、適切な調査手法が選択できることを目的とした、藻場調査手法のマニュアルの素案を作成した（添付：藻場調査手法に関するマニュアル素案）。

②広域藻場モニタリング手法

【目的】

広域の藻場をモニタリングするためには、衛星やドローン等で撮影した空中画像と現地の海藻植生データとを関連づけて、空中画像の藻場分布を解析する（教師つき分類）方法が用いられてきた。この場合、毎回、空中画像の撮影とほぼ同時期に海藻の植生データ（教師データ）を現地調査で取得する必要があり調査の負担が大きいことから問題となっている。一方、教師なし分類では、藻場判読解析の段階で教師データを必要としない。また、AI手法は、従来の教師つき分類（最尤法）に比べて自由度の高いクラス分類が可能である。さらに、特定の海域、時期における画像を用いた学習データが、他の画像でも使えれば、省力化が期待できる。そこで、現地調査の負担が少ない画像判別手法（例えば、教師なし分類、人工知能（AI）等）について検討し、その妥当性を検証した。この結果は本事業の最終年度に藻場調査手法に関するマニュアルに取りまとめる予定である（図 1-5）。



図 1-5. 広域藻場モニタリング手法の概要

【方法】

(1) 解析対象海域の選定と衛星画像の入手

解析対象海域は、毎年、定期的に定点で、藻場植生のモニタリング調査を実施している大分県佐伯市（名護屋湾）と神奈川県小田原市（相模湾）の2海域を選定した。前者は、漁業者による植食動物の除去対策が活発な海域であり、クロメ、ノコギリモク、ヨレモクモドキ等の多様な藻場が回復している海域である。後者は、藻場は減少傾向にあるものの、アラメやカジメが優占して見られる海域であり、なお、両海域は、過去から潜水調査による藻場植生のモニタリングデータを蓄積しており、過去の衛星画像データ等を判別する際に用いる教師データを豊富に有している。入手した人工衛星画像は表1-2、図1-6に示すとおりである。

表 1-2. 入手した衛星画像の対象海域、時期、人工衛星の詳細

項目	内容	
対象海域	名護屋湾（大分県佐伯市）	相模湾（神奈川県小田原市地先）
対象時期	2014年1月、2016年5月の2時期	2012年11月、2017年11月の2時期
人工衛星	WorldView-2 分解能：直下観測 0.46m（パンクロ）、1.85m（マルチ） 波長帯：パンクロ；450-800nm 8バンドマルチ；400 - 450nm Coastal 630 - 690nm Red 450 - 510nm Blue 705 - 745nm Red Edge 510 - 580nm Green 770 - 895nm Near-IR1 585 - 625nm Yellow 860 -1040nm Near-IR2	



2014年1月10日撮 2016年5月13日撮 2012年11月21日撮 2017年11月7日撮
 名護屋湾（大分県佐伯市） 相模湾（神奈川県小田原市地先）

図 1-6. 名護屋湾と相模湾の入手した人工衛星画像

(2) 人工衛星画像による藻場分類

従来の調査方法として人工衛星画像を用いた教師付き分類、教師なし分類による藻場判読を行い、その分類精度について検証した。作業フローを図 1-7 と図 1-8 に示す。

このうち、オブジェクトベース化（セグメンテーション、スーパーピクセルともいう）については、高解像度画像の場合、ピクセルベースだとノイズの影響を受ける可能性があるため、類似したピクセルを平均化して1つのグループに区分するものである。本検討で

は、購入した衛星画像より、必要に応じて大気補正（暗画素法）までの前処理を行った画像を用いて、Lyzenga(1981)の方法により消散係数比を算出し、水柱補正を行い、底質指標図を作成した。なお、人工衛星画像による藻場分類に際しては透明度により解析可能水深が制限されるため、本検討では水深 15m 以深はマスク処理し、解析対象外とした。次に、以下の(a)~(e)の手順で画像解析を行い、教師なし分類、AI 手法による精度向上の可能性及び広域藻場モニタリングにおける人工衛星画像の適用範囲の方向性を検討した。

(a)ピクセルベース分類とオブジェクトベース分類の比較（名護屋湾 2014 年対象）

WorldView-2 の 8 バンドから選んだ Blue-Yellow による組み合わせ（下記参照）において、ピクセルベース分類とオブジェクトベース分類による藻場判読結果を比較した。

(b)有効な 2 バンドの選択による藻場分類の比較（従来一般的な方法）

名護屋湾(2014 年)を対象に、WorldView-2 の 8 バンドから比較的有効と判断された 4 つの 2 バンド組合せ（Blue-Green、Blue-Yellow、Blue-Red、Green-Yellow）による底質指標を用いたオブジェクトベースによる藻場分類結果（教師なし分類）を比較した。

(c)分類手法の比較（最尤法、ISODATA 法、SVM（AI:機械学習））

名護屋湾(2014 年)を対象に、画像分類の手法による分類精度への影響を検討するため、教師付き分類（最尤法）、教師なし分類(ISODATA 法)、AI 機械学習（SVM：教師あり分類）による藻場分類結果（オブジェクトベース分類）を比較した。

(d) 3 つの底質指標を用いた場合の藻場分類手法の比較

(b)では 2 バンドを用いた底質指標のみを用いた分類結果を示したが、用いるバンドによって分類結果の違いがみられ、評価する場所によって分類精度は用いるバンドの優劣が異なる傾向がみられた。そこで、名護屋湾(2014 年)を対象に複数の底質指標を用いることによる分類精度向上の可能性を検討するために、Blue-Red、Blue-Green、Blue-Yellow の底質指標を用いた分類を行った。結果は(c)と同様に、最尤法、ISODATA 法、SVM 法について示した。

(e)異なる時期の画像（名護屋湾 2016 年）への適用

(d)の際に用いた名護屋湾(2016 年)を対象として、3 つの底質指標の組合せにより藻場分類を行った。

(a)~(e)藻場の分類は、被度別に被度 75%以上、被度 50~75%、被度 50%以下及び藻場なし（裸面または砂・岩ほか）に区分した。しかしながら、教師なし分類では、被度 50~75%と被度 50%以下をクラス分類しなかったため、被度 75%以上、被度 50-75%と表記している。また、現地の 66 地点の海藻データに対して、ある（被度 25%以上）・なし（被度 25%未満）と区分し、正答率を計算した。

【結果】

(a)ピクセルベース分類とオブジェクトベース分類の比較

ピクセルベースとオブジェクトベースの藻場判読結果は、概ね同様の傾向を示すが、ピクセルベースでは沖合でノイズが多くみられるのに対し、オブジェクトベースではこれが軽減されている。しかしながら、オブジェクトベース分類によっても教師付き分類の沖合部の誤分類は解消されていない。教師付き分類では、教師データの精度が分類結果に影響を及ぼすが、当該海域の Blue-Yellow 底質指標では、波当津湾口部の藻場海域とその他の沖合の藻場なし海域の差が明瞭でないことから、沖合部での誤判読の主な要因と考えられる。(図 1-9、図 1-10)

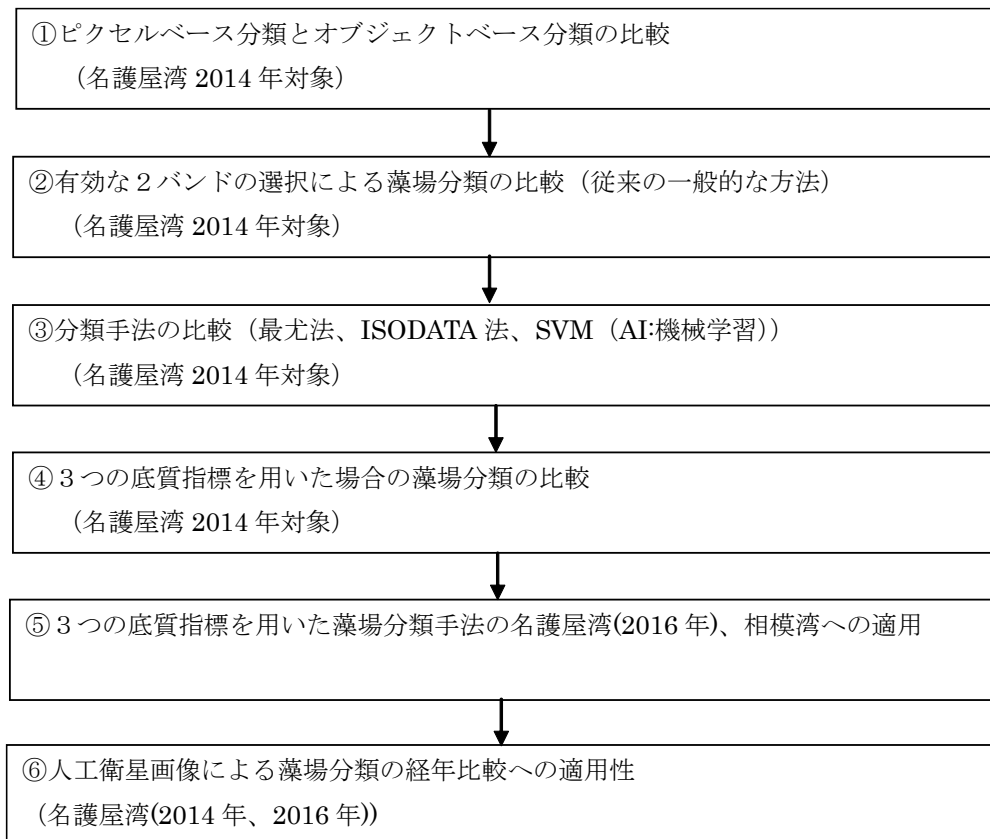


図 1-7. 画像解析検討手順

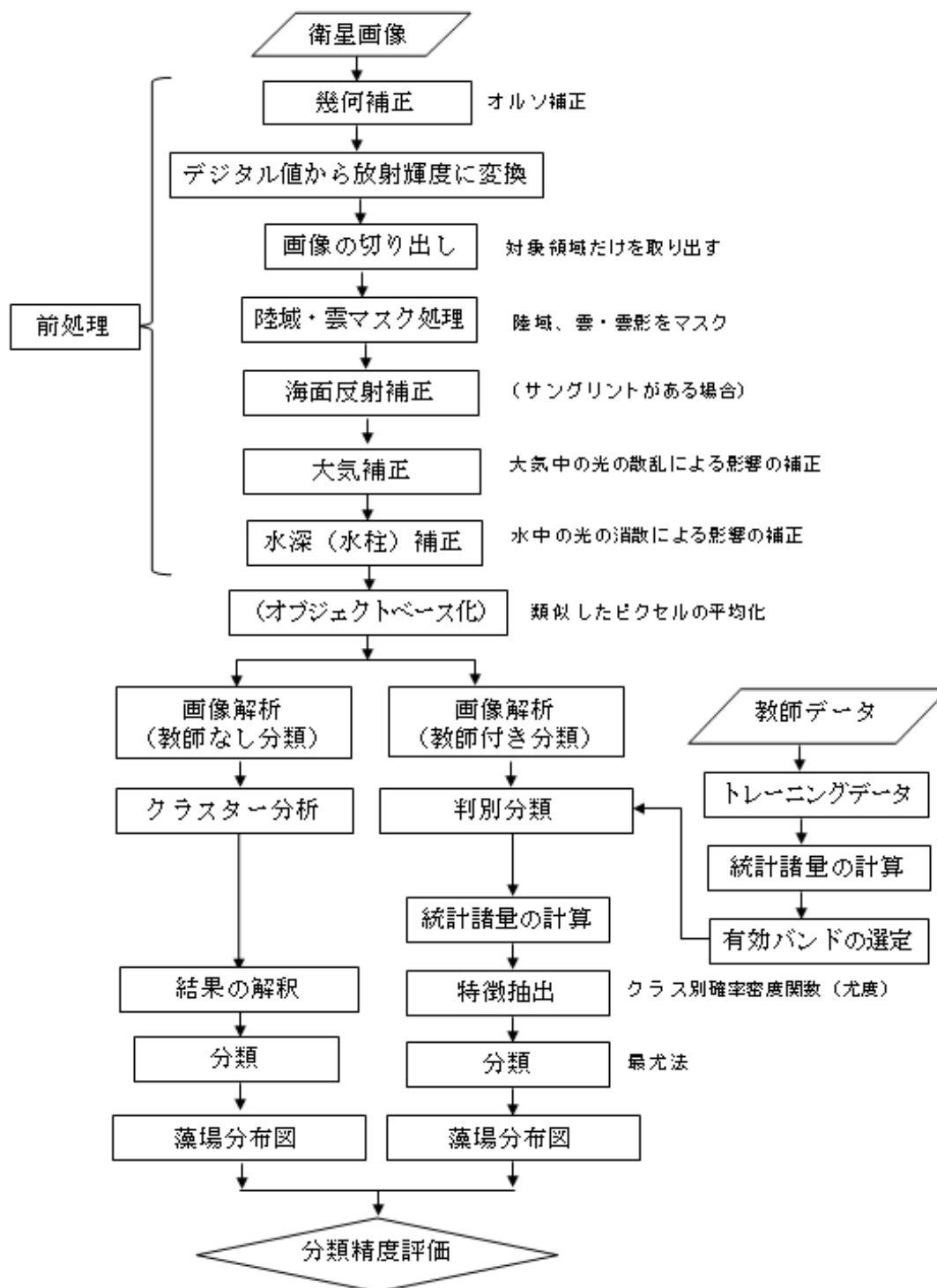
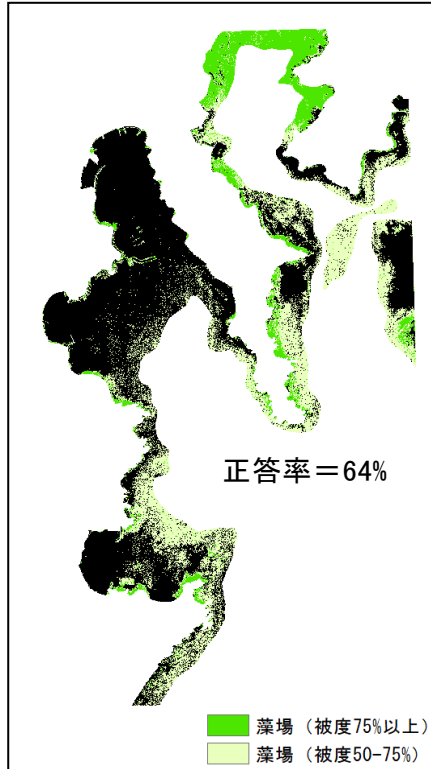
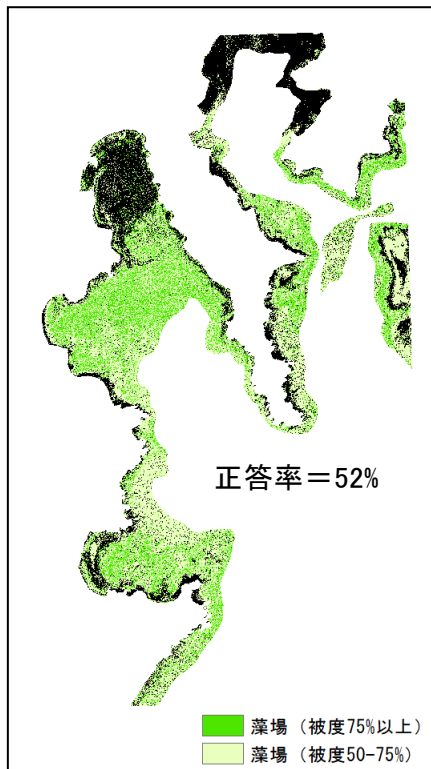


図 1-8 画像解析による藻場分類の作業手順

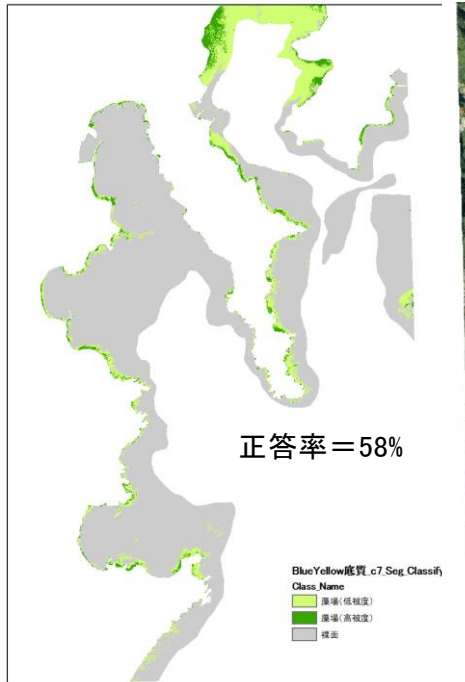
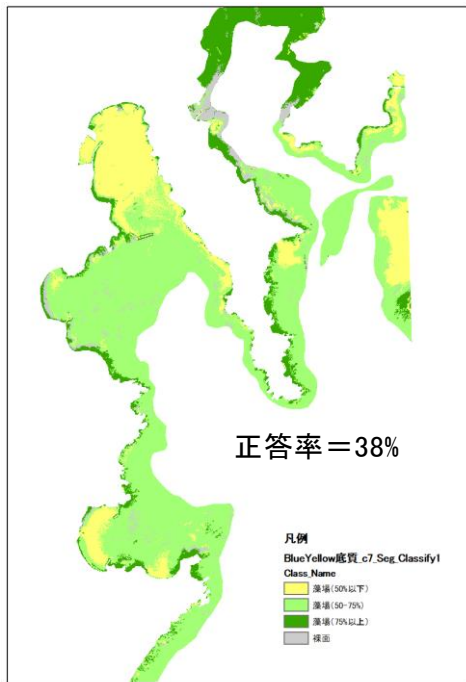


教師付き分類

教師なし分類

(現地調査)

図 1-9 ピクセルベースによる藻場分類結果



教師付き分類

教師なし分類

(現地調査)

図 1-10 オブジェクトベースによる藻場分類結果

(b)有効な2バンドの選択による藻場分類の比較（従来の一般的な方法）

有効な2バンドを選択するために各バンド組み合わせを比較した(図 1-11)。その結果、Blue-Green は名護屋湾湾奥部等で誤分類がみられ、Blue-Yellow は鵜糞鼻から南側沿岸で過小評価の傾向がみられた。Blue-Red と Green-Yellow は概ね同様の傾向であるが、猪串湾の傾向が若干異なり、本比較においては、Blue-Red が比較優位であった。このように、バンドの選定は藻場分類の精度に影響をすることがわかる。

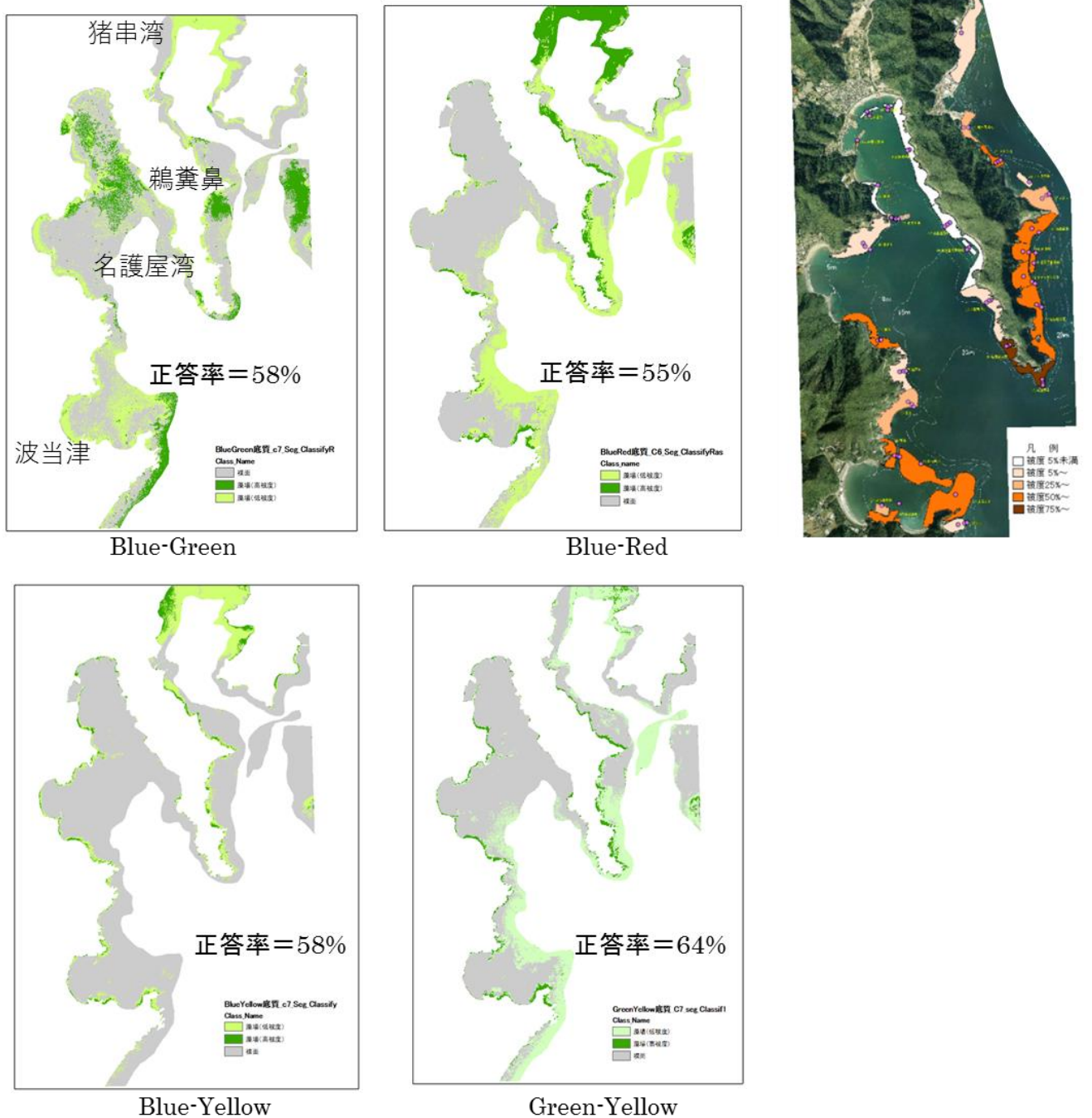


図 1-11. 2バンドの組合せの違いによる分類結果の比較（教師なし分類）

(c)分類手法の比較（最尤法、ISODATA 法、SVM（AI:機械学習））

画像分類の手法による分類精度への影響を検討するため、教師付き分類（最尤法）、教師なし分類（ISODATA 法）、AI 機械学習（SVM：教師あり分類）による藻場分類結果を比較した。全体的には3手法とも概ね同様の傾向であるが、最尤法では名護屋湾湾奥部において藻場無し海域を藻場有りとする誤判読が顕著である ISODATA 法では藻場有無の判読は概ね良好であるが、藻場被度の区分は難しく、全体的に若干過小評価となっている可能性がある（図 1-12）。また、SVM については藻場の沿岸域の藻場分布は最尤法と概ね同様な傾向を示すが、名護屋湾湾奥部の誤分類の面積が少なくなっている。

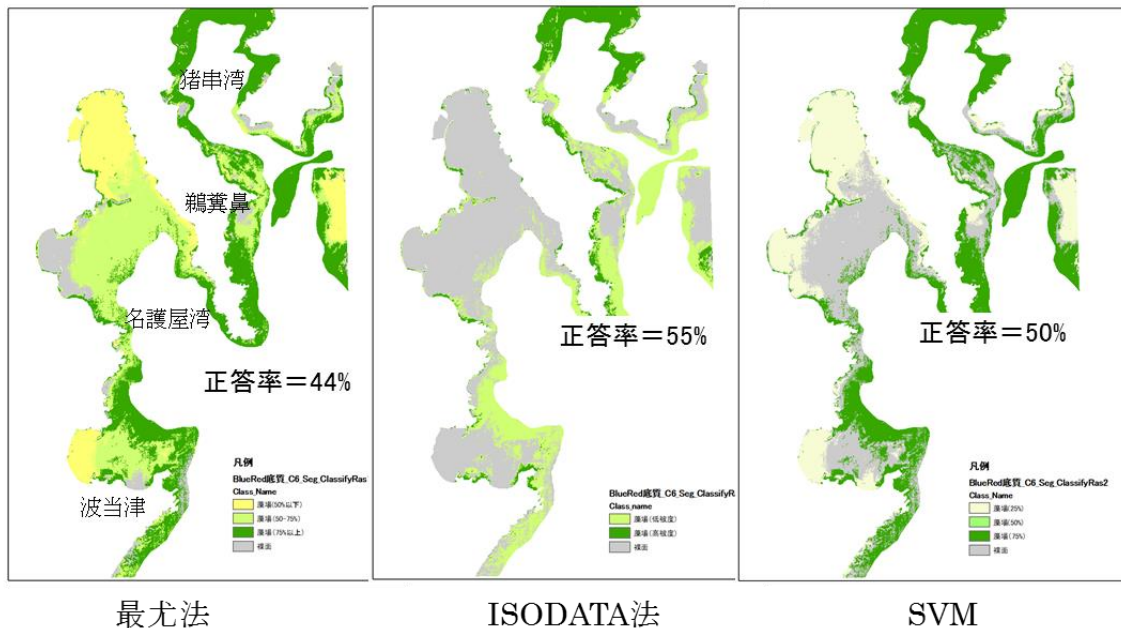


図 1-12 Blue-Red 底質指標を用いた藻場分類の手法別比較

(d) 3つの底質指標を用いた場合の藻場分類の比較

3つの底質指標を用いることで、全体的に分類精度の向上が窺えた（図 1-13）。最尤法では、名護屋湾湾奥の誤分類面積が減少している。ISODATA 法では藻場繁茂域の分布はあまり変わらないものの、藻場被度の区分が多くなっている。SVM については、藻場有無の誤分類が少なくなり、藻場分布も現地調査結果と概ね同様の結果が得られ、正答率は77%となった。

以上より、本画像を用いた解析では、3つの組合せの底質指標を用いた SVM 法の分類精度が最も高かった。SVM 法には教師データが必要であるが、ある特定の画像による学習データが、異なる時期あるいは他の海域に対しても有効であれば、藻場判読の省力化が期待される。

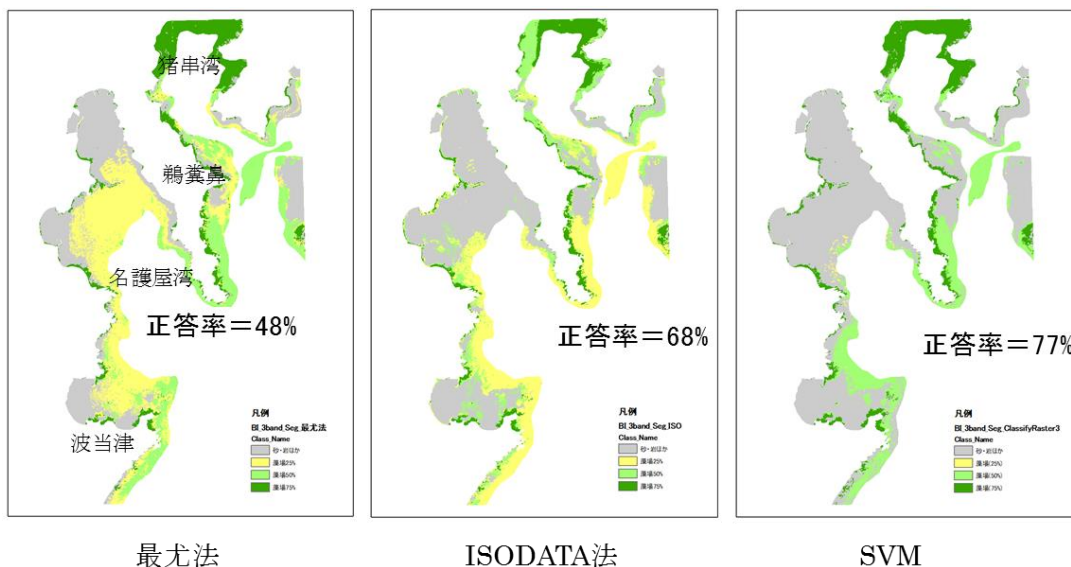


図 1-13 Blue-Red、Blue-Green、Blue-Yellow の 3つの底質指標を用いた藻場分類の手法別比較

(e) 3つの底質指標を用いた藻場分類手法の名護屋湾への適用(2016年)

名護屋湾(2016年)を対象として、3つの底質指標の組合せにより藻場分類を行った(図 1-14)。ただし、2016年について使用したバンドの組合せは、各底質指標の比較の結果、Blue-Green、Blue-Yellow、Green-Yellowの3つとした。

教師データを用いる最尤法、SVMでは名護屋湾湾奥等の藻場無し海域を藻場有りとして誤判読している。SVMについては、2014年のデータに対して過学習となっており、2014年のデータに対しては高い精度を有したものの、2016年のデータに対しては精度が低下しているものと考えられ、SVMについては汎用化の可否が今後の検討事項である。一方、最尤法、SVMに比べて現地データへの依存度が小さいISODATA法は比較的安定した精度を維持している。今後、精度向上の可能性について、水柱補正処理方法の精査を行う必要がある。

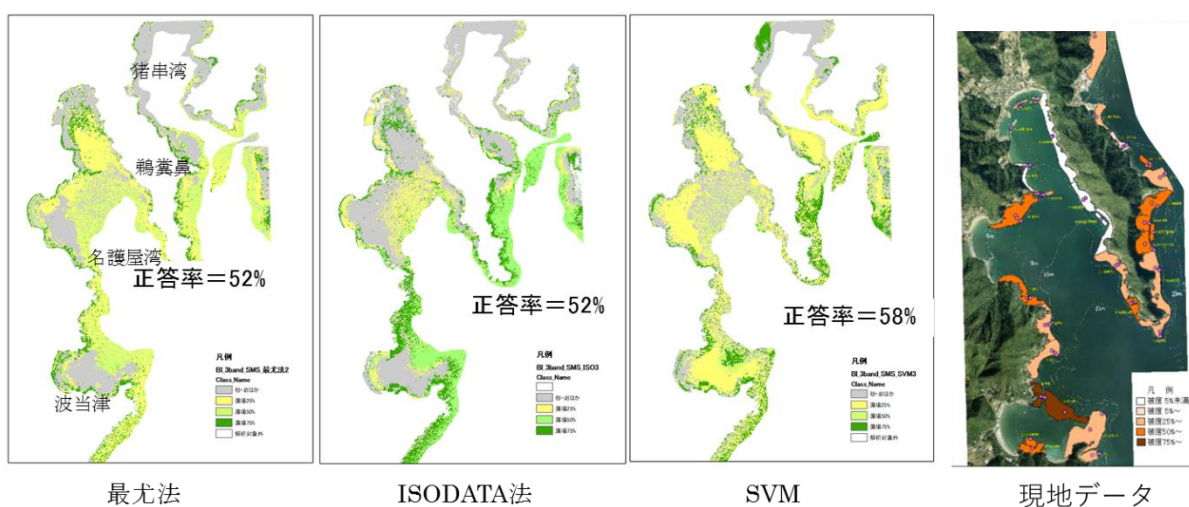


図 1-名護屋湾(2016年)を対象とした3つの底質指標を用いた藻場分類の手法別比較

(2) ドローン画像の取得

表3の条件で、自動操縦ソフト Pix4D capture を用いて DJI 社製 Phantom 4 pro を操縦し、高度 150m の高さから大分県名護屋湾及び神奈川県小田原市江之浦における藻場の範囲を空撮した。撮影した空撮画像は Pix4D mapper を用いてオルソモザイク処理を施した(図 1-15)。今後、衛星画像同様にこれらの画像を用いて藻場判別手法を検討予定である。

表 1-3. 名護屋湾および小田原市地先におけるドローン空撮条件

項目	内容	
対象海域	名護屋湾 (大分県佐伯市)	相模湾 (神奈川県小田原市地先)
対象時期	2018年11月6日	2018年10月26日
撮影枚数	274枚	219枚
オーバーラップ	縦80%、横80%	縦80%、横70%
ドローン	Phantom 4 pro, 分解能：0.03m (高度150m) 波長帯：3バンドRGB ; Blue, Green, Red	

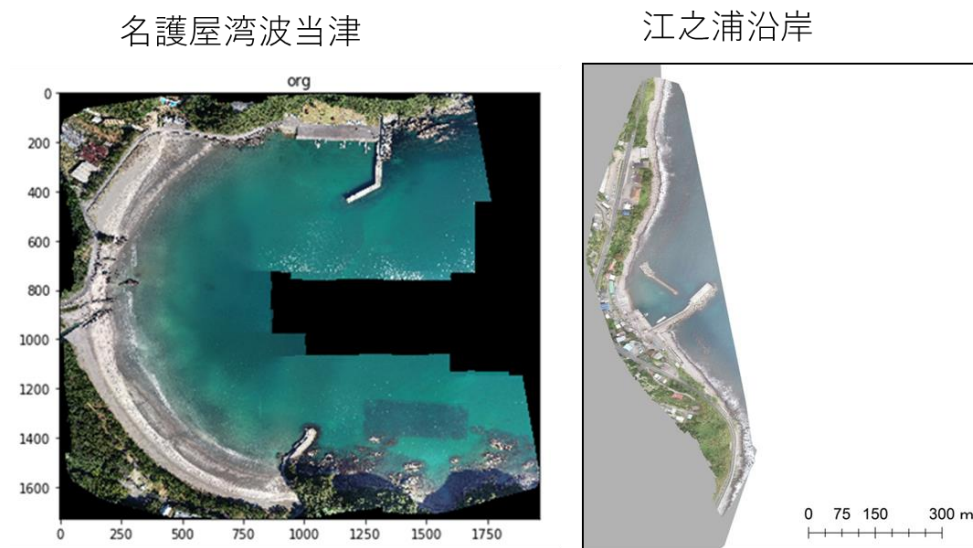


図 1-15 名護屋湾および小田原市江之浦沿岸の空撮画像のモザイク画像

小課題 2 について：

①植食性魚類の生態調査と刺網試験による除去効果の評価調査

1) 刺網による漁獲状況の把握

漁業者の協力を得て名護屋半島東岸の 5 区で刺網による漁獲試験を実施した(図 2-1)。試験区はブダイの蛸集状況(漁業者からの聴取り)と地形条件(砂礫地の分布等)を考慮して決定した。実施期間は 2018 年 7 月、9 月及び 11 月で、7 月と 9 月は 1 区当たり 1 回の試験、11 月は 2 回の試験を実施した。1 回の試験で三枚網 4 反と一枚網 1 反を使用し、原則として 16 時に設置し、翌日 7 時(11 月 7 日以降は 8 時)に回収した。名護屋半島沿岸で予備的に実施した潜水目視調査により、ブダイの生息個体数は深場(水深約 5~10m)に比べ浅場(水深約 5m 以浅)の方が多いたことが示唆されたこと(Wilcoxon test, $p < 0.05$; 図 2-2) 及び漁業者のこれまでの経験から、刺網は岸から沖に向かって設置した。

合計 20 回の刺網の結果、ブダイを 558 個体(467.6 kg)、アイゴを 109 個体(65.6 kg)、イスズミ類を 8 個体(8.5 kg) 漁獲した。この 3 種の他にタカノハダイ、カサゴ、イセエビ等の混獲が確認された。ブダイの漁獲個体数及び漁獲量は植食性魚類 3 種の合計の 82.7% 及び 86.3% に達し、試験を実施した全ての月で最も多かった(図 2-3)。アイゴについては、7 月の刺網試験では漁獲個体数及び漁獲量ともに全体に占める割合は低く、9 月以降に割合が増加する傾向が認められた。イスズミ類については、いずれの月も漁獲個体数及び漁獲重量に占める割合が少なかった。以上のことから、当海域の浅所での刺網の漁獲物において、少なくとも 7 月から 11 月にかけてはブダイが優占すると考えられる。漁獲物の体サイズを明らかにするため、ブダイについては全個体を、アイゴとイスズミ類については一部(原則として、C 区と D 区で漁獲された個体)を測定した。その結果、ブダイの全長(平均値 \pm 標準偏差)は 34.4 ± 5.8 cm ($n = 558$)、アイゴの尾叉長は 30.6 ± 3.2 cm ($n = 70$)、イスズミ類の尾叉長は 33.0 ± 3.5 cm ($n = 6$) であった。

漁獲量が多かったブダイについては、一枚網と三枚網の漁獲性能を比較した。CPUE(1 反当たりにかかった個体数)は、三枚網(6.63 ± 4.55 個体/1 反, $n = 80$)が一枚網に比べ有意に高かった(1.40 ± 2.2 個体/1 反, $n = 20$; Welch's t-test, $p < 0.05$; 図 2-4)。また、漁獲されたブダイの全長範囲は三枚網(20.8–49.5 cm)が一枚網(26.5–45.5 cm)より広い傾向がみられたものの、平均全長は一枚網(34.8 ± 4.6 cm, $n = 28$)と三枚網(34.4 ± 6.1 cm, $n = 530$)で有意な差は認められなかった(図 2-5)。これらのことから、CPUE が高く、幅広い体サイズのブダイが漁獲できるという点において、三枚網が一枚網より優れていると考えられる。ただし、三枚網では混獲物も多い傾向が見られたため、詳細な比較検討が必要である。

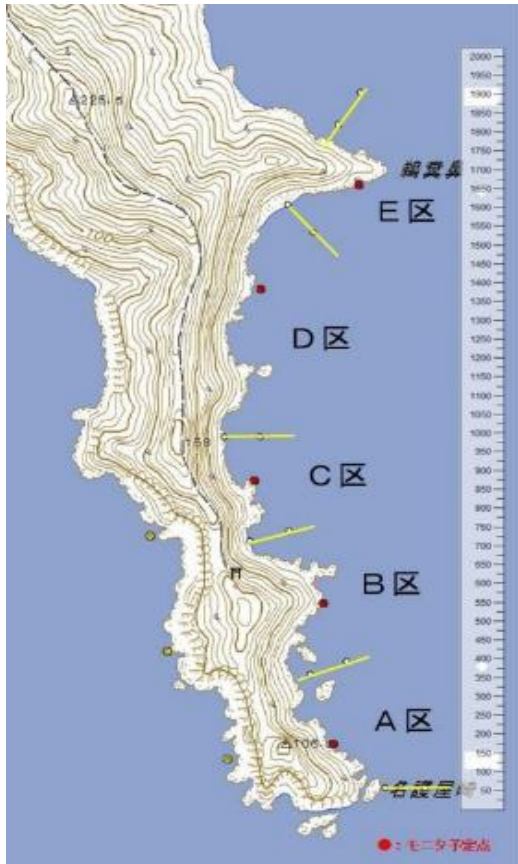


図 2-1. 大分県佐伯市名護屋半島沿岸の調査区

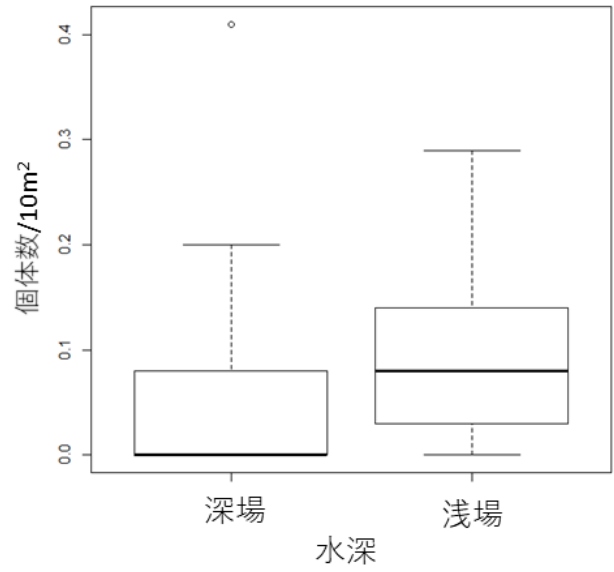


図 2-2. 名護屋半島沿岸の水深帯別ブダイ密度 (潜水目視調査の結果)

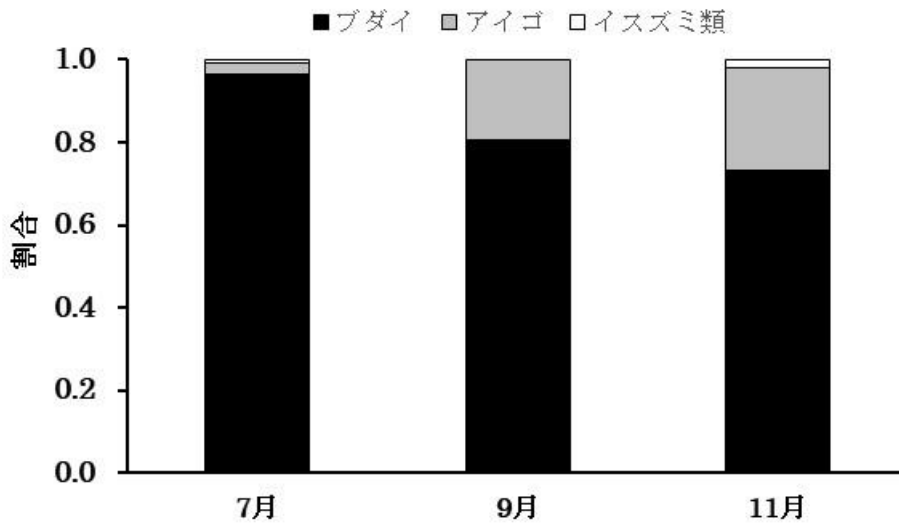


図 2-3. 刺網による漁獲個体数に占める魚種別割合

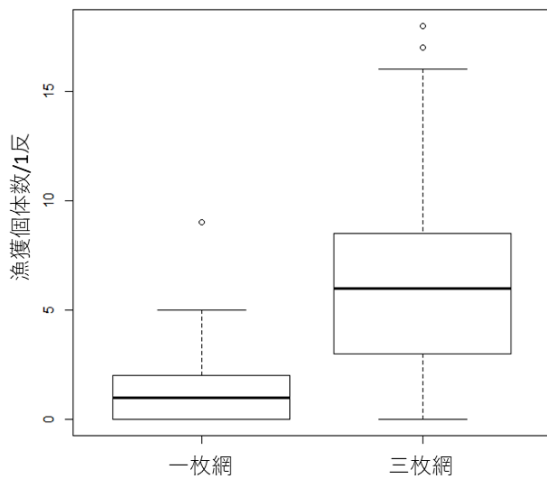


図 2-4. 一枚網と三枚網のブダイの CPUE の比較

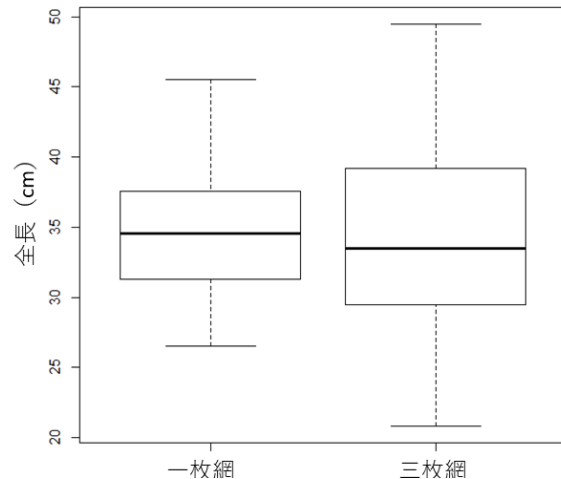


図 2-5. 一枚網と三枚網で漁獲されたブダイの全長の比較

2) ブダイの生態調査

ブダイの産卵生態調査は、夕方から日没にかけて産卵するという既存知見に従い¹⁾、7月と8月に名護屋半島西岸で実施した。7月及び9月に刺網で漁獲されたブダイの生殖腺を観察したところ、成熟した卵巣が確認されたが、赤潮発生により透明度が低く、潜水観察によるブダイの追跡が困難であった。魚類の追跡調査の成否には透明度が大きく影響することから、当海域で実施する場合は、バイオテレメトリー調査等により行動範囲をある程度把握した後、潜水観察を実施することが有効と考えられる。

次にブダイの分布状況を検討するため、上述の刺網試験で得られたデータを用いて、CPUEと体サイズについて5つの調査区間で比較を行った。なお、一枚網と三枚網でCPUEに差が見られたことから、この解析では三枚網のみのデータを用いて解析を行った。CPUEについては、調査区間で有意差はなく（二元配置分散分析、 $p > 0.05$ ）、調査区と調査月間の交互作用も認められなかった（ $p > 0.05$ ；図 2-6）。また、体サイズについても、同様に、調査区間で有意差はなく（二元配置分散分析、 $p > 0.05$ ）、調査区と調査月間の交互作用も認められなかった（ $p > 0.05$ ；図 2-7）。つまり、刺網を設置した浅場においては、特定の月に特定の調査区でブダイを大量に漁獲することは期待できないことが分かった。一方で、CPUEは調査月間で有意差が認められ（ $p < 0.05$ ）、除去による個体数の減少や透明度等の環境条件の違いの影響を受けた可能性が考えられた。

植食性魚類ノトイスズミでは消波ブロック周辺に蛸集し、その蛸集個体数は多い場合500個体を越えることが知られている^{2,3)}。このため、ノトイスズミではこの蛸集性を利用した漁獲手法の開発が進められており、他の植食性魚類においても蛸集生態を利用できれば除去の効率化が可能と期待される。ブダイ科魚類や近縁のベラ科魚類では産卵時に特定の場所に集まることが知られており^{4,5)}、ブダイについても産卵時に特定の場所に集まる可能性あると考えられる。ただし、ブダイの研究事例は限られており¹⁾、これまでのところ強い蛸集性を示唆する報告は見当たらない。研究が進んでいるベラ科魚類では繁殖における蛸集状況は個体密度が影響することが示唆されており⁵⁾、ブダイについても密度が高い本調査地では産卵時に蛸集する可能性があると考えられる。本調査で実施した刺網ではカサゴやタカノハダイなどの魚類やイセエビの混獲が頻繁に観察された。今後、ブダイの

対策技術の開発については、ブダイの蝟集実態を把握し、混獲の少ない効率的な漁獲手法を検討するとともに、蝟集性が弱い場合の対策として、繁殖や再生産の抑制など新たな視点による対策技術の検討も必要であろう。

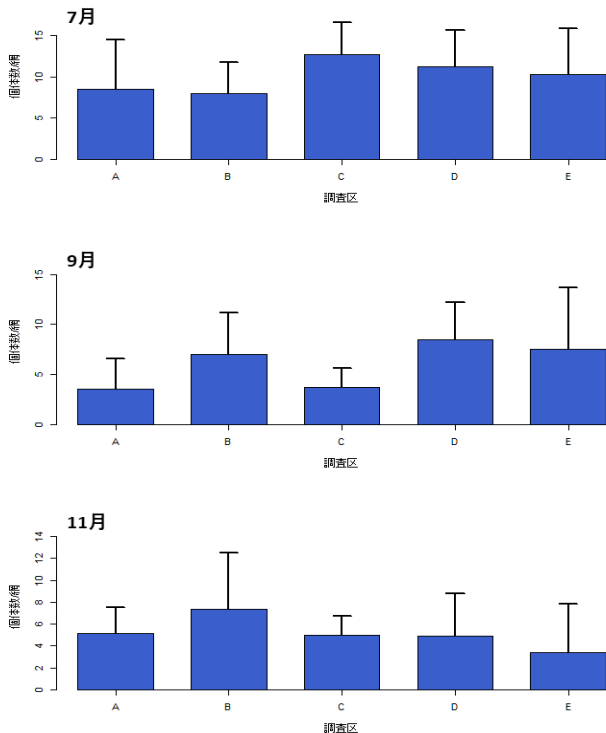


図 2-6. 刺網によるブダイの CPUE

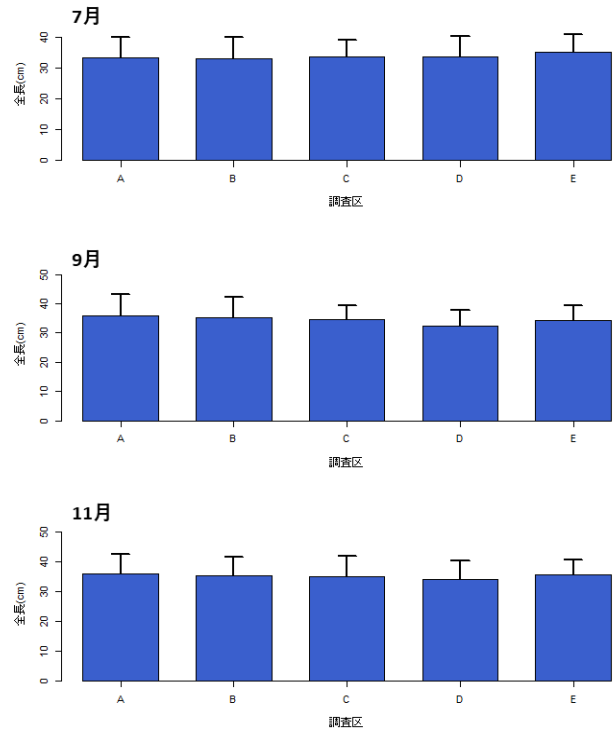


図 2-7. 刺網で漁獲されたブダイの全長

3) 漁獲後の影響評価

ブダイの除去効果を検討するために、除去率を推定した。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 2-8)、Delury 法を用いて、ブダイの除去前個体数を推定した (図 2-9)。その結果、 819 ± 150 (標準誤差) 個体、 716 ± 152 kg であった。なお、刺網では 24 cm 以下の個体がほとんど漁獲されていないことから (図 2-10)、この推定には小型個体は含まれていない。除去個体数 (558 個体) を推定除去前個体数 (819 個体) で割った除去率は、試験期間全体で 68% であった。ただし、Delury 法による個体数推定では、調査区内外の移動がないことが前提条件だが、ブダイについては研究事例が少なく、行動圏を検討するための知見が十分ではない。今後、ブダイが Delury 法的前提条件をどの程度満たすかを検討するための知見の蓄積が必要である。また、本試験は 7 月から 11 月にかけて実施しており、この間に透明度等の環境条件が大きく変化していた。これらの環境条件の変化は除去前個体数の推定値に影響する可能性があることから、今後、環境条件を揃えるため短期間に集中して刺網試験を実施した方が良いと考えられる。

刺網試験に合わせて 7 月、9 月、11 月および 1 月 (単独実施) に、名護屋湾東岸の 5 区 (A~E 区) に各 1 定点を設け、原則 3 水深 (3m・6m・9m) に定置枠 (50×50 cm) を設定し、景観被度、海藻の種類別の被度、主な巻貝およびクロメの密度 (0.25 m²)、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。藻場の被度 (大型海藻と小型海藻の被度の合計値) は 52~74% の範囲にあり、大型海藻の減少により 9 月に低下したが、その後は大きな変化はみられなかった。大型海藻は主にクロメであり、他にヨレモクモドキが出現した。小型海藻の被度は平均 50~61% の範囲にあり、大きく変動しなかった (図 2-11)。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。7 月は平均全長 12 cm (最大 67 cm) で密度 11 本/0.25 m² であった。その後、急激に減少して、1 月は 1 定点で全長 1 cm の幼体が 1 本となった (図 2-12)。葉部が欠損し根茎部のみとなったクロメの割合は、7 月以降増大して 11 月にピークとなり、1 月に減少した (図 2-13)。クロメの減少は波浪などの環境要因の影響も考えられるが、この結果は植食性魚類の食害がクロメの減少要因の 1 つであることを示唆する。

本試験により、7 月から 11 月にかけて延べ 100 反の刺網を設置し、558 尾のブダイを漁獲したが、クロメは大きく減少した。この減少要因の 1 つとして植食性魚類の食害が示唆されたことから、今後の漁獲試験においては、より効率的な漁獲時期や漁獲圧を検討する必要がある。今年度の漁獲試験では、漁獲の多くは 9 月以降に集中しており、生息個体数 (Delury 法による推定値から漁獲個体数を引いた個体数) も 9 月以降に大きく減少していた (図 2-14)。しかし、9 月にはすでに食害が発生していることから、食害をより効果的に抑制させるために漁獲時期を早める必要があると考えられる。また、ブダイの調査地内外の移動がないと仮定した上での推定値ではあるが、本試験の除去率は 7 割程度で、試験終了後も 300 個体程度が調査区に生息していると推定された。ウニ類の除去により藻場を回復させるには生息密度を 10 分の 1 程度にする必要があると言われており、更に除去率を高める必要性があると考えられる。本調査により、ブダイの漁獲効率は一枚網より三枚網が高いことが明らかとなったことから、今後は、三枚網の反数を増やすなどして、漁獲圧を高める等の工夫が必要と考えられる。

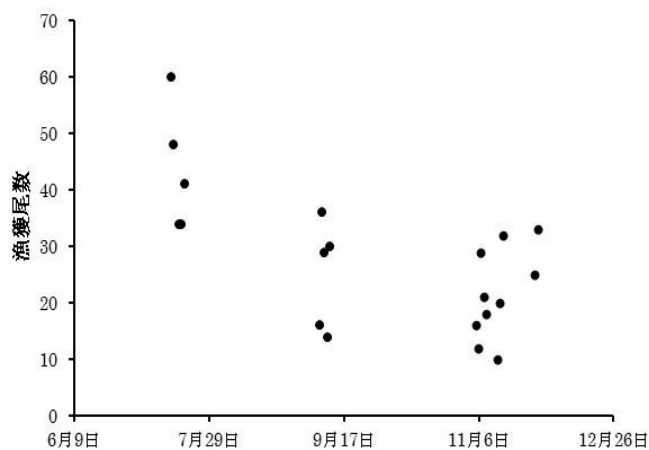


図 2-8. ブダイの漁獲個体数の変化

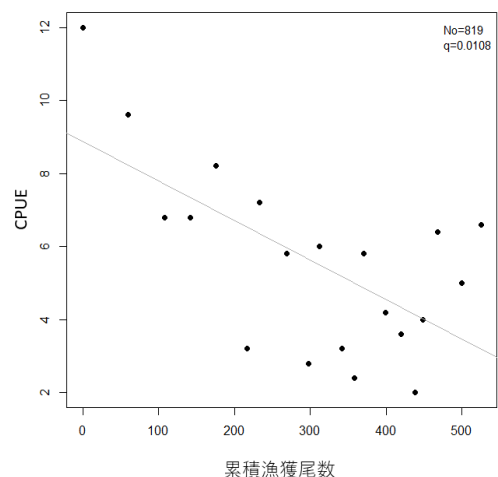


図 2-9. 累積漁獲個体数と CPUE の関係

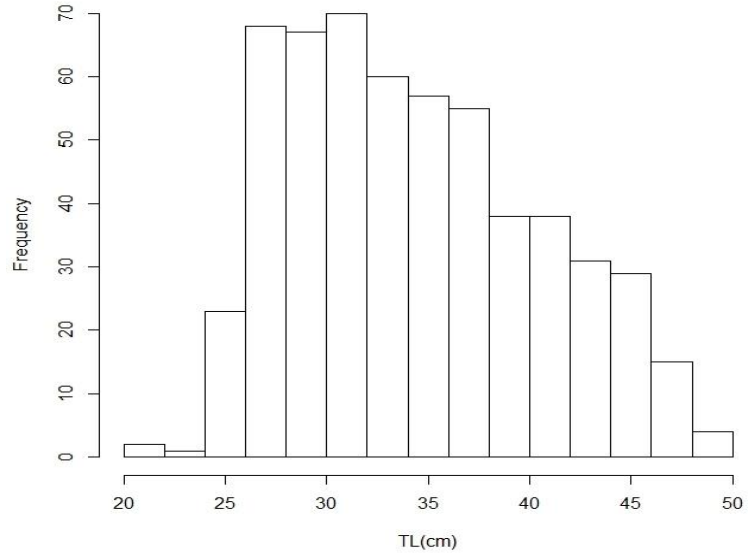


図 2-10. 刺網で漁獲されたブダイの全長組成

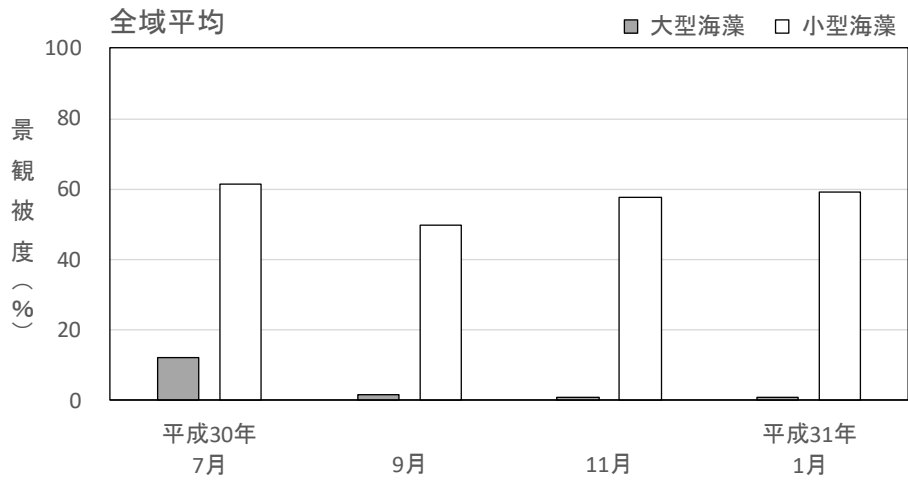


図 2-11. 名護屋湾における景観被度の経時変化

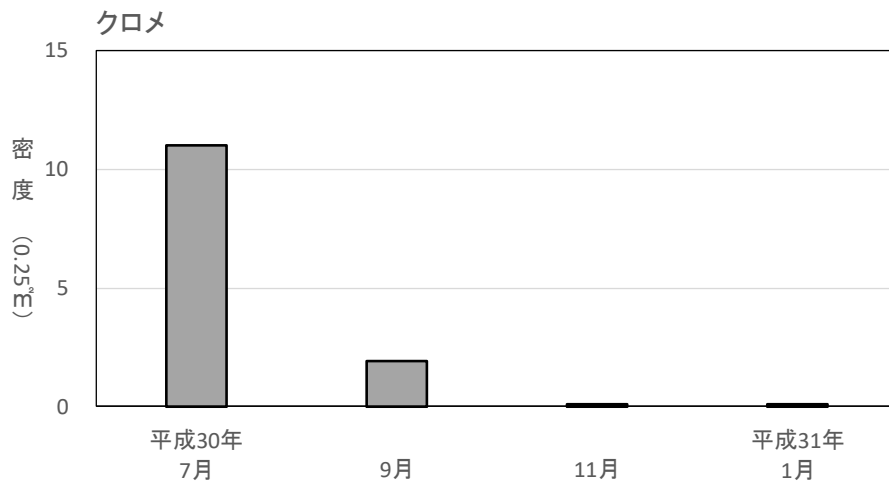


図 2-12. 名護屋湾におけるクロメ密度の経時変化

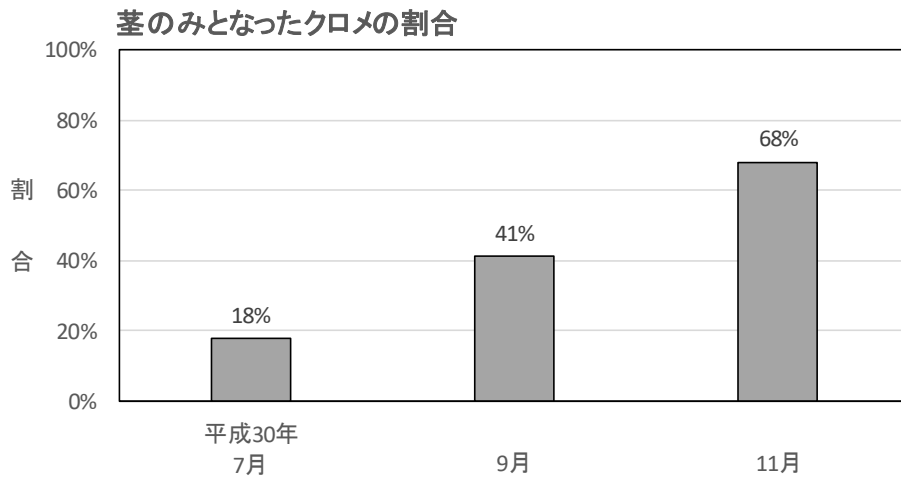


図 2-13. 名護屋湾におけるクロメ密度の経時変化

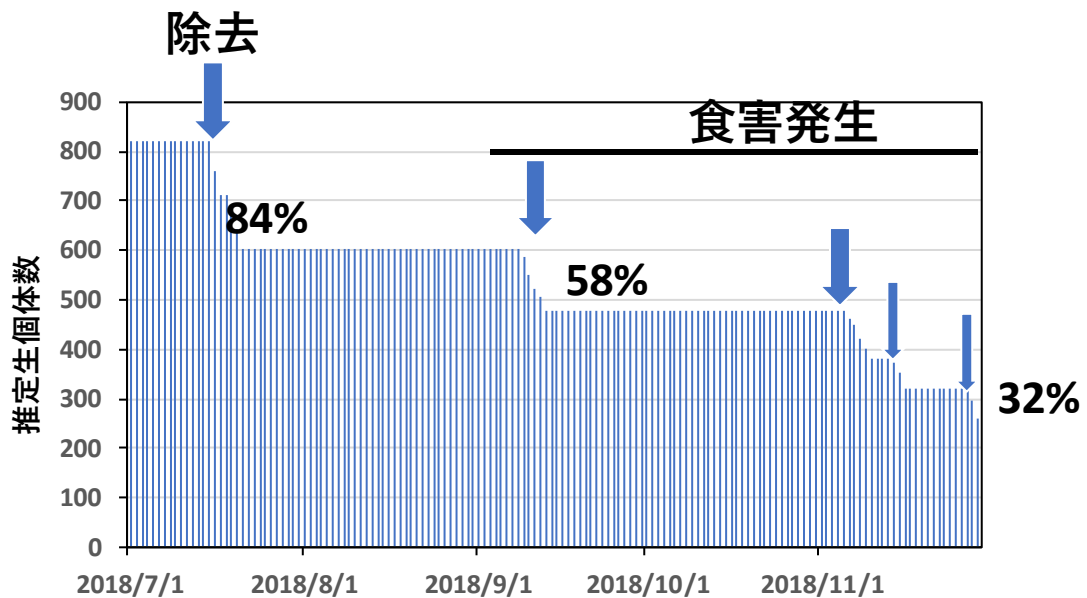


図 2-14. Delury 法に基づく調査区のブダイの推定個体数。パーセントは除去率、矢印は除去活動の時期を示す

引用文献

- 1) 渋谷拓郎, 緒方信一, 橋本博明. ロ永良部島におけるブダイの繁殖行動. 生物生産学研究 1994; 33: 37-41.
- 2) 桑原久実. 魚の食害対策に係わる技術と課題. 水産工学 2015; 51: 253-257.
- 3) 門田 立, 清本節夫, 福田紘士, 吉村 拓. 植食性魚類ノトイヌズミ *Kyphosus bigibbus* の消波ブロックへの蟻集とその季節変化. 日本水産学会誌 2017; 83: 74-76.
- 4) 中園明信, 桑村哲生. 「魚類の性転換」東海大学出版会, 東京. 1987.
- 5) 桑村哲生. 「サンゴ礁を彩るブダイ 潜水観察で謎をとく」恒星社厚生閣, 東京. 2012.

②植食性魚類の効率的な除去手法の検討

名護屋湾西岸の4地点および東岸の3地点において(図2-15)、ブダイの延縄試験を2018年7月、9月、11月の各2日間、および2019年1月の1日間に行った。用いた延縄は、幹縄(長さ約100m)に枝縄(長さ約30cm、80本前後)を結び、その先端にネムリ鉤(10号・15号・16号)をつけたもの3セット(「鉢」と呼ぶ)である。試験餌は「餌巻き糸」で束状にして鉤にかけた。この餌巻き糸は和歌山県南部のブダイ延縄漁で使用されているもので、ぐるぐる巻き付けるだけで餌海藻を束ねることができる。1地点あたり1鉢を入れ、原則1~2時間後に順次揚げ、ブダイを外して餌海藻を補充してから再度入れた。午後2時以降に入れた場合は、翌朝に揚げた。1日あたりの試験回数は2~3回であった。

和歌山県南部のブダイ延縄漁では、三重県産の生のホンダワラ *Sargassum fulvellum* が餌に用いられている。そのためブダイ延縄漁の漁期はホンダワラが入手できる9月以降に限定されている。ホンダワラは本州から九州までの漸深帯上部に生育するが、生育量が多い種類ではなく、餌海藻に用いるには供給量が課題である。このため延縄でブダイを効率的に除去するには、「良い餌」の特性を明らかにすることが重要である。本試験では、人工餌3種類(表2-1)、冷凍海藻3種類、塩蔵海藻3種類および生鮮海藻6種類の15種類について試験を行った(表2-2)。なお、人工餌はマルキュウ(株)(埼玉県桶川市)が試作し、提供して頂いたものである。

ブダイが漁獲されたのは全て生鮮海藻(表2-2中●)であり、冷凍海藻、塩蔵海藻および人工餌では漁獲されなかった。生鮮なコンブ類は旨味・甘味成分(遊離アミノ酸)の割合が高く、苦味成分(タンパク質構成アミノ酸)の割合が低いが、加工すると遊離アミノ酸が失われ、タンパク質構成アミノ酸は失われないこと(苦味が残ること)が報告されている¹⁾。本調査において生鮮海藻以外でブダイが漁獲されなかったのは、旨味・苦味成分の組成に変化が生じ、ブダイが忌避した可能性が考えられる。なお、生鮮海藻のうちブダイが漁獲されなかったアカモクは、採集後6日間冷蔵していたもので、その間に「成分」が変化した可能性が考えられる。同じく生鮮海藻で漁獲がなかったクロメは餌巻き糸で葉巻状にして鉤につけており、束状にしたホンダワラ類と形状が異なっていた。ヒジキ、ヒラネジモクとノコギリモク(主枝の上部の小枝)はいずれも細長い紐状であった。これらはブダイの延縄漁業者からの聴取り「細長い枝で釣れるが、巾広い葉では釣れない」と一致しており、餌の「形状」もブダイの漁獲に関連することが示唆された。

生鮮海藻の種類別の釣獲率(尾/鉤)は0.03~0.13尾/鉤の範囲にあり、ヒジキで最も高く、ヒラネジモク、ノコギリモクとホンダワラの3~4倍であった(図2-16)。ヒジキはブダイに食害されることが知られており²⁾、他海域でも同様な釣獲率が期待される。和歌山県で行われた延縄によるブダイ釣獲試験では、コンブ、カジメ、アオサなどでは全く漁獲されなかったが、ホンダワラでのみ釣果があった³⁾。本試験ではホンダワラの釣獲率は高くなかった。また、大型褐藻類に対するブダイの摂餌試験では、ノコギリモクは最も食べない海藻であった⁴⁾。本調査で漁獲があったヒジキ、ヒラネジモクとノコギリモクは本地区に生育しているホンダワラ類であり、日常的に食べていたため漁獲された可能性がある。ブダイは大型藻類がない時には小型藻類を主に摂餌していることが報告されており⁵⁾、大型海藻が消失した磯焼け海域では、「自生」する小型海藻を餌海藻にしてブダイを漁獲できる可能性がある。

平成30年7月から11月までの3回の延縄試験では合計15尾のブダイが漁獲された(平均0.5尾/鉢)。ブダイの全長は37~48cmの範囲にあり平均43±4(標準偏差)cmであった(図2-17)。3枚網の刺網で漁獲されたブダイの全長は21~50cmの範囲にあり平均35±5cmであり、延縄試験では小型のブダイが漁獲されていなかった。そこで平成31年1月の試験では、鉤の約半数を大鉤(15・16号)から小鉤(10号)に交換した。その結果、36尾のブダイが漁獲された(平均6.0尾/鉢)。ブダイの全長は31~49cmの範囲にあり平均40±5cmであった。前回までと比べ、小型のブダイも漁獲できるようになり、かつ漁獲効率が高くなった。この漁獲効率を使って、1日に3鉢で3回操業のした場合の漁獲尾数を計算すると、1日1隻あたり54尾となる。刺網試験では延べ20日(5日×4ヶ月)の操業で558尾が漁獲され、1日1隻あたり28尾であった。単純に比較はできないが、従事人数等も考慮すると、延縄は刺網より効率的な漁法であると判断された。

引用文献

- 1) 宮崎亜希子, 秋野雅樹, 守谷圭介, 麻生真悟, 菅原玲, 鶴沼辰哉. ウニ餌料用海藻のアミノ酸組成、日本水産学会春季大会講演要旨集, 2018: 169.
- 2) 桐山隆哉, 藤井明彦, 藤田雄二. 藻食性魚類によるヒジキの摂食と摂食痕の特徴. 水産増殖 2015; 53: 355-365.
- 3) 諏訪剛, 堀木暢人. 藻場再生技術の確立. 和歌山県水産試験場事業報告 2014; 24-26.
- 4) 桐山隆哉, 大橋智志, 藤井明彦, 吉村拓. 藻場に対する食害実態調査. 長崎県総合水産試験場事業報告 2004; 95-104.
- 5) 具島健二. 口永良部島における磯魚の摂餌生態に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要 1981; 20: 35-63



図 2-15. 延縄の試験地点

表 2-1. 人工餌の性状等

種類	性状等
人工餌A	海水中で溶解しない成分のシートに、魚が好む摂餌成分を多く配合したもの。海藻成分は含まず。
人工餌B	Aと同じシートに、アカモクを一度冷凍し、細片化し、生地に練りこんだもの。
人工餌C	ノコギリモクの細片をゼリーシートで挟んだもので、海水に漬けると吸水して膨張し、沈下する。

表 2-2. 試験した餌の種類等

種類	産地等	冷凍海藻	塩蔵海藻	生鮮海藻
ヒジキ	本地区	○	×	●
ヒラネジモク		×	○	●
ノコギリモク		×	○	●
クロメ	三重県	×	×	○
ホンダワラ		×	○	●
アカモク	長崎県	○	×	○
マコブ		○	×	×
人工餌A	マルキュー株式会社		○	
人工餌B			○	
人工餌C			○	

注: ○は試験実施、●はブダイ釣獲、×は試験未実施を示す。

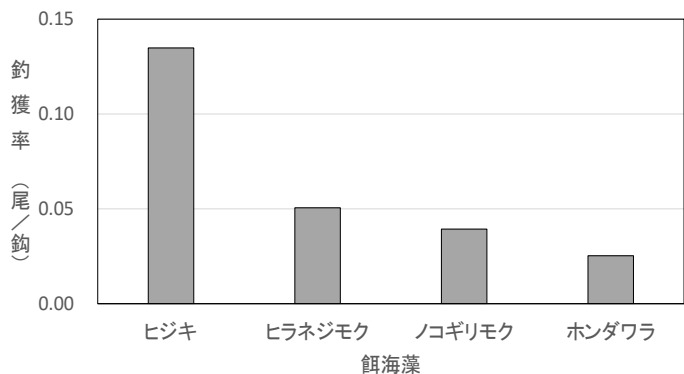


図 2-16 餌海藻の種類別の釣獲率

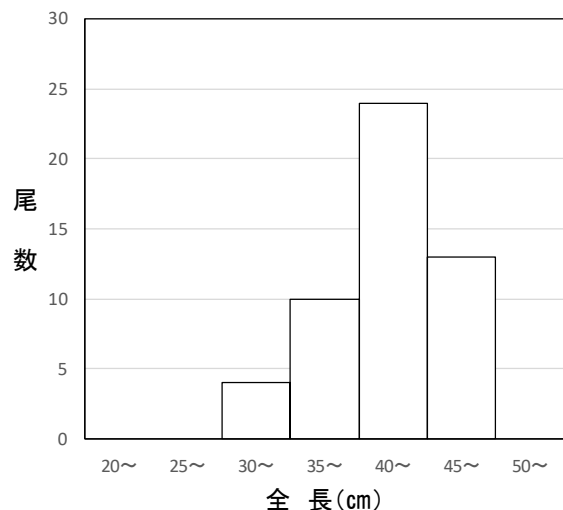


図 2-17 延縄で漁獲されたブダイの全長組成

③残存する四季藻場の維持機構解明

長崎県橘湾沿岸に残存する四季藻場の分布状況を把握するため、長崎市牧島地先において、海藻の繁茂期に近い 2018 年 8 月 7 日と衰退期の 12 月 5 日に音響調査と潜水観察を実施した。岸から沖へ、もしくは沖から岸に設定した調査ラインに沿って、小型船舶に搭載した周波数 200kHz の計量魚群探知機 (Biosonic 社製 DT-X Extreme) により藻場のエコーデータを収集し、得られた音響反射強度により水深と藻場の高さを抽出した。また、分布する海藻種を確認するため、岸側の 2 地点で潜水による海藻の観察を行った。いずれの調査・地点ともに潜水調査によって大型褐藻類のホンダワラ類とクロメが確認された (図 2-18)。音響計測による調査海域の水深は 5~40m で、8 月の海藻の高さがおよそ 1.2m 以下であった。海藻は東部では水深 26m まで分布していたが、他の場所ではおよそ 20m 以浅に確認された (図 2-19)。一方、12 月には、藻場の高さはおよそ 0.8m 以下になり、東部では水深 23m まで分布していたが、他の場所ではおよそ 15m 以浅に分布していた (図 2-20)。また、潜水調査により 12 月には植食性魚類によると思われる食害が発生していることが確認された (図 2-18)。8 月と比較すると、衰退期である 12 月には藻場は残存するものの、海藻の高さ及び分布水深の両方が減少していた (図 2-19a、2-20a)。この傾向は東部の岸側に比べ、東部の沖側と西部で特に顕著であった (図 2-19a、2-20a)。本調査により、秋季には食害等により分布や高さが減少するが、1 年を通じて藻場が形成される四季藻場が牧島に残存していることと、その分布範囲の概略が明らかとなった。また、8 月にクロメの成熟状況を調査し、子囊斑を持つ個体の割合が高いことが明らかとなった (図 2-21)。この食害発生前の成熟がクロメ群落の維持に貢献している可能性がある。

牧島に出現する植食性魚類の分布状況を確認するため、長崎県長崎市牧島において 2018 年 10 月に潜水目視調査を実施した。この調査は牧島南側 3 地点 6 カ所で行い、GPS によって位置を記録しながら岸から沖もしくは沖から岸に遊泳し (平均距離±標準偏差: 121.2 ± 10.1m)、両側 2.5m の範囲内に出現した植食性魚類 (アイゴ・ブダイ・イスズミ類) の個体数を種別に計数した。その結果、出現が確認できた植食性魚類はアイゴのみで、その密度は 0.27 ± 0.28 個体/10m² であった (図 2-22)。確認したアイゴはすべて全長 15cm 以下の幼魚であった。また、水深約 4 m 及び約 9 m (設置時の水深) の地点に間歇撮影カ

メラを1台ずつ設置し、10秒間隔で半日（おおよそ9時半～15時）撮影したところ、両地点ともアイゴが確認された（図2-23）。また、12月にも同様の調査を実施したところ、目視調査では10月に比べ個体数は減少したもののアイゴが確認され、カメラ画像によりアイゴがクロメを摂餌する様子も確認された。これらのことから、牧島では秋季にアイゴの生息個体数が最も多く、クロメの食害にアイゴが関与している可能性が示唆された。当地から南西に25km離れた磯焼けが広がる野母崎の地先では、ブダイとイスズミ類の生息が確認されているが¹⁾、牧島では現時点ではいずれも確認されていない。今後より詳細な調査は必要であるが、牧島ではブダイやイスズミ類の個体数が比較的少ない可能性があり、四季藻場の維持要因の1つになっていることも考えられる。

植食性魚類3種（ブダイ、アイゴ、イスズミ類）の分布が以前より確認され、大型海藻が消失している野母崎地先の水温と、当該調査を実施した牧島地先の水温とを比較した（図2-24、2-25、表2-3、2-4）。6～11月の期間中では10月を除いて牧島の月別平均水温が高く、特に27℃以上であった時間が野母の13.7日に対して牧島では6.5日と短かった。この水温の違いが、海藻の生産力や植食性魚類の出現状況に影響することで、牧島の四季藻場が維持されている可能性が考えられる。

本課題により、磯焼けが広がる長崎県沿岸においてもノコギリモクやクロメ等から構成される四季藻場が残存していることが明らかとなり、その回復を目指した藻場造成を実施する上で検討すべき要因が示唆された。維持機構の解明には更なる調査が必要だが、磯焼け対策への応用として、食害最盛期の少し前から成熟する本地先のクロメは、魚の食害により持続している磯焼け地での藻場回復策に利用できる可能性がある。また、今後、植食魚の分布を制限する要因（水温・地形・底質分布など）を見出せば、新たな磯焼け対策のヒントが得られる可能性がある。

引用文献

¹⁾藤田大介, 野田幹雄, 桑原久実. 「海藻を食べる魚たち—生態から利用まで—」成山堂書店, 東京. 2006.

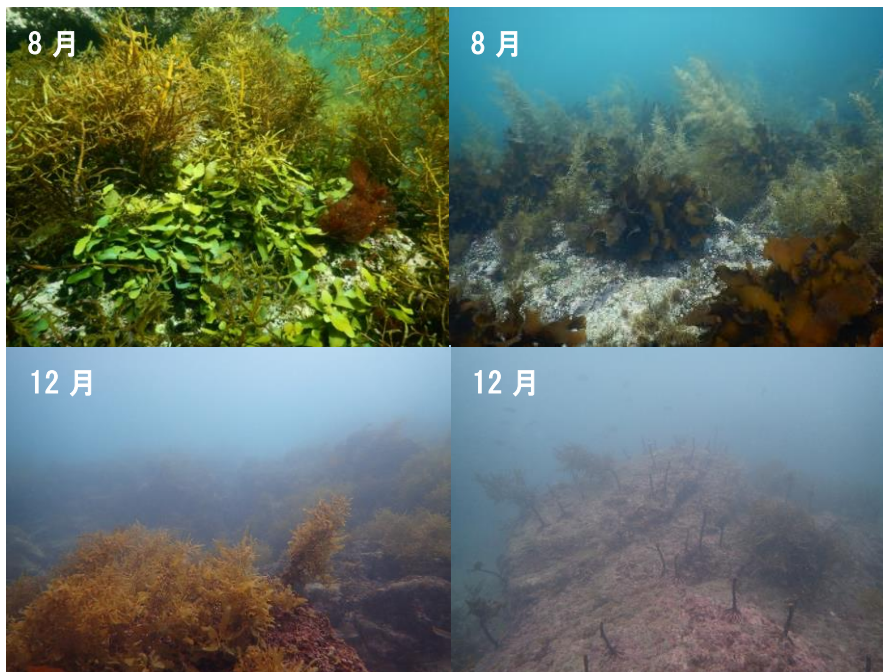


図 2-18. 長崎市牧島地先での水中写真

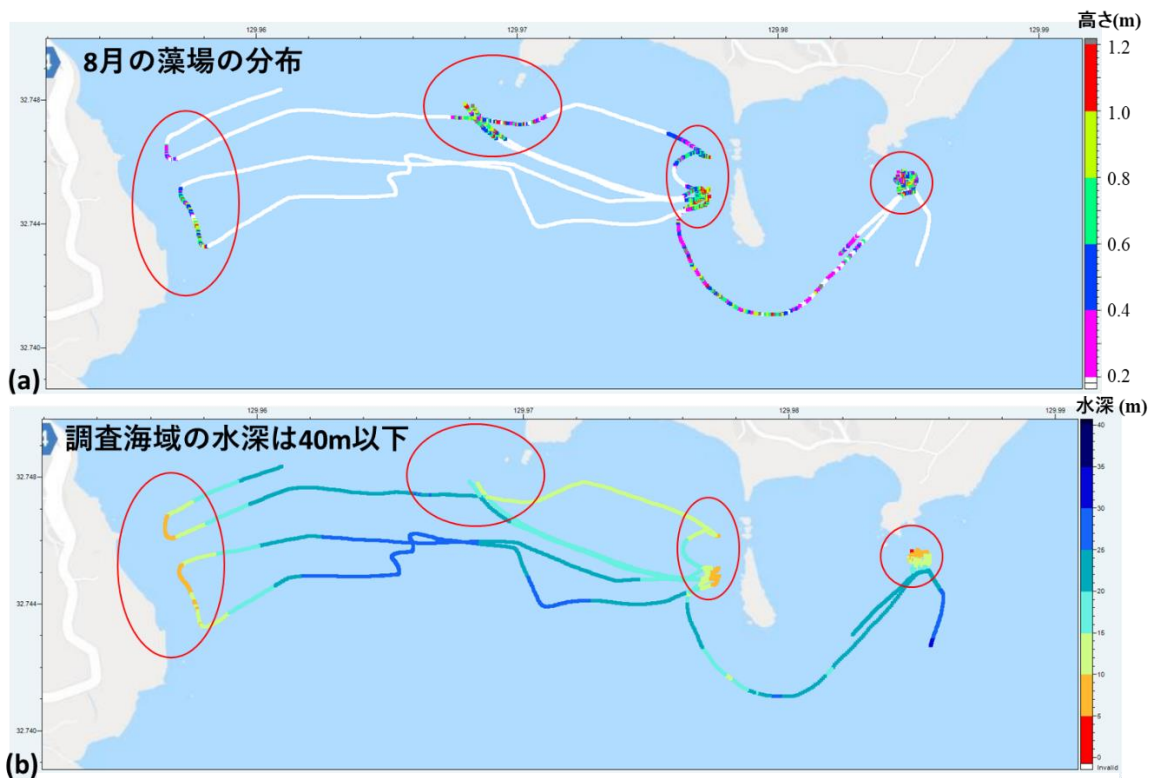


図 2-19. 長崎市牧島地先での 8 月の音響調査における海藻群落の高さ(a)と水深(b).濃密な群落は赤線で囲んである.

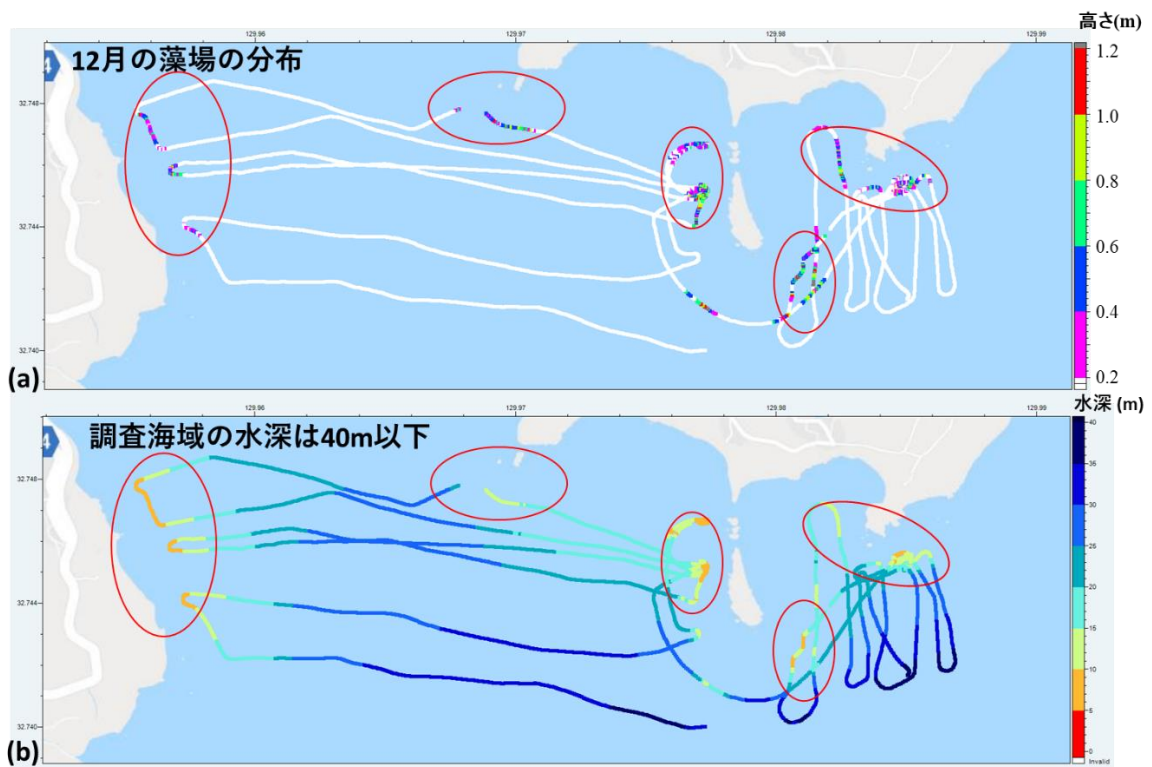


図 2-20. 長崎市牧島地先での 12 月の音響調査における海藻群落の高さ(a)と水深(b).濃密な群落は赤線で囲んである.

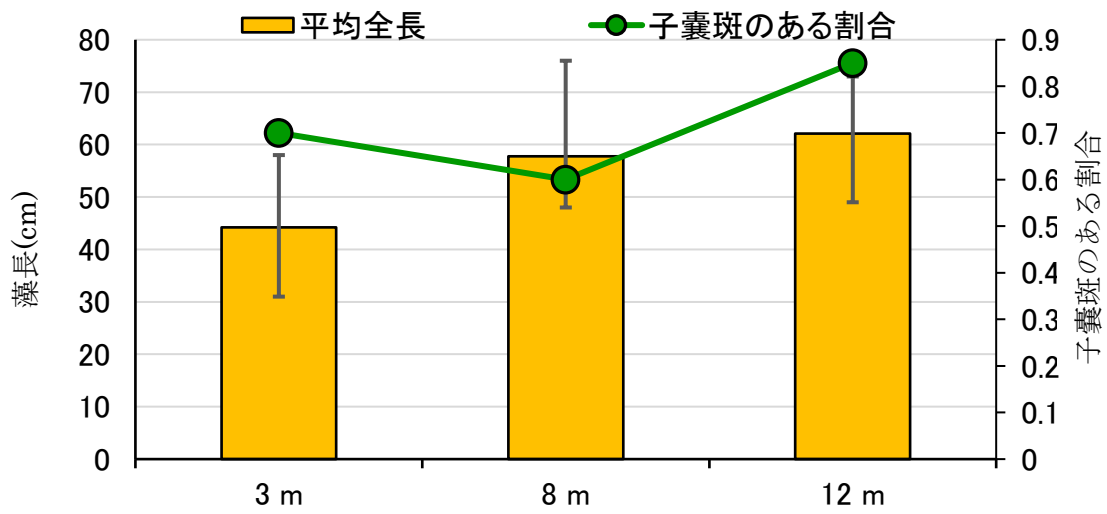


図 2-21. 長崎市牧島地先におけるクロメの藻長と子嚢斑のある個体の割合。バーは範囲を示す。

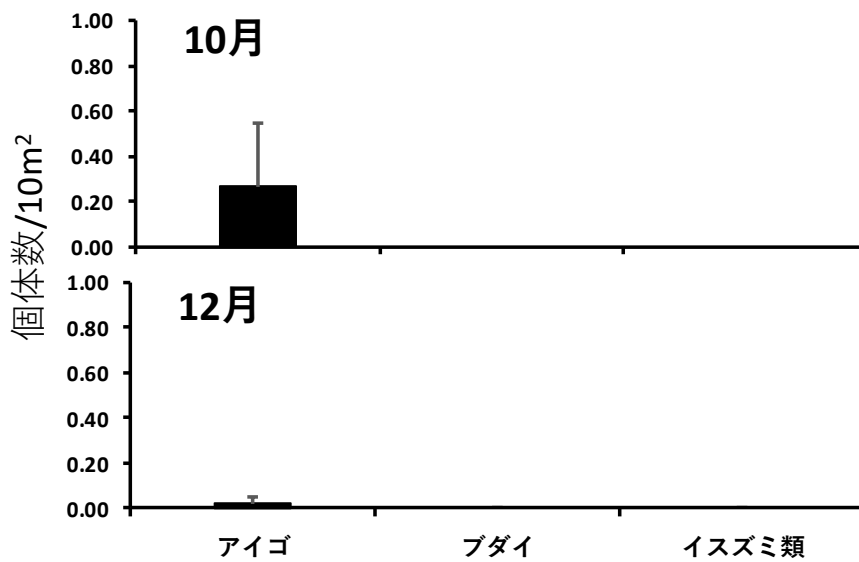


図 2-22. 長崎市牧島地先における植食性魚類の種別密度

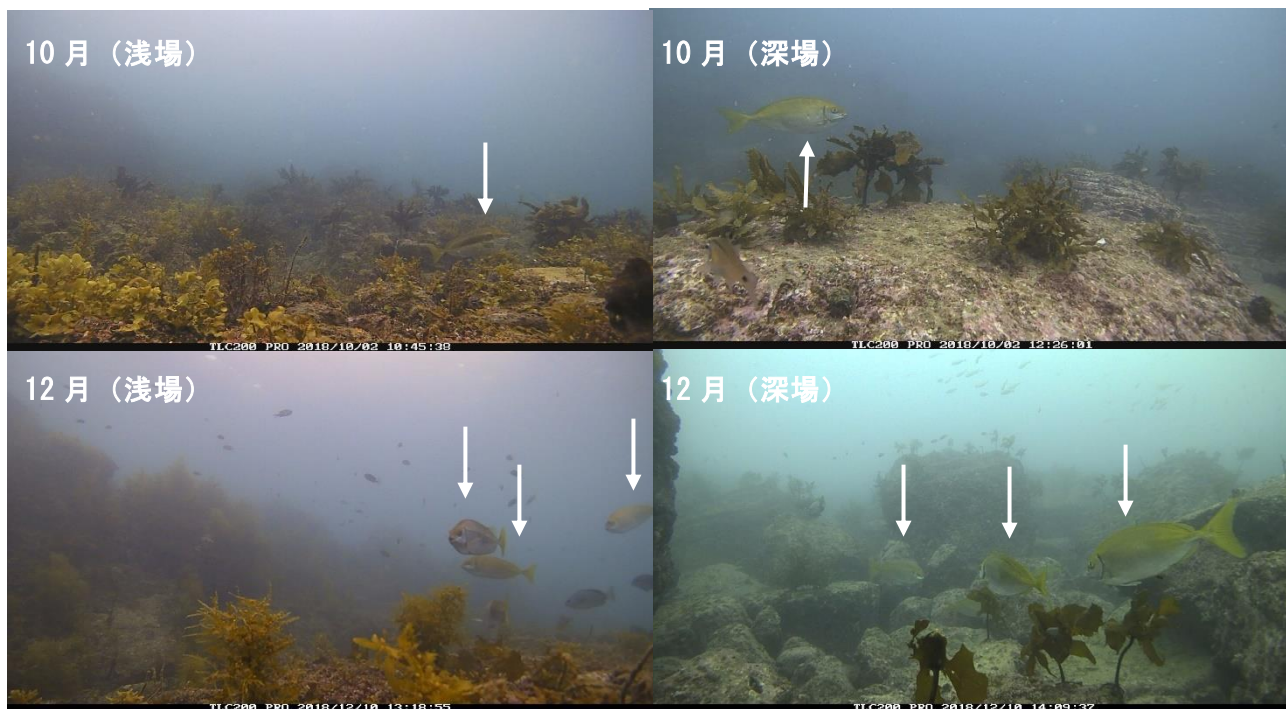


図 2-23. 長崎市牧島地先に設置した間歇撮影カメラで撮影された写真。矢印はアイゴを示す

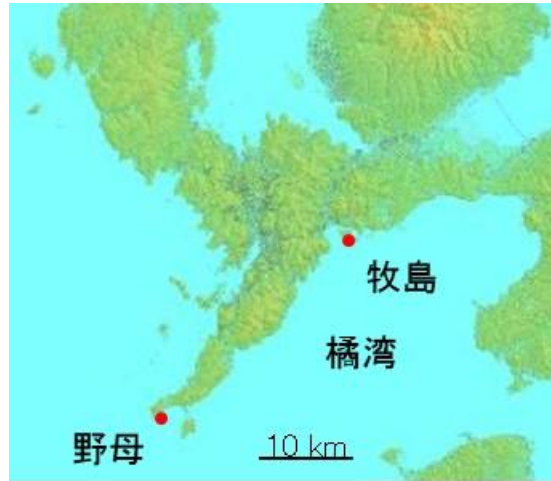


図 2-24. 橘湾沿岸の水温観測地点

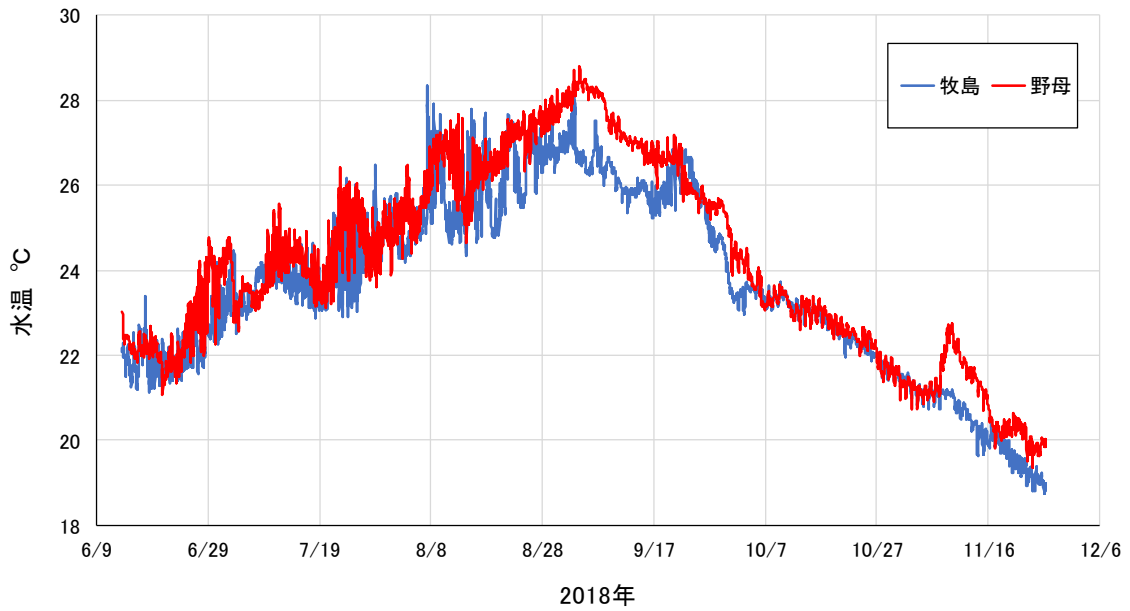


図 2-25. 橘湾沿岸の 2 地点における水温変化

表 2-3. 橘湾沿岸の 2 地点における水温別の経過時間

	水深 m	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
牧島	8.9	1.2	8.6	7.8	22.6	20.4	32.8	19.5	23.4	23.0	6.4	0.1
野母	4.5	0.0	3.0	8.3	20.2	24.6	25.6	19.9	20.0	20.6	17.0	6.7

水深の基準は潮位表観測基準面

単位: 日

表 2-4. 橘湾沿岸の 2 地点における月別平均水温

月	平均水温 °C		
	牧島	野母	差
6	21.5	22.1	0.6
7	23.4	23.8	0.4
8	25.4	26.0	0.6
9	25.4	26.3	0.9
10	22.3	22.4	0.1
11	19.9	20.6	0.7
全体	23.7	24.2	0.5

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

高知県須崎市池ノ浦地区は、温暖化とウニが優占する磯焼け状態（ウニ焼け）が進んだ高知県の太平洋沿岸に位置する。調査区は、高知県漁協池ノ浦支所が長年、湾全体を保護区としてイセエビ資源の保護に努めている小湾(約 0.3km²)とその周辺域である(図 3-1)。保護区内の漁港及び沖防波堤周辺に広範囲に設置されている投石礁について、その設置領域(図 3-1 右)を潜水観察者と GPS ロガーを持った水面観察者により調べた。投石礁の総面積は 1.3ha で、径 1~2m ほどの割石が水深 (DL 基準) 4~9m に 1~6m の高さに積み上げられていた。



図 3-1 高知県須崎市池ノ浦調査区全体図 (左) と保護区内拡大図 (右)

保護区西側で最も湾口寄りの投石礁 AR1 において、投石礁の表面(面積 5×5m; N=6)から確認できたイセエビの個体数を数えるとともに、イセエビの頭胸甲長 CL を、ステレオカメラ撮影による Kawamata & Taino (2018)の方法により推定した。その結果(図 3-2)は、これまでの調査と同様にイセエビの密度は保護区内で年 1 回(10 月下旬~11 月上旬頃)実施される漁獲の直後に大幅に低下するが、夏季には再び高い水準(約 8 個体/25m²)に回復することを示した。また、CL が一般の漁獲規制サイズ(高知県漁業調整規則では体長 13cm(CL 換算約 47mm 相当))を大幅に超える大型のイセエビが多かった(図 3-3)。

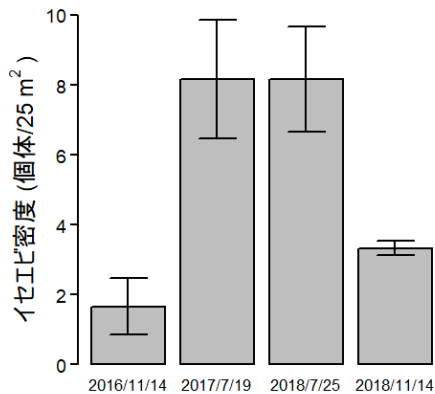


図 3-2 投石礁 AR1 で観察されたイセエビの密度

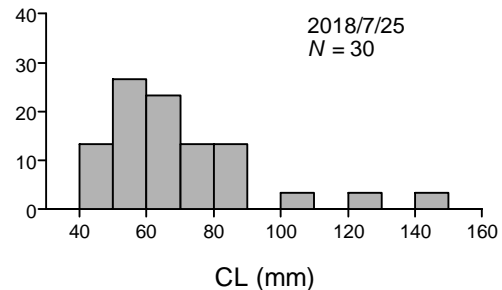


図 3-3 投石礁 AR1 においてステレオ撮影により推定されたイセエビの CL 組成

投石礁 AR1 からの距離が異なる 4 地点と、保護区外の漁業の行われている東西両領域（周辺対照区）の 2 地点ずつ計 4 地点（図 3-1）で、ウニの個体密度と殻径組成及び海藻被度を枠法（1m² 枠、N = 10）と水中カメラの撮影画像の解析により調べた。調査地点は、投石礁から 50m 圏内ではウニの密度が非常に低くなっていることがすでに明らかになっているため、その圏外に設定した。またいずれの調査地点も類似した物理環境の場として水深約 5m の緩傾斜で比較的平坦な岩礁を選定した。

本調査は、「保護区内でのウニの密度がイセエビの隠れ場からの距離の増加に伴い増加し、ある距離以上で対照区と同程度の高い水準になり、その結果、海藻の被度が減少する」と予想して実施した。調査結果（図 3-4）は、この予想に全体的には一致したが、いくつかの点で反した。ウニの個体密度は、投石礁からの距離が 64-70m で急増して対照区内の平均的な密度よりも高くなったが、枝状直立海藻（ホンダワラ類）または非枝状直立海藻（主にウミウチワ）は、合計で 50%以上の被度を維持した（図 3-4）。磯焼け状態が蔓延化した周辺対照区では、ウニの個体密度は必ずしも高くはなく、むしろ場所によっては低いところもあったが、直立海藻はほとんど生育していなかった（図 3-4）。以上のことから、少なくとも一時期のウニの個体密度のみで、海藻の量的変化を予測することはできないと判断された。

これに対して、イセエビによる捕食の影響はウニの殻径組成により明瞭に現れた。ウニは小型個体ほどイセエビに捕食されやすい。このため、捕食の影響が強い所ほど、ウニの殻径組成は小型群が少なく、より大型の個体が多い分布形を示す。ウニの優占種ツマジロナガウニの殻径組成は、保護区内では投石礁に近いところでは、大型個体が多い分布を示し、そのモードは投石礁からの距離の増加に伴い減少した。投石礁から最も離れた 88m 地点（PR88m）での殻径組成は、漁業対照区の中でもウニの密度が比較的低かった FE3 及び FE4 での分布形に近くなり、イセエビの捕食の影響があまり及んでいないことを示唆した。

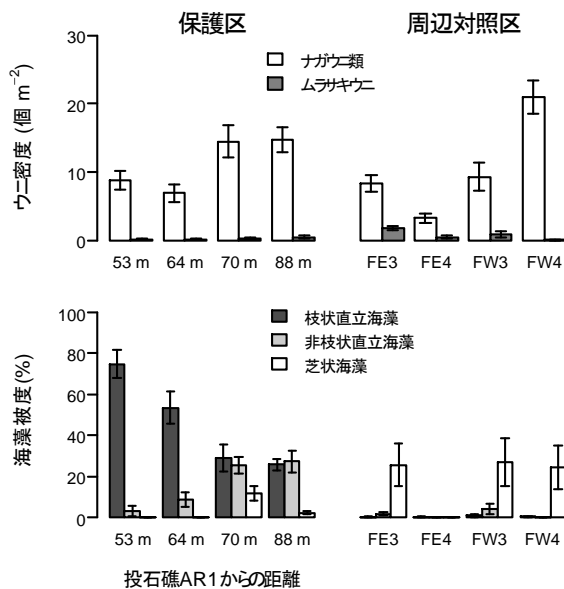


図 3-4 保護区内と周辺対照区でウニの個体密度と海藻被度

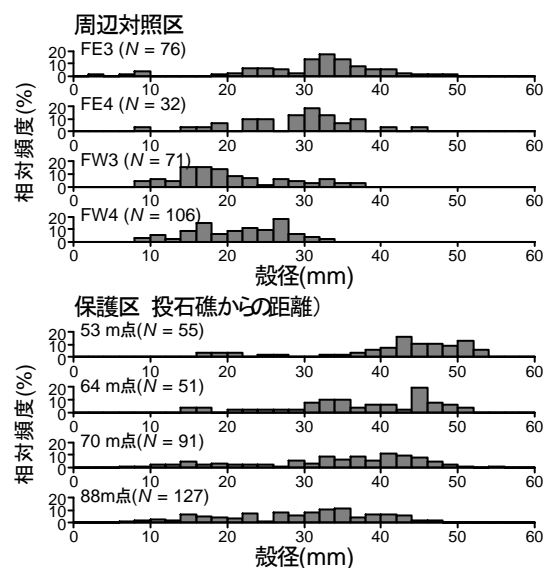


図 3-5 周辺対照区と保護区でのツマジロナガウニの殻径組成.

投石礁の周辺で、ウニに対する潜在的捕食圧とウニの捕食者を特定するため、タイムラプス撮影装置を用いたウニの係留実験を行った。実験は、投石礁 AR1 から 30m、54m および 90m 離れた水深約 10m の岩礁 3 カ所で行った。各場所には殻径 45~59mm のムラサキウニ（13 個/カ所）を、殻に釣り糸を突き通して重り等に係留し、1.2m の高さから自動フラッシュ機能により昼夜連続撮影できる撮影装置を設置し、3 分間隔で 2 日間の撮影を行った。映像から識別できたイセエビの延べ尾数と係留ウニの死亡率を表 3-1 に示す。90m 点で CL 約 11cm の大型イセエビがウニを捕食する様子が撮影された(図 3-6 右)が、実験期間は時化直後で濁りが全般的にきつく、映像から認識できたイセエビは少なかった。しかし、係留ウニの捕食による死亡率が 2017 年に行った調査（30m 点で 2 日間で 8 個体中 7 個体が捕食）に比べても明らかに低かったことから、実際に出現したイセエビも少なかったものと考えられる。また、係留ウニの死亡率が投石礁からの距離に伴い減少する傾向はみられず（表 3-1）、サンプル数や調査面積等に問題があると考えられた。

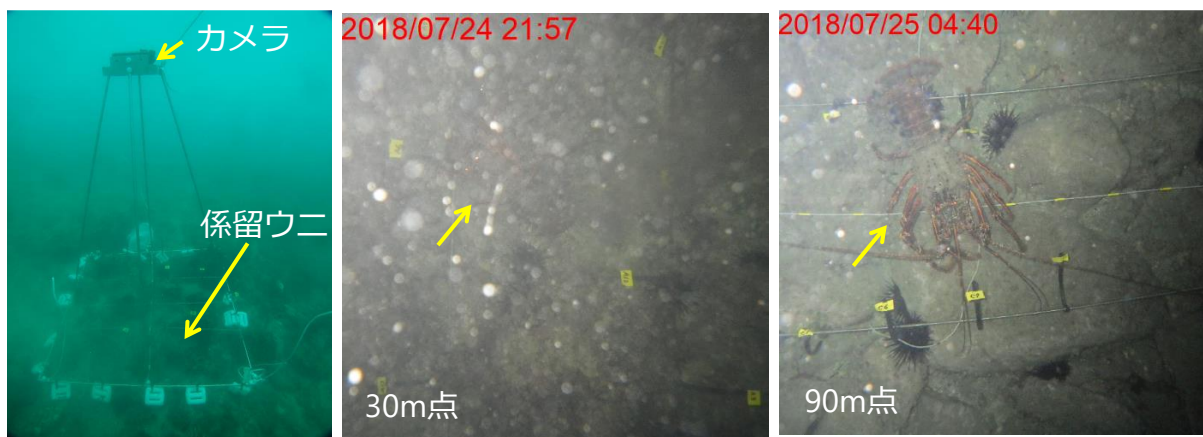


図 3-6 係留ウニのタイムラプス撮影装置と撮影画像の例

表 3-1 係留実験で録画されたイセエビの延観察尾数と係留ウニの死亡率

係留地点		30m 点	54m 点	90m 点
1 日目	イセエビ延べ尾数	3	4	2
	係留ウニ死亡率	1/13	0/13	1/13
2 日目	イセエビ延べ尾数	2	10	4
	係留ウニ死亡率	2/13	2/13	2/13

② イセエビを捕食者とする事例の蓄積

徳島県と鹿児島県の沿岸でイセエビを捕食者とする事例の蓄積のため、調査適地の探索と予備調査を実施した。

(1) 徳島県での調査適地の探索

徳島県沿岸では、美波町由岐、美波町日和佐および海陽町宍喰の 3 地区を調査し、調査適地として美波町日和佐を選定した（表 3-2、図 3-7）。

日和佐沿岸には、日和佐町漁協が設定したイセエビの保護区（図 3-8）がある。保護区内ではイセエビ漁は年 5 日間以内の共同操業のみに制限され、イセエビ資源の保護が図ら

れている。調査は、保護区内に位置する防波堤の捨石マウンドと保護区から 600m ほど離れた投石礁（18×18m）でイセエビの目視観察を行った。保護区外投石礁では、イセエビは 1 個体も確認できなかったが、保護区内捨石マウンドではイセエビが観察された。しかし、捨石の奥行きが深く、目視観察やステレオ撮影での調査が困難であったため、代わりに漁獲物調査を行った。

表 3-2 徳島県での調査適地の探索結果

調査地名	イセエビの生息場とその特徴	調査結果
美波町由岐	冠砂域に造成された古い投石礁。あまり多くないが、イセエビ漁が実施。周辺岩礁にはムラサキウニが多く生息する場があるが、投石礁ではホンダワラ類、サガラメなどが繁茂し、ウニは少ない。	イセエビの密度は 0 尾/250m ² 。ウニの分布制限要因として、砂の影響が考えられ、イセエビの捕食はあっても限定的と推察。調査不適。
美波町日和佐	イセエビ保護区が防波堤、海岸保全施設の消波ブロックを含む広い領域に設定。イセエビの漁獲量は非常に多い。ブロックや岩礁にはウニは少ない。日和佐沿岸はアラメ・カジメ類の南限に当たり、保護区周辺には水温上昇により分布していない。	ウニは少なく、消波ブロック等にワカメが生育。保護区の外側周辺域にウニの優占域がある。イセエビは消波ブロックの奥深くに隠れているため、観察は難しいが、漁獲物調査に変更すれば体サイズ調査は可能。調査適地に選定。
海陽町穴喰	比較的遮蔽された領域に設置された消波堤。2 年前に保護区に設定。消波ブロックにイセエビが生息しており、年 1 回の漁で多く漁獲される。	消波ブロックや周辺の岩礁にはウニは少ないが、ブダイ、アイゴ等の藻食魚が多い。保護区としての年数が浅く、今後栄養カスケード効果が徐々に現れる可能性がある。ただし、遠方で、頻度よく調査するのが難しい。

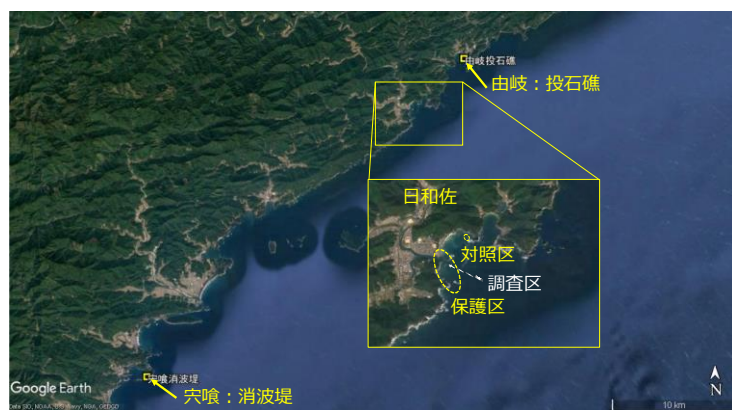


図 3-7 徳島県での調査地区位置図



図 3-8 日和佐地区：保護区内に設定した捨石マウンド（調査区）と保護区外の投石礁（対照区）の位置図

漁獲物調査は、解禁後水揚初日の 2018 年 9 月 19 日、調査区の防波堤周辺に設置した刺網 12 枚（長さ約 70m/枚）で漁獲されたイセエビ 506 個体のうち 253 個体を抽出して CL を測定した。CL>70mm（水槽実験から推察されている、殻径 60mm 以上のムラサキウニ大型個体でも捕食できるイセエビのサイズ）の割合は 18.5%であったが、CL>100mm の

個体はほとんどみられなかった（図 3-9）。

また両地区でのムラサキウニの密度を調べたところ、保護区外投石礁ではムラサキウニは比較的高い密度（約 7 個/m²）で出現したが、殻径 40mm 以下の小型個体が多かったのに対して、保護区内捨石マウンドでは殻径 50mm 以上の大型個体が低密度（約 2 個/ m²）で生息し、イセエビの捕食の影響を示唆した。

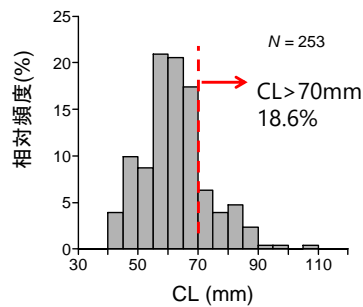


図 3-9 保護区内捨石マウンド周辺で漁獲されたイセエビの CL 組成

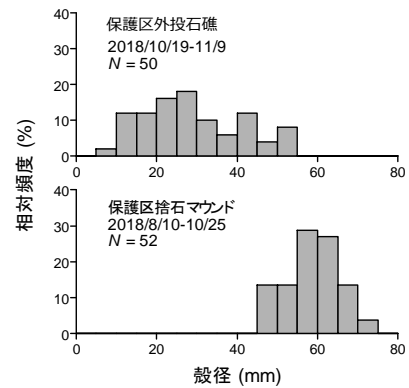
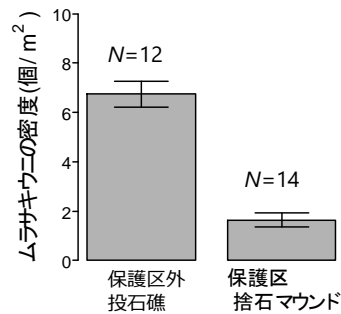


図 3-10 保護区外投石礁と保護区内捨石マウンドでのムラサキウニの個体密度（左）と殻径組成（右）

(2) 鹿児島県での調査適地の探索

鹿児島県では、枕崎市沿岸 3 カ所、南九州市穎娃町 2 カ所、指宿市山川の計 6 カ所を調査し、調査適地として指宿市山川を選定した（表 3-3、図 3-11）。

表 3-3 鹿児島県での調査適地の探索結果

調査地名	イセエビの生息場とその特徴	調査結果
枕崎市 火之神沖 岩戸沖 水高沖	水深 15m ほどの平坦な岩礁に設置されたコンクリート製イセエビ礁。岩戸沖および水高沖は砂地との境界。	イセエビの生息数は少なかった（岩本沖で 1 尾のみ）が、ウニを捕食するイシダイ、イシガキダイが多くみられた。ウニ類ではタワシウニが少しみられたが、岩礁には海藻は紅藻が若干あるのみで、ソフトコーラルが優占。調査不適。
南九州市 穎娃町 石垣東 石垣西	砂地と岩礁との境界、水深 15m ほどに設置されたコンクリート製イセエビ礁。	周辺岩礁には褐藻、紅藻類が多く、ソフトコーラルは少なかった。イセエビは少なかった（それぞれ 1 尾のみ）が、ウニを捕食するイシダイ、イシガキダイが若干みられた。ウニ類ではタワシウニが少しみられた。捕食魚による栄養カスケード効果の可能性はあるが、魚類の影響範囲を調べる有効な方法がなく、調査不適。
指宿市山川	水深約 1m の冠砂域に設置された投石礁（南投石礁：面積約 57m ² 、北投石礁：約 36m ² ）。	南投石礁にはイセエビが比較的多く生息し、ヘラヤハズ、ホンダワラ類等の海藻が密生。投石礁の周辺ではムラサキウニが多く、海藻が少なかった。調査適地として選定。

指宿市山川では、2018 年 7 月 23 日、比較的多くのイセエビが発見された南投石礁から、南側（沿岸方向）と岸側の 2 方向に側線（図 3-12）を設けて 10m 間隔に 100m までウニの密度と海藻被度の枠調査（1m² 枠；N=1）を行った。その結果、南側側線では、砂地に

点在する巨礫の上部に大型海藻（優占種ヘラヤハズ）が生育していたが、所々でムラサキウニの付着もみられ、砂の消失と堆積または砂面上のウニの移動をうかがわせた。また、砂の堆積が少ない大礫・巨礫場（80m 点）になると、ムラサキウニが多くみられた。岸側側線では、砂の堆積が多かった 10~30m 点で、巨礫に大型海藻の着生がみられた。しかし、40~80m 点では砂が少ない岩礁地帯になり、ムラサキウニが高密度(平均±SE: 18.4±3.7 個/m² ; N=5) に生息する磯焼け状態になった。さらに 90~100m 点になると、波打ち際でウニが少なくなり、ヒジキが生育していた。

南投石礁では、同日イセエビが 12 尾観察された（図 3-13）が、約 3 ヶ月後の 10 月 17 日にも 11 尾が観察され、イセエビが定着していることをうかがわせた。また同日行ったステレオカメラによるイセエビの撮影により、イセエビの大部分が CL<50mm の小型個体であると推定された（図 3-14）。



図 3-11 鹿児島県での調査地区位置図

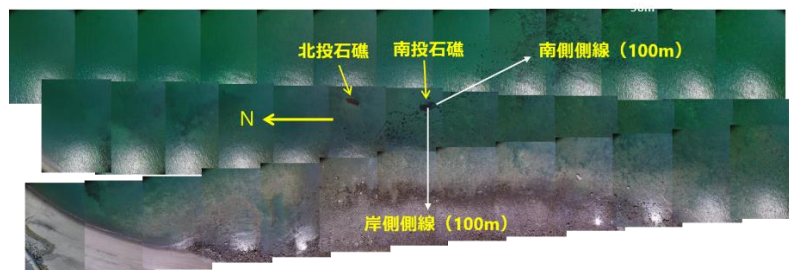


図 3-12 指宿市山川の投石礁と調査側線位置図

CL50mm のイセエビが捕食可能なムラサキウニの上限サイズは、水槽実験(川俣・田中、未発表)より殻径 40mm ほどと推定されている。そのことに一致するように、南投石礁から 50m 以上離れた岸側及び南側側線上では 40mm 以下の小型のムラサキウニも比較的多く出現したが、南投石礁ではほとんど出現せず、CL50mm 以下のイセエビがほとんど捕食できないと考えられる殻径 40mm 以上の大型のムラサキウニが多く（図 3-15）、個体密度は約 30 個/m² に達した（図 3-16）。以上のことから、南投石礁では、イセエビは生息しても、小型個体であるため、小型のウニは捕食しても、捕食できないサイズのウニが多くなり、礁の頂部(水深が浅いために波と干出によってウニの摂餌行動が制限されている)以外は大型海藻の生育が阻害されている（図 3-13）と推察された。

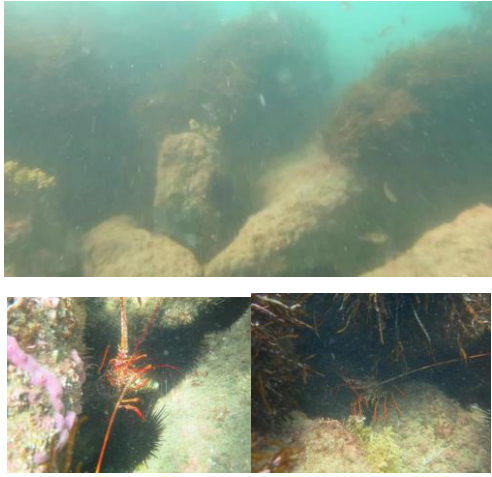


図 3-13 イセエビが生息する南投石礁(2018年7月23日).

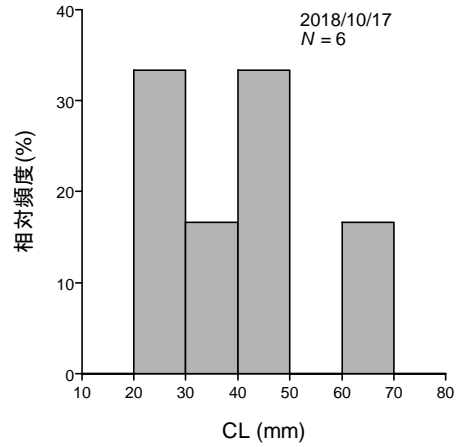


図 3-14 南投石礁でのイセエビの CL 組成 (ステレオ撮影による推定)

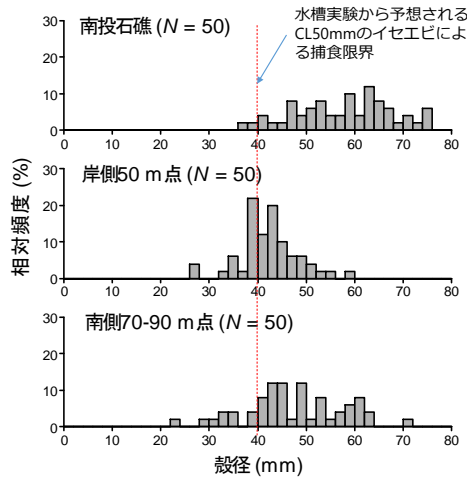


図 3-15 南投石礁、岸側側線 50m 点及び南側側線 70-90m 点でのムラサキウニの殻径組成

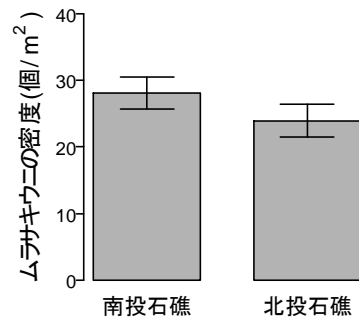


図 3-16 投石礁でのムラサキウニの平均 (±SE) 密度

③ イセエビ以外の捕食者の利用可能性の検討

岩手県宮古市地先のキタムラサキウニの優占する岩礁では、ウニの潜在的捕食者としてヒトデ類が多く観察された。2018年8月28日、長さ200m(水深5~13m)の調査ラインを設置し、長さ5m×幅1mの範囲ごとに個体数を数えたところ、12m以浅にイトマキヒトデが特に多く観察された(図3-17)。

また、キタムラサキウニの捕食者を特定するため、宮古市地先の2地点で稚ウニ(殻径12-21mm)4個体を係留し、インターバルカメラ(BrinnoTLC200PRO)による撮影を行った(図3-18)。4~7日間、日中のみ1分間隔での撮影を2018年7月から11月にかけて合計5回実施した。実施した撮影のすべてで、イトマキヒトデによる稚ウニの捕食が観察された(表3-4)。表中の「不明」は、波浪による動揺などで係留したウニが流失したとみられる。イトマキヒトデ以外の捕食者は観察されなかった(表3-4)。

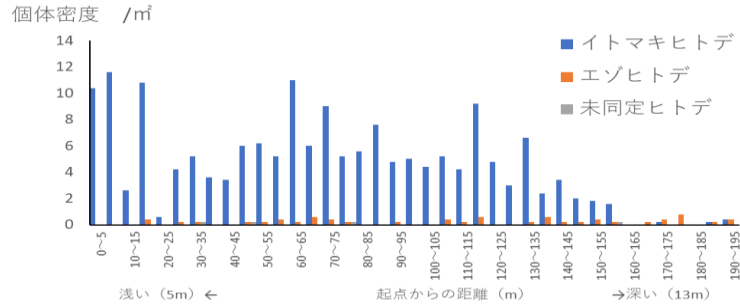


図 3-17 宮古市地先でのヒトデ類の個体密度

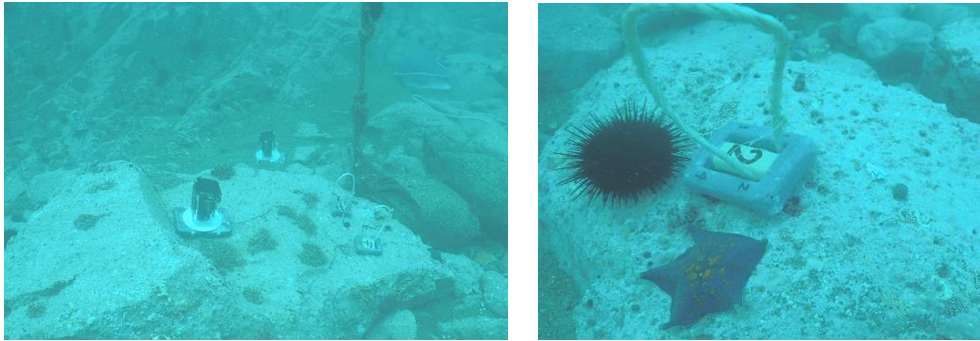


図 3-18 インターバルカメラの設置状況（左）と係留ウニを捕食しているイトマキヒトデ（右）。この写真では係留ウニはイトマキヒトデに隠れて見えない。

表 3-4 係留ウニ（4 個体/回）の生残・捕食状況

実施日	水温 (°C)	場所	係留ウニの殻径 (mm)	撮影終了時のウニ 4 個の状態		
				イトマキヒトデに捕食	生残	不明
7 月 18 日～7 月 23 日	15	地点 A	12.1-17.4	1	2	1
		地点 B	12.0-17.7	1	2	1
8 月 27 日～9 月 3 日	19	地点 A	12.2-16.3	1	2	1
		地点 B	14.3-15.7	2	2	2
9 月 20 日～9 月 25 日	20	地点 A	11.8-15.9	2		2
		地点 B	15.2-17.7	2		2
10 月 18 日～10 月 23 日	19	地点 A	14.9-16.7	4		
		地点 B	15.1-17.1	3	1	
11 月 21 日～11 月 28 日	16	地点 A	19.9-21.5	2	1	1
		地点 B	18.9-21.4	3	1	

A 地点：水深 8.0m、B 地点：水深 5.4m

さらに、三陸沿岸に出現する捕食動物のウニに対する捕食能力を調べるため、水槽実験を行った。イトマキヒトデ、イシガニ、アイナメ、クロソイ、ハモ、ヒメエゾボラに稚ウ

ニを与えた試験では、イトマキヒトデとイシガニがウニを捕食したが、他の動物はウニを全く捕食しなかった（表 3-5）。イトマキヒトデは、反転した胃で稚ウニを抱え、捕食後にウニの殻を残した。イシガニは鉗で稚ウニを捉えた後に殻を破壊し、軟体部および殻などすべてを捕食したが、大型のウニに対しては軟体部のみを捕食し、破壊した殻は捕食せずに残した。

表 3-5 稚ウニを与えた捕食実験の結果

捕食者	飼育ケージ	実験結果：12/6 時点
イシガニ	万丈籠 (60×40×20cm)	飼育開始 1 日後より籠の中でウニを捕食。最大殻径 54.6 mm のウニを食べた。
ヒメエゾボラ		捕食なし (40 日間)
ハモ	トリカルネット (70×70×40cm)	捕食なし (12 日間)
アイナメ	水槽の区画 (1.5×2×0.4m)	捕食なし (28 日間)
クロソイ		捕食なし (17 日間)
イトマキヒトデ	野菜籠 (60×40×15cm)	係留したウニは多く食べたが、係留しない場合はあまり捕食しなかった。

ウニを捕食することが明らかになったイトマキヒトデとイシガニについては、サイズを変えた捕食実験を行った。

イトマキヒトデは係留したウニを比較的良好に捕食し、最大で殻径 36.7 mm のウニを捕食した（図 3-19）が、ウニを係留しない場合は、捕食数が大きく減少した。イトマキヒトデ 4 個体に殻径の異なるウニ 6 個体を 7 日間同じ籠に収容した実験では、殻径 20 mm 以下のウニしか捕食しなかった（図 3-20）。

一方、イシガニでは係留していない稚ウニを捕食したことから、係留していないウニを用いてサイズに関する捕食実験を行った。大きさの異なるイシガニ 6 個体に様々な大きさのウニを与えて実験を行ったところ、殻径 54.6 mm の大型のウニまで捕食した（図 3-21）。この最大のウニは甲幅 86 mm のイシガニに捕食された。また、殻径 20 mm 以下の小型のウニでは、4 日以内に捕食されていたが、ウニの殻径が大きくなると捕食に至るまでの日数が増加する場合はみられた（図 3-22）。

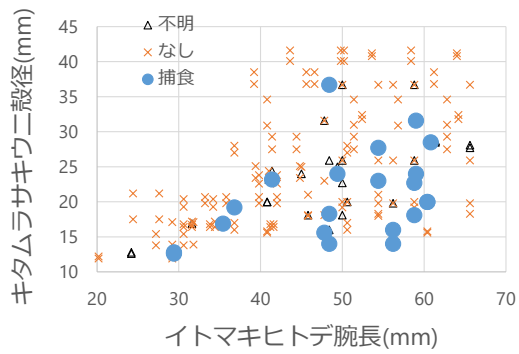


図 3-19 イトマキヒトデとキタムラサキウニのサイズによる捕食の変化（ウニを係留した場合）

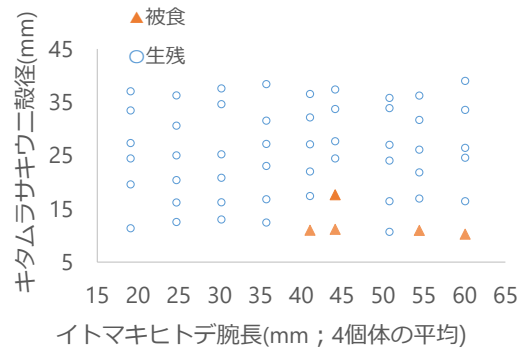


図 3-20 イトマキヒトデとキタムラサキウニのサイズによる捕食の変化（ウニを係留しない場合）

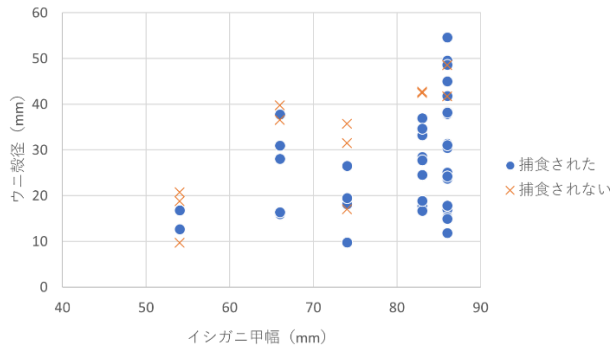


図 3-21 大きさの異なるイシガニ 6 個体に様々な殻径のウニを捕食させた実験の結果

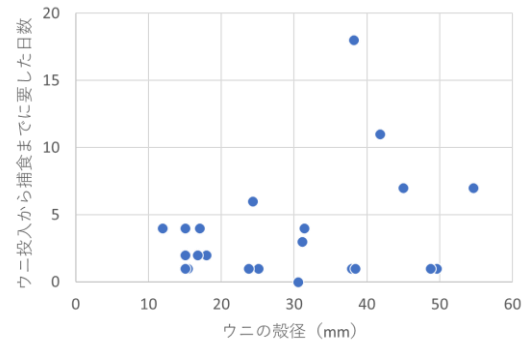


図 3-22 甲幅 86 mm イシガニがウニを捕食するまでに要した日数

甲幅 54～86 mm のイシガニ 5 個体を 1 個体ずつ収容したカゴに、殻径 19～27 mm のウニを 3 個体ずつ与え、捕食後にウニを補充する実験を 17 日間実施したところ、イシガニ 1 個体は累計で 0～5 個体のウニを捕食した（表 3）。また、同じイシガニに様々な殻径のウニを与えたところ、1 ヶ月あたり 3～10 個体のウニを捕食した。

表 3-6 イシガニがウニ（殻径 19～27 mm）を 17 日間で捕食した個体数

イシガニの甲幅 (mm)	捕食数
86	3
83	4
74	1
66	5
54	0

小課題4について：

①名護屋湾（大分県佐伯市）の事例検証：

生態系は、本来、何らかの外的条件に対して、ある程度の耐性や回復力を持っていると考えられている。これはレジリエンスと言われており、ある外的条件の範囲内では、生態系は多少揺らぎながらも、ある一定の状態を維持することができる。しかし、外的条件がある閾値（または臨界値）を超えて生態系に作用した場合、これまでとは大きく異なる状態へ突然推移してしまいう。このような生態系の劇的な状態変化は、フェーズシフトと呼ばれている。このような生態系の特性は、食害型の磯焼け現象についても同じように言うことが明らかにされている。図4-1-1は、海藻被度とウニ密度との関係を示している。ウニ密度は高く、この食害により海藻の被度が低くなった磯焼け状態を想定する。藻場を回復させるために除去を行いウニ密度を下げるように対策（下部の実線を左に移動）を進めるが、海藻被度はあまり増加しないことがわかる。しかし、ウニ密度がB点に達すると突然に上部の実線へシフトし、海藻被度は劇的に回復することが示されている。

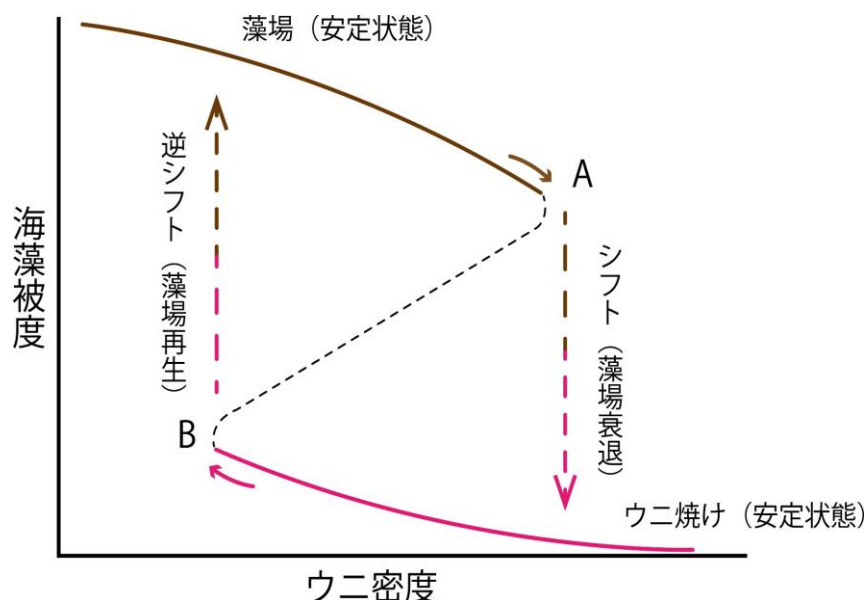
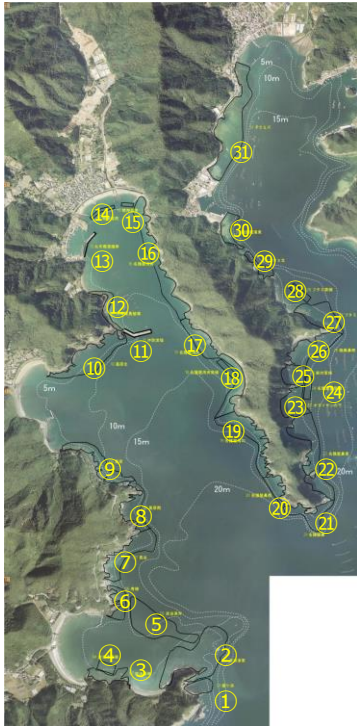


図4-1-1 海藻被度とウニ密度の関係

ウニが増加しAを上回るとウニ焼けになり、ウニが減少しBを下回ると藻場が回復。AとBのウニ密度の差は10倍前後。参考：K.Filbee-Dexter and Scheibling：Sea urchin barrens as alternative stable states of collapsed kelp ecosystems, Mar. Ecol. Prog. Ser., 495, pp.1-25, 2014.

大分県佐伯市名護屋湾では漁業者が主体となりウニや魚の除去対策が2009年から持続的に実施されている。また、ウニ除去個体数、ウニ分布密度、海藻被度等の時系列データは漁場を31地区に分割してモニタリング調査(毎年2月)により取得されている(図4-1-2)。2015年頃から海藻の被度が急激に回復し、その状況が持続したことからフェーズシフトが生じたものと考えられており、その可能性について分析し検討することにした。ウニ除去個体数、ウニ分布密度、海藻被度のデータを整理し31地区別に年変化を示すと、順に、図4-1-3、図4-1-4および図4-1-5になる。



名護屋湾	西岸	01	猫ヶ浜
		02	波当津東
		03	波当津岸
		04	波当津築磯
		05	波当津沖
		06	青磯
		07	長谷
		08	葛原南
		09	葛原
		10	葛原北
		11	沖防波堤
		12	青磯
		13	丸市尾港護岸
		14	離岸堤西
名護屋半島	西岸	15	離岸堤東
		16	名護屋湾奥
		17	名護屋湾中央
		18	名護屋湾中央築磯
		19	名護屋湾口
		20	名護屋鼻西
		21	名護屋鼻
	東岸	22	名護屋鼻東
		23	オダイサンの下
		24	名護屋東築磯
		25	新対策域
		26	鶴翼鼻南
		27	フタミ
		28	フタミ築磯
		29	フタミ北
		30	越田尾港東
		31	ドクミズ

図 4-1-2 大分県佐伯市名護屋湾の調査地区

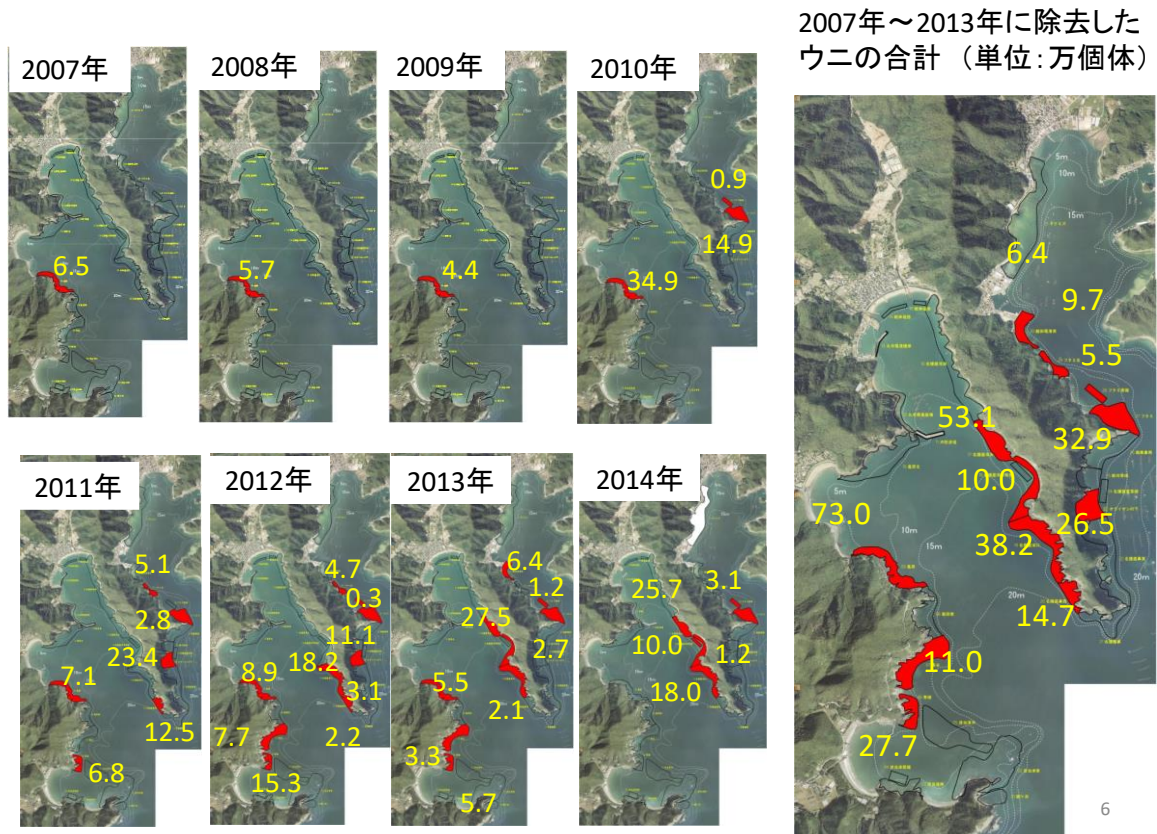


図 4-1-3 ウニ除去個体数の地区別推移
 (右図は 2007 年～2013 年のウニ除去地区別合計、単位は万個体)

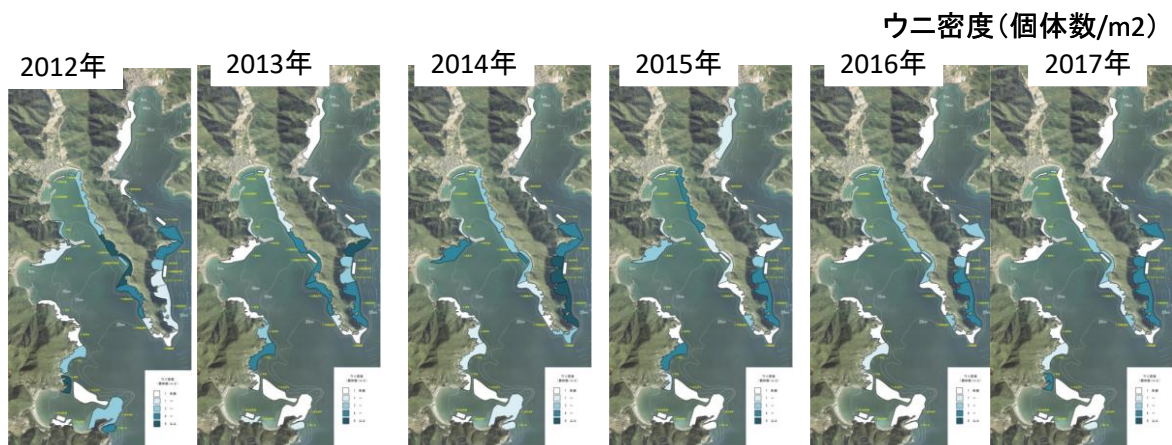


図 4-1-4 ウニ密度の地区別推移

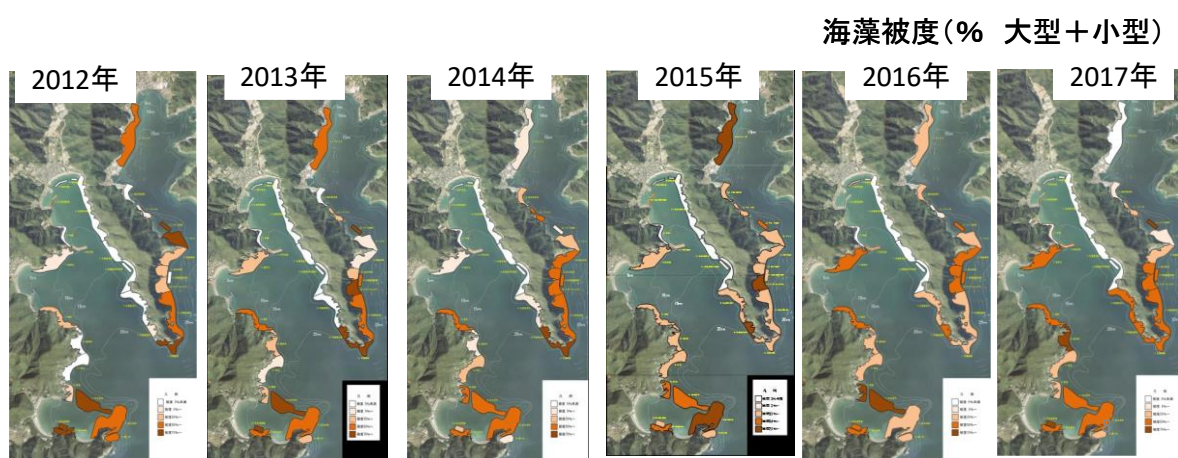
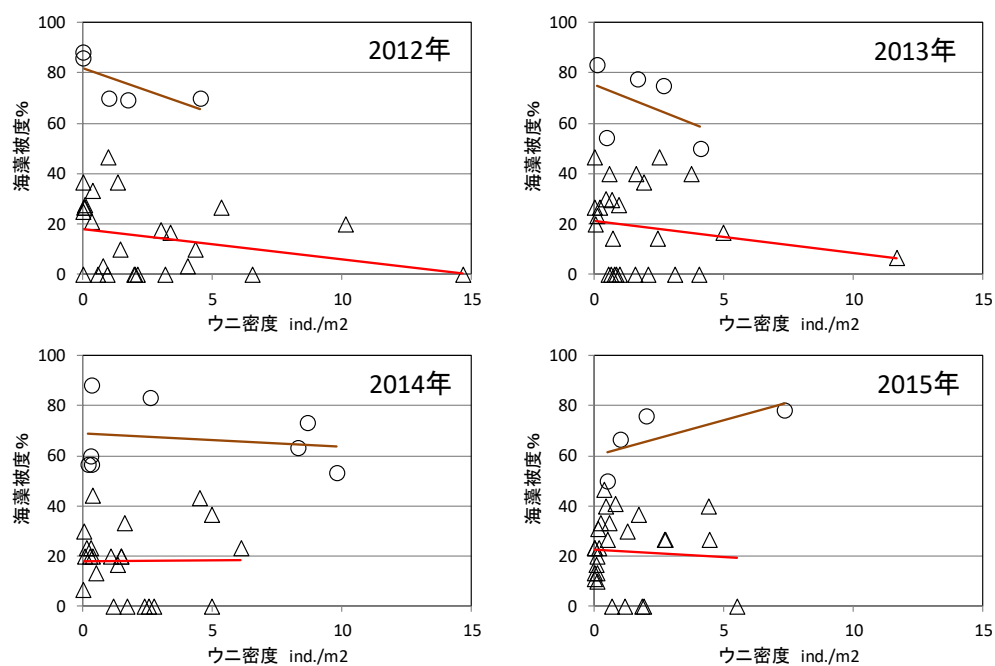


図 4-1-5 海藻被度の地区別推移



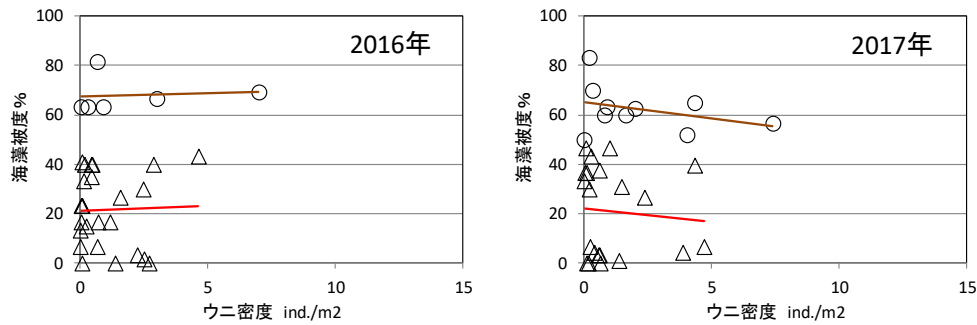


図 4-1-6 ウニ除去対策によるウニ密度と海藻被度の年変化

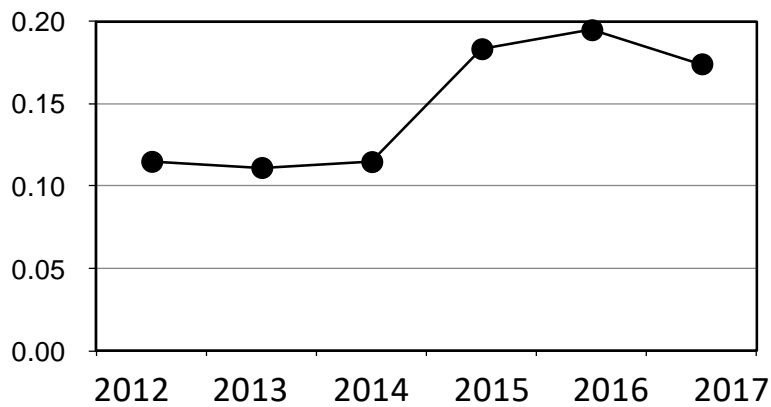


図 4-1-7 大型海藻の分布面積 (km²) の推移

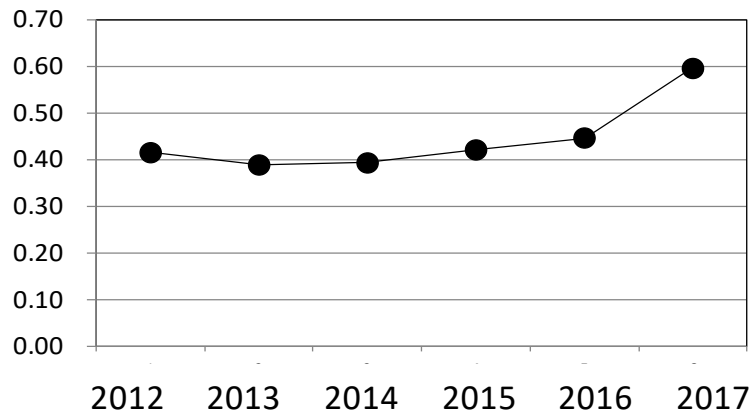


図 4-1-8 小型と大型海藻の分布面積 (km²) の推移

図 4-1-6 は、図 4-1-4 と図 4-1-5 で得られた年別のウニ密度と海藻被度との関係を示している。海藻被度は 50%以下と以上で分け、前者は△、後者は○で地区別データを表示した。また、両者について、1 次の近似直線（前者は赤色、後者は茶色）を示した。

2012 年と 2013 年は、海藻被度が 50%以下と以上に関わらず、ウニ密度の増加に伴ない海藻被度が減少し同様な傾向にあるが、2014 年～2017 年では総じてウニ密度は減少し

ているが、ウニが分布していても海藻被度の増加が認められる。これは、名護屋湾の各地区でウニ除去を継続して実施したことにより、藻場が回復すると共に、各地区への海藻のタネの供給量が増加し、藻場の回復力が高まったためと考えられる。

図 4-1-7 は大型海藻の分布面積の推移、図 4-1-8 は小型と大型の分布面積の推移を示している。海藻の分布面積は、水深 3m、6m、9m において海藻被度を現地調査で求め、海藻被度と漁場面積の積により算出した。これらの図においても、図 4-1-6 と同様に、2014 年頃から藻場面積の回復が見られる。

以上に示したように、ウニ密度と海藻被度の関係、ウニ除去に伴う藻場の分布面積の推移などから、フェイズシフトが生じたのは 2014 年以降と考えられた。フェイズシフトの発生は、2014 年より前に実施したウニ除去による藻場回復とそこからのタネの供給にあると考えられる。このことを確かめるため、まずはじめに、2012～2014 年について、クロメとヨレモクモドキのタネの輸送経路の数値解析（粒子追跡法）を実施し、平均的な藻場のネットワークを把握した。流動場の数値計算は POM をベースとしたものを用い、海藻のタネの放出や着底のモデルは表 4-1-1 に設定した。また、粒子を海藻のタネに見立てた放出地点は図 4-1-9 である。

ある地区の海藻のタネは、どこの地区に輸送されるのか（ソース）、また、ある地区は、どこの地区からタネが輸送されてくるのか（シンク）を把握するネットワーク整理表を示した。図 4-1-10 はヨレモクモドキ、図 4-1-11 はノコギリモクについて示している。整理表の行は、行に記述してある地区から、色を塗られた他に地区に海藻のタネが輸送されること（ソース）を示しており、暖色の方が多く輸送されることを示す。整理表の列は、列に記述された地区に、色を塗られた他の地区から海藻のタネが輸送されてくること（シンク）を示している。

表 4-1-1 海藻タネの放出と着底の条件

対象種	項目	設定値
クロメ	放出水深	海底から放出
	放出箇所	D.L. 0.0～-15.0m までのメッシュ
	放出期間	10/1～12/31 まで、1 時間あたり 1 個の粒子を放出
	着底条件	24 時間で着底
ヨレモクモドキ	放出水深	海面付近から放出 (D.L. -1.0m)
	放出箇所	D.L. 0.0～-10.0m までのメッシュから放出
	放出期間	4/1～5/31 まで、1 時間あたり 1 個の粒子を放出
	着底条件	7 日目以降、D.L. -10m 以浅のメッシュに入れば着底、もしくは 14 日間経過後に着底

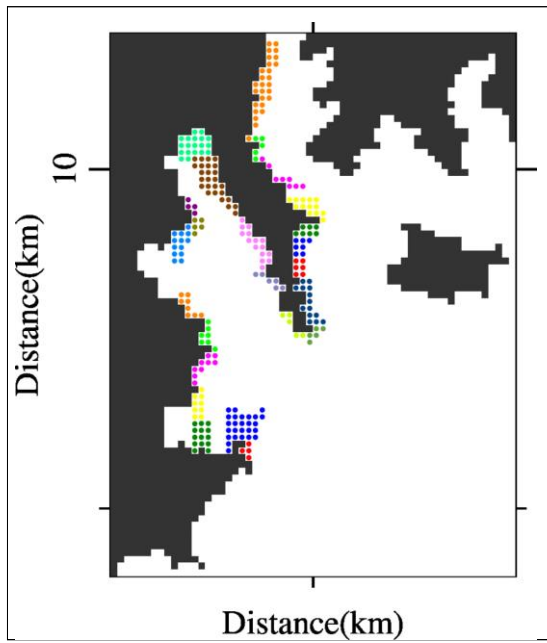


図 4-1-9 粒子を海藻のタネに見立てた放出点の配置

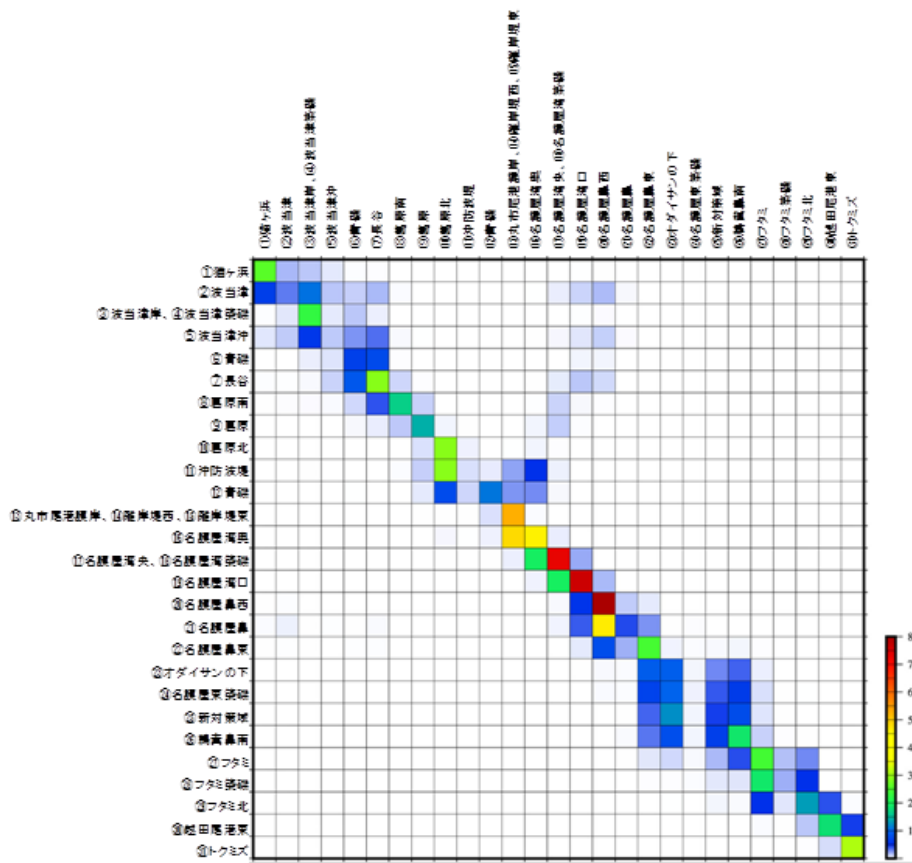


図 4-1-10 2012～2014 年の平均的なクロメのネットワーク(単位%)

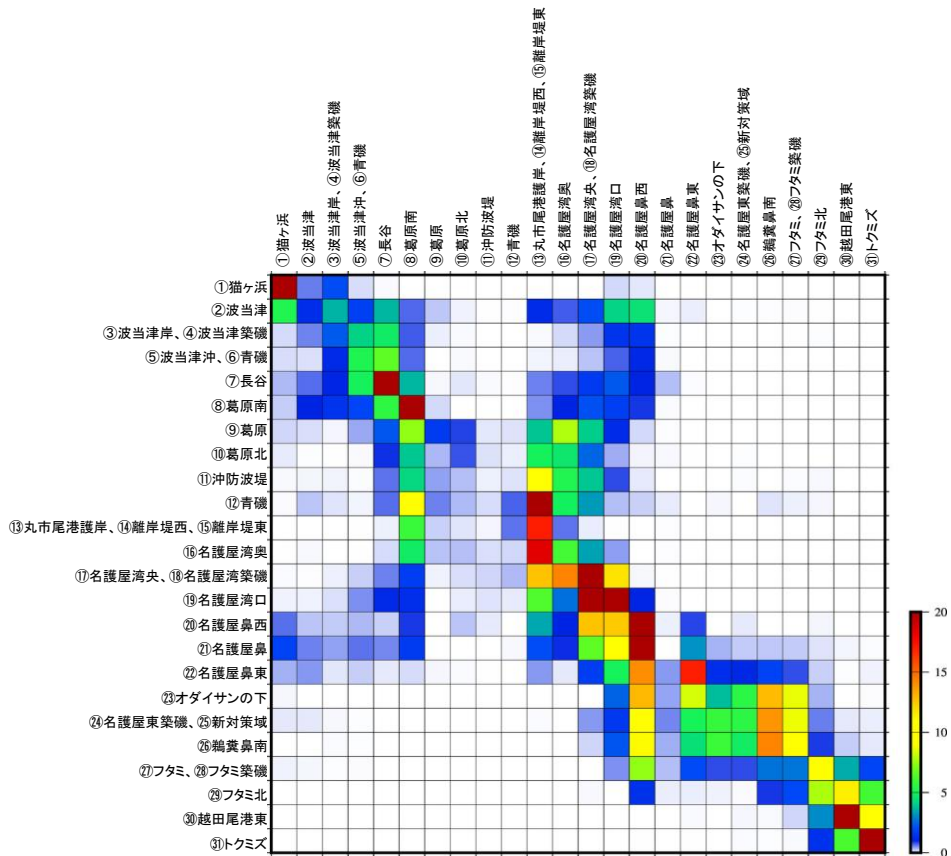
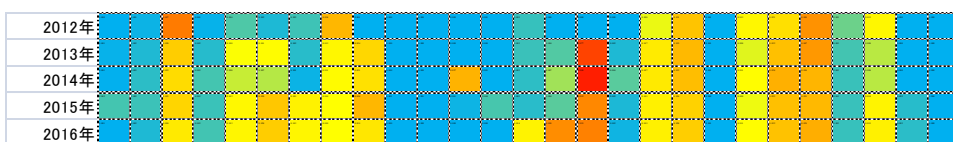


図 4-1-11 2012～2014年の平均的なヨレモドモのネットワーク（単位%）

	①猫ヶ浜	②波当津	③波当津岸、④波当津築磯	⑤波当津沖、⑥青磯	⑦長谷	⑧葛原南	⑨葛原	⑩葛原北	⑪沖防波堤	⑫青磯	⑬丸市尾港護岸、⑭離岸堤西、⑮離岸堤東	⑯名護屋湾奥	⑰名護屋湾中央、⑱名護屋湾築磯	⑲名護屋湾口	⑳名護屋鼻西	㉑名護屋鼻	㉒名護屋鼻東	㉓オダイサンの下	㉔名護屋東築磯、㉕新対策域	㉖鶴糞鼻南	㉗フタミ、㉘フタミ築磯	㉙フタミ北	㉚越田尾港東	㉛トクミズ	
2012年			○																						
2013年			○	○																					
2014年			○	○	○						○				○	○									
2015年	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○	○			○	○	○	○	○	○	○	
2016年	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○				○	○	○	○	○	○	○	
2017年	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	

(a)各地区のクロメの回復状況



(b) クロメが回復した事によるタネ供給量の増加

各地区へのタネ供給量の増加%

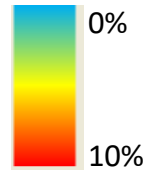
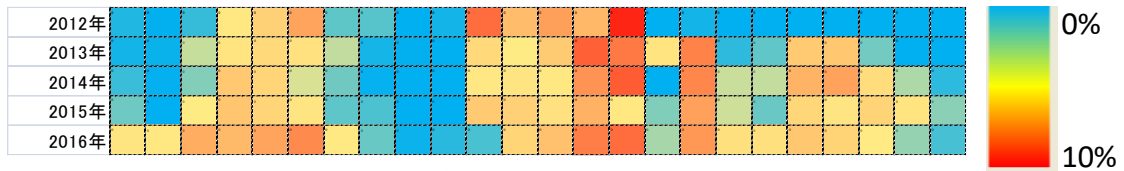


図 4-1-12 藻場（クロメ）の回復に伴う各地区へのタネ供給量の増加

	①猫ヶ浜	②波当津	③波当津岸、④波当津築磯	⑤波当津沖、⑥青磯	⑦砥谷	⑧葛原南	⑨葛原	⑩葛原北	⑪沖波堤	⑫青磯	⑬丸市尾港護岸、⑭離岸堤西、⑮離岸堤東	⑯名護屋湾奥	⑰名護屋湾奥、⑱名護屋湾築磯	⑲名護屋湾口	⑳名護屋湾西	?名護屋鼻	?名護屋鼻東	?オダイサンの下	?名護屋東築磯、?新対策域	?糠糞鼻南	?フタミ、?フタミ築磯	?フタミ北	?越田尾港東	?トクミズ
2012年				○			○	○			○				○									
2013年			○	○			○	○							○									
2014年			○	○			○	○							○									
2015年		○	○	○			○	○	○														○	
2016年		○	○	○			○	○							○							○	○	
2017年				○			○	○			○				○							○		

(a)各地区のヨレモクモドキの回復状況

各地区へのタネ供給量の増加%



(b) ヨレモクモドキが回復した事によるタネ供給量の増加

図 4-1-13 藻場（ヨレモクモドキ）の回復に伴う各地区へのタネ供給量の増加

クロメとヨレモクモドキの2012～2014年のタネ輸送のネットワークをそれぞれ示したのが図4-1-10と図4-1-11である。各図の縦軸は、海藻のタネを放出する地区を示し、横軸は着底する地区を示している。クロメに比べてヨレモクモドキは、多くの地区とネットワークが形成されることがわかる。これは、クロメは海底付近から遊走子を放出し24時間程度で着底するのに比べて、ヨレモクモドキは流れ藻となり表層付近を2週間程度輸送されてから着底するためである。

図4-1-12と図4-1-13は、それぞれ、クロメ、ヨレモクモドキの藻場が回復することにより、各地区への海藻タネの供給量の増加を示している。黄色で示した地区はウニ除去を25万個体以上実施した地区を示している。ウニ除去を実施した地区を中心に藻場が回復し、回復したことにより周辺地区へのタネの供給量が増加し、ウニ除去をしていない地区にも藻場が広がっていることがわかる。このような藻場回復は、流動シミュレーションを用いてタネの輸送状況（ネットワーク）を把握することにより、概ね予想することが可能と考えられる。

なお、図4-1-10と図4-1-11に、クロメとヨレモクモドキの藻場のネットワークを示したが、これらの図は、効率良く藻場を回復するために、食害対策の実施場所、実施規模やそれらの順番等を検討する際に有用な資料になると考える。

②九十九島海域（長崎県佐世保市）における調査結果

②-1 対象海域の現況調査

漁業者からの聞き取りにより、藻場が現存、またはかつて確認された地点等を抽出し、計 28 地点において 6 月 19 日-20 日で現況調査を実施した。図 4-2-1 に調査地点を示す。



図 4-2-1 調査地点

調査の結果、K-11、K-12、K-19、K-24、K-26 の5つの地点ではマメタワラやヤツマタモクから構成されるガラモ場が確認され、四季藻場が残存していることが分かった。そのほかアカモクやワカメといった春藻場を構成する大型海藻が複数の地点で確認されたが、通年で藻場が残存する四季藻場を新たに創出することが水産的観点から望まれるため、四季藻場の創出、およびそのネットワークの構築を目指した計画を立案、実証することとする。

なお、各調査地点における調査結果を表 4-2-1 に示す。

表 4-2-1 藻場調査結果

調査地点	藻場区分	四季藻場構成種 %(+ : 5%未満)	春藻場構成種 %(+ : 5%未満)	主な底質 %	水深 m	ウニ類		
						ガソカ ゼ類	ムラサキ ニ	
K-01	磯焼け		ワカメ+	岩塊 60、砂 40	3.7	cc		
K-02				岩盤 40、大礫 60	1.9	cc		
K-03				巨礫 100	0.4	cc		
K-04				岩盤 20、大礫 80	1.4	r		
K-05				岩塊 30、巨礫 40、 大礫 30	1.5	cc		
K-10				ワカメ+	岩塊 10、巨礫 90	3.1	cc	
K-16					巨礫 40、大礫 60	3.3	cc	
K-11	四季藻場	マメタワラ 10	キレバモク 5、 アカモク 10	岩盤 100	0.6		c	
K-12		マメタワラ 30、 ヒジキ 10	ワカメ+	岩盤 20、巨礫 20、 大礫 40、砂 20	0.5			
K-19		マメタワラ 20	ワカメ+、 マジリモク 5	巨礫 100	0.6			
K-24		ヤツマタモク 10、 マメタワラ 10	ワカメ+、 アカモク 20	岩盤 50、大礫 50	0.6	r	r	
K-26		ヤツマタモク 5、 マメタワラ 20	ワカメ 10	岩盤 30、巨礫 30、 大礫 40	1.2	r		
K-06	春藻場		ワカメ 5、 アカモク 5	岩盤 60、巨礫 40	2.4	cc		
K-07			ワカメ 10、 アカモク 40	岩盤 100	2.3	c		
K-08			ワカメ+、 アカモク 30	岩盤 100	2.5	c		
K-09			アカモク 20	岩盤 80、大礫 20	2.3	c		
K-13			ワカメ 10	岩盤 30、巨礫 50、 砂 20	4.7	c		
K-14			ワカメ 10、 アカモク 5	岩盤 50、大礫 30	2.9	c		

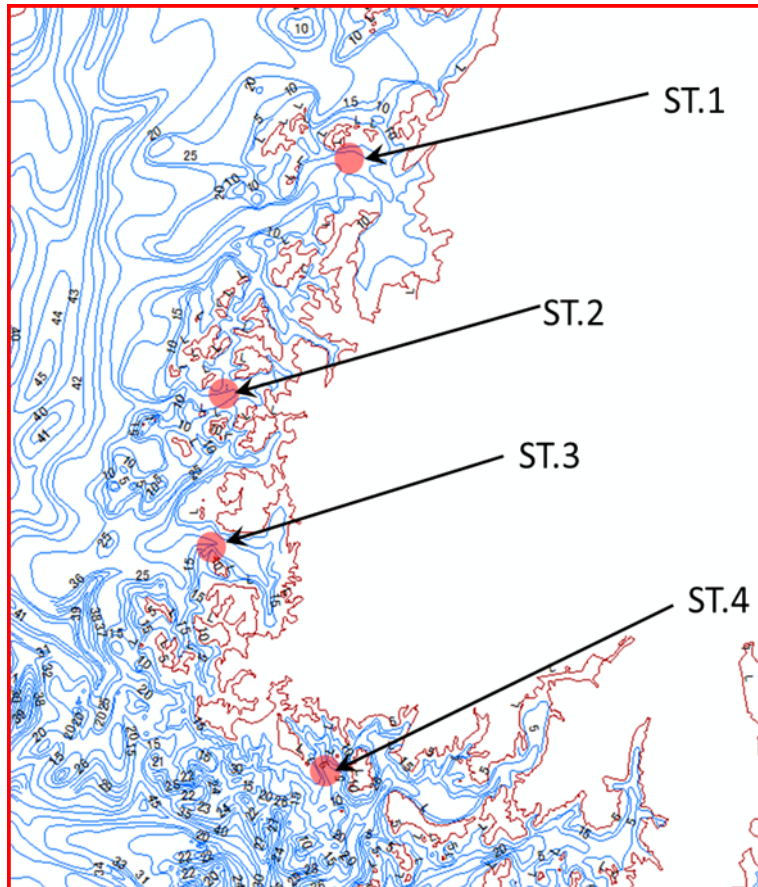
K-15		ワカメ 15	岩盤 50、巨礫 30、 砂 20	3.3	c	
K-17		ワカメ 5	岩盤 30、巨礫 30、 大礫 20、砂 20	3.4	c	
K-18		ワカメ 5	巨礫 20、大礫 30、 小礫 30	3.9	r	
K-20		ワカメ 15	岩盤 30、巨礫 70	6.4	c	
K-21		ワカメ 10、 アカモク 10	岩盤 40、岩塊 10、 巨礫 50	1.7	c	
K-22		アカモク 10	岩盤 80、巨礫 20	1.5	cc	
K-23		ワカメ+、 キレバモク 5	岩盤 20、巨礫 80	2.5	c	r
K-25		ワカメ 20、 アカモク 10	巨礫 40、大礫 40、 砂 20	2.0	c	c
K-27		ワカメ 10、 マジリモク 15	岩盤 60、大礫 20、 砂 20	1.0	r	
K-28		ワカメ 20、 マジリモク 5	岩盤 100	1.8		

②-2 流れ藻の移動予測

流れ藻の移動を予測するためにまずは流況シミュレーションモデルの構築を実施した。2018年5月26日～2018年6月12日の15昼夜において図4-2-3に示すS T. 1からS T. 4の4地点で流況を計測した。測器の設置状況は図4-2-2に示す。対象海域の風向・風力や海流のデータを流動モデルに組み入れ、計測した現場海域の流況と照合することで、流況シミュレーションモデルを構築した。表4-2-2に流動計算条件を表4-2-3に粒子追跡計算条件を示す。



図 4-2-2 電磁流速計の設置状況



設置位置	経度	緯度	測地系
ST. 1	N : 33° 17' 18.30"	E 129° 34" 57.18"	世界測地系
	N : 33° 17' 06.49"	E 129° 35" 05.31"	日本測地系
ST. 2	N : 33° 15' 29.71"	E 129° 33" 11.25"	世界測地系
	N : 33° 15' 17.88"	E 129° 33" 19.37"	日本測地系
ST. 3	N : 33° 14' 27.92"	E 129° 33" 11.79"	世界測地系
	N : 33° 14' 16.09"	E 129° 33" 19.91"	日本測地系
ST. 4	N : 33° 12' 45.46"	E 129° 34" 12.67"	世界測地系
	N : 33° 12' 33.61"	E 129° 34" 20.79"	日本測地系

図 4-2-3 流速計設置点

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

現況調査で確認された四季藻場 5 点 (K-11、K-12、K-19、K-24、K-26) から放出される流れ藻の移動を、構築したシミュレーションモデルによって予想した。流れ藻放出地点とその漂流先の平成 30 年の予想結果を図 4-2-4 に示す。なお、移動中の流れ藻に見立てた粒子の移動を経過時間で追うことができるため、流れ藻の流路を予想することも可能である。また、流れ藻の発生源 (ソース) と流れ藻の漂流先 (シンク) の関係を体系的にまとめた。まとめるにあたって、対象海域において藻場が創出される可能性のある沿岸と水深 10m 以浅のエリアを流れ藻の移動経路や地形を考慮した上で 46 区画に分けた。区分けを図 4-2-5 に示す。また、平成 30 年の流れ藻発生時期 (5-7 月) における発生源 (ソース) と流れ藻の漂流先 (シンク) の関係を表す流れ藻供給のコネクティビティ図 (図 4-2-6) に示す。

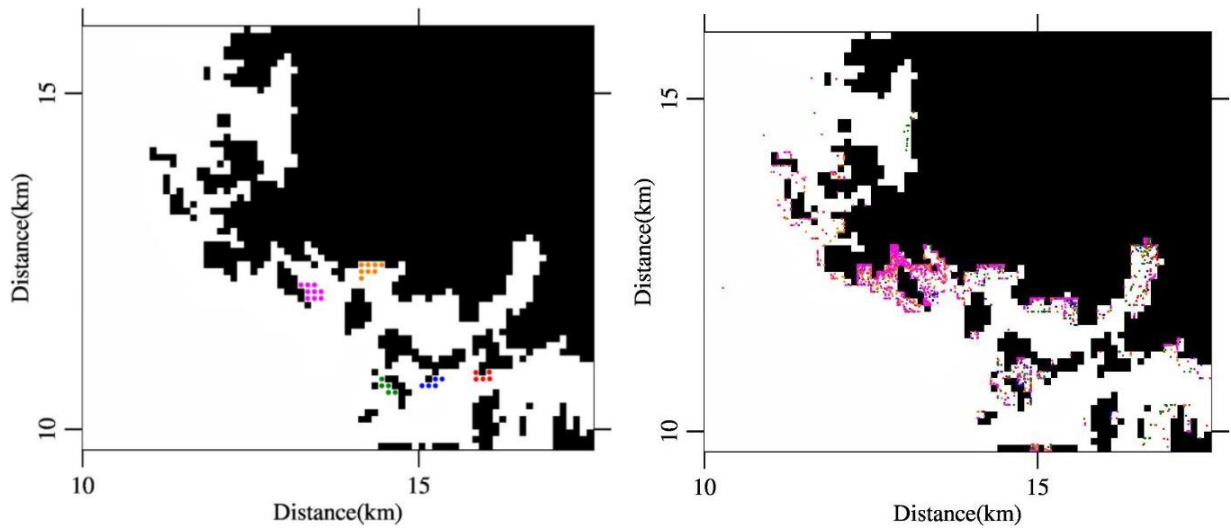


図 4-2-4 流れ藻の放出地点（左）とその漂着先の予測（右）

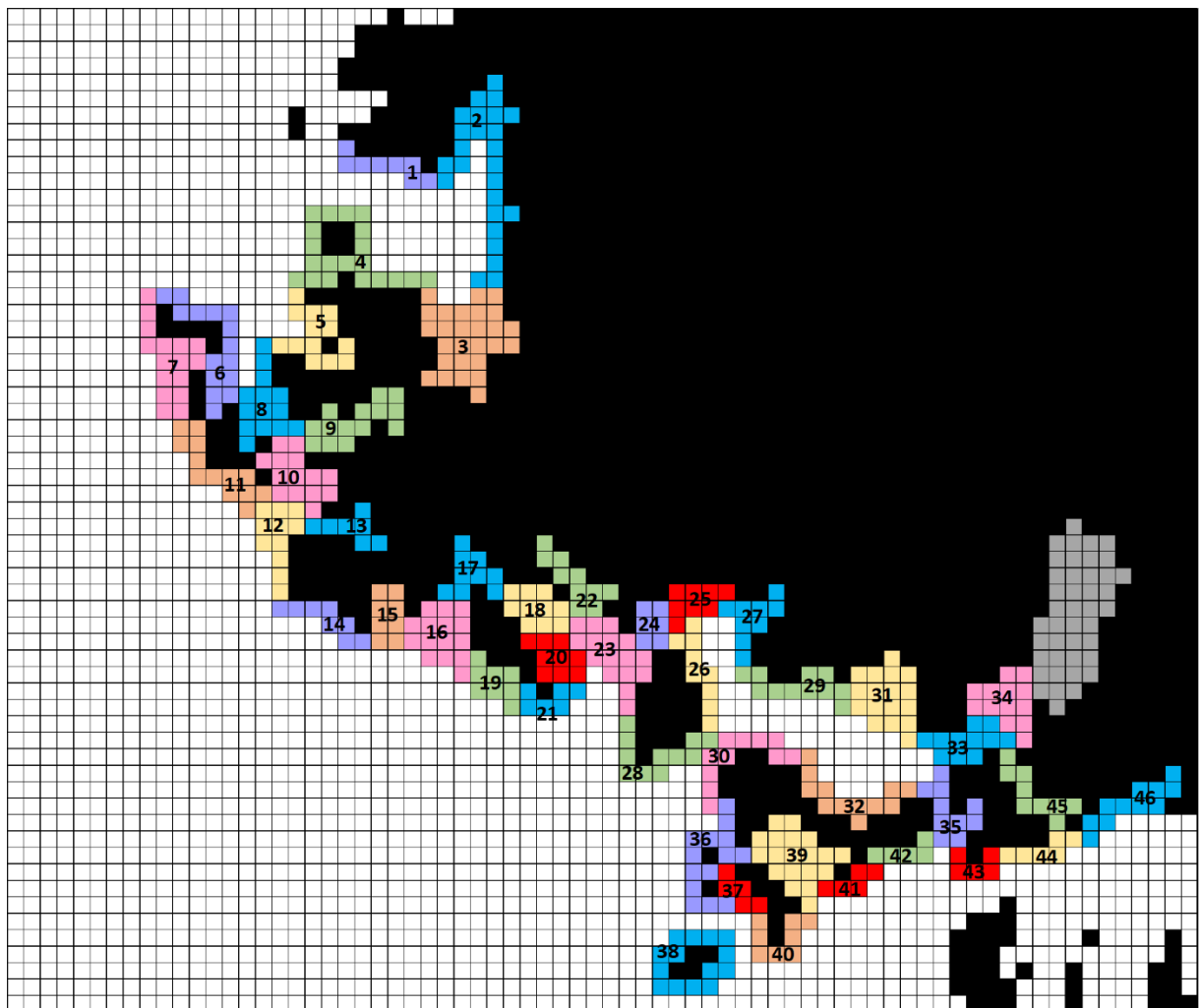


図 4-2-5 対象海域の区画分け

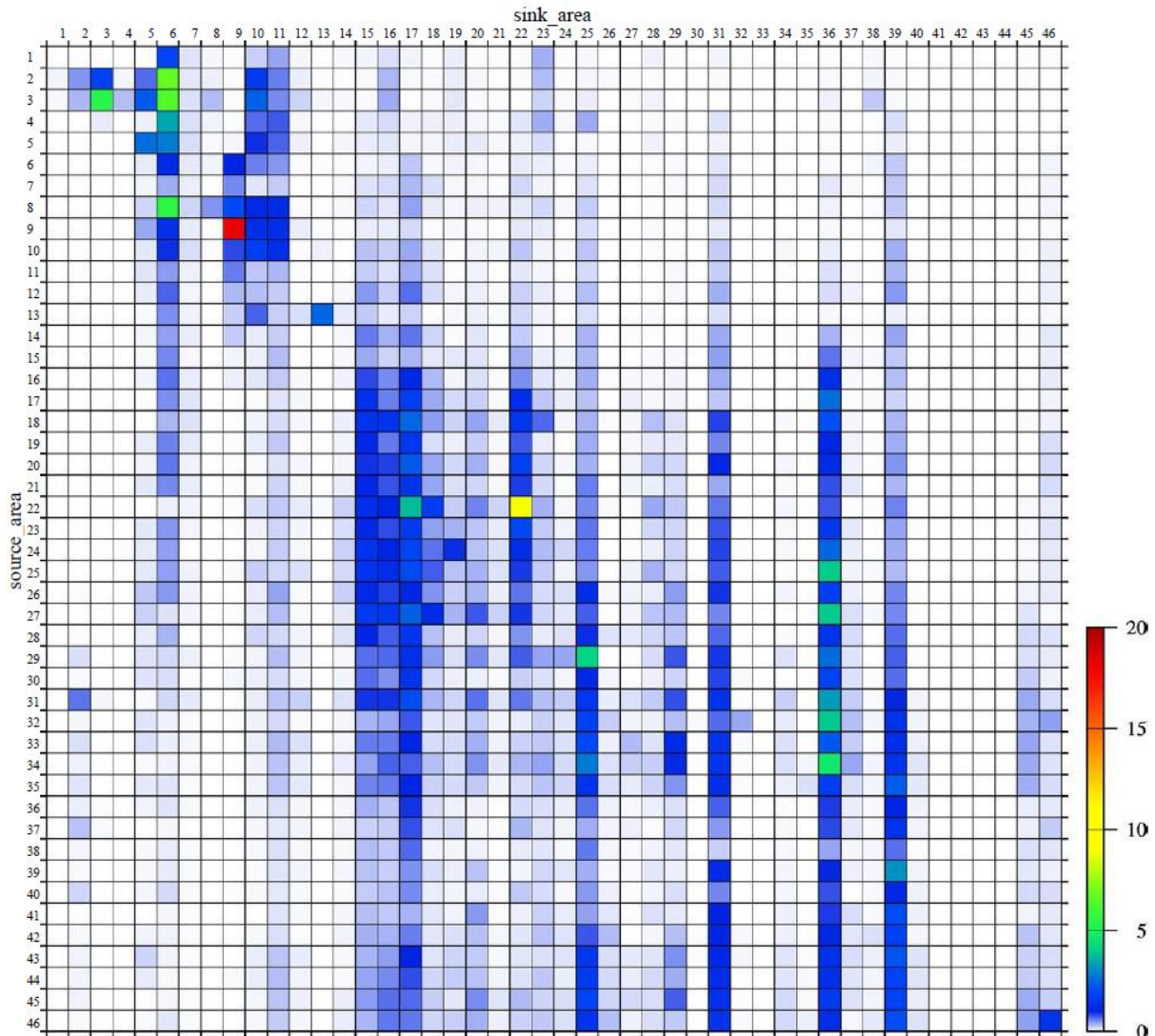


図 4-2-6 流れ藻供給のコネクティビティ図（数字は%）

また、対象海域におけるかつての藻場ネットワークの存在を検証した。環境省の藻場調査による平成 24 年の藻場分布を図 4-2-6 のコネクティビティ図に当てはめた結果が図 4-2-7 である。流れ藻の移動予測線は各区画が供給源の流れ藻のうち 0.5%以上が供給された区画への移動のみを抜き出している。

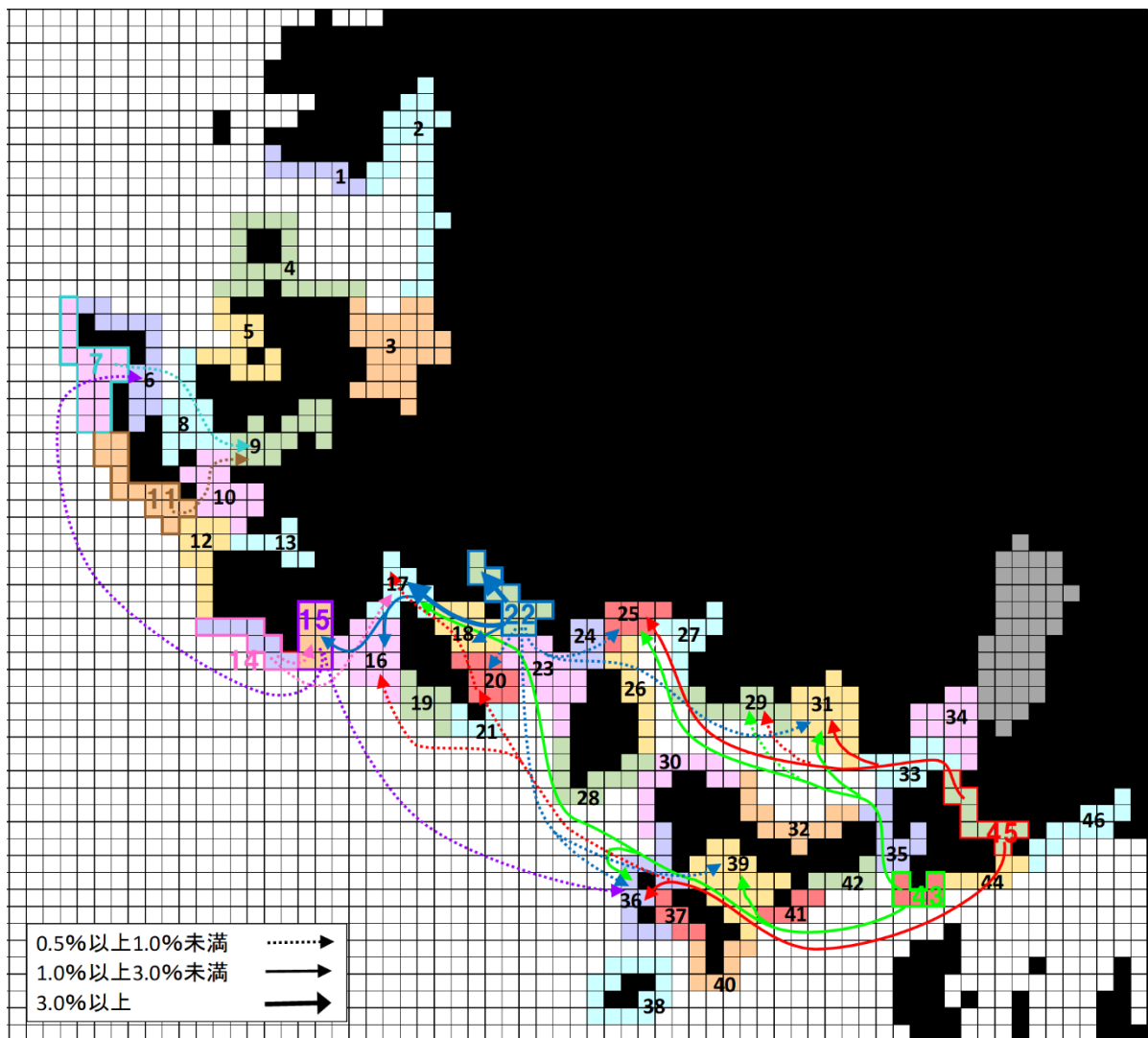


図 4-2-7 平成 24 年の藻場分布から推測されるネットワーク

平成 24 年の聞き取り調査では、区画番号を色文字で示した 7, 14, 15, 22, 43, 45 の 6 区画でガラモ場が確認されている（ただし、春藻場か四季藻場かの判別はない）。また、赤塗り区画である 20, 25, 37, 41, 43 の 5 区画は平成 30 年調査で四季藻場が確認された区画である。コネクティビティ図に基づき流れ藻の供給を予測したところ、下の傾向が見られた。

- ☑ 全体的に北西方向へと流れ藻が移動し、ぶつかった沿岸域に沿って供給される。
- ☑ 流れ藻の移動は一様でなく、沖側（図 4-2-7 における南西海域）では南東方向への供給も一部で見られる。
- ☑ 流れ藻の 90% 近くが海域外へ流出するが、10% 程度が海域内に留まる。
- ☑ 湾奥では同一区画内や隣接区画への短距離移動が多いが、全体として 2-3km 程度先への流れ藻の供給が可能である。

また、コネクティビティ図に基づき藻場ネットワークを検証した結果、下の事が推測された。

- ☑区画 14 から 25、区画 22 から 15 への供給が予測され、流れ藻供給源からのタネにより藻場が形成・維持されていた可能性が考えられる。
 - ☑区画 7, 14 には海域内での流れ藻の供給がないと予測されているが、隣接区画への供給が予測されている。
 - ☑区画 43, 45 についても同様だが、全体的に北西方向へ流れ藻が供給される傾向から、海域外からの流れ藻の供給により藻場が形成・維持されていたと推測される。
 - ☑平成 30 年において藻場が残存する区画 20, 25, 37, 41 においては、平成 24 年時点のガラモ場からの流れ藻の供給が予測される。もしくはその隣接区画への流れ藻の供給が予測されており、平成 30 年までに藻場が形成された理由と推測される。
- 以上のことから、対象海域においては平成 24 年度時点において藻場ネットワークが構築されていたと推測される。したがって、新たにネットワークを構築し、強化することで効率的な藻場回復が可能になると考えられる。

②-3 次年度の調査計画

平成 31 年度の調査は大きく 2 つの事を確認・実証することを目指して計画する。一つは流れ藻の移動を実際に確認することでシミュレーションによる移動予測の実現性を確認すること。もう一つは流れ藻キャッチャーを利用したタネ供給と藻場創出を実証することである。

流れ藻の移動を確認する方法として、3 本以上の流れ藻に GPS を取り付け半日～1 日程度の軌跡を記録してシミュレーション結果との比較を行うことで実施する計画とする。半日から 1 日程度であり、海域外へ流出する可能性が低いため、3 本の流れ藻でシミュレーション結果の検証が可能と考える。また、100 本以上の流れ藻に異なる色のリボンを結び付け、リボンの色毎に複数の現存藻場から流し、約 2 週間後に流れ藻の滞留海域におけるリボン付の流れ藻の有無と数量を把握する。先のシミュレーション結果から 90% 近い流れ藻は海域外に流出してしまうと予測されることから、100 本以上の流れ藻とリボンが必要と考える。これらの方法にてシミュレーションによる流れ藻の移動予測の実現性を確認する。

藻場創出の実証方法として、本海域では流れ藻キャッチャー（図 4-2-8）にて特定点に流れ藻を保持して、狙った場所にタネを供給することで、新たな藻場を創出する方法を選択した。これは本年度のシミュレーション結果から流れ藻が漂着・滞留すると予測された海域が浮泥の沈積や磯幅の不足等の理由から藻場創出の適地でない判断したためである（図 4-2-9）。



図 4-2-8 流れ藻キャッチャーのイメージ

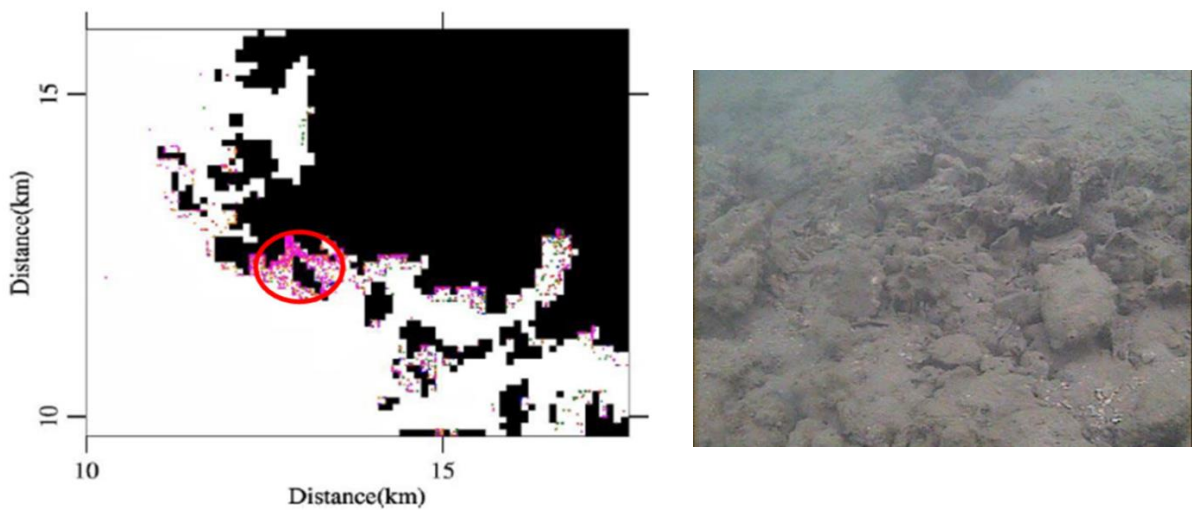


図 4-2-9 流れ藻の予想滞留先（左赤枠）と当該海域における浮泥の沈積状況（右）

流れ藻キャッチャーを利用したタネ供給と藻場創出を実証する方法としてまず、前述の流れ藻の移動予測から、多量の流れ藻の通過が見込まれる点、少量が見込まれる点の2点以上に流れ藻キャッチャーを設置する。2か月程度海域に設置した後に各点でキャッチされた流れ藻の湿重量を計測し、その大小を評価する。計測された流れ藻の量が大きい点と少ない点においてそれぞれウニ駆除区と対照区を設け、流れ藻の量とウニ駆除の藻場創出への影響と、2つのソフト対策を組み合わせることによる藻場創出手法としての可能性を検討する。対策地点と区画設定についての考え方を表 4-2-4 に示す。現在、候補地点についてはシミュレーション結果をもとに複数地点で検討中であり、対策候補地点と概要を図 4-2-10 に示す。対策候補地点を複数上げているが、これは、タネが着底可能な底質か・浮泥の堆積有無・磯幅の過不足・水深等を現地で判断し適地を決定する必要があるためである。また、対策を実施するにあたり協力が必要となる漁業者の意見も取り入れたうえで対策地を決定したい。

表 4-2-4 流れ藻キャッチャーとウニ駆除の区画設定と期待される結果

	ウニ駆除有り	ウニ駆除なし
流れ藻供給の見込み多い	新たな藻場を創出	磯焼けの継続
流れ藻供給の見込み少ない	少量のホンダワラ類が発生	磯焼けの継続



図 4-2-10 流れ藻キャッチャーを利用したタネ供給と藻場創出計画の概要

なお本年度は、試行的に平成 31 年度の繁茂期（4-6 月）に藻場の創出の可能性を把握するため、先述した流れ藻の漂流先と予測される海域（図 4-2-9）にてウニ駆除を計画していた。しかし、図 4-2-9 に示す通り藻場創出の適地ではなかったため、最もタネの供給が予測された湾奥部での対策を断念した。ただし、流れ藻の移動予測結果から、流れ藻の通り道であると考えられ、藻場創出の適地でもあると判断された K-14（図 4-2-1）にてウニ駆除を実施した。ウニ駆除は九十九島漁業協同組合の漁業者がスキューバ潜水によって実施した。実施区画は K-14 における約 30m 四方で、約 12,000 個体のウニ類（主にガンガゼ）を 11 月 10 日の 1 日で駆除した。その実施状況を図 4-2-11 に示す。



図 4-2-11 ウニ駆除の実施状況

③久留和地区（神奈川県横須賀市）における調査結果

③-1 対象地区の適地選定

かつてはアラメ・カジメの優良な藻場が形成されていた当海域において、近年、磯焼けが広範囲に広がっているという情報があり、継続的に藻場の調査を実施している一般財団横須賀西部水産振興事業団と横須賀市大楠漁業協同組合および地元のボランティアダイバーにヒアリングを実施し、磯焼けに関する情報を入手した。また、1990年代に一般財団法人電力中央研究所では詳細な藻場調査を実施しており、健全な藻場の記録が残っている希少な海域でもある。これらの情報を参考に漁業者と協議した結果、藻場の維持管理が容易であり、漁業者の理解も得られることから、久留和地区を調査対象とした（図 4-3-1、図 4-3-2）。

特に、久留和漁港の港口部の北側に直径約 20m の黒島が分布しているが、黒島の陸側の波当たりの小さい場所はかつて優良なアラメ場であったが、近年、ムラサキウニが大量に分布し、アラメの生長を阻害していると指摘された。漁業者は定期的に磯見漁業でウニを除去しているとのことであり、黒島背後での磯焼け対策は重点課題であるとのことであった。2017年7月には地元のボランティアダイバーが久留和漁港の藻場の状況を調査していた（図 4-3-3）

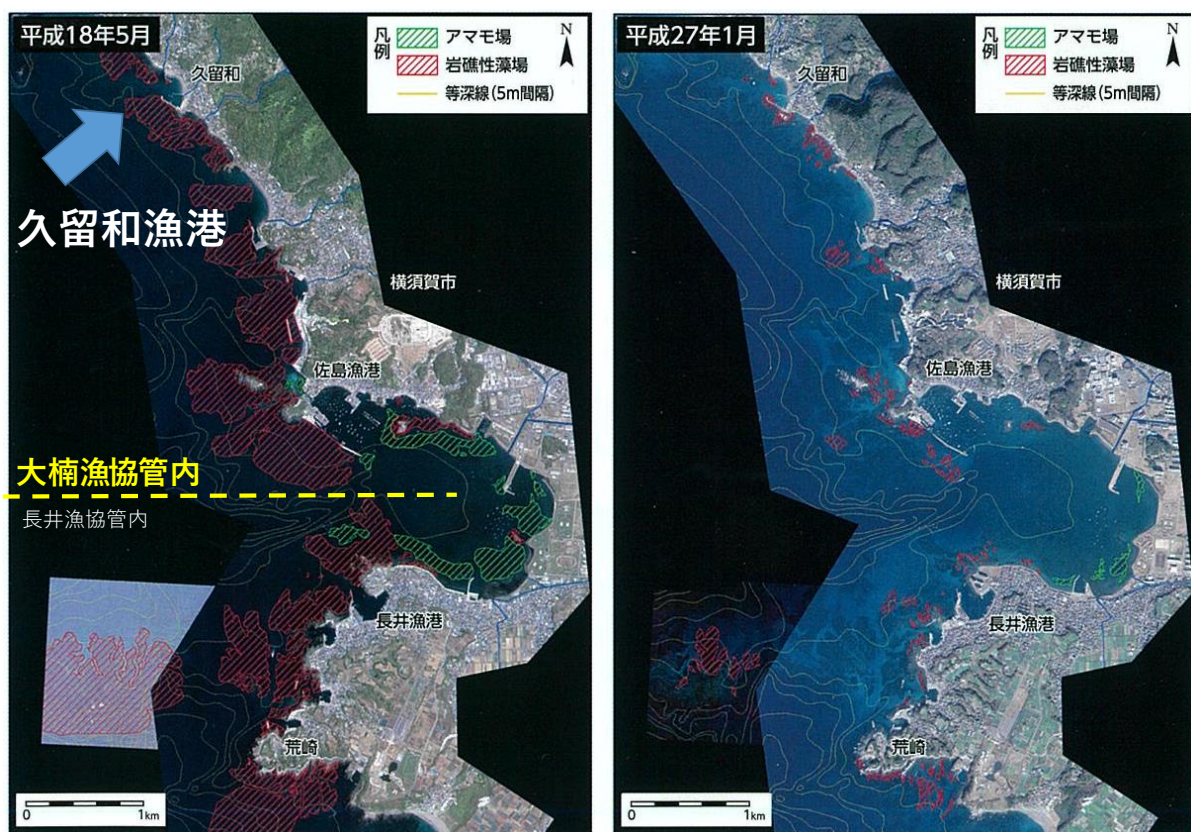


図 4-3-1 藻場分布の年代比較と磯焼け対策適地（久留和地区）の選定
（引用；横須賀西部水産振興事業団「甞れ、小田和湾の藻場環境」より）



図 4-3-2 調査対象地区（長者ヶ崎～久留和漁港周辺）



図 4-3-3 ボランティアダイバーの情報による藻場と磯焼け

③-2 対象海域の現況の藻場調査

2018年7月に岸沖方向に6測線のライン（L1～L6）を設定し、海藻の被度調査および植食動物の分布調査を実施した（図4-3-4）。この時点では全くの磯焼けという状況ではなく、アラメやカジメの成体は少ないものの点在し、カジメの幼体が見られた（図4-3-5）。各ラインの植生断面図を図4-3-6～図4-3-8に示した。L-2～L-5にアラメが分布し、カジメは全測線で観察された。浅所はアラメが分布し、深所はカジメおよびその幼体が分布していた。

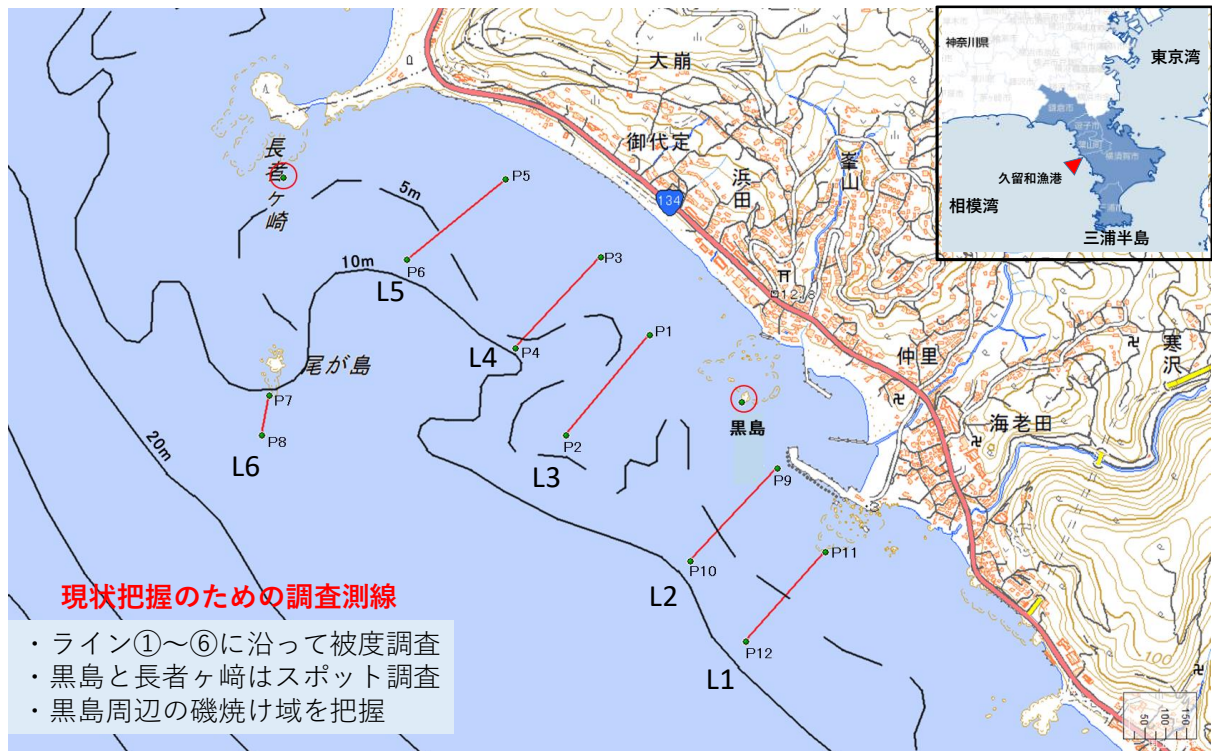
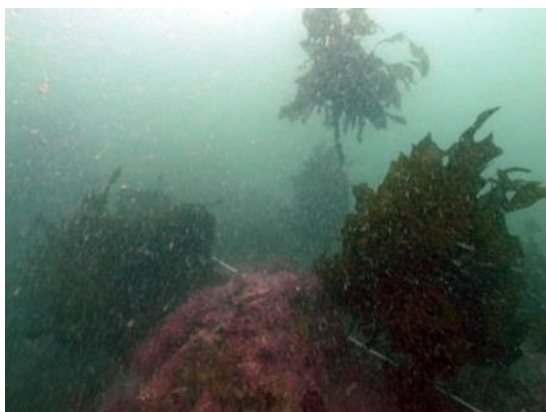
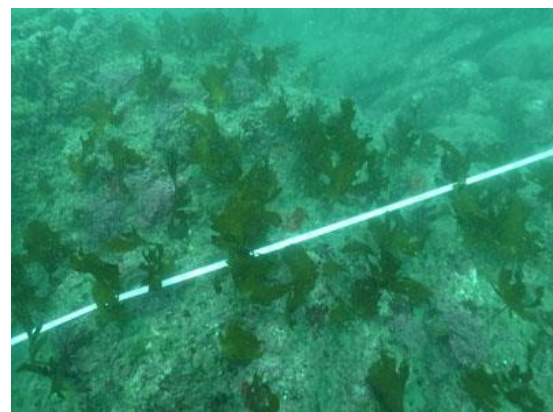


図4-3-4 ライン調査の実施箇所



カジメの成体（L-4-160m 付近）



カジメの幼体（L-6-60m 付近）

図4-3-5 カジメの成体と幼体（2018年7月撮影）

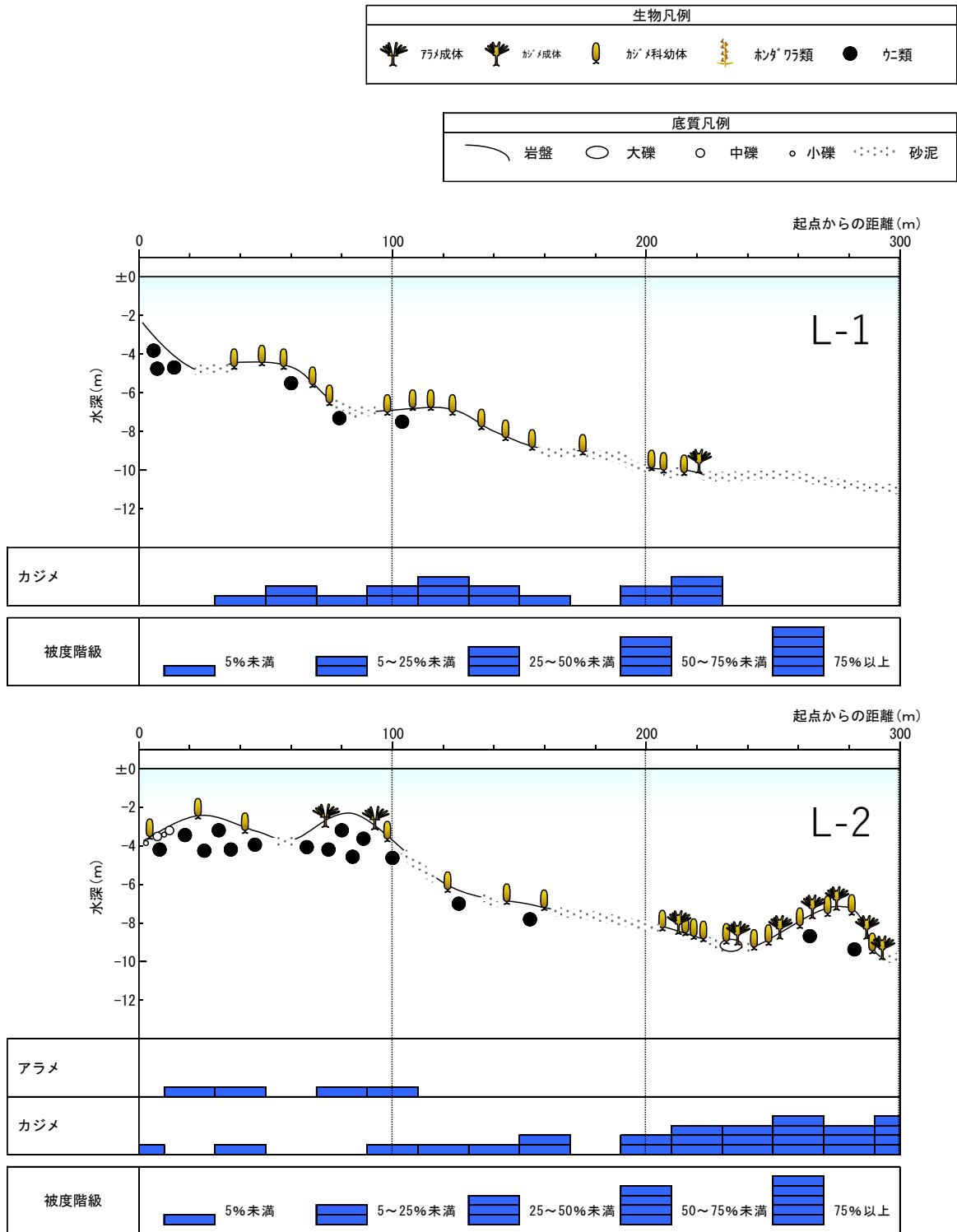


図 4-3-6 2018 年 7 月の植生断面 (L-1、L-2)

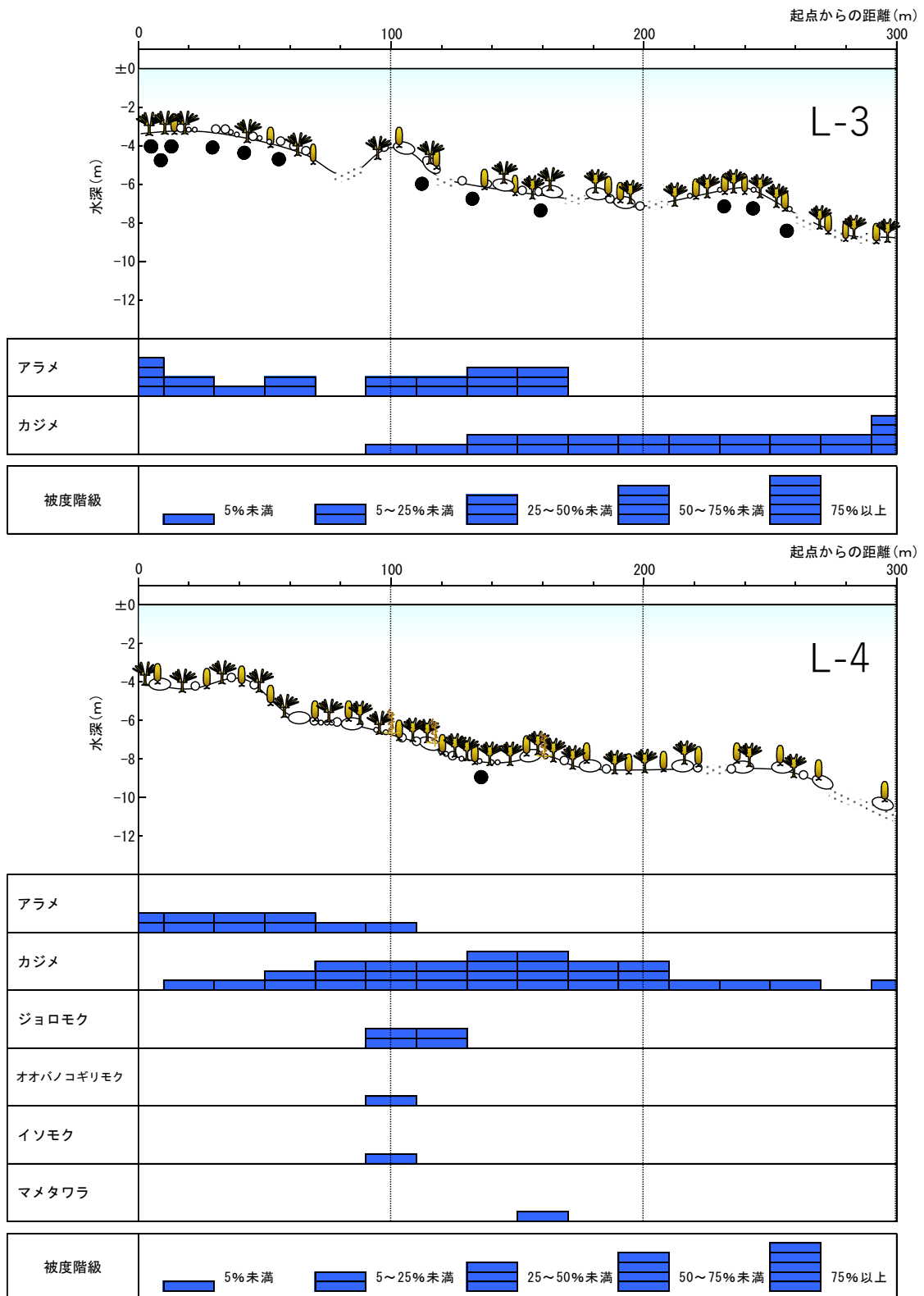


図 4-3-7 2018 年 7 月の植生断面 (L-3、L-4)

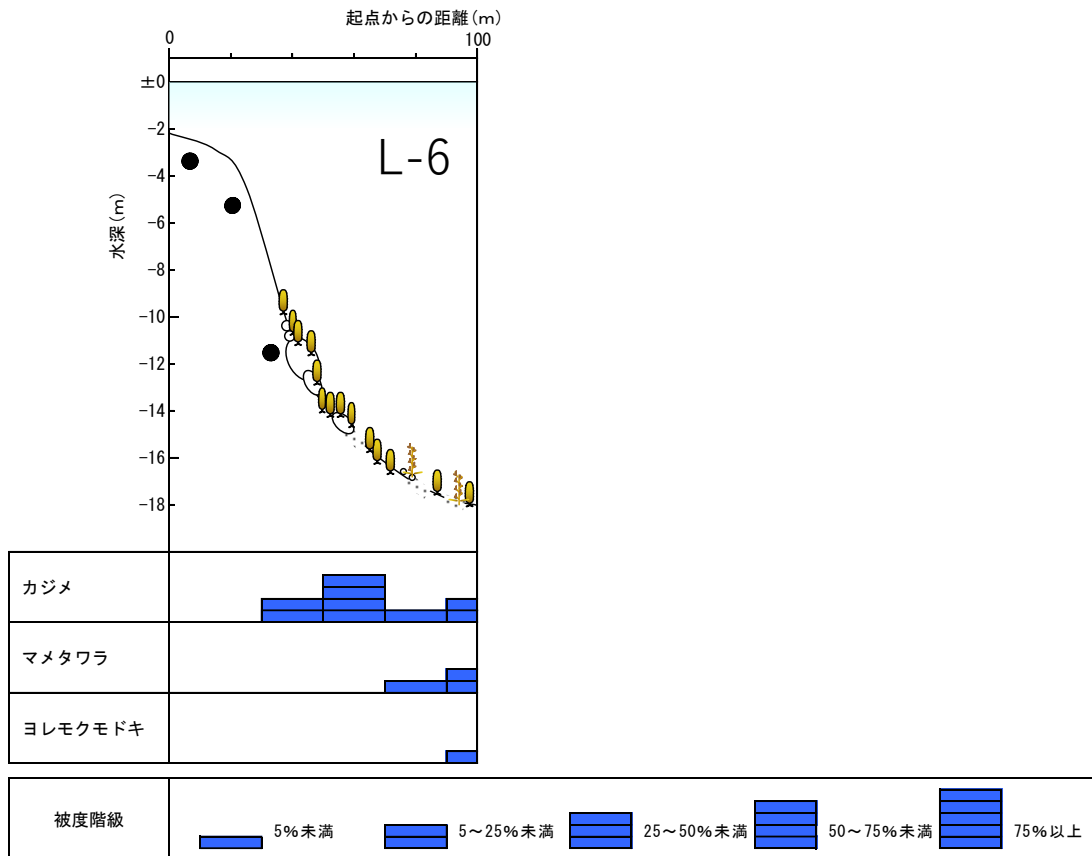
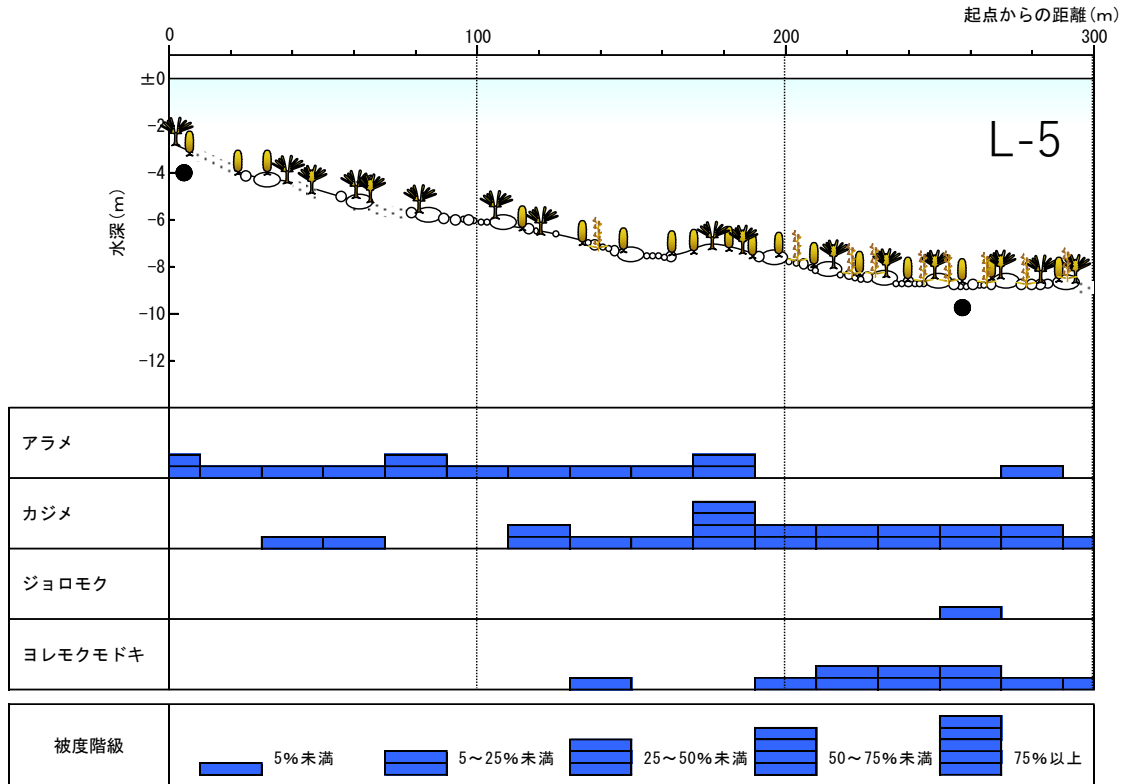


図 4-3-8 2018 年 7 月の植生断面 (L-5、L-6)

2018年7月の藻場分布調査の結果（図4-3-9）をまとめると、

- ①磯焼け状態だが、沖側を中心にカジメの幼体が確認され、藻場は回復傾向にある。
 - ②局所的にムラサキウニが多く、ガンガゼ類はほとんど分布しない。ムラサキウニはL-1からL-3までの岸側に多く、1㎡あたり最大で17個体（L-2-80m）。
 - ③多くのアラメ・カジメの葉状部では、アイゴによると思われる食痕が認められた。また、黒島の周縁では、全長30cm程度のアイゴ成魚が多数確認された（図4-3-10）。
- 以上の結果から、流況パターンがこの情報に加われば、遊走子（タネ）の移動を類推し、効率的な磯焼け対策が実施できるものと推察された。ただし、後述するように、これらの藻場の多くは秋に消滅してしまった。

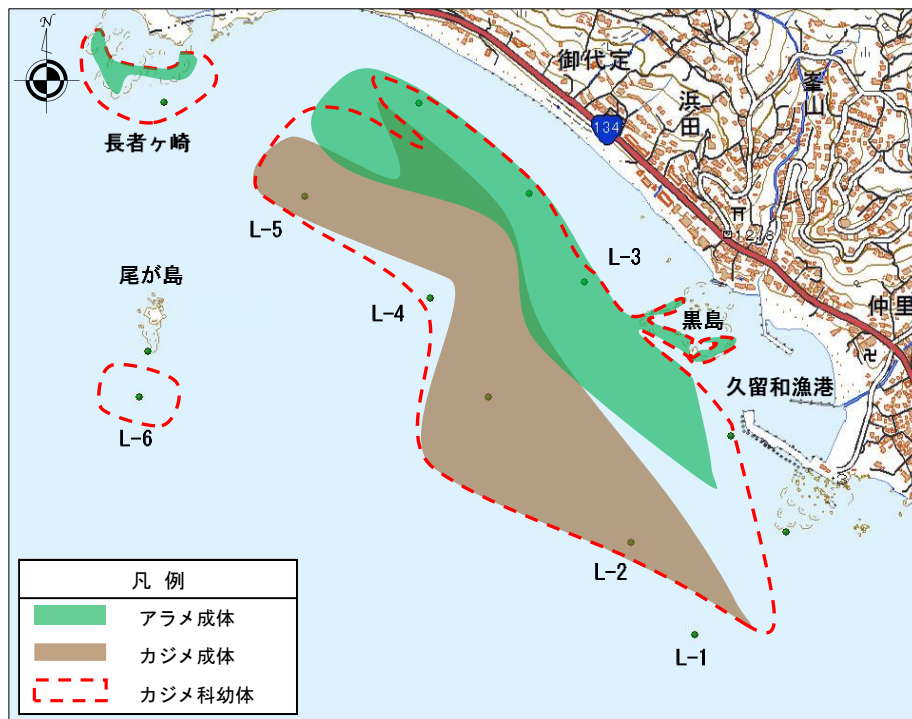


図4-3-9 2018年7月の藻場分布図



アイゴによる食痕（L-1-40m 付近）



黒島周縁に蟻集するアイゴ

図4-3-10 アイゴによる食痕とアイゴの小規模な群れ

③-3 対象海域の流況調査

藻場構成種のアラメ・カジメの成熟時期は秋であることから、秋季に流速測定を実施した。図 4-3-11 に示す久留和沖の 3 地点に流速計を設置し、10 月 17 日～11 月 6 日まで電磁流速計で流向流速を計測した。この調査時に、7 月に分布を確認した藻場が大幅に衰退したことを確認した（図 4-3-8）。



図 4-3-11 流速計の設置位置と天然藻場を核とした藻場の拡大イメージ



図 4-3-12 2018 年 10 月の黒島付近の天然藻場のアラメ（魚類による葉部の食痕）

St.2 の流速計の測得値を図 4-3-13 に示した。この期間、水温は 22℃から 20.5℃へ低下した。流速値は 5~10cm/s が卓越し、10 月末には流速 30cm/s 以上を記録した。流向は南~南南東が卓越している。潮時による流速の影響は小さいことから、沿岸流の影響が卓越していることと推測された。他の St. でもほぼ同様な結果であった。

これらの流速測定結果は流況シミュレーションのキャリブレーションに利用した。そして、海藻の遊走子が放出される秋季の流動パターンを予測することとした。アラメ・カジメの遊走子は浮遊時間が数時間と短いことから、移流距離は短い。天然藻場の位置と流況パターンから遊走子の流去方向を推定し、遊走子が着底する海域において、磯焼け対策の適地を選定することで、効率的な対策を実施可能にする。

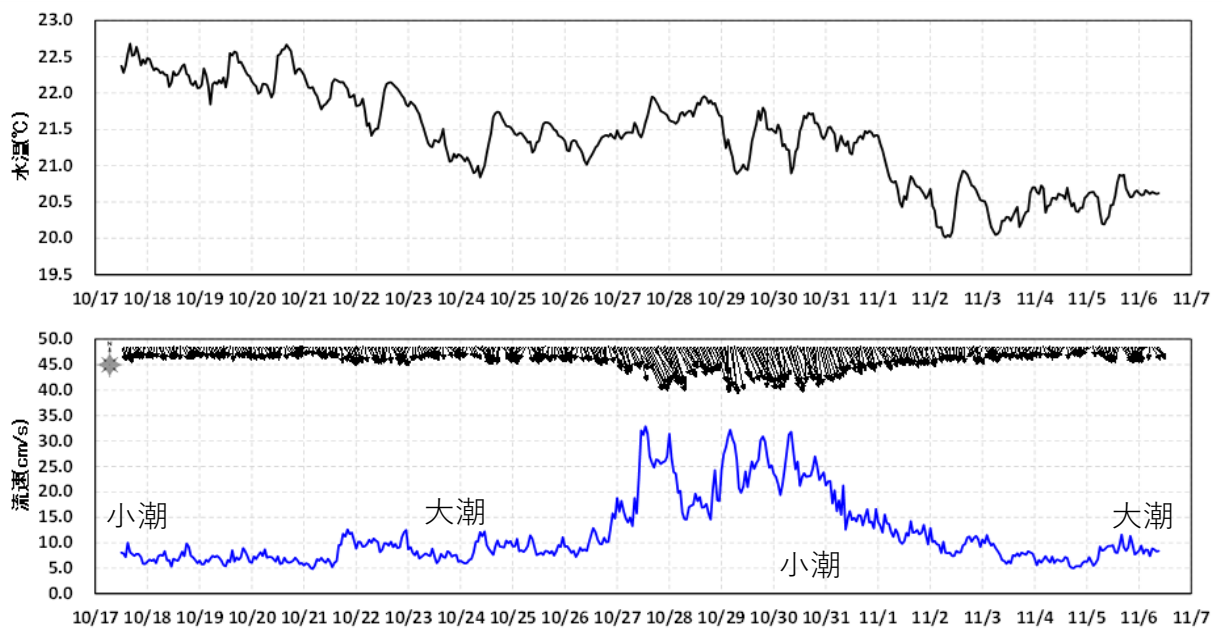


図 4-3-13 St.2 (黒島沖) の水温と流速

③-4 沿岸域の流況の試算例

当海域が沿岸流の影響が強いこと、アラメ・カジメの遊走子は数時間で着底することから、流況シミュレーションでは波浪による沿岸流を計算することとした。条件としては有義波高 1.0m、周期 8s、波向 SW、SSW の 2 方向を対象に、波浪変形計算 (ブシネスク方程式) で試算を実施したので、その結果の一部を示す (図 4-3-14)。

この結果によると、沿岸流は長者ヶ崎から久留和漁港に向かって流れ、黒島付近では 7 月まではアラメが分布した天然藻場から黒島方向に向かう流れが見られ、かつ、黒島を回り込むように流れている。流動パターンは潮位や風の影響を強く受けるので、さらに、検討が必要であるが、天然藻場に近接した黒島背後のムラサキウニによる磯焼け地帯にも、藻場からの遊走子の移流がある可能性を示唆している。

図 4-3-15 の赤枠はムラサキウニが多く分布している箇所、図 4-3-3 に示したようにボランティアダイバーの指摘した磯焼け域である。これらの図を比較すると、天然藻場から

磯焼け域に向かう流れがあるものの、ウニが多く分布するので藻場が拡がらない可能性が示唆される。

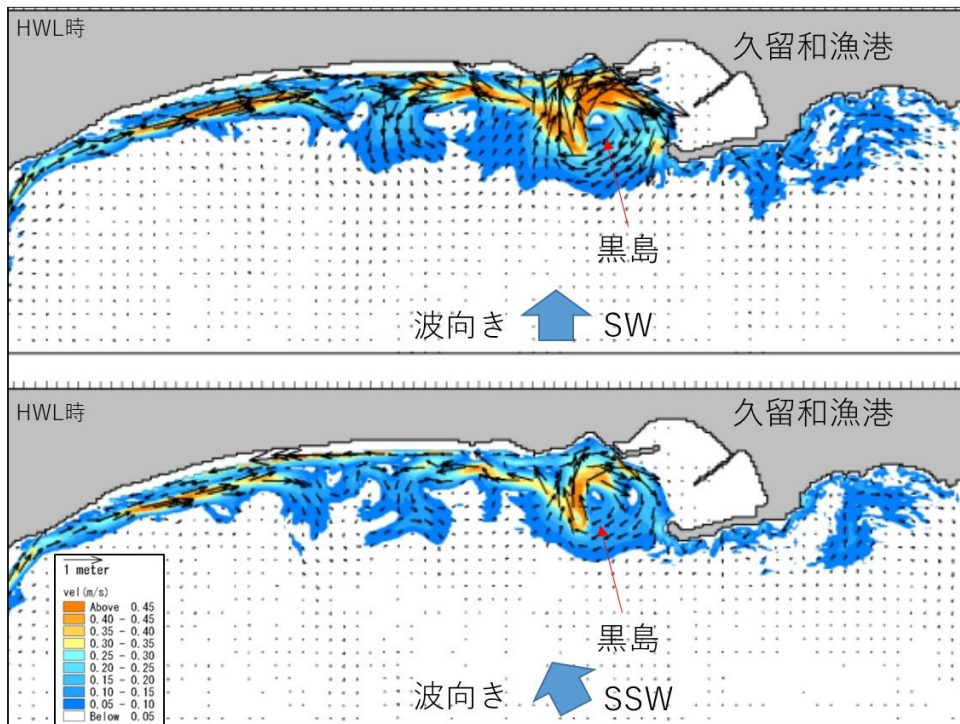


図 4-3-14 波浪変形計算による沿岸流 (HWL 時)



図 4-3-15 黒島の周辺の藻場と磯焼け域

③-5 磯焼け対策の実施

7月の時点では、天然のアラメ場が黒島の北側にパッチ状に分布していた。この藻場に隣接する黒島の陸側は、かつてはアラメの藻場であったが、近年はムラサキウニの捕食圧により藻場が再生出来ない状況である。計画では、黒島背後のウニ焼け地帯でウニ除去を行い、アラメのスポアバッグを設置して播種を行い、その効果により流況シミュレーションの結果を検証しようとした。しかしながら、久留和沖のみならず、大楠漁業協同組合の管轄内ではアラメはほぼ全滅したことから、播種による流況パターンの検証はできない状況となった。

もし、天然のアラメ場の母藻が9月まで残っていたならば、一部の母藻から遊走子が放出され、黒島の方へ移流し、黒島背後に着底した可能性がある。その場合、黒島背後のムラサキウニを徹底除去することにより、翌年2月にはアラメの幼体が確認出来ると想定された。そこで、流速の測得結果を参考に漁業書と協議を持ち、黒島背後のウニ除去、黒島周辺のアイゴ除去を実施することとした。ウニ除去範囲は $35\text{m} \times 20\text{m} = 700 \text{ m}^2$ とし、東京海洋大学、市民ボランティア、大楠漁業協同組合の協力の下、11/29に16,000個、12/14に2,200個のウニを除去した。ウニの生息密度は初回では約 23 個/m^2 と大量に分布した。アイゴは漁業者に依頼し、11月～12月に刺網で毎日除去をしてもらうこととした。この間に数百尾のアイゴが漁獲された。

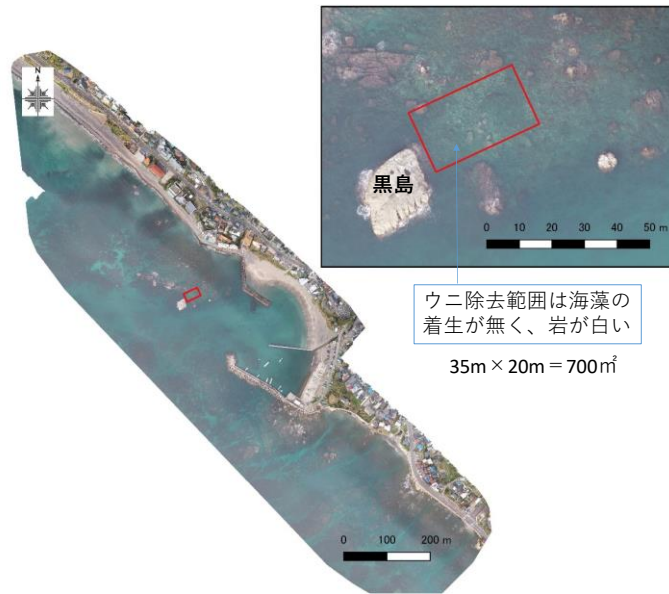


図 4-3-16 ウニ除去範囲（ドローンによる撮影 2018 年 11 月）

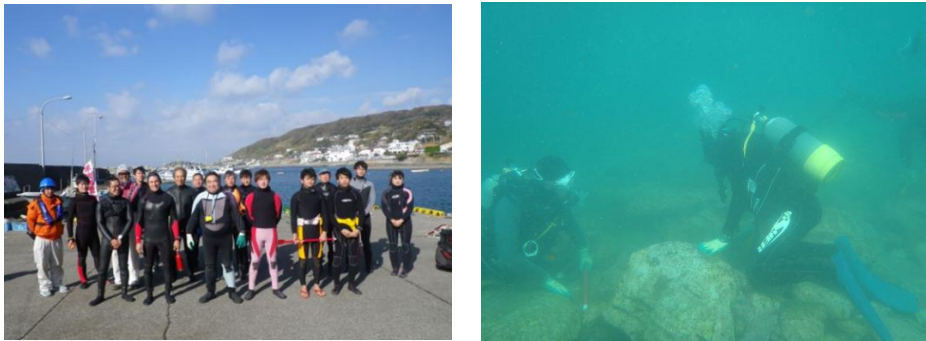


図 4-3-17 ウニ除去（2018 年 11 月 29 日）

③-6 アラメの発芽確認調査

アラメの天然藻場が 9 月頃まで残っていれば、遊走子が放出され、2 月には黒島の陸側のウニ除去区にアラメの幼体が発芽すると期待された。そこで、2 月 18 日にアラメの幼体の観察を実施した。調査は、対策エリアと近接する対照エリアでアラメの幼体の 1 m²当たりの本数を計測した。結果を表 4-3-2 に示す。これによると、アラメ幼体の平均密度は対策エリアと対照エリアとも 1.4 個体/m²で差は無かった。この結果から、2018 年のアラメ母藻からの遊走子の放出は少なかったと推定された。

ウニの平均個体数は対策エリアで 5.4 個/m²、対照エリアで 10.0 個/m²であり、ウニ除去をしたものの、2 ヶ月経過し、再加入していることも判明した。なお、この調査終了後、900 個体のウニ除去を実施した。

表 4-3-2 対策エリアと対照区のアラメ幼体の密度

No.			調査場所		対策エリア						対照エリア									
			調査日	11/29	2/18						2/18									
			水深(m)	2.4	2.6	2.6	2.5	2.3	2.4	2.3	2.1	2.2	2.3	2.2						
			底質	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2						
出現種		T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1								
		T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0								
1	植物	大型	ワカメ		5 (8)	+	(4)	+	(3)	+	(5)	5 (10)	+	(6)	5 (8)	5 (8)	+	(4)	5 (9)	
2			アラメ		+			+	(1)	+	(2)	+	(3)	+	(2)		+	(1)	+	(2)
			多年体 幼体		(1)				(1)		(2)		(3)		(2)			(1)	(2)	(2)
1	植物	小型	有節サンゴモ類	60	20	25	25	20	40	25	40	20	20	25						
2			無節サンゴモ類	10	20	20	40	50	10	20	20	50	20	20						
3			イワノカワ科	10	20	10	5	+	10	10	10	10	25	10						
4			フクロノリ		20	10	25	30	50	+	+	5	5	10						
1	動物		ムラサキウニ	(14)	(2)	(3)	(10)	(7)	(5)	(4)	(15)	(4)	(11)	(15)						
2			アカウニ								(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。

③-7 次年度の調査計画

今回のアイゴによる食害が何処まで影響したのか把握するため、藻場の調査を7月頃に実施し、2018年の結果と比較する。残存する藻場があれば、流況の予測値から判断して、ウニ除去範囲を設定する。

当海域は波浪による沿岸流の影響が強い傾向にあるので、流況シミュレーションは波浪変形計算によって算出した。今後、この計算の妥当性を検証すると共に、流況パターンから、効率的に広範囲に藻場を回復させる場所を選定することとする。具体的には、流速が比較的大きく、流れの後流側に付着基質である岩盤が存在する場所を選定する。波の条件を変えて、このような場所を把握し、流れの上流側に海藻のスポアバッグを設置し、下流側の岩礁ではウニ除去を実施するものとする。対照区としては、流れが遅い場所でも、スポアバッグによる播種を試み、両者の比較から、流況の影響を判定することとする。これらの試みにより、ネットワークを利用した藻場の拡大の可能性を判定する。ただし、現在、母藻が壊滅的に岩礁していることから、スポアバッグに使用する母藻は相模湾全域を対象にヒアリングして、残存している藻場から分けてもらうこととする。

f 今後の課題

小課題1について：

30年度は、藻場調査の各手法に関する調査精度、調査範囲、労力、費用等の情報が整理され、都道府県等や漁業者（漁協）が藻場調査の手法を選択する際に必要な情報が揃えることができた。今後、藻場調査の各調査手法で得られたデータを用いて、解析方法や評価方法について検討するとともに、留意点を明らかにする。また、藻場調査において、複数の調査手法を組み合わせることによる有効性（精度向上、省力化等）について検討する必要がある。

30年度は、①オブジェクト化、②3バンドによる水深補正、③SVMの有効性が明らかとなり、2014年名護屋湾（衛星画像）の藻場判別において高い精度（正答率77%）を得た。今後は、上記①から③について他衛星画像（他の時期、場所、海藻等）でも適用できるか検証が必要である。また、①～③の手法がドローン画像や水中写真においても、同様に適用できるか検討する。さらに、効率の良い広域藻場の把握を実現するため、AI手法（SVM（機械学習）、深層学習）の比較、判別可能な藻場被度（〇%以上）の設定、藻場分類精度に対する解像度、使用バンドの影響等についても検討する必要がある。

小課題2について：

30年度は刺網によるブダイの除去を実施したが、一方でクロメは大きく減少し、除去時期と食害最盛期のずれが原因と推察された。そこで、今後の課題として、除去を食害発生前に集中させることと、漁獲圧をより高めることの必要性が示唆された。31年度は、これらの点を改善した除去試験を実施し、ブダイの個体数推定と藻場のモニタリングを組み合わせ、ブダイの除去効果を評価し、採食圧を低下させるためにどの程度のブダイを除去する必要があるのかを明らかにする必要がある。合わせて、今年度実施した除去がブダイの個体数減少にどの程度継続的に寄与するのかを評価することも重要な課題である。

上記の個体数推定法では対象種が調査区内と調査区外との間で移動しないことが前提条件であるため、ブダイがどの程度それを満たしているのか明らかにする必要がある、そのためにはバイオテレメトリー調査が有効と考えられる。

ブダイに対しては改訂磯焼け対策ガイドラインにより刺網による駆除が推奨されているが、混獲等の問題が考えられるため、その効率的な運用方法を十分検討する必要がある。その解決策の1つとして、ブダイの繁殖時の蛸集を利用した除去や今年度開発した延縄が有効と考えられる。ブダイの繁殖については情報が限られていることから、その繁殖場所を特定するため調査が必要である。そのための手法として、透明度が低い名護屋海域では、バイオテレメトリー調査が有効と考えられる。

小課題3について：

イセエビによるウニ高知県須崎市池ノ浦の先行事例に加え、新たに探索された徳島県美波町日和佐、鹿児島県指宿市での事例について調査を継続し、隠れ場（投石礁または捨石マウンド）におけるイセエビの生息状況（密度とサイズ）、隠れ場からの距離とウニの生息状況との関係、ウニ密度低減と海藻の繁茂状況との関係、を定量的に把握する。また、イセエビの生息しない北方海域で、ウニに対する高い捕食能力を有することが水槽実験で

明らかになったイシガニについては、ウニの捕食量を現場実験で明らかにする。以上の結果を踏まえて、実現可能性の高い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について：

藻場ネットワーク回復による藻場回復のメカニズムを明らかにするため、名護屋湾(大分県佐伯市)以外の他海域の事例について情報収集し藻場回復に至った要因を①種供給、②流況、③食害、④海域環境等の多角的な観点から分析する必要がある。

九十九島海域において実証を検討する藻場創出手法は流れ藻の移動予測に一定の精度が求められるため、流れ藻の実際の移動を調べることで、その精度を確認する必要がある。また、流れ藻の移動予測と流れ藻キャッチャーを利用した藻場創出ではその影響を評価できるように条件毎に複数のパターンでの検証が必要である。

三浦半島西岸ではアラメ・カジメが優占種であり、これらの海藻の遊走子の移流距離は一般に数十mと短い。そこで、遊走子が放出される流動場を良く理解し、流れが速い場所の下流側に着底基質があれば、広域に遊走子を供給できる可能性がある。2018年の磯焼けでアラメの母藻が極端に衰退したことから、神奈川県全域を対象に残存するアラメ母藻を確保し、流況パターンを参考に効果的な播種位置の選定、植食動物の除去を実施し、藻場の効率的な拡大方法を検討する必要がある。

藻場調査手法に関するマニュアル素案

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について
- 5 藻場調査方法
 - (1) 潜水調査
 - (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) 藻場モニタリング手法の比較
- 6 調査結果の取りまとめ方法
 - (1) 調査計画について
 - (2) 調査結果の取りまとめについて
 - (3) 空撮画像の解析方法について
- 7 複数の調査手法を組み合わせた方法
- 8 課題
- 9 参考資料

※ マニュアルの内容の理解を深めるため、コラム等を設ける。

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 月に示している。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、俯瞰的に海域環境の変化を把握することの重要性を指摘している。

藻場のモニタリング手法については、人口衛星画像、航空写真、無人航空機（ドローン等）による空撮画像を用いる方法、船上から目視によって確認する手法、音響測深機や水中カメラを用いる方法や潜水によって確認する手法があるが、調査範囲の広さや調査目的に応じて適切な方法を採用するなど、複数の調査方法を組み合わせて実施することによって効率的に実施できるものと考えられる。

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」における藻場の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を言う。 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を言う。 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を言う。 NPO：藻場の保全回復活動を行う組織を言う。
被度	海藻が海底面に占める割合 一定面積内で直立海藻の真上からの投影面積の合計が占める割合

景観被度	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。
底質被度	
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 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、藻場調査の代表的手法である潜水調査の他各種調査手法について、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空撮画像の解析等かなり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(3) 藻場調査の目的別調査方法の選択」に示した設問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、藻場衰退要因の把握、磯焼け対策効果の検証、経年変化や他海域との比較等が考えられる。得られる情報・精度は、海藻の種類、量、底質の状況、植食性生物の種類、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。また、調査対象範囲によっては、物理的、費用的に困難な場合もある。以下、ア～エに考えられる藻場調査の目的を挙げる。

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 藻場衰退要因把握（食痕の有無、形状、食害生物の確認）

藻場現象要因を把握するには、海藻の繁茂状況だけではなく、食害生物の成育状況、海藻の食痕の状況等を把握する必要があることから、情報量が多く精度の高い調査が出来る潜水調査、船上調査の実施が必要となる。

ウ 磯焼け対策効果の検証

植食性生物の駆除効果等を把握するには、海藻の繁茂状況だけではなく、食害生物の成育状況、海藻の食痕の状況等を把握する必要があることから、情報量が多く精度の高い調査が出来る潜水調査、船上調査の実施が必要となる。

エ 経年変化(他海域)の比較

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について

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。

※ 最終的にフローチャートに整理するが、設問の流れとしては次のようなイメージで

設問1 藻場調査はどのような目的ですか。

- 1 ○○地先の藻場の状況（海藻の種類・密度等）を知りたい。
- 2-1 ○○湾の藻場の状況（藻場の面積、海藻の種類・密度等）を知りたい。
- 2-2 ○○湾の藻場の状況（藻場の面積、細かい分類不要）を知りたい
- 3-1 ○○灘（地域）の藻場の状況（藻場の面積、海藻の種類・密度等）を知りたい
- 3-2 ○○灘（地域）の藻場の状況（藻場の面積、細かい分類不要等）を知りたい
- 4 県全体の藻場面積を知りたい。
- 5 関東地方の藻場面積を知りたい。

設問1で1を選択した場合

設問2 調査は誰が行いますか。

- 1 自ら調査しますか。
- 2 誰かに調査を依頼しますか（県の水産試験場・民間の調査会社・その他）。

設問2で1を選択した場合

設問3 潜水して調査を出来る人・機材はありますか（ある・なし）。

設問3で1を選択した場合

設問4 潜水して調査を出来る人・機材はありますか（ある・なし）。

設問4 「なし」と答えた場合 → 「船上から観察する方法」
「水中ビデオ・カメラによる方法」にたどり着く

※ 詳細な設問の内容については、来年度からより細かく検討する。

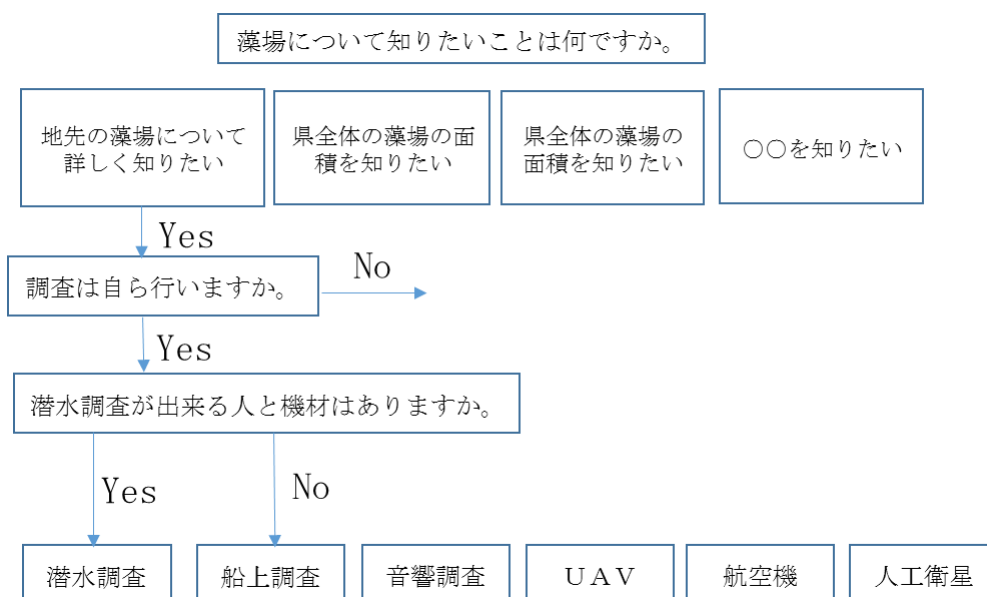


図 4-(3)-1 藻場調査手法選択フローチャートのイメージ

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、方法）、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、ダイバーが方形枠（コドラート）やトランセクトを設置し、藻場の海藻種や被度、底質の状況、植食動物の分布などを把握する。

ア 実施方法について

1) 方形枠（コドラート）による藻場調査

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

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。

b 実施方法

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その中に含まれる海藻分類（大型海藻か小型海藻）、種、被度、底質、植食動物（ウニ類や巻貝類など）を記録する。方形枠を置いた状態の写真を撮影する（図 5-(1)-1）。

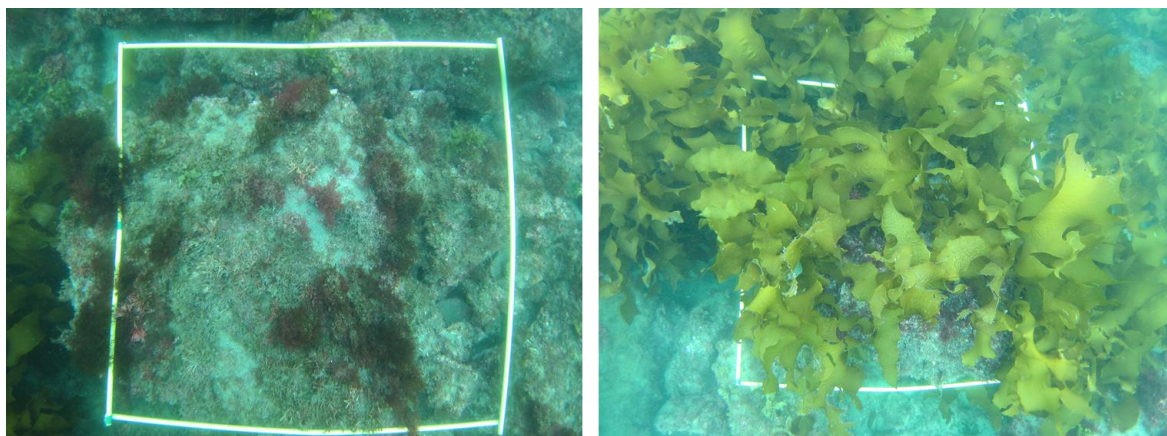


図 5-(1)-1 方形枠の設置写真。左はマクサ、右はクロメに置いた方形枠の写真

2) トランセクトによる藻場調査

a 使用機材

小型船舶、潜水機材、野帳ボード、ロープまたは 50m 巻き尺、おもり、浮き、方形枠、カメラ+防水ハウジング、GPS

b 実施方法

岸沖方向など水深帯ごとに藻場分布を調べたい場合に行う方法。沿岸の岸沖方向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一定距離ごとに、海藻種、被度、底質、植食動物（ウニ類や巻貝類など）を記録する（図 5-(1)-2）。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

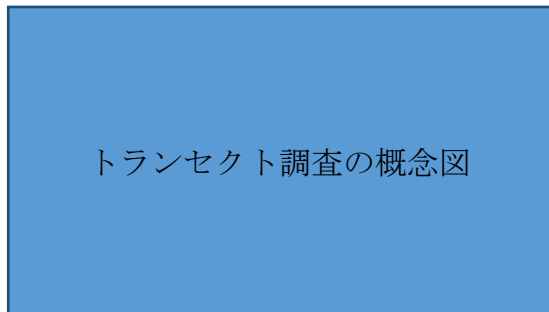


図 5-(1)-2 トランセクト調査の概要図と調査風景
からの距離を基に算出する。

海藻の被度について

被度とは～（磯焼けガイドラインの P150 のように）（図 5-(1)-3）

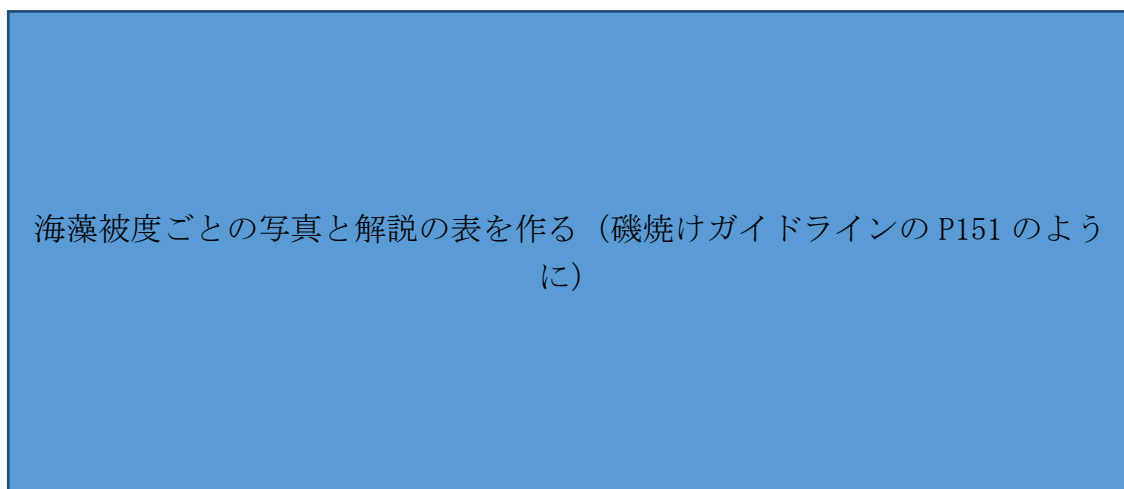


図 5-(1)-3 海藻被度ごとの方形枠内の海藻の繁茂状況

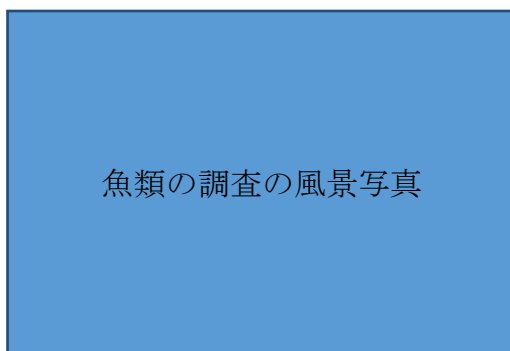
3) トランセクトによる植食魚分布調査

a 使用機材

小型船舶、潜水機材、野帳ボード、50m 巻き尺、おもり、浮き、方形枠、カメラ+防水ハウジング、GPS

b 実施方法

植食魚の分布を調べるための調査。沿岸の岸沖方向などに巻き尺の先におもりつけて海中に沈め、巻き尺の目盛りをもとに一定距離（25m や 50m など）



の調査ラインを作る（図 5-(1)-4）。GPS で調査ラインの初めと終わりの位置を記録し、ライン上に出現する植食魚の種名、全長、個体数、野帳に記入する。海藻種、被度、底質も記録しておく、植食魚と海藻の関係を類推できる。

イ 取得可能情報
実施方法 1)～2)

図 5-(1)-4 魚類調査の様子の写真

どちらの方法でも、藻場の種類や被度、底質、周辺の植食性動物の状況などで、どの情報も非常に細かいところまで得られる。
実施方法 3)

植食魚の種や成長段階、トランセクトあたりの密度がわかる。

ウ 調査範囲
実施方法 1)～3)

地先で地点ごとに行うプロットや側線上、エリアなど 1km²以内と比較的狭い範囲。

エ 空間精度
実施方法 1)～3)

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
実施方法 1), 2)

他の手法を適用する場合でも、潜水観察によるデータは空撮画像によるマッピングの教師データとして併用が可能である。

カ 技術的課題
実施方法 1)～3)

地点やトランセクト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
実施方法 1)～3)

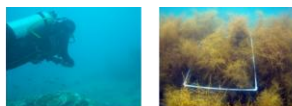
自前で潜水するのであれば無料。委託する場合は 50m ライン当たり約 7 万円、平方キロメートル当たり 1650 万円という事例があり、広い範囲を対象にすると高額になる。

ク 時間
実施方法 1)～3)

調査点間の距離にもよるが、藻場のコドライト調査だと 1 日あたり～30 地点（22～43 分/3～4 点）、トランセクト調査だと～10 トランセクト程度（1 トランセクトあたり 40～60 分/80～110m）

ア～クをまとめると以下のようなになる（図 5-(1)-5）。

①潜水調査



《方法》

ダイバーがコドラートやトランセクトを設置し、調査地点、側線、エリア内の藻場を観察

取得可能情報 種類：◎(種名まで) 被度(%)：○ 底質：○ 周辺環境：○	調査範囲 地先 プロット、側線、エリア (0.0001~1km ²)	時間 点調査 22~43分/3~4点 ライン調査(1ラインあたり) 40~60分/80~110m
技術的優位性 他手法を適用する場合も 教師データとして併用可	技術的課題 海藻の同定ができる者が 必要	コスト 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 ² (1,000m×11側線)
空間精度 調査プロット内で ほぼ100%判別		

図 5-(1)-5. 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は、藻場調査の手法として古くから行われてきた。船の上から箱メガネや水中カメラ等を用いて藻場を観察して情報を収集する。また、簡便にダイバーが藻場の外縁に沿って海面を遊泳して調査する方法もある。

ア 実施方法について

1) 箱メガネによる藻場調査

a 使用機材

小型船舶、箱メガネ、カメラ、測深機、GPS

※小型船舶は、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。

b 実施方法

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、藻場の外縁を確認し、GPSによって、その位置を決めて地図に記入する。目視観察が困難な場合はケーブル水中ビデオカメラによる観察を組み合わせる。

2) ケーブル水中ビデオカメラ

近年、比較的安価なケーブル水中ビデオ・カメラやROV（水中ドローン）が市販されており、これらのカメラを使用して船上から藻場を観察し底質被度・景観被度等のデータを取得することが可能になっている。

ケーブル水中ビデオ・カメラを使用した藻場調査方法には、船上から吊り下げたカメラを低速で進みながらデータを取得する方法（ライン調査）と定点で船を停止してデータを取得する方法（スポット調査）がある。また、船上からROVを操作して移動しながら藻場内を観察する方法もある。

また、ケーブル水中ビデオ・カメラによる単独の調査だけではなく、船上から観察する

方法との併用や音響工学による方法、空撮画像による方法の教師データを得るために実施することもある。

a 使用機材

ライン調査、スポット調査も機材は基本的に同じものを使用

小型船舶、ケーブル水中ビデオ・カメラ、測深機・魚群探知機、GPS

※小型船舶は、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

低価格のケーブル式水中ビデオ・カメラは各種販売されているが、購入に当たっては解像度、録画方法、ケーブル長について注意する必要がある。解像度の低い機種は低価格であるが、小型海藻の種類を判別するのは難しいので、調査目的によって適切な解像度の機種を選択する必要がある。録画方法は、通常のビデオ画像で保存する機種が多いが、(株)ジムクオーツのUnderwater camは、同社製の魚群探知機をモニターとして使用する場合には、静止画でしか保存出来ないので注意が必要である。

ケーブル長は、藻場が水深20m程度まで広がっている場合や潮の流れなどによりカメラ部分が流されることを考慮するとケーブル長は藻場の水深より余裕を持つ必要がある。

○ 測深機・魚群探知機

調査海域の水深を把握するためには、ポータブル測深機により測深する。なお、魚群探知機を使用すれば、連続的に海底地形を把握することが可能である。機種によっては、大型海藻の有無、底質の状況もある程度把握することが可能である。

○ GPS

藻場画像を撮影した地点を記録するためハンディGPSが必要である。

b 実施方法

① ケーブル水中ビデオカメラを用いたライン調査

ライン調査は、予め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。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すること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。

② ケーブル水中ビデオカメラを用いたスポット調査

予め、調査対象海域に等間隔に調査点を設定し、ケーブル水中ビデオ・カメラで藻場を観察し野帳に被度等を記録するとともに、画像を録画する（画像だけ記録し、後ほど録画画像から被度等を測定する）。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名で、一点あたり数分で観察できる。

3) ROVによる藻場調査

a 使用機材

○ 船舶

使用するROVによって調査に使用する船舶の大きさ等が異なってくる。水中ドローンと呼ばれる安価で小型のROVは、1トン未満の船外機船でも使用可能である。

○ ROV

外海で使用する場合には、推進力がある機種を使用する必要がある。

○ 測深機・魚群探知機及びGPS

ケーブル水中カメラと同様のものを使用する。

b 実施方法

調査対象海域をROVを走行させて、藻場を観察・記録する。トランスポンダーを装備したROV以外は、ROVの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を操縦するには、習熟しないと円滑に動かすことは難しい。また、水中ドローンと呼ばれる小型のROV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ことがある。

イ 取得可能情報

実施方法 1)～3)

海藻の種類、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

実施方法 1)～3)

地先で地点ごとに行うプロットや側線上、エリアなど1km²以内と比較的狭い範囲。より広範囲(3km²)を調査した事例もあるが、地点間の距離が離れている。

エ 空間精度

実施方法 1)～3)

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。

※留意事項

- ① ケーブル式水中ビデオ・カメラのうち俯瞰式カメラでは、ダイバーが観察するのと同じような視点での広い範囲の映像が得られるが、真上からの観察や観察したい場所にカメラを近づけることが難しい。
- ② 上から海底を観察するカメラでは、カメラの画角の限界から観察出来る範囲が限られ、例えばスポット場に藻場が広がる場合や食痕のある海藻がスポット場にある場合、たまたま観察した場所によって結果にバイアスが係る恐れがある。

オ 技術的優位性

実施方法 1)～3)

技術的優位性については、潜水調査などとも比べても比較的簡便に行えることや、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点で、潜水士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

実施方法 1)～3)

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ます。

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/km²の事例がある。

ク 時間

実施方法 1)～3)

1時間当たり 20～30 地点

ア～クをまとめると以下のようなようになる（図 5-(2)-1）。

留意事項

水中ビデオ・カメラによる藻場調査は、潜水調査によらず簡単に藻場の映像が低コストで得られる。船上から観察する方法に比べて深いところの調査が可能であり、水深 20m でも観察可能である。

一方、使用するカメラの性能（撮影範囲、解像度等）によって観察できる範囲や得られる情報に限界があり空間精度は潜水調査の方が優れている。

スポット調査では、移動時間も含めて1地点 10分程度で調査を行うことができ、短時間で潜水調査に比べて広範囲を調査することが可能である。

得られた画像から底質被度、景観被度を測定するには、画像の解釈に個人差が出てくる恐れがあることから、測定手法の標準化が必要である。

ビデオの画像は、情報量が多いので予め処理方法を検討しておく必要がある。

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（図 5-(3)-1）

b 実施方法

計測側線を PC の GPS ソフト（例. カシミール 3D）などにより決め、その側線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、サイドスキャンがついていれば、左右に水深の 3～4 倍の幅で海底反射情報が得られる。



図 5-(3)-1. 魚探の船上での設置の様子

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

実施方法 1), 2)

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。

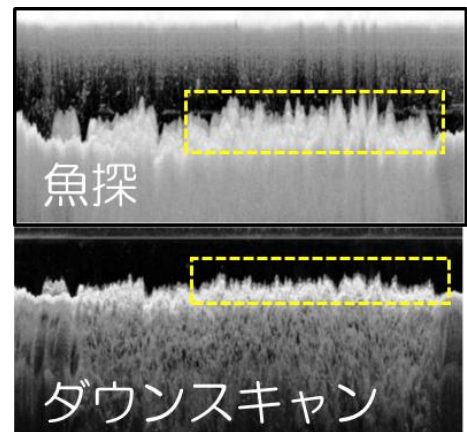


図 5-(3)-2. 魚探とダウンスキャン画面に映る海藻（クロメ）の画像（黄色点線枠内）

ウ 調査範囲

実施方法 1), 2)

地先～小湾スケールの範囲となる（0.03～12km²）。

エ 空間精度

実施方法 1), 2)

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

実施方法 1), 2)

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

実施方法 1) , 2)

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

実施方法 1), 2)

【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】

簡易サイドスキャン・測深器を用いた調査だけの場合は 20 万円/km² 程度、解析を含めると 650 万円/km² 程度となる。

ク 時間

実施方法 1), 2)

4~9 時間あたりで 1.5~4km² の範囲を調査できる

ア~クをまとめると以下のようなようになる (図 5-(3)-3)。

音響ソナー		
<方法> 魚群探知機、サイドスキャンソナーマルチビームソナー等を用い、調査側線上の藻場分布の観察		
取得可能情報 種類：△ (他手法との併用で○) 被度 (%)：△ 底質：○ 周辺環境：×	調査範囲 地先~小湾スケール 側線 (~12km ²)	時間 調査 4-9時間/1.5-4km ²
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可	技術的課題 <ul style="list-style-type: none"> ・極浅海域では船舶の進入が困難 ・他の手法による視覚情報の併用が必須 ・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 	コスト 自前： 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 ² (調査費のみ) 685万円/km ² (解析費込)
空間精度 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

(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(リモート・センシング技術センター、日本スペースイメージングなど、Planet)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。ただし、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。

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 km²～)

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/km²と幅がある。ただし、最

名護屋湾衛星画像



図 5-(4)-1. 衛星画像の例(大分県佐伯市名護屋湾)

低購入面積が決まっている場合が多い (Worldview2 は 25km²、Rapid eye 500 km²)。撮影した日が最近になるほど、解像度が高いものほど価格は高くなる。

Worldview2 は最小購入面積 25km² で日本の代理店の手数料込で 17 万円程度。

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、注文から納品まで 1 週間程度 (日本スペースイメージングの場合)。Planet の場合、契約をすませていると、ウェブサイトからすぐに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-(3)-3)。

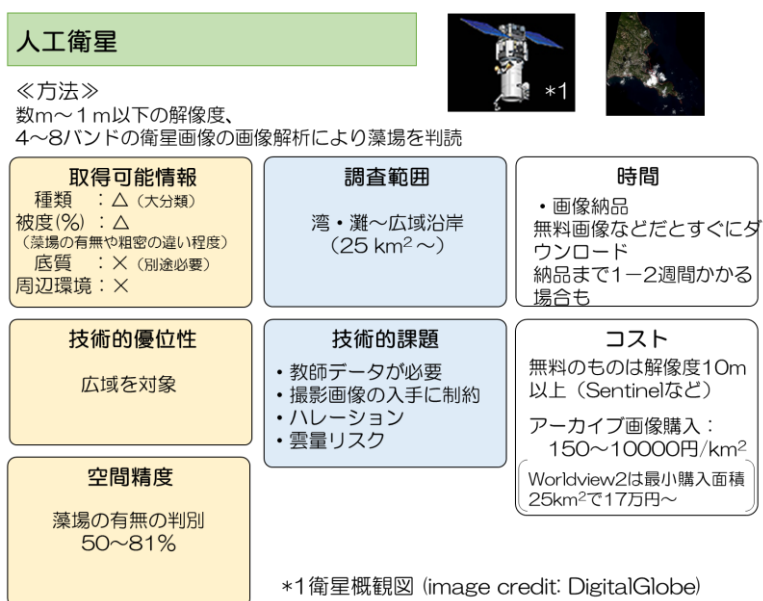


図 5-(4)-2. 衛星画像による方法に関する整理項

(5) 航空機の空撮画像による方法

ア 実施方法について

1) 航空機+Digital Mapping Camera

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。

a 使用機材

航空機、Digital Mapping Camera

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本となる。

2) 航空機+ALB (Airborne Laser Bathymetry、航空レーザー測深)

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-(5)-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。

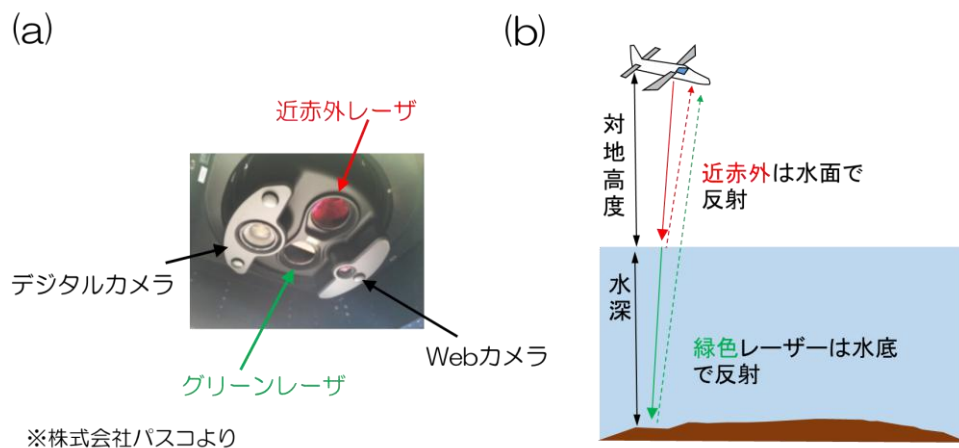


図 5-(5)-1. (a)ALB 機器の写真と (b) ALB の計測の仕組み

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

実施方法 1)

湾・灘～、沿岸（～600km²）と広域に対応可能。

実施方法 2)

湾、沿岸（～30km²）と広域に対応可能。

エ 空間精度

実施方法 1)

藻場有無の判別（65～88%）

実施方法 2)

藻場有無の判別（80%～）

オ 技術的優位性

実施方法 1)

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スペクトルカメラも利用可能である。

実施方法 2)

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。また、海面から最大水深 20m 超えまで測定できる。

カ 技術的課題

実施方法 1)

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。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。

実施方法 2)

同様に、現地データの取得が必要となる。ALB 測深高度(500m 程度)が DMC よりも低いため、広域の調査は効率が低下する。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

実施方法 1)

光学カメラでの撮影のみだと 7 万円/km²。空撮範囲 133km²のオルソ画像作成込みで 550 万円という事例あり。

実施方法 2)

ALB レーザー測深の場合、30 万円/km²。22 km²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

実施方法 1)

6-8 時間/360-554km²空撮した事例あり。

実施方法 2)

6 時間で 4-27km²を空撮した事例あり（図 5-(5)-3）。

ア～クをまとめると以下のようなになる（図 5-(5)-2、図 5-(5)-3）。

航空機 (DMC)		
<方法> カラー、モノクロ、近赤外の取得画像の画像解析により藻場を判読。 解像度は高度1,200mで12cm程度		
取得可能情報 種類 : △ (大分類) 被度 (%) : △ (藻場の有無) 底質 : × 周辺環境 : ×	調査範囲 湾・灘・単県 (~554km ²)	時間 空撮 : 6時間 / 360-554km ²
技術的優位性 広域を対象 衛星画像よりも解像度高い	技術的課題 ・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	コスト 7万円/km ² (撮影のみ) 550万円/133km ² (撮影+オルソ画像作成)
空間精度 藻場有無の判別に 対応可能な精度 (65~88%)	http://aerialsurveysintl.com/DMC.html	

図 5-(5)-2. 航空機 (DMC) による方法に関する整理項目

航空機 (ALB)		
<方法> RGBに加え、近赤外とグリーンレーザーを 同時に照射することにより浅海域の水深を計測		
取得可能情報 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 : ×	調査範囲 湾、灘、単県 面的に対応可能 (~110km ²)	時間 空撮 : 6時間 / 4-27km ²
技術的優位性 ・広域を対象 ・DMCより高解像度 ・密生した大型海藻の分布 状況(形状)を把握可能 ・海面から最大水深20m 超えまで測定事例あり。	技術的課題 ・計測可能水深に限界 ・広域の場合はDMCより 効率が低下	コスト 30万円/km ² (撮影のみ) 700万円/22km ² (ALB測深及び撮影・測深 データ・オルソ画像作成)
空間精度 藻場有無の判別 80%~		

図 5-(5)-3. 航空機 (ALB) による方法に関する整理項目

(6) ドローンの空撮画像による方法

UAV・ドローン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-(6)-1）。

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、サングラス

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 6 (1) ウで今後整理する予定。

イ 取得可能情報

海藻の大まかな分類（褐藻、緑藻、紅藻など）と被度、底質などである。ガラモ場や海中林、アマモ類などは判別できる場合があるが、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

基本的に地先、小湾程度（0.004～5km²）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 500m ほどまで）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。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/12.5km²、解析も含めて40～65万円/km²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0.5km²程度(Phantom 4)。高度120m・飛行時間40分で2km²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-(6)-1)。

UAV (ドローン) 空撮		
<<方法>> 光学カメラの空撮画像(RGB)から藻場を判断		
取得可能情報 種類 : △ (藻場の種類) 被度(%) : △ 底質 : ○ 周辺環境 : ×	調査範囲 地先、小湾 (~5km ²)	時間 空撮(準備など含む) 25-40分/0.17- 2km ² (1飛行)
技術的優位性 人工衛星、航空機より 高解像度 (高度150mでも解像度約4-8cm)	技術的課題 ・解像度は高いが、 データ処理能力の制約 の可能性あり ・ハレーション ・波浪 ・計測可能水深の限界等	コスト 自前: 12~90万円 (ドローン+光学カメラ代) 委託: 10万円/12.5km ² (撮影のみ) 40~65万円/km ² (解析費込み)
空間精度 撮影範囲で正答率 66.7~81.3%		

図5-(6)-1. ドローン空撮に関する整理項目

(7) 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-(7)-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-(7)-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 ²	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 ²	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：40～2700万円 委託：20万円/km ²	調査：4-9時間 /1.5-4km ²
ドローン+RGB	△	地先、小湾	67～81% 藻場有無判別	自前：12万円～ 委託：40万円/km ²	撮影：0.5時間 /0.3-0.5km ²
航空機+DMC	△	湾、灘、単県	65～88% 藻場有無判別	7万円/km ² （撮影のみ） 550万円/133km ² （撮影+オルソ画像作成）	撮影：6時間 /13-554km ²
航空機+ALB	△	湾、灘、単県	80%～ 藻場有無判別	30万円/km ² ～（撮影のみ） 700万円/22km ² （解析込み）	撮影：6時間 /15-24km ²
人工衛星	△	湾、灘～広域	50～81% 藻場有無判別	無料のものもある 17万円/25km ² ～	無料画像はすぐDL 購入の場合は約1 週間で納品

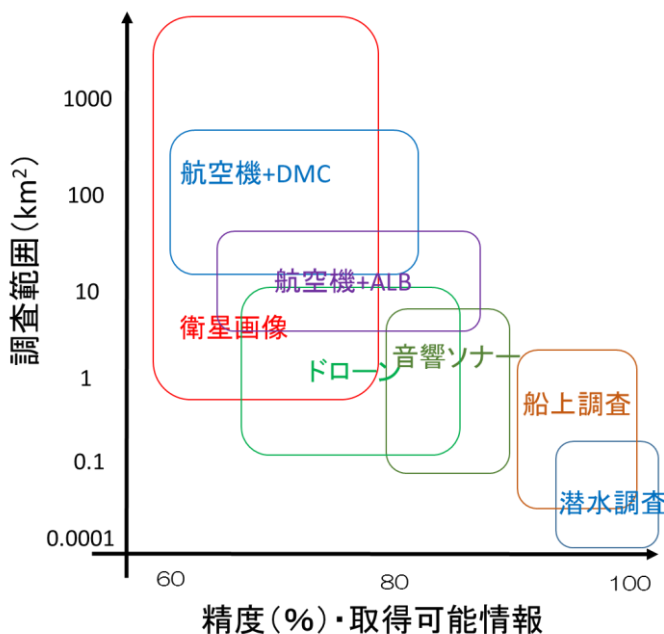


図 5-(7)-1. 調査方法の精度・取得可能情報と調査範囲の関係の簡易図

6 調査結果の取りまとめ方法

調査目的に応じて適切に藻場の状況を把握し、調査結果を過不足無く取りまとめるためには、調査計画から調査の実施、取りまとめ法について事前に十分検討しておく必要がある。

※藻場調査を実施する場合に、事前に検討すべき事項や収集する必要のある情報等のポイントを記載する。

(1) 調査計画について

調査計画の立案に当たっては、調査目的、必要とする精度等を十分に検討し、適切な調査方法を選定する必要がある。

ア 検討すべき事項

- ・調査目的

調査目的を明確にしないと、適切な調査方法が選択できない。

例えば、海藻の種類まで知りたい場合は、空撮画像による藻場判別には限界がある。

- ・調査対象海域の範囲
- ・調査精度

調査目的によって、調査すべき内容（知りたいこと）の決定 → 調査方法を選択

- ・調査密度（ベルトトランセクト法ならば、側線の間隔）

潜水調査や船上観察等の場合、必要とする面的な精度から側線等の間隔を決定する。

イ 収集する必要のある情報

- ・調査対象海域の水深や底質に関する資料
- ・藻場の分布状況

漁業者からの聞き取りなどにより、調査対象海域の状況を事前の把握することも重要。

ウ ドローンの飛行計画の設定

自前でドローンによる空撮で藻場分布を把握しようとする場合、自動操縦ソフトなどを利用して飛行計画を設定することで、効率よく画像を取得することができる。

※藻場分布把握を目的とした利用者が使いやすいように以下の項目について整理して記入予定。

- (1) 自動操縦ソフトによる飛行経路の設定について
- (2) 自動操縦ソフトによる飛行
- (3) 目視外飛行や制限空域（高度 150m 以上）に関する許可申請の方法について

国土交通省の電子申請システム (<https://www.dips.mlit.go.jp/portal/>) の利用が便利である。

自動操縦の場合は目視外飛行となるため、国交省航空局への許可申請が必要である（通

常 10 営業日ほど)。

制限空域(高度 150m 以上や人口密集地、空港近く)での飛行も、所管の航空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)。

(2) 調査結果の取りまとめについて

※ 5 までだと単に調査方法の羅列に終わる可能性があるので、各調査方法から得られた結果から最終的に対象海域の藻場を評価する手法について事例を示して記載する。

「改訂 磯焼け対策ガイドライン」の p57~58 及び p60 をイメージ

観察された画像から被度等を算出する方法について

※ 底質被度、景観被度等を算出について、野帳の例などを示して解説する。

「改訂 磯焼け対策ガイドライン」の p59 をイメージ

(3) 空撮画像の解析方法について

ドローンによる空撮画像のモザイク画像の作成、空撮画像の藻場判別のための解析には熟練や専門的な知識が必要となる。そのため、どのような手順で空撮画像から藻場分布を把握するかを解説する。

※藻場分布把握を目的とした利用者が使いやすいように記入予定

7 複数の調査手法を組み合わせた方法

広範囲の藻場を精度良く調査することは、従来から行われている潜水調査、船上調査では労力的、費用的に限界がある。このような場合には、広範囲の藻場を状況を把握できる空撮画像と現地調査を組み合わせる必要がある。

また、比較的調査範囲が狭い場合であっても、小範囲のドローン空撮や音響測量と潜水調査、船上調査を組み合わせることにより、精度を確保した上でより能率的に調査を実施することが可能となると考えられる。

※下記のような複数の調査手法を組み合わせることで効率よく藻場分布を把握する手法について記入予定。

組み合わせ候補

(1) 広範囲の藻場の空撮画像(衛星、航空機、ドローン) + 現地調査か船上調査(教師データ)

(2) 広範囲の藻場の空撮画像(衛星、航空機) + 小範囲のドローン空撮または音響測量画

像（教師データ）

(3) 小範囲のドローン空撮 + 潜水調査または船上調査

(4) 音響測量 + 潜水調査または船上調査

8 課題

(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。

9 資料

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

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）、平成 28 年 6 月 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