

ノート

遠隔操作技術を活用した海底生物相の高精度調査手法の開発と宮城県北部岩礁域における海藻およびキタムラサキウニの分布調査

成田 篤史^{*1}・長田 知大^{*2}・小野寺 淳一^{*2}・佐伯 光広^{*3}

Development of High-Precision Survey Methods for Benthic Ecosystems Using Remote Operation Technology and Distribution Survey of Seaweed and sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*) in northern Miyagi coast

Atsushi NARITA^{*1}, Tomohiro NAGATA^{*2}, Junichi ONODERA^{*2} and Mitsuhiro SAEKI^{*3}

キーワード：海藻被度，キタムラサキウニ，生息密度，水中カメラ，水中ドローン

2011年3月11日に発生した東日本大震災により，東日本沿岸では地盤沈下や津波による浸食に伴い，地形が大きく変化した。また，動植物の流出が起こり，震災以降底生生物相を中心に劇的な変化が報告されている¹⁾²⁾³⁾。吾妻らは，東北マリンサイエンス拠点形成事業で，2011年から2015年まで志津川湾において，津波によるアラメ群落の被害状況と回復過程における個体群動態について調査し，アラメの破損率が湾奥ほど高いこと，水深4.7～7.5mにおいて汚泥の再懸濁による光量の減少がアラメ幼体の成長を阻害したことなどを報告している⁴⁾。こうした状況を踏まえ，2016年に水産庁は藻場・干潟の保全・創造を推進するための基本的考え方を「藻場・干潟ビジョン」にまとめ，2020年に宮城県は「宮城県藻場ビジョン」(<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/suikisei/soshiki-suikisei.html>, 2024年9月1日)を作成して計画的に各海域の藻場の保全・創造の推進を図ることとした。気仙沼湾もその対象海域であり，着実な藻場の保全・創造のためには，海域の正確な位置，深度を把握した上で経時的に調査を行う必要がある。前述の吾妻らの調査¹⁾は潜水調査であったが，この方法は膨大な経費と時間を要し，調査者の安全にも配慮する必要があるため，多くの地点で詳細な調査を行うことは困難である。一方，間接的に海底の藻場をモニタリングする手法には，魚群探知機などの音響学的手法と人工衛星画像や航空写真などの光学的手法がある。これらの手法は広範囲を効率的にモニ

タリングするのには適しているが，得られる情報が限られており，藻場を深度ごとに詳細に調査するためには必ずしも適した手法とは言えない⁵⁾。

そこで本研究では，海域の正確な位置，深度を把握して間接的に調査を実施する手法として，水中カメラおよび水中ドローンを用いた海底生物相の画像データの取得方法を開発し，この手法を用いて気仙沼湾における海藻およびキタムラサキウニ（以下，ウニ）の分布調査を実施したので報告する。

材料と方法

1 水中カメラによる藻場及びウニの分布調査

1) 調査器具の開発

図1に示すステンレス製の枠（以下，方形枠とする）を用い，底面から1mの高さで1m平方の視野を撮影する目的で，GoPro社製の防水カメラ（GoPro10型）を方形枠に固定した。カメラは底面に対して垂直に設置されており，広角撮影が可能なため，水中で方形枠全体を視野に収めることができる。撮影モードはタイムラプスモードを設定し，5秒おきにシャッターを切るよう調整した。このカメラを用いて調査対象の画像を取得した。

GoPro10型のバッテリーは1個あたり約90分間の連続撮影が可能であり，撮影中にバッテリーが切れた場合に

^{*1}食産業振興課，^{*2}水産技術総合センター気仙沼水産試験場，^{*3}水産技術総合センター

は予備のバッテリーに交換して撮影を継続した。

方形枠にはカメラ用のマウントが取り付けることができる加工がされており、GoPro10型をハウジングに収めた上で、マウントと1/4ネジを用いて接続した。当初はGoPro付属の樹脂製マウントと樹脂製ネジ（1/4ネジ）を使用した が、このネジはヘッド部分が滑りやすく、強い締め付けができないため、水中作業中にカメラの向きや位置がずれる問題が発生した。この問題を解決するために、付属のネジをSmatree社製のアルミ製ネジ（1/4ネジ）に替えた。このネジはヘッド部分に滑り止めが付いており、強い締め付けが可能であったため、カメラのずれを効果的に防止できた。

方形枠にOnset社製の水深計を取り付けて水圧を測定した。また、調査船上の大気中にもう1台の水深計を設置し、大気圧の変化を計測することにより、水圧の測定値を補正した。取得した画像には、水深計とGPSの情報を時間で紐づけた。測定（撮影）に使用した機材と条件を表1に記載した。

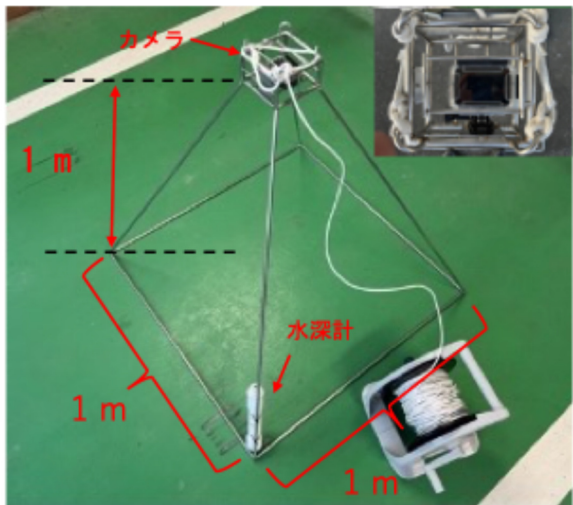


図1 調査に用いた方形枠とカメラなど

表1 使用した機材と測定（撮影）条件

カメラ	GoPro社製 GoPro10型 (同社アプリQuik で5秒ごと連続撮影の設定)
水深計	Onset社製 U20-001-02-T1型 水中用水位/温度計測用データロガー (Onset社製ソフトHOBOWare Proで 時間設定、毎秒水深を記録)
位置情報	携帯用GPS Garmin社製 eTrex22xで1秒 ごとの位置情報を記録

2) 調査地点

漁業者および漁協職員への藻場に関する聞き取り情報と自然環境Web-GIS（環境省生物環境センター編）

(<http://gis.biodic.go.jp/webgis/index.html>, 2024年9月1日) のデータを基に、概要調査と詳細調査の両調査地点を選定した。

調査対象海域全体の状況を把握するため、2022年6月～10月に気仙沼湾および唐桑半島東側の計643地点で概要調査を実施した（図2）。各調査地点では岸側に基準点を設定した上で、図1に示す装置を用いて沖合方向に約5m間隔で20m（計5地点）を撮影した。水深範囲は0～2m未満から8m以上であった（表2、3）。

その後、より詳細なデータを得ることを目的として、2023年1月に岩井崎地区において、100m×100mの区域を対象に、概要調査と概ね同様の方法で詳細調査を実施した（表3）。詳細調査では、調査区域の開始点および区域の範囲を設定した後、沖合方向に約5～10m間隔で計10地点を測定した。この測定を10列程度繰り返し、合計97地点でデータを取得した。水深は3mから10mの範囲であった。

表2 概要調査の調査地点数と水深

水 深	0-2m未満	2-4m未満	4-6m未満	6-8m未満	8m以上	合計
地点数	151	193	124	68	107	643

表3 概要調査および詳細調査の実施年月日および地区

調 査	年 月 日	地 区
概要調査	2022年6月28日	松岩
	7月14日	鹿折
	7月14日	舞根
	7月21、29日	大島
	8月1日	岩井崎
	8月9日	鮎立
	9月14日	唐桑御崎
	9月16日	只越
	10月28日	大沢
	2023年1月20日	岩井崎

3) 調査地点での撮影方法

Google社の地図サービス ‘Google map’ (<https://www.google.co.jp/maps>, 2024年9月1日) のマイマップに調査地点を予め登録した後、iPad（Wi-Fi model）

とGNS3000 GPSレシーバー&ロガー（GNS Electronics社）をBluetoothで接続することにより、調査地点間を船で正確に移動した。

調査点では、岸に近い側から海底に撮影装置（図1）を着底させ、撮影した後、装置を引き上げて船を5m移動させ、再び撮影する作業を5回繰り返した。調査中は5秒ごとの連続撮影を行ったため、調査地点当たりの撮影枚数は調査地点の水深によって異なり、海底や海中写真を含め概ね5～20枚程度であった。これらの写真の中から、後述するPythonプログラムを用いて、水深計の変化率がほぼ0となるデータ（装置が海底に着地している状態）の写真1～5枚を抽出した。また、調査中の移動時には装置が海面より上にあるため、水深がマイナス値となるのでこのようなデータはプログラムにより除外可能であった。

4) 藻場、ウニ分布の解析方法

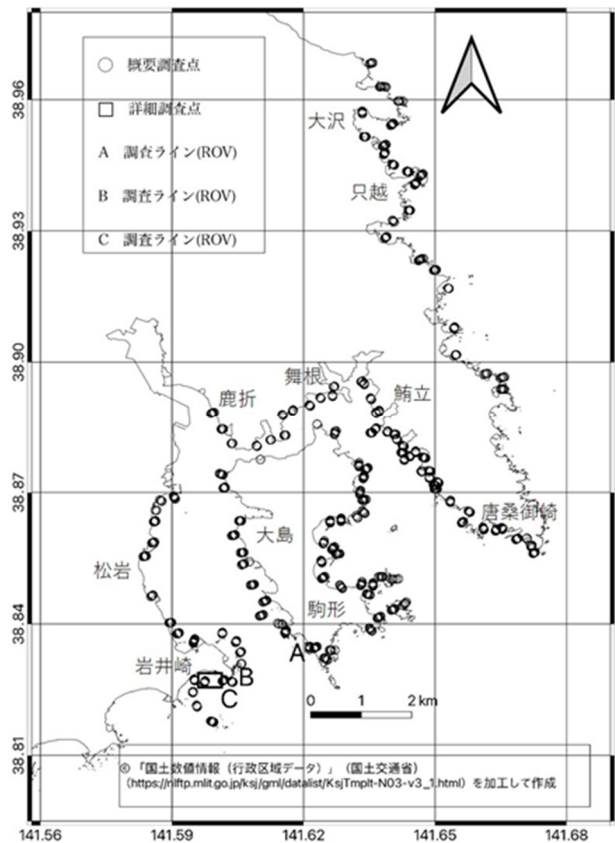
得られた写真を基に、方形枠内における海藻の種別、被度、およびウニの個体数を記録した。海藻の被度については、1回の撮影地点で得られた写真の中から1～3枚を選び、方形枠内に占める海藻の面積割合を、0%、0-20%、20-40%、40-60%、60-80%、80-100%の6段階で表した。

撮影時刻を基に、画像（写真）のExif情報、水深データ、および位置情報をPythonプログラムを用いて紐づけし、データフレームを作成した。これにより、異なるデータソースからの情報を効率的に統合することが可能となった。また、このデータフレームにフォルダ内の写真をリンクさせ、さらに写真から記録した海藻の被度やウニの個体数などのデータも追記した。この統合データフレームを地理情報システム（GIS）ソフトウェアであるQGIS (<https://www.qgis.org/>) に取り込み、海藻およびウニの分布をマップ化した。

2 ROV（水中ドローン）を使用したウニおよび藻場の分布調査

2022年11月から12月に駒形地区および岩井崎地区で合計3回にわたり、ROV（水中ドローン）を使って幅2m、長さ80から100mのゾーン内の藻場およびウニの分布を観察した（表4）。直径10mmのリング付ロープ5本（各20m）を、それぞれ2kgの錘をつないだ4個のカラビナでつなぎ1本（長さ100m）とした。この100mの錘付きロープを2本作製し、2m間隔で平行に海底に沈めた。ロープの両端

(a) 概要調査



(b) 詳細調査

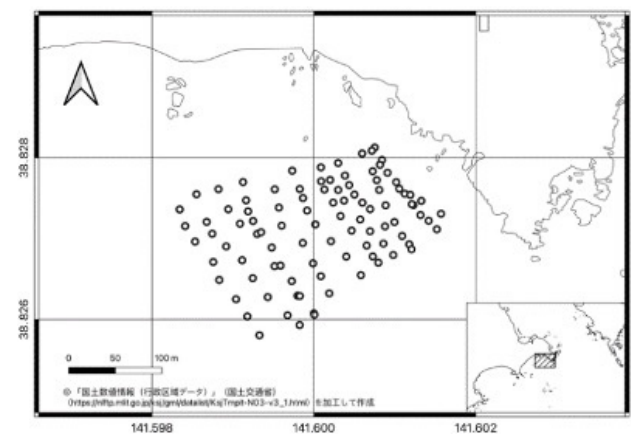


図2 概要調査、詳細調査およびROV（水中ドローン）の調査地点

にも10kgの錘を付け、その上には目印の浮き球を付けて位置を水上から確認できるようにした（図3）。これをガイドにしてROV（水中ドローン: QYSEA FIFISH V6）を沈め、2本のロープが視界に映る深度（水深1～6m）で80～100mのコースを直進させ、カラビナの位置により20mごとの地点を確認しながら動画を撮影した（図4）。

表4 ROV（水中ドローン）調査の実施年月日と地区

調 査	年月日	地区
Aライン	2022年11月28日	駒形地区
Bライン	12月21日	岩井崎地区
Cライン	12月20日	岩井崎地区

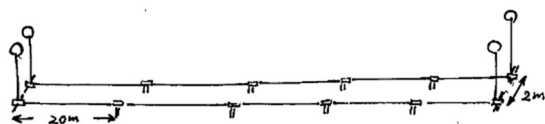


図3 ROV（水中ドローン）による藻場、ウニ分布調査のガイド



図4 調査に用いたROVと調査の模式図

結 果

1 水中カメラを用いた藻場およびウニの分布調査

方形枠付きの水中カメラで撮影した海藻とウニの写真を図5に示した。いずれも鮮明な画像で海藻の種類や被度、ウニの数量を計数することが可能であった。概要調査の643地点の画像情報を基に、海藻の被度およびウニの密度を地図上に示した（図6～図12）。

1) 海藻・海草の被度

概要調査の調査地点における全ての海藻の被度（図6）は、水深0から2m未満で平均39.8%（0-100%）、水深2から4m未満で平均18.5%（0-100%）、水深4から6m未満では平均14.6%（0-100%）、水深6から8m未満では平均9.4%と水深が深くなるにつれて減少し、水深8m以深では平均5.2%となった。

アマモ（図7）は主に砂泥層（松岩）に分布していることを確認でき、岩礁に生息するスガモの被度と合わせると、水深0から2m未満で平均12.1%（0-100%）、水深2から4m未満で平均9.6%（0-100%）、水深4から6m未満

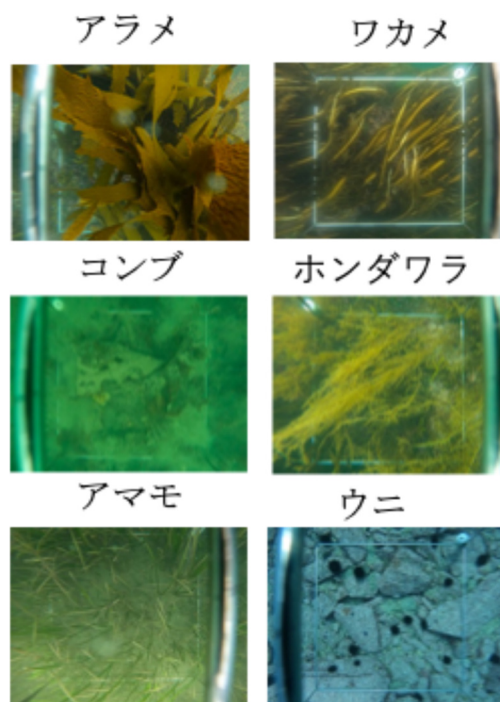


図5 本装置で撮影された海藻・ウニの画像

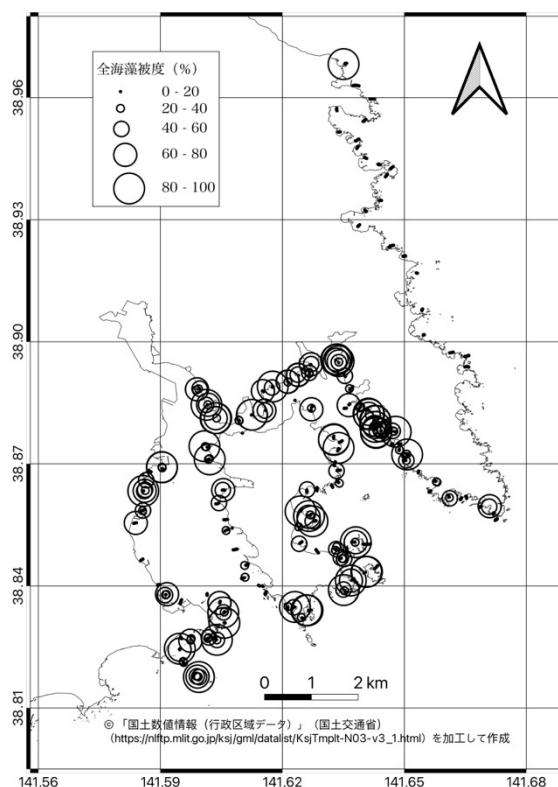


図6 全ての海藻の分布図

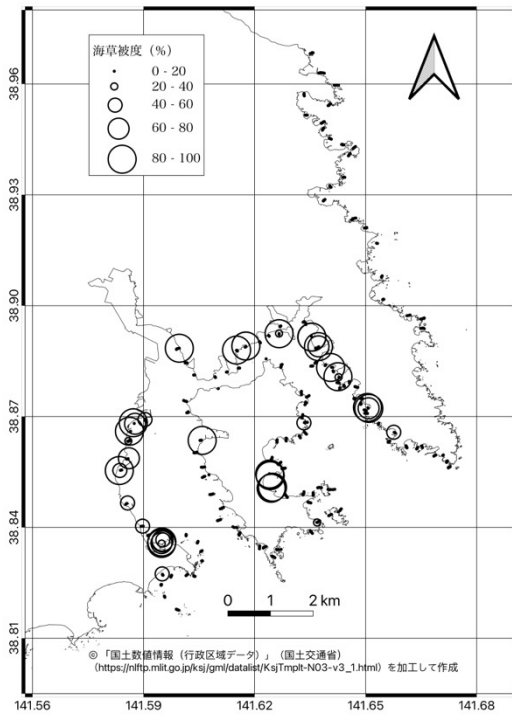


図7 アマモ場の分布図

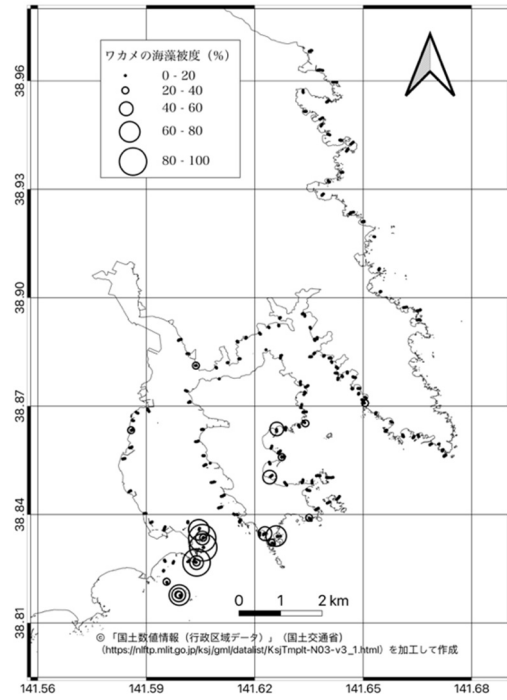


図9 ワカメ場の分布図

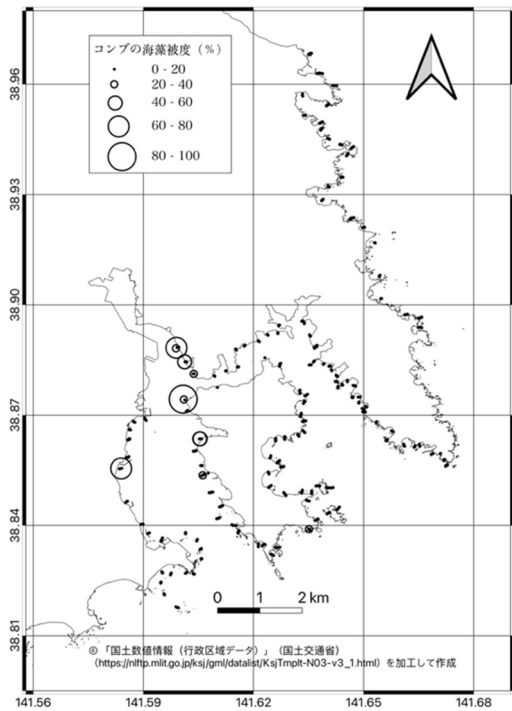


図8 コンブ場の分布図

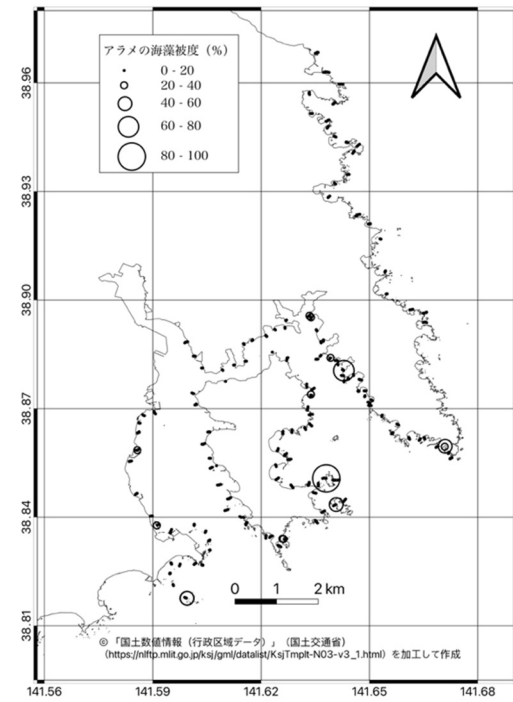


図10 アラメ場の分布図

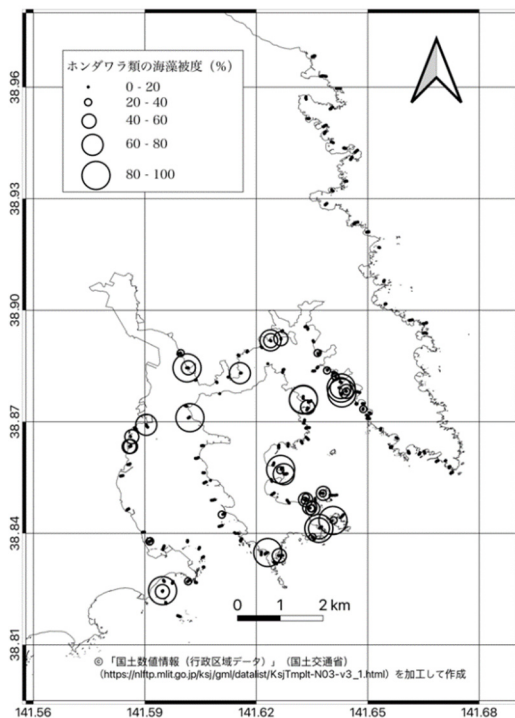


図11 ガラモ場の分布図

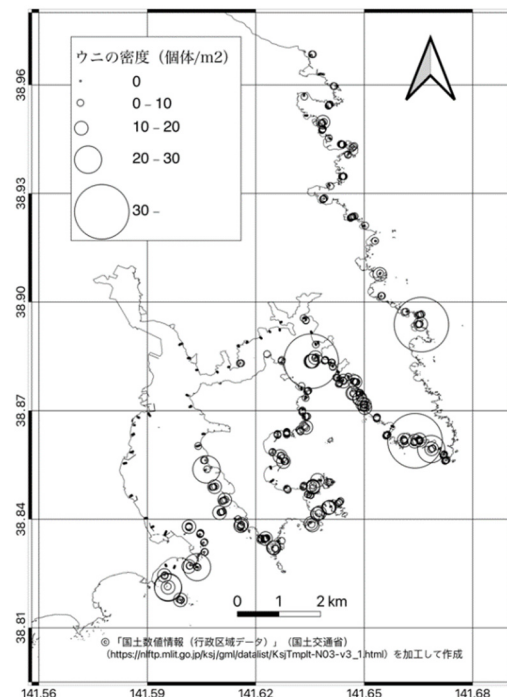


図12 ウニの分布図

で平均1.9% (0-100%) であった。また、各深度とも分布している地点と全く分布していない地点との差が大きく、ほとんど分布していない地点が数多くあった。

コンブの分布 (図8) は、湾奥 (鹿折) の砂地近くの

岩や軽石上に認められ、被度は水深0から2m未満、水深2から4m未満ではそれぞれ平均0.3% (0-20%), 平均0.5% (0-80%) と非常に低かった。一方、水深6から8m未満で平均4.6% (0-60%), 水深8m以深で平均2.0% (0-100%) とやや高かった。また、地域により差が大きかった。

ワカメ (図9) とアラメ (図10) は、ともに岩礁域の水深が浅く波あたりの強い場所 (岩井崎, 大島の東側) に認められ、ワカメがアラメより広く分布していた。ワカメの被度は水深0から2m未満で平均5.1% (0-100%), 水深2から4m未満で平均2.2% (0-70%), 水深4から6m未満で平均3.2% (0-70%), 水深6から8m未満で平均0.6% (0-20%) で水深8m以深では観察されなかった。アラメの被度は水深0から2m未満で平均3.2% (0-100%), 水深2から4m未満で平均1.4% (0-60%) であった。

ホンダワラやアカモクなどのガラモ (図11) は、気仙沼湾 (松岩, 鹿折, 舞根, 大島, 岩井崎, 鮎立) に広く分布していた。被度は水深0から2m未満で平均14.0% (0-100%), 水深2から4m未満で平均4.9% (0-90%), 水深4から6m未満で平均3.1% (0-100%), 水深6から8m未満で平均0.7% (0-20%), 水深8m以深で平均0.4% (0-30%) であった。

2) キタムラサキウニの分布

ウニ (図12) は、岩井崎や鮎立等の岩礁地に高密度で分布している一方で、砂地や波の強い浅瀬には少なかった。水深帯ごとの密度は、水深0から2m未満では平均0.8個体 (0-16個体/m²), 水深2から4m未満では平均6.8個体 (1-35個体/m²), 水深4から6m未満では平均6.8個体 (1-46個体/m²), 水深6から8m未満で平均3.8個体 (0-25個体/m²), 水深8m以深で平均3.3個体 (0-39個体/m²) であった。

3) 水深別の海藻被度とウニの生息密度

図13に岩井崎地区, 図14に大島地区, 図15に唐桑地区 (舞根, 鮎立, 唐桑御崎, 只越, 大沢) の水深別の海藻種ごとの被度とウニの生息密度を示した。

岩井崎地区では、アラメが水深2から3mで約10%の被度を示したが、水深4m以深では確認されなかった。アラメの分布は局所的で濃密に繁茂する範囲が限られていた。なお、装置で撮影できなかったが、浅い水深 (三陸復興国立公園周辺の水深0から2m帯) ではアラメが繁茂していることが目視により確認された。ウニは2m以深で確認され、水深6m付近で高密度であった。

大島地区では、アラメは水深2から3mで数%の被度を示したが、水深4m以深では確認されず、分布は散在的だった。浅い水深（0から2m）ではホンダワラが多く、深い水深（6から8m）ではコンブが高い被度を示した。また、ウニ密度は水深4mで最も高かった。

唐桑地区では、アラメは水深1から2mで約10%の被度を示したが、水深4m以深では確認されず、分布は局所的であった。一方、ワカメやホンダワラ類は広範囲に分布し、水深3mまでの海域では比較的海藻被度が高かった。ウニは調査した全水深帯で見られ、特に水深3から5mで密度が高かった。

4) 詳細調査の海藻被度とウニの生息密度

岩井崎地区の詳細調査の97地点の画像情報を基に、海藻の被度およびウニの密度を地図上に示した（図16～図17）。

海藻被度とウニ密度の分布に地点差が見られた。調査区域の東側の岸寄りでは、ウニの生息密度が高く、海藻被度は低かった。一方、西側では、その逆であった。調査区域の海藻組成は主にアラメで構成されていた。調査地域は東西に岩礁帯が広がり、その間を砂地が挟む地形を有していた。また、ウニ密度は、平均4.3個体/m²、特に高い箇所では、20個体/m²を超える地点も確認された。

2 ROV（水中ドローン）を使用したウニおよび藻場の分布調査

ROV（水中ドローン）により撮影した海底の写真を図18に示した。画像はいずれも鮮明で、海藻の種類やウニの生息数を十分に確認できた。

Aラインでは、ウニの個体数は1,160個体/80m（7.3個体/m²）、大型海藻類は少なく無節サンゴモが優占していた。Bラインでは、ウニの個体数は1,714個体/100m（8.6個体/m²）、無節サンゴモが優占しており大型海藻類はなかったが、岸側でアラメが見られた。Cラインでは、ウニの個体数は696個体/100m（3.5個体/m²）、点在する人工ブロック上に無節サンゴモが優占しており大型海藻類はなく、岸側で紅藻が見られた。

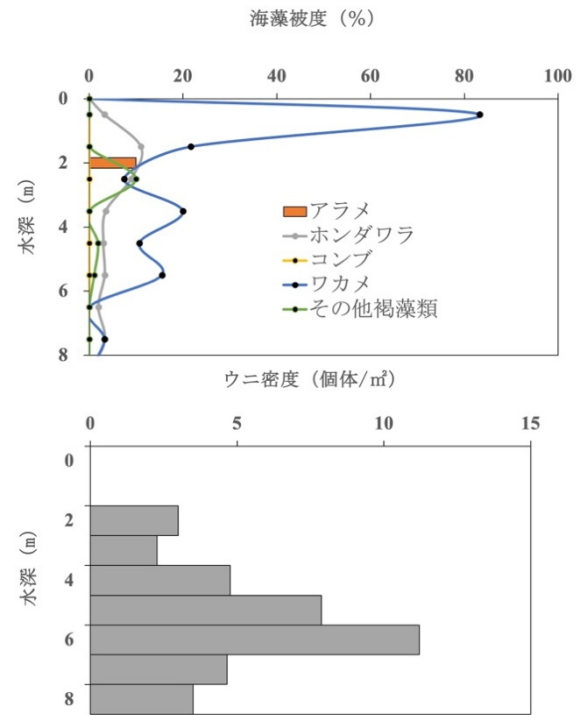


図13 海藻種の被度とウニの生息密度および水深の関係（岩井崎地区）

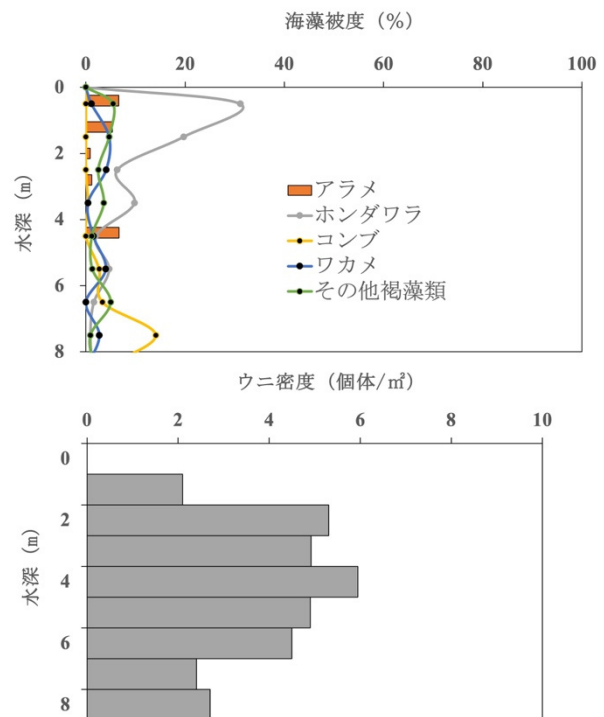


図14 海藻種の被度とウニの生息密度および水深の関係（大島地区）

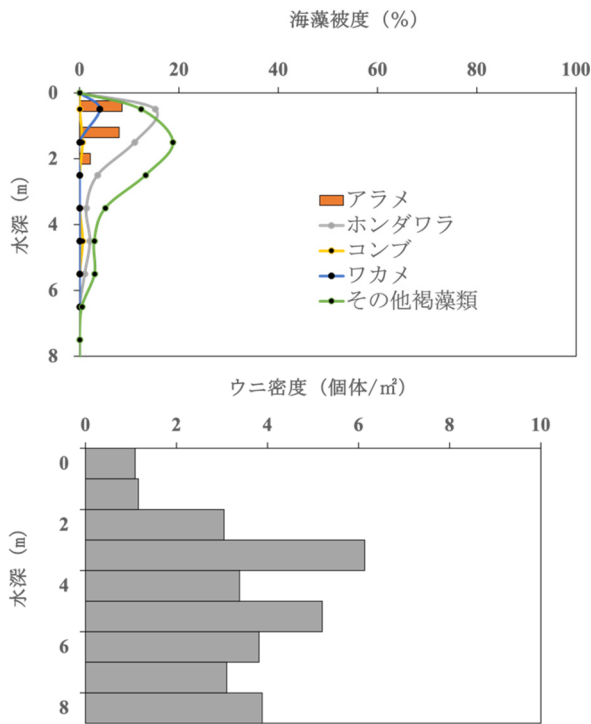


図15 海藻種の被度とウニの生息密度および水深の関係 (唐桑地区)

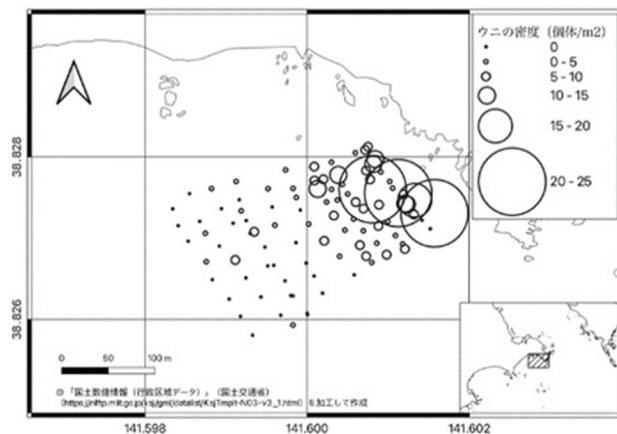


図16 岩井崎周辺海域の海藻の分布

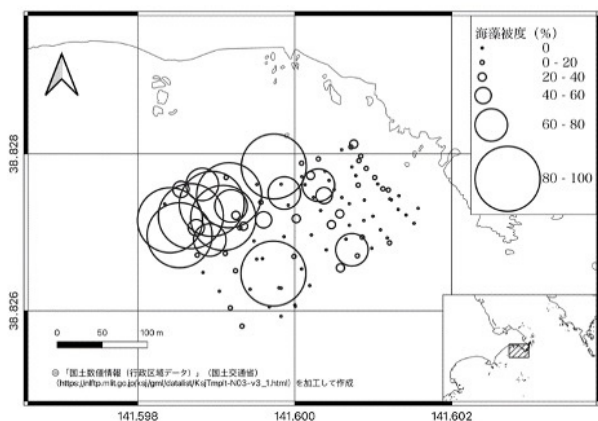


図17 岩井崎周辺海域のウニの分布

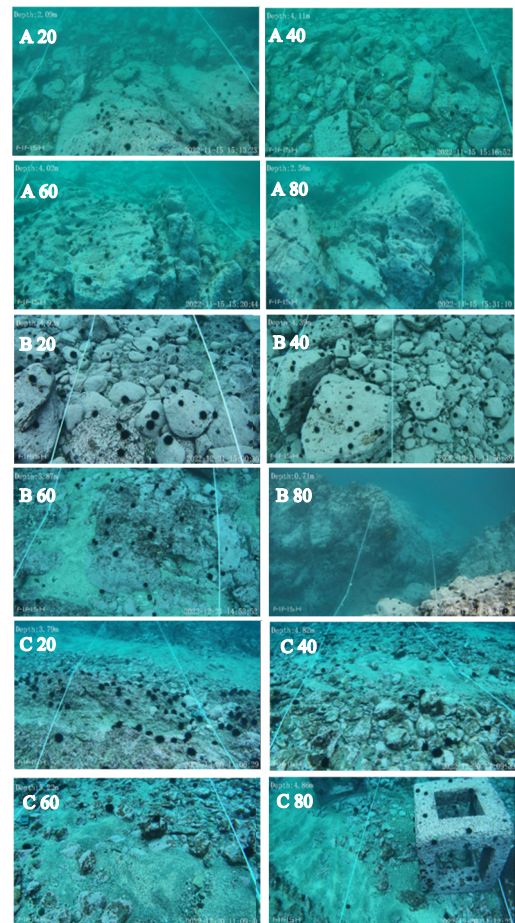


図18 ROV (水中ドローン) で撮影された海底の画像
※アルファベットはライン名, 数字は岸側からの距離 (m)

考 察

1 水中カメラ, 水中ドローンを用いた新しい海底生物相の調査手法

本報で提案した水中カメラを用いた海底生物相の調査手法は、静止画像を一定間隔でカメラ、水深計、GPSの異なる3つ媒体から取得した時間を結合するため、画像1枚ごとに数秒程度のタイムラグは生じるものの、正確な位置や深度の観察が困難な箱メガネによる観察法やドローンからの空撮、衛星画像の取得と比較して、正確な位置、深度と紐づけされた大量の鮮明な画像を取得、解析できる点で優れている。

さらに、本研究の詳細調査のように、撮影位置が特定された海底画像をつなぐことにより海底のある程度の面積 (100m×100m程度) を解析することが可能である。これにより、広域にわたる環境評価や生物相の分布解析が効率的に実施できる。

一方、水中ドローンの調査手法においては、鮮明な動画をリアルタイムで取得できる点が特長であり、連続動画を用いた詳細な観察に適している。また、水中ドローンには水深計が内蔵されており、撮影時に画面上に水深が表示されるため、深度情報を確認しながら調査を進めることが可能である。本法はGPS情報との連携機能がないため、正確な位置記録においては水中カメラ調査に比べて劣る。しかし、ガイドロープの活用や一定間隔で目印（本報では、20mごとの地点にカラビナ）を設置することで位置情報を補完し、位置を記録した動画を取得、解析することが可能である。

また、いずれの調査においても、調査者が水中に潜らず海底の画像取得が可能であるため、調査者を危険にさらすことなく、現地の生物相データを容易に収集できる。このことから、潜水による調査に比べて多くの地点で繰り返し調査を行うことができる。さらに、大量の画像データが得られることから、必要に応じて検証や修正を加えることもできる。東日本大震災で広い海域の生物相が大きく変化し、漁場再生のための藻場の回復が求められる本県三陸沿岸の調査を進める上で有力な手段となることが期待される。

調査を進める中で課題も浮き彫りになった。今回の調査時期の気仙沼湾奥の一部は海中の透明度が低く、鮮明な写真を撮るのが難しいケースが散見された。前日の天候など海水の透明度に影響する条件を吟味して調査を行うことが重要である。また、本研究で開発した装置は、カメラを海底から1mの距離に固定しているため、深度1m以下では撮影できない制約がある。今後は1m以浅で撮影可能な手法の開発が必要と考えられる。さらに調査を進めながら装置の問題点の抽出と更なる改良を進め、より精度を高めていくことが重要である。

2 海藻種とウニの分布について

本研究では、2005年に広域的な藻場調査²⁾が行われて以来、同様な調査が行われていなかった気仙沼湾で、海底の生物相に関するデータを取得することができた。また、得られたデータは正確な緯度経度と紐づけされており、今後継続的に生物相の変化をモニタリングして比較していくための基礎資料となるものである。

これまでの調査²⁾で出現したアマモ、コンブ、アラメ、ワカメ、ホンダワラは、今回の調査でも撮影された。また、ウニの密度は、過去調査⁶⁾の平均では3個体/m²以上が観察される箇所があったが、今回の調査においても、

水中カメラと水中ドローンの両方で同様の結果であった。

水深別の海藻とウニの調査では、2005年に確認されていた水深4m以深のアラメが2022年には消失しており、海洋環境の変化がその要因と考えられる。一方、ウニ密度は水深1mでは変化が見られなかったが、水深2m以深で大幅に増加し、特に水深2～6mで最も高い密度を示した。水深2～3m帯で約5倍、3～6m帯で約2倍に増加しており、これも環境変化の影響と推測される。一方で、水深7m以深ではウニ密度に変化は認められなかった。

詳細調査における岩井崎地区で確認されたウニ密度と海藻被度の分布に逆の傾向が見られたことは、いくつかの要因が関与していると考えられる。まず、ウニの摂食行動が海藻被度に大きな影響を与えている可能性がある。次に、調査区域の地形がウニと海藻の分布に影響を与えている可能性がある。すなわち、調査区域では東西に岩礁帯が広がり、その間を砂地が挟んでいる。東側と西側で水流の強さは明確には分かっていないが、ウニの生息に明らかな隔たりが見られることから、地形や環境条件がウニの分布に何らかの影響を与えている可能性がある。東側と西側での生息条件の違いについては、さらなる詳細な調査が必要である。なお、この調査区域（図2b）の右下の箇所は禁漁区であり、人為的干渉が少ないため、調査環境として適している。今後、この区域における継続的な調査を通じて、生態系のさらなる解明が期待される。

今回の調査により、気仙沼湾における夏季の大型海藻類とウニの分布が明らかになった。今回特定された海草や海藻が密集している地域は、これらの生物種を含む生態系にとって重要な地域であり、今後湾内の生物相を豊かにするための核となる地域であると考えられる。こうしたデータを基に、漁場再生のための藻場造成地点を選定することで、造成の成功率を高めることが期待される。

また、潜水を伴わない調査は、調査地点を比較的容易に増やすことが可能である。今後、この方法を用いることで、より広範囲に調査を進めることが可能となり、三陸沿岸における漁場再生を図る上での基礎資料を得られるものと期待される。

ウニの密度および分布は、海底の生物相に極めて大きく影響するものであり、この情報が位置、深度とも正確に把握できたことは、今後漁場を管理する上で大きな意味を持つと考える。こうした情報の取得を進めることでウニの移植や陸上における畜養も含めた海洋資源管理

がより安定して進められることも期待される。

本研究の概要調査は6月から10月に実施されたが、この時期はワカメ、コンブ、ホンダワラなど一部の海藻が消失する時期にあたる。そのため、調査期間の後半には海藻の量が減少している可能性が考えられる。今後、海藻がより多く繁茂している時期に今回と同一地点で調査を行い、結果の比較検討が必要であろう。

今後の研究では空中写真や衛星画像と本手法による調査結果を総合的に解析することで、空中画像による藻場分布の推定などに応用していく可能性も考えられる。そのためには更なる調査データの取得と解析が必要であろう。

要 約

- ① 水中カメラおよびROV(水中ドローン)を用いて、海藻種や海底生物の密度を記録する調査手法について検討を行った。

- ② 調査の結果、海藻やウニの分布には海域間で顕著な差が見られることが明らかになった。

- ③ 水中カメラおよびROV(水中ドローン)が、海底の海藻種や海底生物の密度を記録する調査に利用できる可能性が示唆された。

謝 辞

調査を実施するにあたり、宮城県漁業協同組合気仙沼地区支所および唐桑支所の各位より多大な御協力を頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。また、プログラミング言語のPythonについて、大変丁寧に教えて頂いた日本アバカス株式会社の今野賢氏、ならびに、本報告を作成する過程で御指導頂いた産業技術総合センターの橋本建哉総括研究員に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 吾妻行雄, 遠藤光, 堀越彩香, 青木優和(2016)震災が及ぼした岩礁域生態系の変化と回復過程. 日水誌, **82**(2), 141
- 2) 押野明夫, 齋藤憲次郎, 芳賀圭悟, 末永浩章, 三枝美穂(2011)宮城県北部岩礁域における藻場とキタムラサキウニの分布態様. 宮城県水産研究報告, **11**, 43-64
- 3) 坂巻隆史, 西村修(2014)震災による宮城県沿岸における生態系の変化. 土木学会論文集B3(海洋開発), **70**(2), I_31-I_36
- 4) 吾妻行雄, 遠藤光, 高木聖実, 堀越彩香, 猪股英里, 青木優和(2018)志津川湾における地震後のアラメ群落の動態と新たな保全技術. 日水誌, **84**(6), 1074-1077
- 5) 寒地土木研究所(2016)磯焼け対策のための間接的藻場分布モニタリング方法. 寒地土木研究所月報, **759**, 44-49
- 6) 田邊徹, 澁谷和明, 庄子充広, 押野明夫, 石川哲郎(2019)宮城県北部沿岸における 2015~2017 年のキタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* の分布状況からみた個体密度管理. 宮城県水産研究報告, **19**, 1-9