

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06209

研究課題名(和文) 着脱基質を用いた藻場造成によるウニと海藻の共生システムの構築

研究課題名(英文) Construction of a symbiotic system of sea urchins and seaweeds by creating seaweed beds using detachable substrates

研究代表者

末永 慶寛 (Suenaga, Yoshihiro)

香川大学・創造工学部・教授

研究者番号：00284349

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：東北地方沿岸部は、親潮と黒潮が衝突する潮目に近い海域で、我が国における極めて良好な漁場となっている。しかし、2011年3月に発生した東日本大震災により、海底の地盤沈下、流動場の変化および磯焼けの問題等により、現在も震災以前のような磯根資源豊かな状態には戻っていない。そこで、海藻の着生と成長が認められた「着脱基質吊り下げ法」で得られた知見を基に、新たに「浮上式投入法」を考案し、AIを用いてウニ密度に対する基質の最適な投入条件を決定した。これにより、経済的にも安価かつ高密度にウニが生息する場所でも昆布場を造成でき、ウニと昆布の両者の共生と高齢の漁業者らが安全に操業可能であるという知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

震災海域における藻場造成、磯根資源生産力の回復・向上を目的として、当該海域に様々な技術が提供されてきたが、ウニの生息密度の高さと食圧等により、効果の発現に乏しかった。その中で、昆布を対象とした藻場造成手法の開発に取り組み、海藻の着生と成長が認められた手法を見出し、高密度にウニが生息する場でも昆布場を造成でき、ウニと昆布の共生が可能となる知見を得た。本研究では、ウニによる初期食害抑制技術として浮上式基質投入法の開発と漁場規模に応じた費用対効果の算定、ウニと昆布の共生技術の効果を検証した。また、漁業者が効率的な作業を行うために、AIによるウニの生息密度に対する浮上式基質の最適な投入方法も提案した。

研究成果の概要(英文)：Coastal area of Tohoku region, which is close to the Shiome where the Oyashio and the Kuroshio collide is one of the highest fisheries catches in Japan. However, due to the damage caused by fishery ground subsidence caused by the Great East Japan Earthquake 2011. Isoyake phenomenon continues, and the catch amount tends to decline. Furthermore, the aging and reduction of fishermen triggers the decrease of catches, leading to serious problems in fisheries productivity. In this study, we develop a technology that enables symbiosis of Sea Urchin and Kombu, and to gather Sea Urchin to create seaweed bed in a cost-effective method prescribed by the MAFF. As a result, we gained a foundational knowledge in creating a sea area to construct a symbiotic technology of Sea Urchin and Kombu, that is also safe for older fishermen to use. Also, using AI we have confirmed a method to discriminate between the concentration of Sea Urchin and efficiently installation for enhancement substrate of Kombu.

研究分野：水圏環境工学，水産工学

キーワード：ウニ 藻場 浮上式基質 AI 投入方法

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東北地方沿岸部は、日本海と千島海流により形成された潮目により、多くの魚類が集まる世界有数の漁場となっている。しかし、2011年3月の東日本大震災により、地盤沈下や津波などの影響を受け、震災から8年(研究開始当時)が経過しようとしている時点でも震災以前のような磯根資源豊かな状態には戻っていない。また、漁業者の減少・高齢化と後継者不足も深刻な問題となっている。

今回研究対象とする東北震災海域は、周辺の護岸施設および沖合の防波堤の整備に伴い、湾内が静穏域となっており、高齢漁業者も比較的安全な操業が可能と考えられる。しかし、現状では高密度(一般的な磯根漁場の4倍強)に生息するウニの食害に伴う藻場の減少が著しいため、海藻とウニの共生が難しく、これまで様々な手法が試みられてきたが効果的なものは無く、未だに磯根資源量は乏しい。

上記の問題に対して、申請者は、自然エネルギーである潮の流れを制御可能な人工魚礁形状を考案し、水理実験および数値シミュレーションによる構造物設置後の流動制御機能を定量的に評価することにより、これまで不明であった構造物設置に伴う流動場の変化と生物着生量との関係を定量的に評価することに成功し、学術的独自性の高さを示している(図1)。また、海藻の母藻にダメージを与えることなく移植する技術については、新たに多孔質構造を有する人工藻場造成構造物と移設用基質吊り下げ施設を開発し、鉄筋腐食抑制機能を持つ耐久性の高い着脱可能な基質を構造物本体に装着する独自性の高い手法を考案している(図2)。



図1 着脱基質を有する藻場造成構造物



着脱基質



海藻の繁茂した基質



図2 物干し竿式着脱基質吊り下げ施設

2. 研究の目的

これまでに、震災海域における藻場造成、磯根資源生産力の回復・向上を目的として、当該海域に様々な技術を提供してきたが、効果の発現に乏しかった。その中で唯一、海藻の着生と成長が認められた「基質吊り下げ法」を見出し、高密度にウニが生息する場でも昆布場を造成し、両者の共生が可能となる知見が得られた。

本研究では、既設の磯根資源増殖機能を有する構造物に新たな海藻着生技術を付加し、震災海域における資源生産力の回復・向上と高齢の漁業者でも安全かつ安定した漁獲が確保可能な海域の創出を目的とした(図3)。

コンブとウニとの共生システム

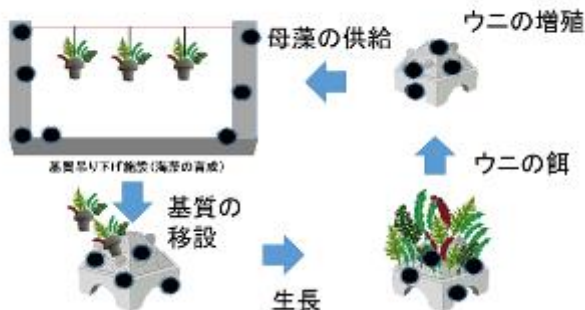


図3 ウニと海藻の共生システムのイメージ

3. 研究の方法

本研究は、2011年3月に東日本大震災により甚大な災害があった岩手県宮古市重茂地区を対象とする。研究の方法として、海藻着生機能および磯根資源増殖機能を有する構造物を対象海域に沈設し、モニタリング調査を継続的に行うことで海藻の着生状況、磯根資源の食害状況を把握しながら対策案を検討していく。

本研究では、申請者らが取得している特許をシーズにして、安定した海藻の移植が困難であった現状に対して、従来にない小型軽量化の着脱可能な基質を装備し、母藻にダメージを与えることなく所定の場所に簡単に移植可能な技術の活用による藻場、漁場造成を実現する。また、構造物設置や防波堤整備等による物理場の変化と生物資源の分布状況、行動特性との関係を定量的に解明し、海域特性に応じたゾーニング（浅場の母藻群落形成と高齢漁業者用の採貝漁業場の創出）の実現を目指す。

具体的には、これまで現地で準備してきた実構造物に、ウニの摂食圧抑制のための基質を新たに考案した「物干し竿式吊り下げ法」、「浮上式基質投入法」により設置し、海藻種糸を装着した後、海藻の生長とウニの蛸集状況を定量的に評価する。ウニにとってコンブは有用な餌となり得るため、海藻の幼体期から成体期における生長量をモニタリングし、AI を用いて海藻着生基質の適正な投入時期を決定する。

4. 研究成果

本研究では、これまで現地の漁業関係者らと協働で準備してきた実構造物に、ウニの海藻に対する摂食圧抑制のための基質を新たに考案した「物干し竿式吊り下げ法」により設置し、海藻の種糸を装着した後、海藻の生長とウニの蛸集状況を定量的に評価できた。その結果を基に、新たなウニと海藻の共生技術として、経済性、施工性、作業性（設置作業）に優れた「浮上式基質投入法」（図4）を考案し、海藻の幼体期から成体期における生長量をモニタリングするとともに、AI を用いることによる対象生物の判別およびウニの蛸集密度に対する海藻着生基質の適正な投入のタイミングを決定した。また、本手法を船上で駆使することの可能性を検討し、現地漁業者との実機実験により、考案した手法の費用対効果および現地作業での妥当性を検証した。

実際の投入時には、ロープの途中に平板を設置し、ウニの這い上がり抑制のための「ウニ返し」機能も持たせた。また、設置後の漁業者による作業性向上のために船上からロープの高さを調節でき、昆布成長後にウニの蛸集する海底へ昆布を供給できる仕様とした。2018～2021 年度の調査時に3基の基質を用いて浮上式基質投入法を実施した結果、設置後約30日の時点において、ウニの生息密度が6.0個体/m²以下の条件では、3基ともに昆布が50cm以上まで成長したことが確認できた（図5）。また、設置後90日の時点では、昆布が約2～3mまで成長したことが確認された（図6）。

昆布の成長とともにウニが生息する海底まで昆布が垂れ下がったことにより食害も一部確認されたが、昆布はウニによる食圧に耐え得る大きさにまで成長していたため、食べ尽くされることなく、食害対策の効果は有効だと示唆された（図7）。よって、浮上式基質投入法は、海藻被度の増加を担うことが可能な手法だと考えられた

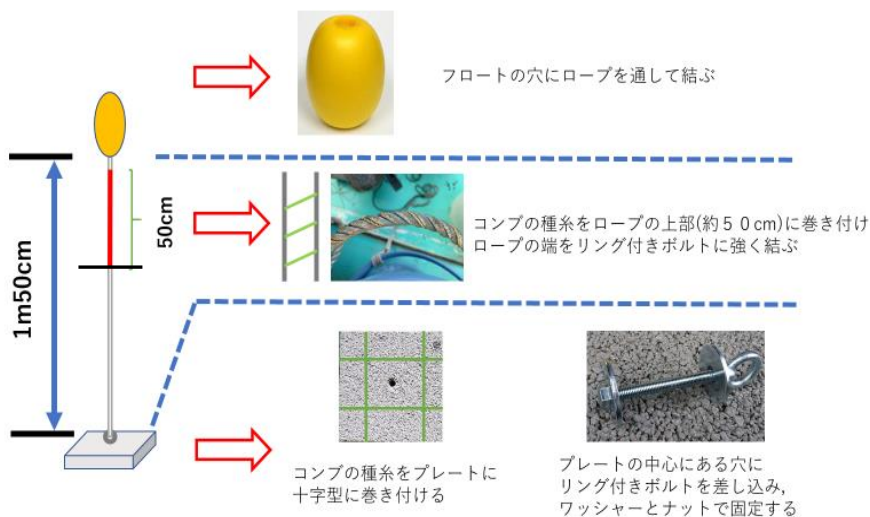


図4 浮上式基質投入法で用いる基質



図5 浮上式投入法による基質の設置状況と昆布の成長

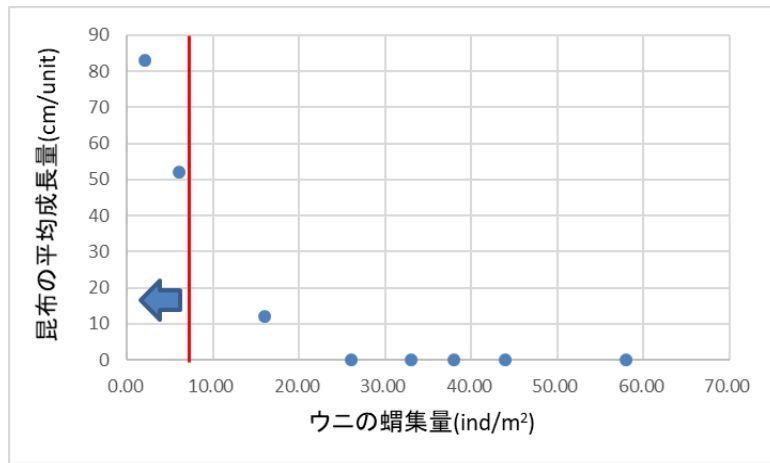


図6 ウニの蛸集量と昆布の成長量の関係（浮上式）

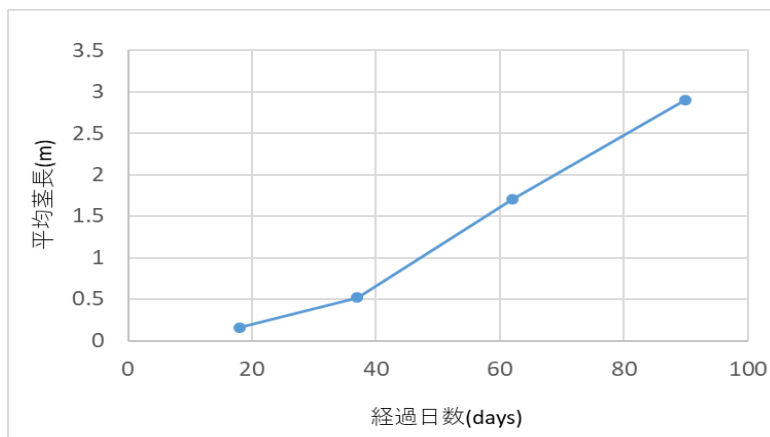


図7 浮上式基質投入法による昆布の成長量

本投入法による費用対効果について、藻場の窒素処理効果による B/C を算出した結果、1.97 となり、経済的に評価できることが分かった。本手法は、設置後の基質の回収、清掃、種糸の再設置等のメンテナンスも普通船員が 1 人で船上から作業可能なことを実証しており、潜水作業の人的費用が不要となるため、経済的な効果も期待できる。また、漁業就業者が地先海域で省力的かつ安全に操業でき、就業者の高齢化・減少という実情にも配慮した方法といえる。ただし、P/B 比の値に影響する海水温等の環境変化により費用便益比率も低下するため、今後のモニタリングが必要である。

ウニの蛸集量と基質投入後の昆布の生育状況が確認できたことから、基質投入前に船上から簡易にウニの個体数を判別するために、AI によるウニの学習と物体検出を検討した。オンライン画像検索によるウニの画像に加え、筆者らが撮影した写真や動画から抽出した画像からデータセットを構築した。

Yolov5 を用いてウニの物体検出を行ったところ、精度にばらつきが見られるもののウニを判別し、画像、映像どちらの場合においても物体検出することはできた。次に、約 200 枚のウニの画像で Yolov5 を用いて物体検出を行った結果と精度向上のため反転、傾斜処理をした画像を加えた約 1700 枚の画像を同じように物体検出した。

Yolov5 で学習させた画像の検証用画像、物体検出に用いた画像どちらも画像枚数を増やすと精度が向上したものの、ウニの個体数の検出に関しては、反転、傾斜処理を加えていない約 200 枚の画像で解析を行った場合のほうが多い結果となった。しかし、平均適合率を見ると 1700 枚の結果で 200 枚の場合よりも精度が良い画像も見受けられた。

また、約 1700 枚を解析した物体検出では陰影をウニであると誤って判別している箇所も見受けられた。すなわち、画像枚数を増やすと精度は向上したが、個体数を数えるには不十分であるという結果となった。

Yolov5 の学習にはウニの画像データを用いたため、主に二次元での物体検出となり、これまで学習させてきた海底や人工魚礁内での画像の奥行き方向には検出精度が低かった。そこで、画像で学習させた物体検出データを動画に重ね合わせることによる物体検出精度を向上することが試みた。そのため、学習データに映像を用いて三次元での物体検出や夜間における光が十分でない環境下で判別した結果、人工魚礁上や内部および海底での 5m 程度の奥行きのある画像や映像でも高精度な物体検出が可能であることが分かった。

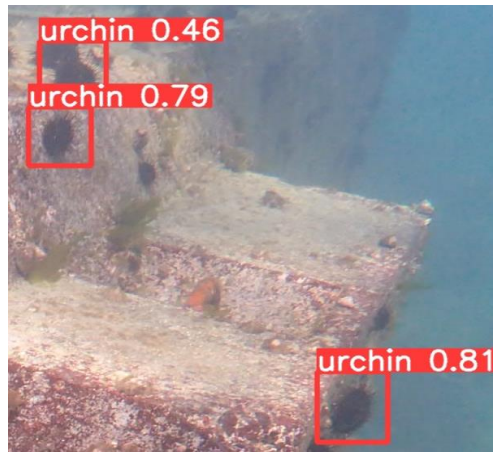


図 8 動画と組合わせたウニの判別学習結果

ウニの生息密度と基質の投入条件を検討するため、上記の結果を基に、調査地点に浮上式基質投入法による基質を 8 回投入し、潜水調査によりウニの生息密度を計数し、AI によるウニの判別結果と比較したところ、生息密度が 15 個体/m² 以上になると誤差は大きくなるものの、75～86%の精度を示した(図 9)。これにより、当該海域では磯焼けの条件と同様に 6.0 個体/m² 以下の条件で投入することで食圧に耐え得る昆布の成長を確保できることが示唆された。以上により、船上より海底や人工魚礁周辺のウニの蛸集量について、画像データと動画を組合わせて AI で判別させた後、昆布の種糸を装着した本手法で基質を海底に設置すれば、効率的なウニと昆布が共生可能な漁場造成に繋がることを期待できる。

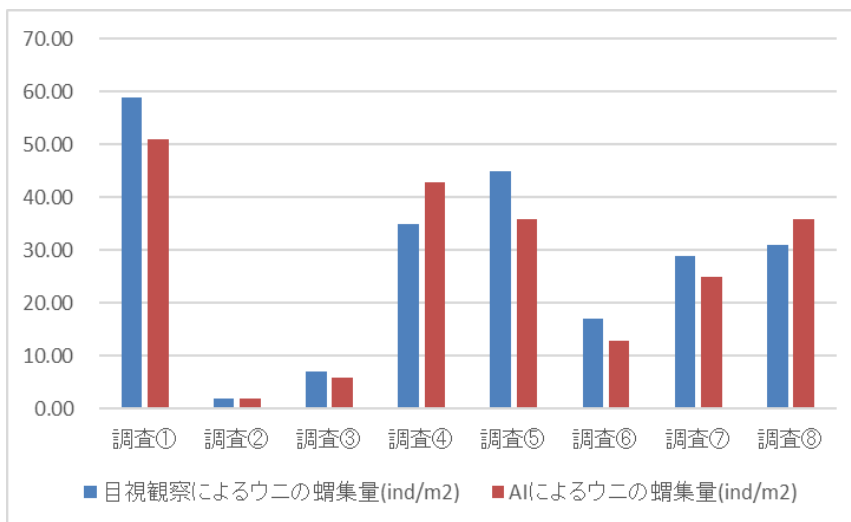


図 9 動画と組合わせたウニの判別学習結果

本研究では、震災による水産資源の生産力が低減した海域において、既存技術では困難であった海藻着生部の昇降機能を有する浮上式基質投入法による海藻とウニの共生可能な技術を開発し、ウニの出現状況、昆布の成長調査を経て、漁場ニーズに応じた造成規模の費用対効果を算定した。また、AI を用いたウニの判別と基質投入時期を提案したことで、震災海域において衰退した水産資源の保全・再生とともに、藻場造成機能の一部を補完し、高齢の漁業者でも安全に操業可能な海域の創出が期待される。具体的には、船上から水中ドローン、ROV 等で海底のウニの生息密度を撮影し、AI で 3 次元的に学習させた後、潜水作業をすることなく海面から基質を投入する手法である。これに本成果である画像データと動画を組合わせた学習方法を適用することで、藻場造成の効率化と水産資源加入量の増加に繋がると考える。本成果は、波浪の穏やかな近海での操業を可能とし、震災で被災した海域の生物資源生産力向上および新たな産業の創出に資するところが多いと考える。

本研究に関連する雑誌論文、学会発表の件数は、以下の通りである。

- 〔雑誌論文〕 計 4 件 (うち査読付論文 3 件／うち国際共著 0 件／うちオープンアクセス 4 件)
- 〔学会発表〕 計 5 件 (うち招待講演 4 件／うち国際学会 1 件)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 YAMAMOTO Takafumi, TAMAKI Tetsuya, OKAZAKI Shinichiro, OKAZAKI Yuriko, YOSHIDA Hidenori, SUENAGA Yoshihiro	4. 巻 77
2. 論文標題 RESEARCH ON THE IMPROVING RESOURCE PRODUCTIVITY OF ROCK FISH IN THE ARTIFICIAL REEFS USING AI	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_709 ~ I_714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2_I_709	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke BESSHO, Hitomi NAKANISHI, Tetsuya TAMAKI, Satoru TAKAHASHI, Tsuneo HONJO and Yoshihiro SUENAGA	4. 巻 Vol.14, No.1
2. 論文標題 STUDY ON SYMBIOTIC SYSTEM OF SEA URCHIN (Strongylocentrotus nudus) AND KOMBU (Saccharina japonica) IN THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE AREA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Recent Advances in Marine Science and Technology, PACON International	6. 最初と最後の頁 11-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akito NAKAMURA, Takafumi YAMAMOTO, Tomoki IKOMA, Koichi MASUDA, Hitomi NAKANISHI, Satoru TAKAHASHI and Yoshihiro SUENAGA	4. 巻 Vol.14, No.1
2. 論文標題 STUDY ON THE WAVE ENERGY ABSORPTION FUNCTION OF ARTIFICIAL REEFS IN THE IRREGULAR WAVES	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Recent Advances in Marine Science and Technology, PACON International	6. 最初と最後の頁 21-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 2件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本貴史, 玉置哲也, 岡崎慎一郎, 岡崎百合子, 吉田秀典, 末永慶寛
2. 発表標題 AIを用いた人工魚礁内における岩礁性魚類の資源生産力向上に関する研究
3. 学会等名 土木学会第46回海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末永慶寛
2. 発表標題 AIを活用した水産資源生産力向上技術の開発
3. 学会等名 香川大学海洋科学の未来と減災シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末永慶寛
2. 発表標題 流動制御機能を有する人工魚礁の開発とAIを用いた資源生産力向上技術
3. 学会等名 香川県高等学校教育研究会水産部会秋季研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>海洋科学の未来とレジリエンスサイエンスシンポジウム https://www.kagawa-u.ac.jp/iecms/katsudo/25688/</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------