

技術報告

# 三陸沿岸の磯焼け域における 中層フロートを用いたコンブ類の増殖手法

八谷光介\*1・松本有記雄\*2

A method to enhance kelp production by suspending floats above the barren seabed  
off Sanriku coast, northeast Japan

Kousuke YATSUYA and Yukio MATSUMOTO

We attempted to create a simple apparatus to sustainably grow and provide seaweed to herbivorous benthos on a barren seabed. The apparatus was designed in such a matter that suspension culture of the seaweed reduced grazing pressure by sea urchins during the early growth, while fully grown seaweed could be provided to them as feed. The apparatus consisted of a float and sandbag connected with a 1-2m rope. We deployed 50 units of this apparatus in the study area (20×20m<sup>2</sup>, 6.7-8.4m deep), located off the Sanriku coast (north-eastern Japan) in July 2017. Kelp species such as *Saccharina japonica* and *Undaria pinnatifida* grew densely on these floats and ropes. The maximum wet weight of the seaweed attached to the apparatus was 16.0kg/unit and 5.2kg/unit in June 2018 and July 2019, respectively. However, only *Desmarestia viridis* was observed on the seabed in both years. Despite the dense growth of edible seaweed, the gonad index of the sea urchins *Mesocentrotus nudus* was not enhanced in the experimental area. The productivity of kelp and the amount of kelp accessible to the benthic herbivores need to be improved by adjusting the components of the apparatus.

キーワード：マコンブ, ウニ, 藻場造成, 三陸海岸  
2021年10月20日受付 2022年10月14日受理

海藻群落が、通常の年変動や季節変化の範囲を超えて生育しない状態が継続する磯焼け現象は、日本各地でも問題になっており、近年その規模や深刻さが増している（水産庁2021）。これまでに取り組まれた様々な磯焼け対策のなかではそれらの成果が公表されているものもあるが、当初の目標に至らず報告されていないものも少なくないと思われる。しかし、そのような取り組みでも、その後の技術発展や環境変化によって磯焼け対策を取り巻く状況が変われば、有用な情報となる可能性はあるほか、他海域での取り組みの参考になるため、これ

らの記録を残すことは有意義である。本報告では、1970年代に試みられた中層式の海中造林技術のうち、詳しい報告が残されていない立縄方式のアイデアに改良を施し、2017年から2019年にかけて磯焼け海域で行った試験で得られた成果と、明らかになった課題を取りまとめた。

試験海域である三陸沿岸では、晩冬から早春における沿岸親潮の来遊とマコンブ *Saccharina japonica* 群落の豊凶が密接に関連しており、2014年、2015年はマコンブが繁茂したが、2016年から2018年までは水深6～12mでマコンブが

\*1 国立研究開発法人 水産研究・教育機構水産技術研究所 宮古庁舎  
〒027-0097 岩手県宮古市崎山4-9-1

Miyako Field Station, Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, National Research and Development Agency, Sakiyama 4-9-1, Miyako, Iwate 027-0097, Japan

Email : yatsuya\_kosuke10@fra.go.jp

\*2 国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター

全く生育しなかったと報告されている (Yatsuya *et al.* 2020)。晩冬から早春はマコンブの芽生える時期であり、その時期の水温変動により植食動物の摂食圧やマコンブの生理状態が変化し、その後のマコンブ群落形成に大きく影響すると考えられている (飯泉 1997)。マコンブの不作年が継続するとウニの身入りやアワビの資源量を低下させ、漁業生産に深刻な影響を与えるため、近年の三陸沿岸でのアワビ漁獲量も減少傾向にある (農林水産省 2019)。

三陸沿岸では 1970 年代に、ウニ類や巻貝類などの植食動物が幼芽のうちにマコンブを食べ尽くすと考えられ、これらの摂食からマコンブを守ることで繁茂させる方法が考案された (菊池 1976, 1978)。そこでは、先端に浮子を付けたロープをコンクリートブロックに結び付けた装置や、延縄式植林装置と呼ばれる海藻養殖施設に、コンブ種苗を付けて磯焼け域に設置することが試みられた。延縄式では、2~3m 間隔に配置したロープを 17 本設置したところ 1972 年には 33.3 トン (幹綱 3,825m)、1973 年には 41.5 トン (幹綱 4,200m) のコンブが生育し、キタムラサキウニ *Mesocentrotus nudus* の身入りやエゾアワビ *Haliotis discus hannai* の成長が改善したと報告されている (菊池 1976, 1978)。しかし、この延縄式の装置は時化による破損が頻発する問題があったとの三陸地域の漁業関係者の話もあり、早春の爆弾低気圧などによる強い波浪が発生する本海域では、100m 規模のロープを 2~3m 間隔で配置することは現実的ではないと現在では考えられている。しかしながら、独立型で小型の装置であれば、時化による破損を受けにくく、仮に一部が流失しても致命的な損壊を避けることができるため、これらを多数配置するほうが、効果的ではないかと考えられた。菊池 (1976) によれば、浮子を付けたロープには 1 台あたり 100kg 内外のコンブの生育がみられたが、アンカーに取り付けたロープの決着方法が不適で、大半の装置でロープが切断流失たとされており、それ以上は詳しく記述されていない。この時点でのロープの決着方法については明らかではないが、様々な資材が利用可能となった現在ではロープの切断流失に対応できる可能性が高いと考えられる。

そこで、本研究では、資材や設置に要する費用も低く、小規模実験にも適用可能という利点も備えている小型で独立型の装置について、磯焼け対策としての実用性を検討するために実海域での試験を行った。その結果、海藻の生育という点では一定の成果が得られ、この手法に関する課題も明らかになったので、一連の経過を取りまとめて報告する。

## 材料と方法

2017 年 7 月 6 日に岩手県宮古市地先 (38°35'N, 148°02'E) の岩礁域に 20m×20m の試験区 (水深 6.7~8.4m) を設けた。試験区およびその周囲には、無節サンゴモが優占し大形海藻は皆無であり、底質は長径 1m 程度の巨礫やそれ以上の大きさの岩塊が多く、一部が砂地であった。また、試験区から 50m ほど離れた水深 1m 以浅の浅場にはマコンブがパッチ状に生育していた。

実験に用いた装置は、空中重量約 30kg の土俵に長さ 1~2m のロープを結び、その端に 3 種類のプロート (エフロート E-20, E-7, E-170: 内外ゴム株式会社、各々の浮力は 2,000g, 600g, 260g) のいずれかを取り付けたものであり、これを 50 基作製し、試験区内に均等に配置した (写真 1)。実際の作業では、船舶で輸送した土俵を試験区に投入し、それをダイバー 1 名が 7 列に配置した後に、装置の上層部をダイバー 2 名で取り付けた。作業時間は土俵の配置が約 1 時間、上層部の取り付けが約 1 時間であった。同日に、装置のプロート直下に養殖マコンブ藻体を結び付け、遊走子を放出させる母藻としての機能を期待したが、これらの藻体は子嚢斑が形成される前に枯死流失した。設置から 1~2 ヶ月の間に、時化によりフロートを係留した土俵が移動したが、その後は転石の隙間など安定した位置に土俵が留まり、2019 年 7 月まで試験区内には 40 基以上の装置が残っていた。2017 年 7 月から 2018 年 9 月まで、ほぼ毎月 1 回潜水観察を行い、フロートやロープに生育した海藻類や試験区およびその周囲の海底の状況を観察した。



写真 1. 中層に設置されたフロート  
フロートの長さおよび最大径は、180mm と 142mm (左)、220mm と 52mm (右) (2017 年 9 月 25 日撮影)

フロートやロープにおける植食動物の摂食圧を評価するために、マコンブやワカメ *Undaria pinnatifida* の幼体が発見する低水温期にあたる 2018 年 1 月から 5 月までおおよそ毎月 1 回、試験区内のほぼ全ての装置を観察し、キタムラサキウニがロープに登っている装置の割合を求めた。

2018 年 6 月に、海藻類が多く付着していると目視で判断された装置を 10 基選び、それらを船上に引き上げ、海藻類を含む全体の湿重量を測定するとともに、優占する種を記録した。全体の重量からフロートとロープの重量を差し引いたものを海藻類の湿重量とした。海藻類の付着したロープについては、実験を継続するために、測定後に再び海底に設置した。また、2019 年 7 月にも試験区内の装置のうち海藻類が多く付着している 15 基を選び、土俵付近でロープを切断して回収した。2019 年 7 月にはフロートやロープに付着した海藻類を剥離し、種毎に湿重量を測定した。

2017 年 7 月、8 月、2018 年 1 月、3 月、5 月、6 月、9 月に試験区内にランダムに 1m<sup>2</sup> 枠を 5 回または 10 回設置し、キタムラサキウニの個体密度を調べた。また、2018 年 5 月、6 月、9 月、2019 年 7 月に、試験区と対照区からそれぞれキタムラサキウニ 15 個体 (殻径 50~75mm) を採集し、生殖腺重量指数 (= [生殖腺重量 / 個体重量] × 100) を比較した。対照区には、試験区と水深、海底基質およびウニ個体密度が同様であり、試験区とは海岸線と平行に約 100m 離れた地点を選んだ。

## 結果

海底から立ち上げたロープやフロートには、2018年1月ごろから海藻類の生長が観察できるようになり、フロートにはワカメが多く生育し(写真2A)、ロープにはイソハギ *Dasysiphonia japonica*などの紅藻類が付着していた。2月になると長さ10cmほどのマコンブがみられるようになり、2018年3月から6月にはワカメやマコンブが長さ1~2mほどに伸長した(写真2B, C)。フロートに着生していたマコンブは夏季に末枯れが進行し、2018年9月には大部分が流失した。一方、試験区から離れた漸深帯最上部の岩礁域の天然マコンブは2018年9月以降も生育し子嚢斑の形成が確認された。

フロートとロープに着生した海藻類の重量は、2018年6月に最大で16.0kg、測定した10基の平均は8.4kgであった(表1)。種別にみると、マコンブ、ワカメ、ケウルシグサ *Desmarestia viridis*、同定できなかった膜状の紅藻類が多かった。2019年7月に測定した海藻類の重量は1基あたり最大で5.2kgであり、測定した15基の平均は2.6kgであった。海藻類の中ではマコンブが最も多く重量比で64%を占め、ワカメが20%、ケウルシグサとウルシグサ *Desmarestia japonica*を合わせて7%、未同定の紅藻類が9%であった(図1)。装置に付着していたマコンブの個体数は最大で122個体であり、測定した15基の平均では38個体であった。一方、海底の岩盤や転石には、2018年、2019年ともに、無節サンゴモが優占しており、わずかにケウル



写真2. 実験装置および海底部の海藻植生の様子  
海底から1~2mの中層に設置されたフロート上に生育したワカメ(A, 2018年1月16日撮影)、フロートやロープに着生したマコンブとワカメの成体(B, 2018年5月16日撮影)、およびそれらの近影(C)、試験区の海底にはわずかにケウルシグサがパッチ状に生えていた(D, 2018年5月16日撮影)

表 1. 装置 1 基に着生した海藻類の湿重量 (kg) とマコンブの個体数

調査日	海藻重量		マコンブ	
	最大	平均±S.D.	平均±S.D.	測定数
2018年6月 6日	16.0	8.4 ± 3.5	no data	10
2019年7月12日	5.2	2.6 ± 1.5	38.1 ± 39.6	15

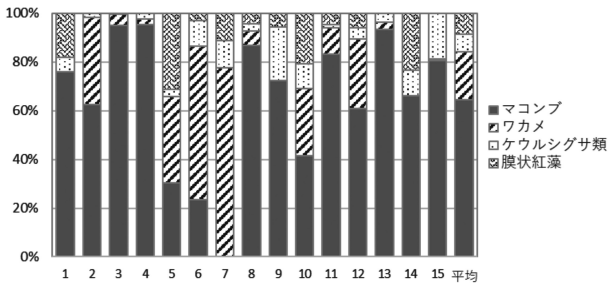


図 1. フロートとロープに着生した海藻類の重量割合  
番号は測定した装置のものであり任意。2019年7月12日測定

シグサがパッチ状に出現しただけであった(写真 2D)。

装置を設置した2017年7月6日のキタムラサキウニの密度は9.0個体/m<sup>2</sup>であったが、設置から13日後には10.9個体/m<sup>2</sup>、32日後には15.5個体/m<sup>2</sup>に増加した(図2)。これは装置につけた養殖マコンブが脱落しウニを蝸集させたものと考えられる。その後、2018年1月から9月までは8.8~14.6個体/m<sup>2</sup>の範囲で推移した(図2)。なお、エゾバフンウニ *Strongylocentrotus intermedius* の密度は最大でも1.4個体/m<sup>2</sup>でありキタムラサキウニと比べてかなり少なかった。

試験区と対照区のキタムラサキウニの身入りを表2に示す。調査した4回のうち2回で試験区と対照区に有意差はなく(U-test,  $p > 0.2$ )、そのうち3回は試験区より対照区で生殖腺指数が高かった。

ウニの登っていた装置の割合は、水温の低下とともに減少し、水温が6.0°C以下となった3月には、全ての装置でキタムラサキウニがロープに登っていなかった(図3)。その後、水温の上

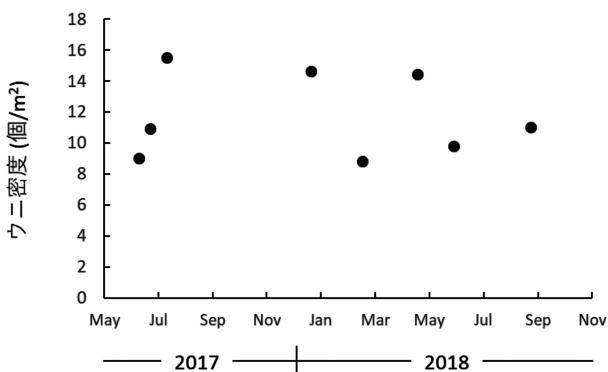


図 2. 試験区の海底におけるキタムラサキウニの密度

昇とともにウニの登った装置の割合が増加した。4月下旬には水温が8.7°Cに上昇したにもかかわらずウニの登った装置の割合が低いが、これは観察の前日まで時化が続いたことが影響していると考えられる。水温を説明変数、ウニの登った装置の割合を目的変数として一般化線形モデル (family=gaussian, link=identity) を構築した結果、水温はウニの登った装置の割合に有意に影響することが示された (likelihood ratio test,  $F_{(1,4)}=8.93, p < 0.05$ )。

表 2. 試験区と対照区におけるキタムラサキウニの生殖腺重量指数

	2018年			2019年
	5月16日	6月26日	9月20日	7月12日
試験区 *1	7.3 ± 2.4	9.7 ± 2.8	6.8 ± 2.1	12.6 ± 1.8
対照区 *1	9.4 ± 2.0	11.6 ± 2.0	6.3 ± 2.5	13.3 ± 2.0
$P^{*2}$	0.02	0.02	0.27	0.22

\*1 平均±標準偏差,  $n=15$

\*2 U-test

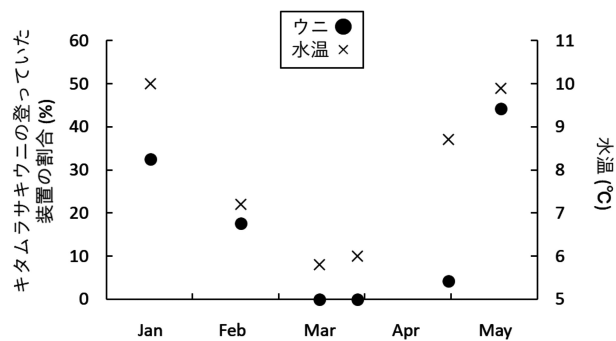


図 3. 2018年冬～春におけるキタムラサキウニが登っていた装置の割合と水温の関係

## 考 察

本研究では、海底の岩礁や転石に大形海藻類が生育せず無節サンゴモが優占している地点において、中層にフロートを浮かべた簡易な装置に海藻類を生育させること目的とした試験を行った。その結果、マコンブやワカメを中心に海藻類が生育し、装置1基あたりの平均で1年目には8.4kg、2年目には2.6kgの海藻類を生育させることができた。また、独立型で簡易な装置を用いることで耐久性も確保され、2年後でも8割以上の装置が試験区内に残っていたことが確認された。

海底から浮上させたフロートに海藻類が生えた主な要因としては、海藻類の生えなかった海底よりも植食動物の摂食圧が減少したことが挙げられる。中層に立ち上げたロープやフロートは、本調査地の主要な植食動物であるキタムラサキウニにとって、海底よりもアクセスしにくくなっていたと推察される。このこと

は、海底に海藻類が生えない地点でも、筏や係留ロープなどには海藻類がよく生育していることと同様のメカニズムであると考えられる。

キタムラサキウニがロープに登る行動は水温が低いほど抑制されたが、本種の海藻摂食量も低水温ほど減少する傾向がある(町口1993)。そのため、水温が低下しウニの摂食圧が十分に低くなった年には、海底でもマコンブが繁茂するが、それほど水温が低下しない年には海底ではマコンブ幼体が芽生えた時点で食べられてしまうと考えられる。また、さらに水温が高く推移すればフロートやロープにおいてもマコンブ等がウニに食べられてしまう可能性がある。例えば、本試験の結果から、ウニがロープに登っていたのは水温6.0°C以上であったことが示されており、この装置に海藻類が繁茂するには、少なくとも水温6.0°Cを下回る必要があるかもしれない。

フロート表面にマコンブが生育した要因として、摂食圧の低下のほかには、海底に比べフロートが水面に近いことから光や流動の環境条件が海藻類の生育に好適となった可能性もある(八谷・松本2019)。しかし、浮体物表面の流動環境がマコンブの生育にどのように影響しているかは明らかではなく、海底に生育しているマコンブよりもフロートに着生したものは末枯れが早い傾向があり、これらの点について、今後検討する必要がある。

本試験では、簡易な装置を用い、海底ではマコンブの生育がみられなかった地点で、一定規模の海藻類を生育させることはできた。しかしその一方で、キタムラサキウニの生殖腺指数の改善には至らず、課題が残された。この理由としては、装置に生育した海藻類のバイオマスが少なかったことが考えられる。調査地の近傍では、晩冬から早春の水温が例年より低くマコンブの生育が良好であった2015年には、水深6m、9m地点でマコンブを中心とした海藻類の最大現存量がそれぞれ38.6kg/m<sup>2</sup>、15.9kg/m<sup>2</sup>であった(Yatsuya *et al.* 2020)。一方、試験区(20m×20m)には約40基の装置が設置されているため1基あたりの面積は10m<sup>2</sup>となり、装置に生育した海藻類の重量を海底面積1m<sup>2</sup>あたりで示すと、2018年と2019年はそれぞれ0.84kg/m<sup>2</sup>、0.26kg/m<sup>2</sup>となる。これらの値は、単位面積で比較するとマコンブの繁茂した年の天然群落よりも2桁低く、キタムラサキウニの生殖腺指数の改善に至らなかった主要因として挙げられる。

しかし、天然マコンブの繁茂した場合は、それらの全てがウニに摂食されていないがウニの生殖腺指数は向上しているため(Yatsuya *et al.* 2017)、ウニの身入りの改善に必要な海藻バイオマスは、天然群落の繁茂年に匹敵するほどではないと考えられる。実際に著者らがモニタリングを継続している地点では、2019年には天然海藻群落がわずかに出現したため(最大現存量3.2kg/m<sup>2</sup>)、キタムラサキウニの生殖腺指数もその前後の年と比べて高かった(Yatsuya and Matsumoto 2023)。今後は、ウニの身入り改善に必要なマコンブの単位面積当たり重量や造成藻場の規模などを明らかにしていくことが課題である。

ウニの身入り改善やアワビへの餌料供給を実現するために

は、フロート上の海藻類を生育させるだけでなく、それらをウニやアワビに摂食させる必要がある。本装置は、海藻類が生長しその水中重量がフロートの浮力以上になると自動的に海底に沈降して、ウニやアワビに給餌されることを意図していた。実際には、マコンブが多く繁茂した装置ではマコンブの先端部が海底に接しウニやアワビに餌料を供給したが(写真3)、フロートが沈むほど海藻類が繁茂しなかった装置もあった。また、マコンブがある程度摂食されると再びフロートが中層に浮上するため、実際に摂食された量は、生育した海藻類の現存量のうちの一部であったと考えられる。ここで、今後の参考のために、植食動物に摂食させる海藻の量から想定されるフロートの浮力について検討してみる。まず、フロートに着生するマコンブの最大現存量を2.6kg(2019年の平均値)とする。次に、ウニやアワビに1kgのマコンブを摂食させるという前提で、マコンブが生長しその重みでフロートが海底に沈降しはじめるときの重量を1.6kgと仮定する。実際にはマコンブの生長と被食によりフロートは沈降と浮上を繰り返すだろうから正確な計算ではないが、この値をもとにフロートの浮力を求めると、マコンブの乾重量は湿重量の10~20%なので、仮に空中重量の10%を水中重量とすると、フロートの浮力は160g程度が適当となる。この浮力は今回用いたフロートの浮力よりも小さいが、フロートにはマコンブやワカメの着生面としてある程度の大きさが必要であるため、フロートの浮力を沈子で調整し、やや大きめのフロートを用いたほうが良いように思われる。また、フロートの海底からの高さについても、海藻類の生長や海底の植食動物への餌料供給といった機能を考慮して、調整することが望まれる。このような調整は対象海域の環境条件などに応じて、実用段階で試行していく必要がある。

フロートに着生した海藻類の重量は、1年目より2年目で減少した。この理由としては、水中に設置した期間が長くなるとフロート表面に付着生物が増え、マコンブやワカメの遊走子の着定が阻害されたことが考えられる。あるいは、2018年と2019年

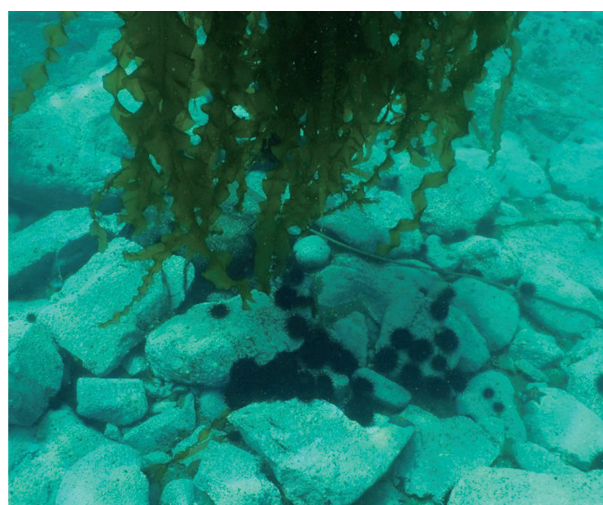


写真3. 海底から1~2mの中層フロートに着生したマコンブの先端部を摂餌するキタムラサキウニ(2018年5月16日撮影)

の海洋環境の違いから海藻類の生長が異なった可能性や、2019年は調査時期が前年より1ヶ月遅くその間にワカメやマコンブの末枯れが進行したことも理由として考えられる。

このような装置の経年劣化への対応として、マコンブやワカメの種糸を巻き付けることは有効であると推察されるが、種苗の準備や巻き付け作業が必須となる。本試験では、種糸を用いずに天然群落に由来する遊走子をフロートやロープに着定させて海藻類を生育させることが可能であった。母藻や種糸が必要か天然海藻の着生のみで期待できるかは、対象とする場所によって異なると考えられるので、予備実験によって天然海藻の遊走子の着定状況を確認しておくことが有効であろう。

本試験では、漁業資源であるキタムラサキウニの身入りの改善には至らなかったが、無節サンゴモ類以外にはほぼ海藻類が生育しなかった地点に、高さ1～2mの海藻群落を創出することができた。ここでは、小型の魚類や甲殻類などが観察されており、それらに棲み場を提供することで、間接的には漁業生産に貢献している可能性がある。また、本試験で用いた手法は、初期費用が安く装置の耐久性も期待できるので、直接的にウニやアワビの漁業生産に貢献しなくても、炭素固定機能など海藻群落の持つ他の生態系サービスを考慮して、実用化のために費用対効果を検討する価値があると考えられる。

## 謝 辞

重茂漁協種苗生産課および東北区水産研究所沿岸漁業資源研究センター浅海生態系グループ(当時)の皆様には、野外調査の実施において多大なるご協力いただきました。ここに記して感謝いたします。

## 文 献

- 飯泉 仁(1997)環境条件と植食動物量からみた磯焼け予測技術。「磯焼けの発生機構の解明と予測技術の開発」農林水産技術会議研究成果317」, 農林水産技術会議, 90-103.
- 菊池省吾(1976)宮城県江ノ島におけるアワビ・ウニの海中造林実験。「新版つくる漁業」農林統計協会, 292-301.
- 菊池省吾(1978)海中林とその理論。「水産学シリーズ23増殖技術の基礎と理論」日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 68-77.
- 町口裕二(1993)キタムラサキ*Strongylocentrotus nudus*天然種苗の成長と摂餌について。北水研報告, 57, 81-86.
- 農林水産省(2019)海面漁業生産統計調査。 [http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen\\_gyosei/](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/), 2019年12月3日
- 水産庁(2021)第3版磯焼け対策ガイドライン。 [http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko\\_gyozyo/g\\_gideline/attach/pdf/index-23.pdf](http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/attach/pdf/index-23.pdf), 2021年9月22日
- 八谷光介・松本有記雄(2019)マコンブの生長速度に対する定常流流速の影響。 *Algal Resources*, 12, 1-10.
- Yatsuya K, Matsumoto Y, Sasaki K, Shirafuji N, Muraoka D (2017) Phenology of the kelp *Saccharina japonica* and its effect on the gonad index of the sea urchin *Mesocentrotus nudus* across a depth gradient on the Sanriku coast, northeastern Japan. *Fish. Sci.*, 83, 939-946.
- Yatsuya K, Matsumoto Y, Sasaki K, Shirafuji N, Muraoka D (2020) Reduced biomass of the kelp *Saccharina japonica* accumulatively affects gonad production of sea urchins over ensuing years off northeastern Japan. *J. Appl. Phycol.*, 32, 2599-2604.
- Yatsuya K, Matsumoto Y (2023) Deterioration of an annual kelp *Saccharina japonica* forest and its effects on dominant herbivores, sea urchin *Mesocentrotus nudus* and abalone *Haliotis discus hannai*, in northeast Japan. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 57, 102739.