

令和2年度紀北町共同研究
藻場再生のための調査研究報告書

令和3年3月

三重大学生物資源学研究科 藻類学研究室

目次

序論	・ ・ ・ ・ ・ 1
方法	・ ・ ・ ・ ・ 2
調査地と調査日	・ ・ ・ ・ ・ 2
堆積物沈降速度調査	・ ・ ・ ・ ・ 3
堆積物量調査	・ ・ ・ ・ ・ 3
ライン上の海藻の被度とガンガゼ類・ウニ類個体数の調査	・ ・ ・ ・ ・ 4
永久コドラート内のウニ類個体数，海藻の種・被度の調査	・ ・ ・ ・ ・ 5
結果	・ ・ ・ ・ ・ 6
堆積物沈降速度	・ ・ ・ ・ ・ 6
堆積物量	・ ・ ・ ・ ・ 6
ライン上の海藻の種・被度とガンガゼ・ウニ類個体数	・ ・ ・ ・ ・ 7
永久コドラート内のウニ類個体数，海藻の種・被度の調査	・ ・ ・ ・ ・ 12
考察	・ ・ ・ ・ ・ 14
参考文献	・ ・ ・ ・ ・ 17

序論

藻場とは、大型海藻や海草がつくる群落で、陸上の草原や森林に相当する。藻場は地球上でもっとも生産力の高い生態系の一つであり、様々な海洋生物が生育するため、生物多様性が高い（藤田ら 2010）。しかし近年、藻場が大規模に衰退し、沿岸の水産資源や漁業に悪影響を及ぼす磯焼け現象が、日本や世界各国の沿岸各地で確認され、社会問題となっている（Dayton 1985, Steneck et al. 2002, 水産庁 2015）。一般的に磯焼けは、発生すると長期にわたり継続する。磯焼けが発生する主な要因は、高水温・堆積物などの環境悪化や人的影響、魚類の摂食などがある。また、継続する主な要因は高水温・低栄養などの海洋の環境条件と、ウニ類や魚類などの植食性動物による継続的な摂食圧などであるとされている（富士 1999, 水産庁 2015）。

本研究を行った三重県紀北町島勝浦でも磯焼け海域が増加している。島勝浦同様に、熊野灘に面した尾鷲市の加賀湾や早田浦では、ガンガゼによる食害が主な磯焼けの要因とされている（石川ら 2017）。2018年5月16日に島勝浦で予備調査を行ったところ、ガンガゼによる食害に加え、海底の堆積物が多いことがわかった（図1）。コンブ類の配偶体は浮泥堆積量が $30\text{mg}/\text{cm}^2$ で死滅することが知られている（Arakawa 2005, 荒川・松生 1990, 1991, 荒川・松永 1994）。そこでこれらが島勝浦の磯焼けの要因になっていると考え、2018年にガンガゼ駆除による藻場再生を開始すると同時に、磯焼けとガンガゼ個体密度および堆積物量との関係を明らかにするための研究を始めた。2018から2019年の調査では、ガンガゼ駆除による海藻の増加が確認された。また、堆積物量測定法も確立することができた。

本研究では、これまでに確立した堆積物測定法を用い、島勝浦におけるガンガゼ駆除と堆積物量および藻場の関係を検討した。

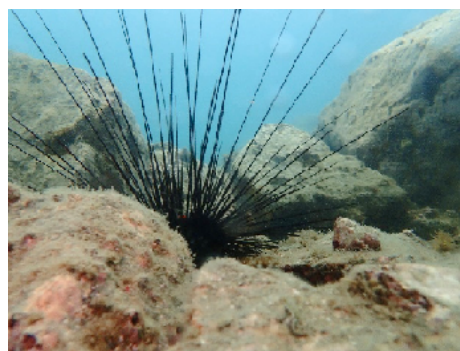


図1 島勝浦のガンガゼと堆積した浮泥

方法

調査地と調査日

本研究は、三重県島勝浦の湾内で行った。島勝浦の湾の位置と拡大図を図2に示した。島勝浦の湾は紀伊半島南東部、熊野灘沿岸の太平洋に面しており、海岸線はリアス式、半閉鎖的な水質環境となっている。湾口は北に広く開き、調査海域は、岩盤、岩塊、礫からなる比較的穏やかな海域である（図2）。

2018年5月16日に行った素潜りによる予備調査で、浅所にはホンダワラ類から成る藻場が広がっているが、深所では磯焼け状態となり、ほとんど海藻は生えていないことが明らかとなった。さらに磯焼け海域のほとんどの海底でガンガゼが高密度に生育し、浮泥などの堆積物が多く見られることも判明した。この予備調査をもとに、2018年に湾内の磯焼け海域に2つの調査地点を設けた（図2）。湾の東岸（N34°06'56"80 E136°17'46"91）を調査地点1（以後st. 1）として、調査ラインの基点を設置し、湾の西岸（N34°06'49"92 E136°17'46"19）を調査地点2（以後st. 2）として、基点を設置した。

なお、2018年度と2019年度は、予備調査を含めて毎年8回調査を実施していたが、2020年度は新型コロナウイルス感染症対策の関係で、2020年7月10日と12月10日の2回のみの調査となった。

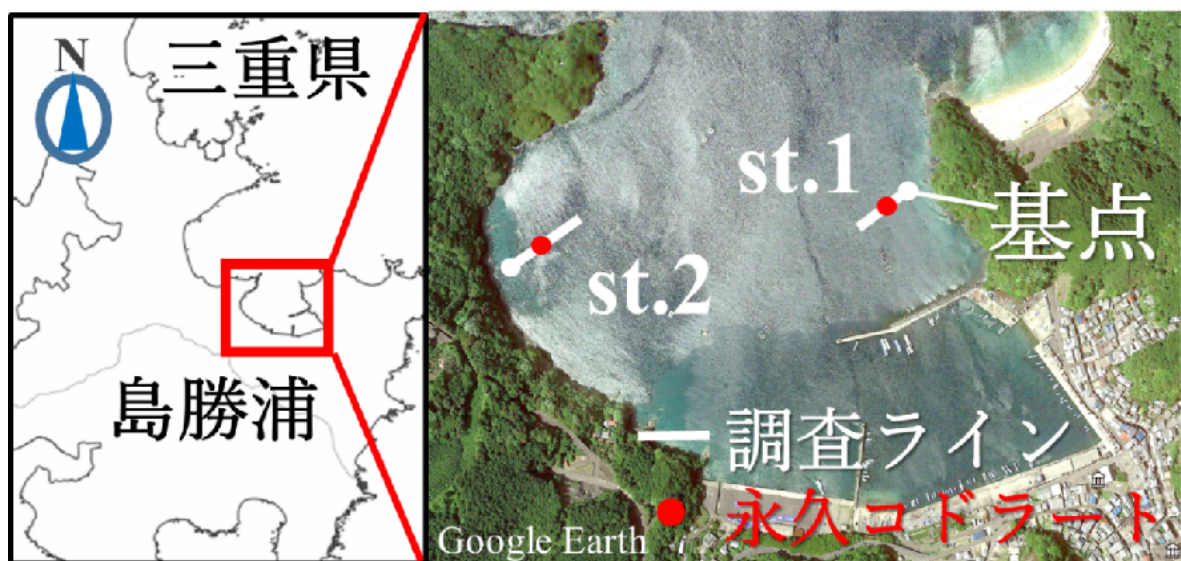


図2 調査地点と調査ライン、永久コドラートの位置

堆積物沈降速度調査

堆積物沈降速度調査は、2019年度に確立した簡易セディメントトラップ法を用いて行った。簡易セディメントトラップにはプラスチック製の15ml遠沈管を用いた。生物が混入しないように、遠沈管の開口部に1.5×1.5mmのネットをかぶせ、ロックタイで固定した。

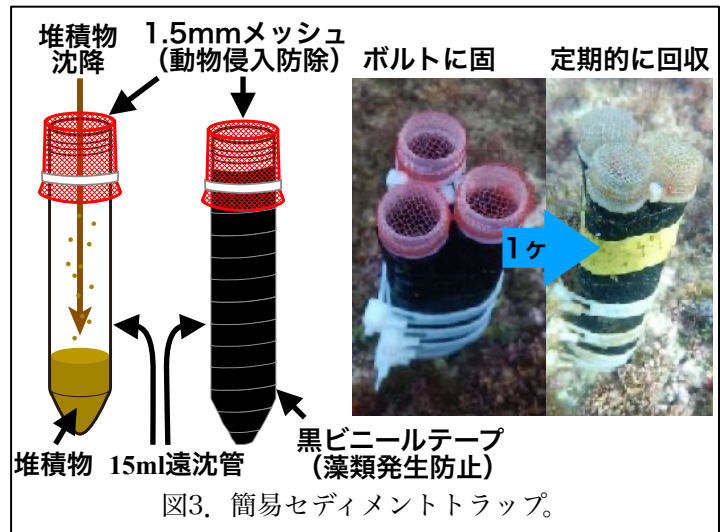


図3. 簡易セディメントトラップ。

さらに、無節サンゴモなどの

藻類が遠沈管内で増加するのを防ぐため、黒いビニールテープを巻き付け遮光した（図3）。簡易セディメントトラップは、調査ごとに永久コドラート横に設置・回収し、各定点の堆積物の採集を行った。

回収した簡易セディメントトラップ内の堆積物は、研究室に持ち帰り、塩分の析出を抑えるため蒸留水で洗浄した。洗浄の手順は以下の通りである。堆積物が沈殿しているのを確認した後に、海水を取り除いて蒸留水を加え、2000回転/分で10分間遠心分離した。蒸留水を取り除いた後に乾燥重量を測定した。堆積物量を測定した後、沈降速度を次式で求めた。

$$\text{堆積物沈降速度} = \text{堆積量 (mg)} / \text{開口部面積 (cm}^2\text{)} / \text{設置日数 (day)}$$

堆積物の沈降速度調査は、尾鷲市尾鷲湾でも同時期に実施した。尾鷲湾では2013年にサガラメ藻場が衰退したが、その後にサガラメが増加し、藻場が回復しつつある。

堆積物量調査

永久コドラート付近に堆積している堆積物量を測定するために、2019年度に確立したエアリフト法を利用した（図4）。エアリフト法は、浮力でベントス等を採集するために

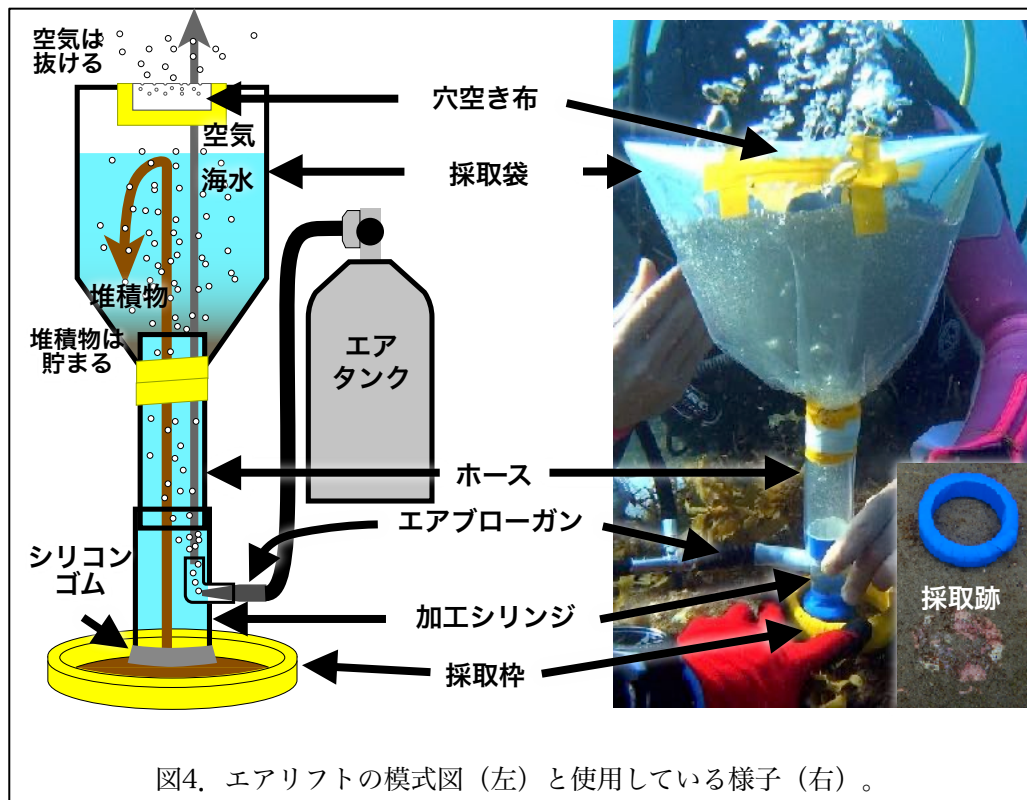
用いられる方法であるが（早川ら 2013），堆積物を採取できるように改良を施した。

堆積物は研究室に持ち帰り，以下の方法で洗浄した。回収した堆積物を海水ごと 1000ml ビーカーに移して24時間以上放置して沈殿させた。ビーカー内の上清を取り除き，蒸留水を加え，再び沈殿させ，50ml 遠沈管に堆積物を移した。遠沈管に蒸留水を加えた後，2000回転/分 で遠心分離した。遠心分離で沈殿した堆積物を，ふるいで $250\mu\text{m}$ <（粗い砂）， $63\text{--}250\mu\text{m}$ （細かい砂）， $63\mu\text{m}$ >（浮泥）の三種類の粒径に分け，シャーレに入れた。シャーレは 60°C の乾燥庫に入れ，5日以上かけて乾燥させた後，堆積物灌重量を電子天秤で測定した。堆積物に底生生物や海藻が混入していた場合は，乾燥庫に入れる前にピンセットで丁寧に取り除いた。堆積量は次式で求めた。

$$\text{堆積量} = \text{乾重量 (mg)} / \text{採集枠面積 (cm}^2\text{)}$$

堆積物量調査は，鳥羽市菅島および尾鷲市尾鷲湾でも同時期に実施した。尾鷲湾は上述の通りサガラメ藻場が回復しつつある海域で，菅島にはカジメの極相群落が見られる海域である。

ライン上の海藻の種・被度とガンガゼ・ウニ類個体数の調査



St. 1は基点から南西へ28m, st. 2は北東へ80mの側線を引き、水深1~7mの調査ラインを設置した (Fig. 1)。2018年にアイプレートと水中ボンドを用い、調査ライン上に約10m間隔で目印をつけた。調査は2020年7月10日と12月10日にスクーバ潜水により行った。

調査時には目印に沿ってメジャーを引き、1×1mコドラートをst. 1では2m間隔で計14点, st. 2では0~40mまでは2m間隔, 40~80mは10m間隔で計25点設置した。コドラート内の海藻の種・被度及びウニ類の種ごとの個体数を計測し、耐水紙とカメラを用いて記録した。またコドラートごとに水深、基質の種類ごとの被度も記録した。

基質の分類は倉島ら (2014) に従った。

永久コドラート内のウニ類個体数、海藻の種・被度の調査

2018年に、各調査地点に水中ボンドで固定したアイプレートを目印として永久コドラートを設置した。毎回の調査時に目印に従って1×1mの枠を置き、コドラート内の海藻種と被度・ウニ類・その他生物の位置を記した。

結果

堆積物沈降速度

図5に島勝浦のst. 1とst. 2, および同時期に調査を実施していた尾鷲湾の堆積物沈降速度を示す。沈降速度は島勝浦では3月に高かったが、尾鷲湾では沈降速度は10月にやや高かったが、年を通して低く明瞭な季節変化は見られなかった。島勝浦では3月に砂の沈降速度が高かった。また、いずれの月においてもst. 2の方が沈降速度が高かった。

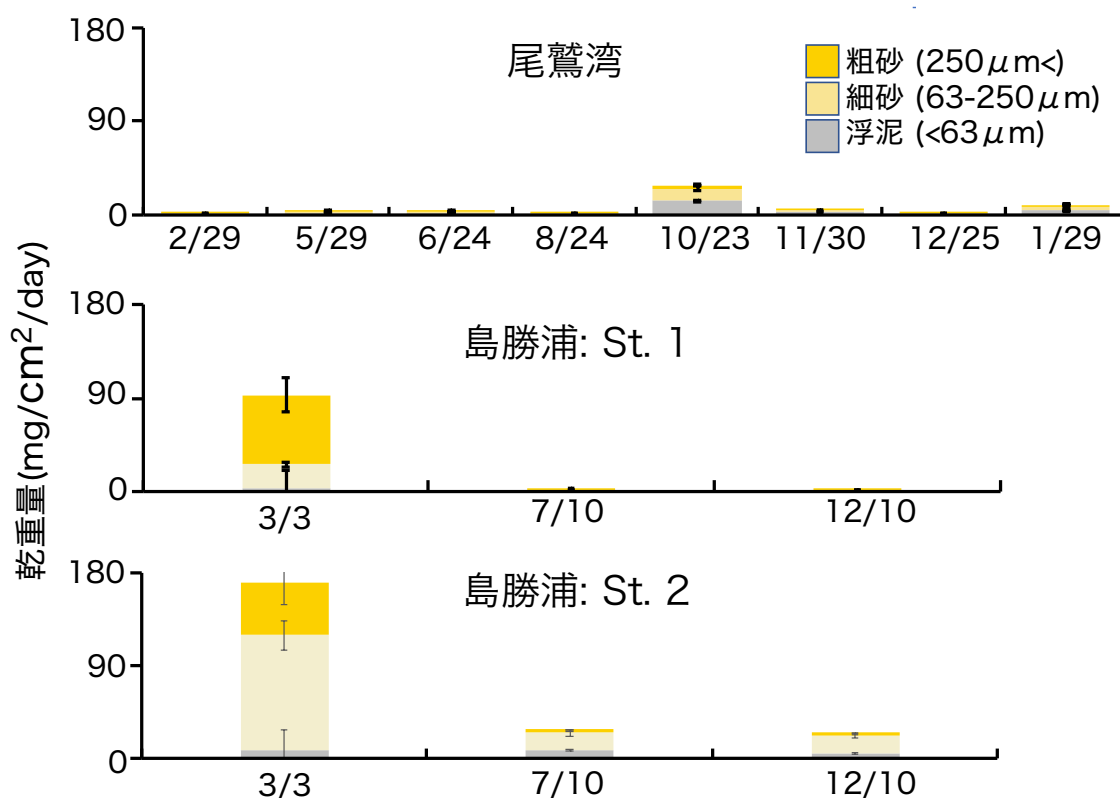


図5 島勝浦と尾鷲湾の堆積物沈降速度の比較

堆積物量

図6に島勝浦のst. 1とst. 2, および同時期に調査を実施していた菅島と尾鷲湾の堆積物量を示す。堆積物は毎回の調査時に採取したが、季節変化が見られなかったため、全てをまとめて平均した。菅島は堆積物量は島勝浦st. 2で最も高く、次いで尾鷲湾であった。島勝浦st. 1と菅島はやや低かった。粒径63μmより大きい砂の量は菅島で4.0mg/cm²で最も低

く、島勝浦st. 2で7.5mg/cm²で最も高かった。63μm以下の浮泥量は島勝浦st. 2において丘の地点の2倍以上高い値を示した。

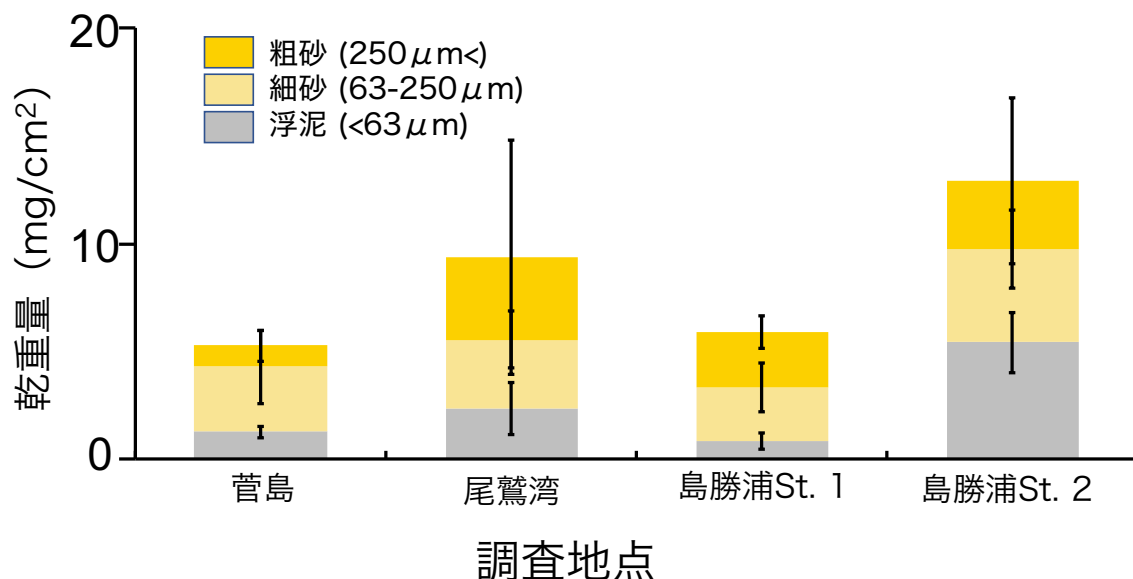


図6 島勝浦、尾鷲湾および菅島の堆積物量の比較

ライン上の海藻の種・被度とガンガゼ・ウニ類個体数

2018年7月から2020年12月までの、st. 1とst. 2のライン上の海藻平均被度、ガンガゼ・ムラサキウニ・その他のウニ類の平均個体密度を、各調査日ごとに平均したものを図7に示した。その他のウニ類には、ナガウニ、コシダカウニ、タワシウニ、ラップウニ、アカウニがみられた。なお、2018年8月11日と9月22日23日、2019年7月14日と9月28日29日、11月10日のガンガゼ駆除活動により、st. 1とst. 2の合計で25992個体を駆除した。2019年には湾外においてもガンガゼ駆除を実施し、6656個体を駆除した。2020年度にはガンガゼ除去は実施しなかった。

st. 1の海藻の平均被度は調査を開始した2018年7月から調査終了時の2020年12月に5倍以上に増加した。st. 2では2018年12月からラインを岸側に10m延長した。その時点からの海藻被度は4倍以上に増加した。st. 1で最も被度が高くなったのは2020年3月で、st. 2で最

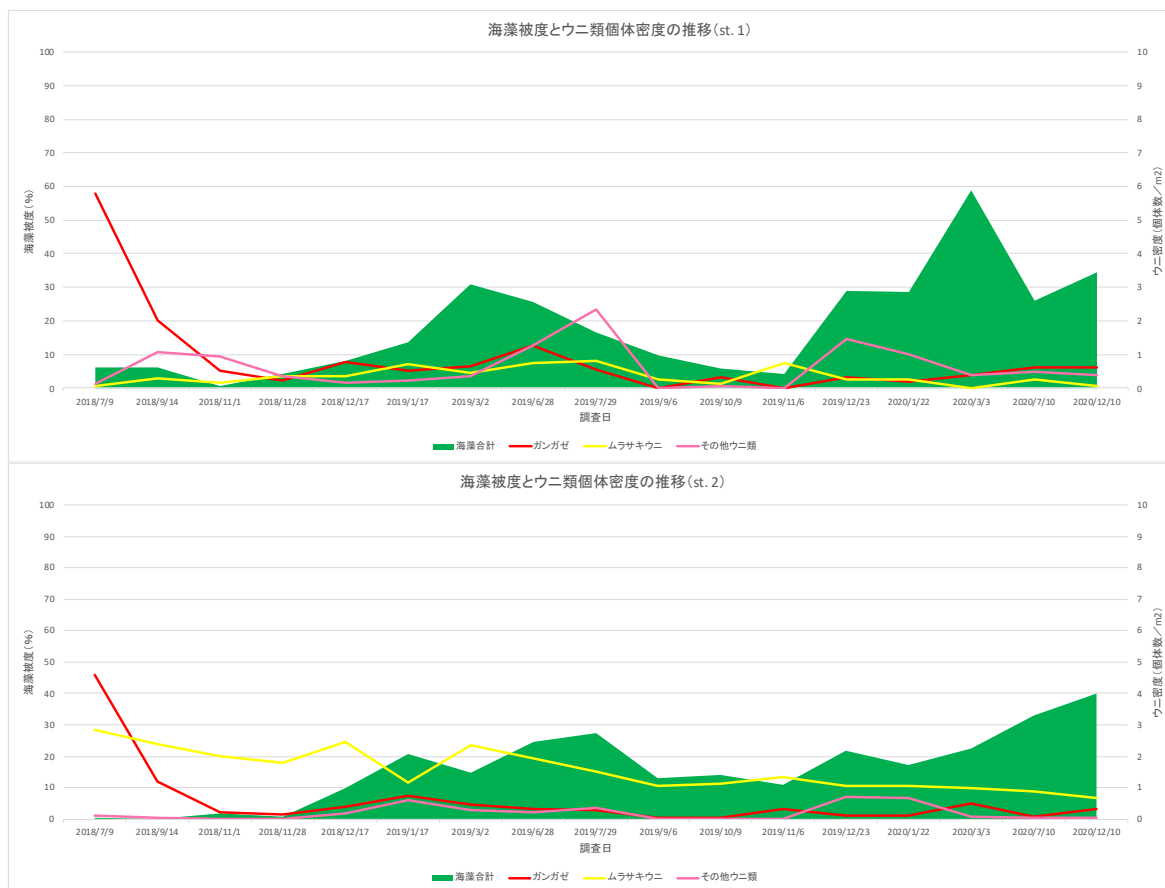


図7 st. 1ライン（上）とst. 2ライン（下）の海藻被度とウニ類個体密度の推移

も高くなったのは調査終了時であった。st. 1では2018年7月から2019年11月の間には、サガラメがわずかに生育していたが、2019年12月以降は全く見られなくなった。両地点とも調査終了時にはホンダワラ類の被度が最も高くなった。また、ガンガゼ駆除活動開始以降、ガンガゼ密度は2個体以下となったが、その他ウニ類の密度は変化しないかむしろ上昇した。

図8, 9にライン上のホンダワラ類平均被度, コンブ類平均被度, その他海藻被度とガンガゼ・ムラサキウニ・その他ウニ類の個体群密度について, 7月と12月のデータを示した。さらに調査海域の底質・水深を各調査日に記録し, それを平均したものを図10に示した。なお, st. 1では, 2018年9月14日から2019年1月17日までの調査日の28m地点, 2019年1月17日の14mと16m地点, 2019年3月2日の24mから28m地点, 2019年12月23日と2020年1月22日の12m地点のデータが欠測している。st. 2では, 2018年7月29日から11月28日まで

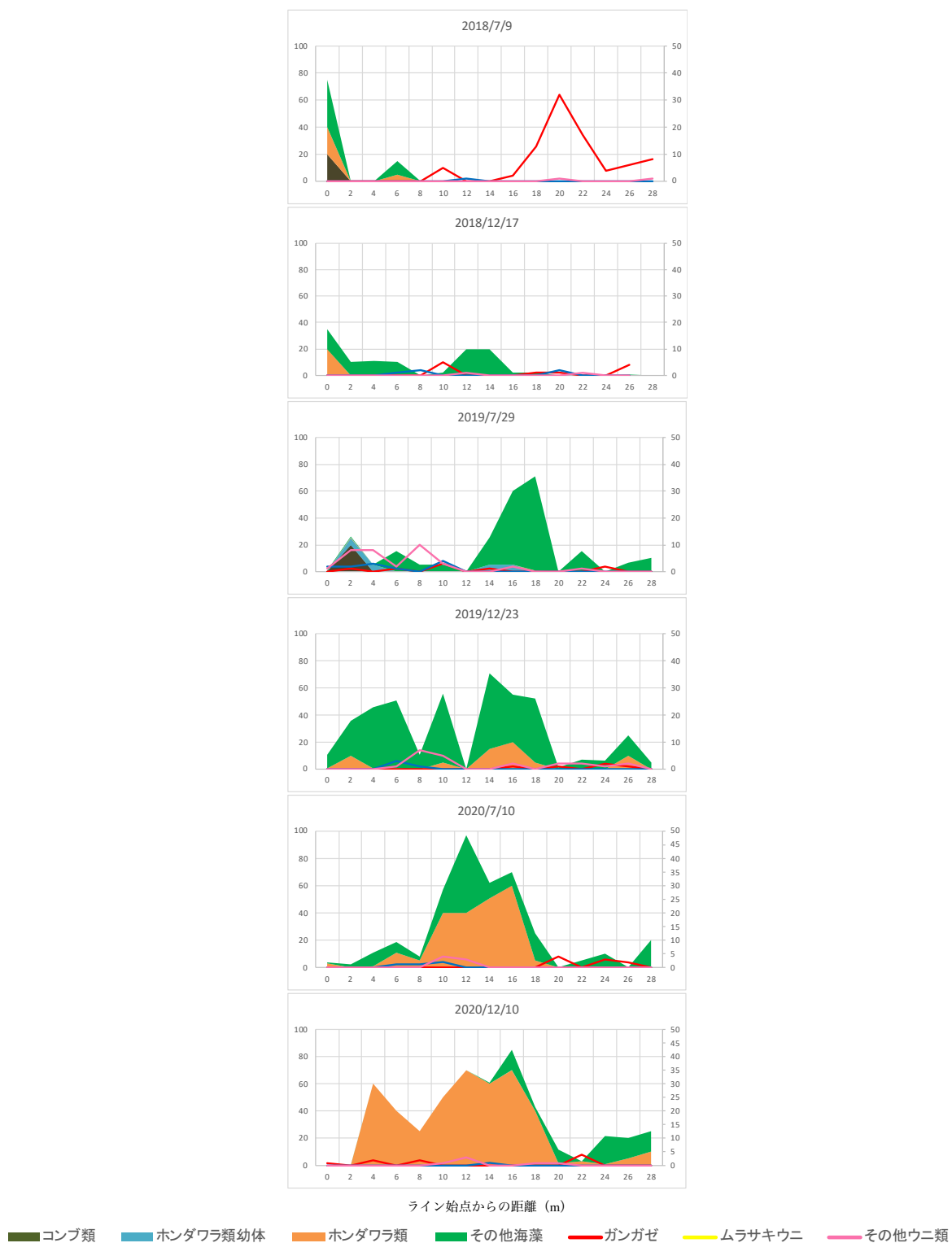


図8 Fig. 20 st. 1の2018年7月-2020年12月のライン上ウニ個体密度と海藻被度。
0mが岸側。



図9 Fig. 20 st. 2の2018年7月-2020年12月のライン上ウニ個体密度と海藻被度。
0mが岸側。

の0mから8m地点、2018年12月17日から2019年3月2日までの0m地点のデータが欠測している。

st. 1のラインでは2019年7月までは、最も岸寄りの部分にコンブ目藻類であるサガラメが認められたが、その後は消失した。2019年9月以降はホンダワラ類の被度が増加し、調査終了時にはラインの2mから20mまで、海藻被度の多くをホンダワラ類が占めた。ホンダワラ類がライン10-18mの範囲は、安定した基質の比率が多い部分であった(図10)。

st. 2のラインでは、浅所の調査を始めた2018年12月にはライン0-10mの範囲のみ、ホンダワラ類の被度が高かった。2019年9月以降にホンダワラ類がライン12mより沖側で生育が見られるようになり、調査終了時には0-34mの広い範囲でホンダワラ類の被度が高くなった。

永久コドラート内のウニ類個体数、海藻の被度

図11にst. 1とst. 2の永久コドラート内の海藻被度の変化を示す。永久コドラート内の海

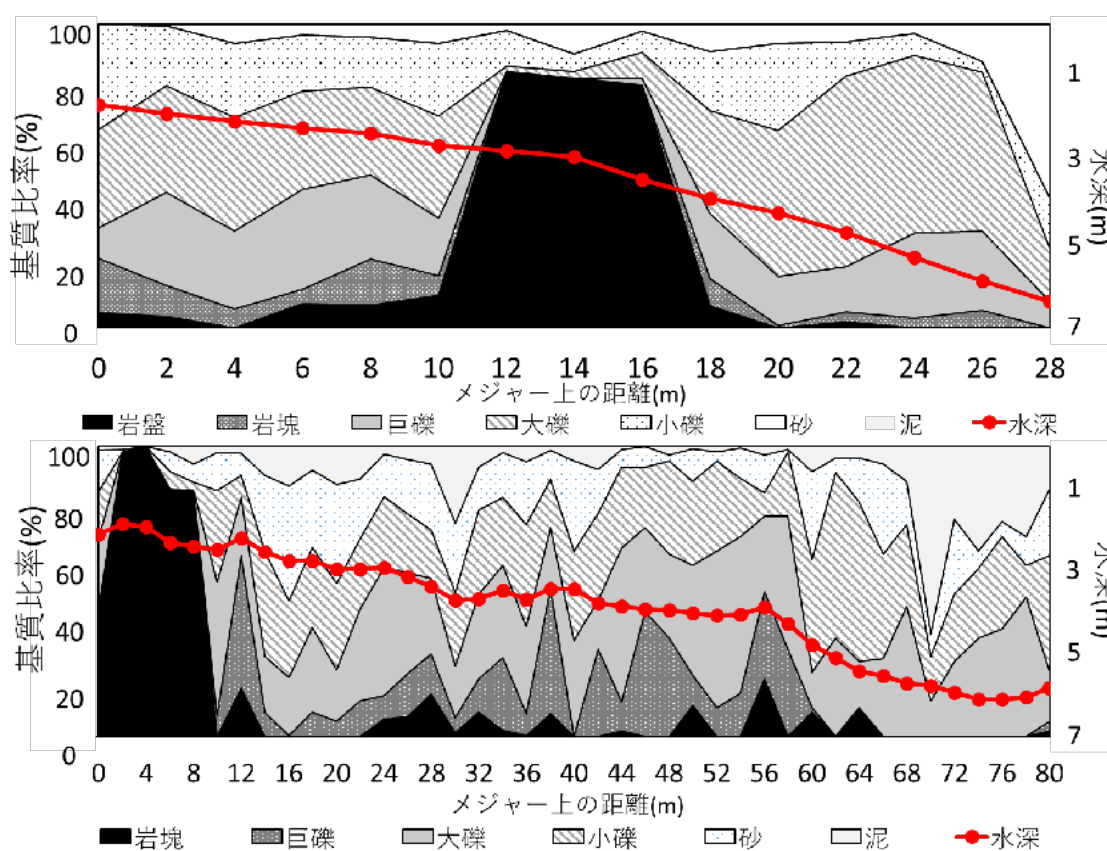


図10 平均基質比率と水深

藻被度は調査期間を通してst. 1の方がst. 2よりも高かった。どちらの永久コドラート内にもコンブ類の生育は認められなかった。また、どちらの永久コドラート内も、ホンダワラ類以外の海藻の永久コドラート内の被度は、冬から夏にかけて高く、夏から冬にかけて低いという季節変化を示した。st. 1では2019年9月から、st. 2では2020年5月からホンダワラ類の被度が増加し始めた。海藻種数は、調査開始時は0であったが、2018年11月から増加し、種数が最大となったのはst. 1、st. 2ともに2020年1月で、それぞれ15種と8種であった。

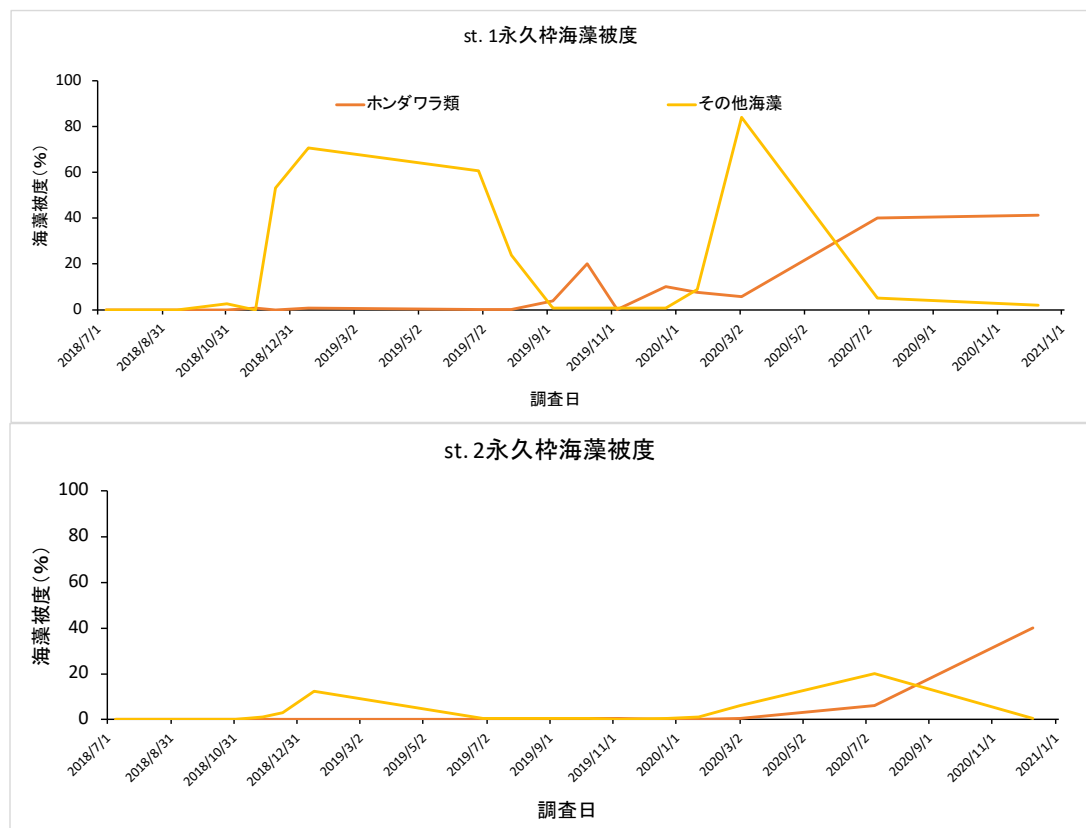


図11 永久コドラート内の海藻被度の変化

考察

2018年度より、島勝浦における藻場再生過程の解明と、堆積物の藻場への影響の解明を目的とし、島勝浦の磯焼け状況調査と堆積物量測定法の研究を行ってきた。昨年度までに堆積物量測定法を確立できたため、今年度は鳥羽市菅島のカジメ藻場と島勝浦の堆積物量の比較も行った。ただし、コロナ禍の影響で島勝浦での調査回数は2回のみとなった。

三重県の南部では、現在磯焼け海域が増加しており、水産面及び環境面で問題となっている（藤田 2010）。島勝浦の調査ライン上では、調査開始時の海藻被度は10%以下と低かったが、2018年11月から増加し始め、2020年には藻場構成種であるホンダワラ類の被度が大きく増加した。島勝浦では、2018年5月16日の事前調査では湾内で多くのガンガゼが見られた。しかし、2018年を通してのガンガゼ駆除により、2019年1月からガンガゼ密度が2個体/m²以下に減少した。ガンガゼ類の個体密度は2個体/m²以下になると海藻が増加し、藻場が再生することが明らかにされている（倉島ら 2014, Ishikawa et al. 2016）。これらのことから、海藻被度の増加はガンガゼ除去の効果によるものと考えられる。しかし、その一方で、st. 1で調査開始時にわずかに見られたサガラメは2019年7月以降消失した。

サガラメの暖海性コンブ類の生存上限水温は29℃とされている（森 2007, Komazawa et al. 2015）。2017年から継続する黒潮大蛇行により、日本の沿岸域で高水温が継続している（JAMSTEC 2020）。島勝浦では、29℃以上の水温は、2018年度にはst. 1で14日間、st. 2で8日間、2019年度にはst. 1で18日、st. 2で14日観測された。このような高水温や高水温に伴う魚類の摂食活動の活発化が、サガラメが消失した要因の一つと考えられる。

2018年から2019年の間の月毎の平均日補償積算光量を算出したところ、st. 1における最低日補償積算光量が12月の3.6mol/m²/day、st. 2は10月の3.1mol/m²/dayであった。この数値は、アラメやカジメの生育に必要な光量（倉島ら 1996, 環境省 2010）を十分に上回っている。このことから、島勝浦で光量や透明度は、サガラメ消失の要因ではないと考えら

れる。

島勝浦と尾鷲湾の堆積物の沈降速度を比較すると、島勝浦では粒径の大きな砂の沈降が大きいことがわかった。粒径 $63\mu\text{m}$ 以下の浮泥の沈降速度は、島勝浦も尾鷲湾も低かった。島勝浦では3月に沈降速度が高かったが、季節や年による差が大きく、2019年度には10月から11月に高く、6月～9月は低かった。また、st. 1とst. 2を比較するとst. 2の方がやや高く、2019年度と同じ傾向であった。

島勝浦と尾鷲湾および菅島の堆積物量は、菅島と島勝浦st. 1で少なく、島勝浦st. 2で多いという結果になった。特に、粒径 $63\mu\text{m}$ 以下の浮泥量がst. 2で多かった。2019年度の調査でも、堆積物量はst. 1で少なくst. 2で多かった。堆積物沈降速度の結果と合わせて、島勝浦st. 2は堆積物が多いと結論づけられる。また、いずれの海域でも浮泥の沈降速度は低い、堆積量には差があり、島勝浦st. 2で多かった。このことから、島勝浦st. 2では、海底に堆積した浮泥が長期間とどまっている可能性がある。

コンブ類では、堆積物が $3\text{mg}/\text{cm}^2$ 以上になると遊走子の海底への付着阻害、 $5\text{mg}/\text{cm}^2$ 以上で配偶体の成熟抑制、 $30\text{mg}/\text{cm}^2$ では配偶体の死滅が起きるとされる（Arakawa 2005, 荒川・松生 1990, 1992, 荒川・松永 1994）。2020年度の調査では、砂を含めた堆積物量は全ての海域で $5\text{mg}/\text{cm}^2$ 以上となった。しかし、特に影響が大きいと考えられる浮泥の量が $3\text{mg}/\text{cm}^2$ 以上となったのは島勝浦st. 2のみであった。

島勝浦st. 1, st. 2, 尾鷲湾および菅島において、堆積物採取地点周辺の藻場構成種の被度を調査したところ、菅島ではカジメの被度が約72.5%, 島勝浦st. 1はホンダワラ類の被度が約50%, 島勝浦st. 2はホンダワラ類の被度が約15%であった。尾鷲湾はホンダワラ類と1年生コンブ類であるアントクメが生育しているため、被度が0-90%と季節や年により大きく変動した。

堆積物の量と藻場を構成する海藻の種構成および被度の関係から、ホンダワラ類はコンブ類よりも堆積物量が多い環境で生育が可能と思われる。島勝浦st. 2の堆積物調査地点に隣接している永久コドラート内には、2020年からヤツマタモクが増加した。これらのヤ

ツマタモクは浮泥を被った状態で生育していたことから、堆積物があっても生育できると考えられる。サガラメなどのコンブ類は、現状ではガンガゼを除去しても、st. 2での生育は困難と判断された。一方、st. 1では黒潮大蛇行が終了すれば、浅所からサガラメが再生する可能性がある。

本研究を実施した3年間で、ホンダワラ類が多数生育するようになり、ガンガゼ駆除による藻場再生の効果が確認できた。しかし、調査開始時に見られたサガラメは消失した。今後も引き続きガンガゼ除去を行うと同時に、調査も継続的に行うことが重要である。また、サガラメ再生のためには、黒潮大蛇行による高水温が収まった時点で、スポアバッグや移植などによる手法を試みることで、st. 2からはそれらに加えて浮泥を減らすことが必要と考えられる。

参考文献

- Arakawa, H. 2005. Lethal effects caused by suspended particles and sediment load on zoospores and gametophytes of the brown alga *Eisenia bicyclis*. *Fisheries Science*. 71: 133-140.
- 荒川久幸・松生治 1990. 褐藻類カジメ・ワカメの遊走子の沈降速度及び基質着生に及ぼす海中懸濁粒子の影響. *日本水産学会誌*. 56: 1741-1748.
- 荒川久幸・松生治 1992. 褐藻類ワカメ・カジメ遊走子の着生と生長, 生残および成熟に及ぼす海底堆積粒子の影響. *日本水産学会誌*. 58: 619-625.
- 荒川久幸・森永勤 1994. 褐藻類ワカメ・カジメ遊走子群の分散に及ぼす海中懸濁粒子の影響. *日本水産学会誌*. 60: 61-64.
- Dayton, P. K. 1985. Ecology of kelp communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 16: 215-245.
- 富士昭 1999. 磯焼けの研究の現状. 谷口和也 (編) 磯焼けの機構と藻場修復. 恒星社厚生閣. 東京. pp. 9-24.
- 藤田大介 2010. 藻場にはいろいろな変化がある. 藤田大介 (編) 藻場を見守り育てる知恵と技術. 成山書店. 東京. pp. 1-10.
- 早川淳・脇司・佐々木猛智・河村知彦 2013. 腹足類の違いの種判別: 相良湾長井の潮下帯における研究例. *ちりばたん*. 42: 1-4.
- Ishikawa T., Maegawa M., Kurashima A. 2016. Effect of sea urchin (*Diadema setosum*) density on algal composition and biomass in cage experiments. *Plankton Benthos Res.* 11: 112-119.
- 石川達也・戸瀬太貴・阿部真比古・岩尾豊紀・森田晃央・前川行幸・倉島彰 2017. 三重県早田浦におけるガンガゼ除去に伴う海藻植生の変化. *日本水産学会誌*. 83: 599-606.
- JAMSTEC 2020. <http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/kowatch/> (2020/2/16アクセス) .
- 環境省 2010. <https://www.env.go.jp/press/files/jp/14929.pdf> (2021/3/26 アクセス) .
- 倉島彰・横浜康継・有賀祐勝 1996. 褐藻アラメ・カジメの生理特性. *藻類*. 44: 87-94.
- 倉島彰・石川達也・竹内大介・岩尾豊紀・前川行幸 2014. 三重県早田浦の磯焼け海域におけるガンガゼ除去の影響. *日本水産学会誌*. 80: 561-571.

- Komazawa, I., Sakanishi, Y., Tanaka, J. 2015. Temperature requirements for growth and maturation of the warm temperate kelp *Eckloniopsis radicata* (Laminariales, Phaeophyta). *Phycological Research*. 63: 64-71.
- 森勇樹 2007. 褐藻アラメ・サガラメの温度特性と水平分布. 平成18年度修士論文, 三重大学生物資源学部研究科.
- Sadatom, M., Sugikubo, S., Goto, D, Tajiri, K., Kawahara, A. 2015. Feasibility Study on Lifting of Seabed Materials Using a Bubble-Jet-Type Air-Lift Pump. *Journal of Mechanics. Engineering and Automation* 5: 533-541.
- Steneck, R. S., Graham, M. H., Bourque, B. J., Corbett, D., Erlandson, J. M., Estes, J. A., Tegner, M. J. 2002. Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation*. 29: 436-459.
- 水産庁 2015, 改定磯焼け対策ガイドライン. pp.79.