

島根県水産技術センター研究報告 第13号

令和3年3月

島根県水産技術センター

島根県水産技術センター研究報告

第13号

2021年3月

目次

報文

天然ワカメの鮮度保持技術導入における採算性の検討寺戸稔貴・開内 洋・別所 大・曾田紀子	1
餌料用微細藻類3種 (<i>Chaetoceros calcitrans</i> , <i>Chaetoceros neogracile</i> , <i>Isochrysis</i> sp. (Tahiti Isolate)) の屋外培養における低塩分濃度の影響佐々木 正	9
島根県における藻場モニタリングと調査方法の検討吉田太輔・向井哲也・佐々木 正	25
島根県沿岸に來遊する浮魚類の漁獲量と水温の時空間分布の関係安原 豪	41
日本海南西海域におけるマアナゴの漁獲実態と生物学的特性道根 淳・河津優紀・望岡典隆	49

資料

宍道湖における無人航空機を用いた沈水植物の把握岡本 満	59
2019年の江の川におけるアユの産卵場造成と産卵状況寺門弘悦・吉田太輔・安原 豪	65
本号掲載要旨.....	71
他誌掲載論文の抄録.....	73

天然ワカメの鮮度保持技術導入における採算性の検討

寺戸稔貴^{1a}・開内 洋²・別所 大³・曾田紀子³

Investigation of the profitability in introducing technology keeping freshness of natural wakame seaweed
Undaria pinnatifida

Toshiki TERADO, Hiroshi HIRAKIUCHI, Hiroshi BESSHO and Noriko SOTA

キーワード：天然ワカメ，鮮度保持技術，コスト試算，隠岐地域

はじめに

ワカメ *Undaria pinnatifida* は、冬季に時化の多い島根県にとって重要な水産資源であり、沿岸漁業者の冬から春季の貴重な収入源となっている。主にかなぎ漁業、潜り漁業により漁獲され、島根県の特産品である板ワカメをはじめ、湯通し塩蔵ワカメ、カットワカメ、素干しワカメに加工されている。

ワカメ漁業は県内全域で操業されている。一方で、近年、隠岐地域で漁獲される天然ワカメは香りが高く肉厚な傾向なため全国的に注目されている。^{1, 2)} なお、隠岐地域は本土から約 70 km 離れた 4 つの有人島と約 180 の無人島からなる島嶼地域である (図 1a, 1b)。

隠岐地域では、3 月からワカメ漁業が開始され、4～5 月が盛漁期となっている。隠岐地域の天然ワカメの漁獲量は最盛期の 1971 年には 1,360t を記録したが (図 2)、³⁾ その後は漁業者の減少、養殖ワカメとの価格競合、⁴⁾ 韓国および中国産の安価なワカメ輸入量の増加⁵⁾ により漁獲量は減少した。1990 年代には、10 t 台⁶⁾ となり、2003～2010 年には 10 t 未満^{7, 8)} とほとんど漁獲されなくなった。しかし、2011 年頃から隠岐地域の天然ワカメの需要が本土で高まり、¹⁾ 漁獲量が再び増加し、2019 年には 130 t となった (図 2)。

国土地理院承認平14総複 第149号



図 1a. 島根県と隠岐地域
(地図は白地図 KenMap Ver9.2 による)

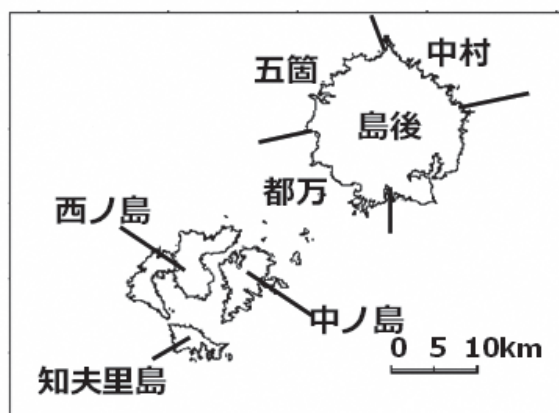


図 1b. 隠岐地域の詳細
(地図は株式会社環境シミュレーション研究所
社製 海洋版 GIS Marine Explorer Ver4 による)

¹ 隠岐支庁水産局 Oki Regional Office of Fisheries Affairs

² 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

³ 松江土建株式会社 Matsue Doken Co., Ltd.

^a 現所属：漁業生産部

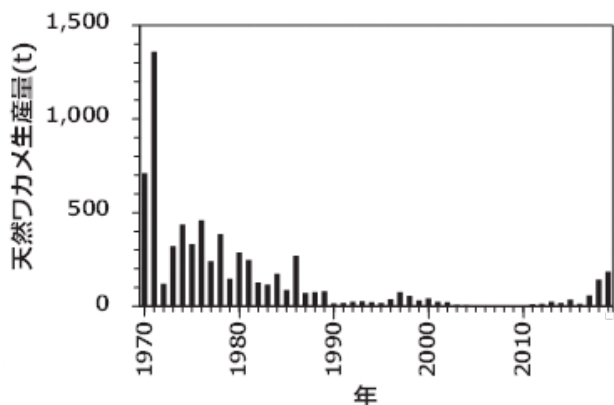


図2. 隠岐地域の天然ワカメ生産量の推移
(島根農林水産統計年報, 島根県漁獲管理情報処理システムより)

隠岐地域では、天然ワカメを早朝に漁獲し、その日のうちに加工して保存性を高め、翌日以降に本土へ出荷している。

ワカメは褐藻類で褐色のフコキサンチン色素と緑色のクロロフィルa色素を持ち、生鮮の状態では両方の色が重なり褐色に見える。加熱すると褐色のフコキサンチンが分解され、色素としての性質を失うため、クロロフィルaの鮮やかな緑色だけが見えるようになる(図3a)。²⁾ただし、ワカメは漁獲後約1日を経過すると、細胞機能の低下が起こり、葉体中の炭水化物の分解が促進されpHが低下する。^{9,10)}ワカメの葉体が酸性条件下になると、緑色のクロロフィルa色素は分子中のマグネシウムが遊離し、褐色のフェオフィチン色素へ変化する(以下、フェオフィチン化と表記)。そのため、漁獲後約1日経過したワカメでは湯煎しても葉体全体が緑色とならず、褐色部分が多くなり、商品価値が低下する(図3b)。^{2,11)}このことから、天然ワカメは漁獲当日にしか加工することができず、時化等で休漁すると天然ワカメを入手できないことが課題となっている。

この課題を解決するためには、クロロフィルaのフェオフィチン化を抑制する必要がある。そのためには酸素ガス中での貯蔵が有効であると報告されている。^{10,12)}そこで、水産技術センターと松江土建株式会社は、高濃度酸素海水を利用して生鮮ワカメを高密度で鮮度保持する試験を行い、2019年に漁獲翌日以降も湯煎後の褐変を防止する技術を開発した。²⁾

本技術は①から③の行程を経る。①高濃度酸素海水(溶存酸素300%程度)を生成する。②1t水槽の中へ生鮮ワカメを300から400kgを収容し、そこに高濃度酸素海水を注水する。③この海水を水温

10~15°Cで循環させる。これにより、漁獲当日の生鮮ワカメを翌日まで鮮度保持することができる(図4)。

また、2020年の試験では、漁獲2日後でもクロロフィルaはフェオフィチン化せず、緑色を保持できた(開内、未発表)。

本技術が導入されることで、天然ワカメを漁獲した翌日以降も加工が可能となり、湯通し塩蔵ワカメの生産量増加が期待される。また、翌日が時化等で休漁と予測された場合、事前に天然ワカメを余分に漁獲して翌日まで鮮度保持し、加工することも可能となる。しかし、技術を導入した場合のコスト試算がされていないため、採算が合うか不明である。

そこで、本研究では、隠岐地域で天然ワカメ鮮度保持技術を導入した場合の利益を試算し、採算性について検討した。



(a) 鮮度の良いワカメ
(左:生鮮, 右:湯煎後)



(b) 収穫後、24時間室温で
放置したワカメ(湯煎後)

図3. ワカメの色調



図4. 生鮮ワカメを鮮度保持している様子

資料と方法

利益の試算方法 漁業者が天然ワカメを 350 kg 漁獲し、加工業者がこれを 24 時間鮮度保持した後、これまで時化等で漁獲できなかった休漁日に湯通し塩蔵加工したと仮定して、1 漁期あたりの利益を試算した。

利益は、休漁日の天然ワカメの湯通し塩蔵加工における収入から支出および鮮度保持技術にかかる経費を差し引いた額とした。

休漁日は 2018 年および 2019 年の 4~5 月（盛漁期）に天然ワカメが水揚げされなかった日とした。なお、水揚げされなかった日が連続して複数日にわたった場合、休漁日を 1 日とした。対象地区は、2018 年から本格的にワカメ漁が行われている隠岐の島町中村、都万、五箇とした（図 1b）。

湯通し塩蔵加工における収支計算 収入は湯通し塩蔵ワカメの販売単価とし、県内の平均単価（1,233 円/kg）に、生鮮ワカメの湯通し塩蔵加工後の重量と休漁日の日数を乗じて求めた。湯通し塩蔵加工後の歩留まりは 40 %と仮定した。¹³⁾

支出は生鮮ワカメの原藻費、湯通し塩蔵加工にかかる諸経費、人件費とした。

生鮮ワカメの原藻費の単価（円/kg）は、島根県漁獲管理情報処理システム^{7,8)}から 2019 年の隠岐諸島の天然ワカメ（生鮮ワカメ）の総漁獲量と総漁獲金額を抽出して求めた。

湯通し塩蔵ワカメは、生鮮ワカメの食用に適さない部分の除去作業、湯煎、冷却、塩もみ、塩漬け、脱水、茎抜きの手順¹⁴⁾で加工される。これらの作業に必要な加工諸経費は、県内の加工流通業者への聞き取り調査により推定した。

人件費は、2019 年における島根県の最低賃金 790 円/時間・人とした。

鮮度保持技術導入にかかる経費 鮮度保持技術導入にかかる経費は、2020 年試験の実績額とした。

1 日当たりの電力料金は、2019 年における中国電力株式会社の従量電灯 B（商店・事務所を対象としたサービス）の料金単価（1 kWh につき 17.76 円：120 kWh まで）とした。資機材費は、資機材ごとの法定耐用年数¹⁵⁾から総合耐用年数を求め、減価償却費とした。

採算性の検討 湯通し塩蔵加工における収支試算、鮮度保持技術導入にかかる経費を試算することで、1 漁期あたりの利益や休漁日の日数（新たに加工可能となる日数）が求められる。しかし、休漁日の日

数は、年や地区によって天候の影響を受けるため変動することが想定される。

そこで、損益分岐点を求め、利益を上げるために必要な売上高と加工日数を調べ、採算性を検討した。¹⁶⁾

売上高は湯通し塩蔵ワカメ販売収入、変動費は生鮮ワカメ（原藻費）・加工諸経費・人件費・消耗品費・電気代（鮮度保持技術）、固定費は資機材・雑費と仮定した。

結果

湯通し塩蔵加工における収支計算 各地区における加工日および休漁日を表 1 に示した。表 1 から休漁日は、2018 年は平均 9 日間、2019 年は平均 10 日間と推定されたので、収支試算における休漁日の日数を 9 日間と仮定した。

湯通し塩蔵ワカメの歩留まりを 40 %と仮定すると、生鮮ワカメ 350 kg から湯通し塩蔵ワカメが 140 kg 生産されると推定され、収入は 1,513,580 円と求められた。

2019 年の隠岐地域における天然ワカメ（生鮮、漁業種類：採藻）の総漁獲量は 130,075 kg、総漁獲金額は 13,993,183 円であり、原藻の平均単価は 107 円/kg であった。

加工諸経費（食塩代、箱代、袋代、送料、電気代）は、聞き取り調査の結果から 14,115 円/式（日）と推定した。

人件費は、湯通し塩蔵加工に 3 時間程度要すため、2,370 円/人（790 円/時間・人×3 時間）と試算された。湯通し塩蔵加工には 9 人程度必要と想定した。

これらにより、支出は 656,052 円となり、湯通し塩蔵加工を 9 日間行くと、収支は 897,528 円と求められた（表 2）。

鮮度保持技術導入にかかる経費 鮮度保持技術導入には高濃度酸素海水生成装置、水中ポンプ、室外機式海水用クーラーが必要である。これらの資機材を稼働させるために必要な電力料金は 977 円/日であった（表 3）。

資機材費は一式 1,758,000 円、総合耐用年数は 8 年のため、減価償却費は 217,533 円/年となった（表 4）。

高濃度酸素海水を生成するには、酸素（7 m³）が必要で、酸素の消費頻度は 3 日にポンベ 1 本である。消耗品費は、9 日間湯通し塩蔵加工するとポンベを 3 本使用するため、18,000 円（6,000 円/本×3

本) となった.

また, 水中ポンプ洗浄用の水道代など上記の経費
 以外は, その他雑費 10,000 円とした.

以上より鮮度保持技術にかかる経費は 254,326 円
 /年と求められた (表 4).

採算性の検討 1 漁期あたりの利益は, 天然ワカ
 メ湯通し塩蔵加工における収支 897,528 円から鮮度
 保持技術にかかる経費 254,326 円を差し引き,
 643,202 円と試算された.

また, 天然ワカメの鮮度保持技術が導入され, 漁
 期中の休漁日 (9 日間) に加工した際の損益分岐点
 を図 5 に示した. 損益分岐点売上高は 405,968 円と
 なり, 採算性が合うためには, 3 日間以上の加工が
 必要と示された.

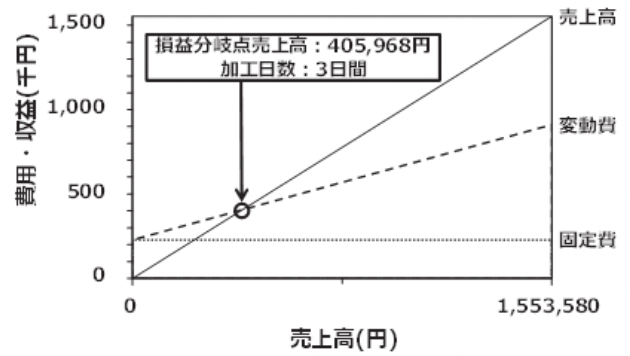


図 5. 天然ワカメの鮮度保持技術導入にかかる損益分
 岐点 (9 日/漁期 加工)

表 1. 各地区の加工日および休漁日

期間	都万地区		五箇地区		中村地区		平均休漁日
	加工日	休漁日	加工日	休漁日	加工日	休漁日	
	2018年4・5月	28	9	16	11	28	
2019年4・5月	24	12	24	13	24	6	10

表 2. 湯通し塩蔵加工における収支試算

	科目	税抜き単価	数量	日数	計	備考
収入	湯通し塩蔵ワカメの売価	1,233円/kg	140 kg	9日	1,553,580円	・県内の湯通し塩蔵ワカメ販売単価の平均値. ・湯通し塩蔵ワカメの歩留まりは40 %.
	生鮮ワカメ(原藻費)	107円/kg	350 kg	9日	337,050円	・島根県漁獲管理情報処理システムより算出.
	加工諸経費	14,115円/式(日)	1式(日)	9日	127,032円	・食塩代, 箱代, 袋代, 送料, 電気代など一式.
支出	人件費	2,370円/人	9人	9日	191,970円	・単価は790円/時間・人(島根県の最低賃金)×3時間. ・湯通し塩蔵加工の必要人数は9人程度.
	支出計				656,052円	
収支					897,528円	

表 3. 鮮度保持技術稼働にかかる電力料金(日)の試算結果

	科目	税抜き単価	消費電力	時間	計	備考
	高濃度酸素海水生成装置	17.76円	0.25 Kw	24 h	107円	
	水中ポンプ	17.76円	0.3 Kw	24 h	128円	・水中ポンプ2台分.
	室外機式海水用クーラー	17.76円	1.74 Kw	24 h	742円	
	合計				977円	・中国電力株式会社の従量電灯B(商店・事務所を対象としたサービス). ・120kWhまで17.76円/kWh(2019年).

表 4. 鮮度保持技術導入にかかる経費試算結果

科目	税抜き単価	日数	経費額	備考
資機材費	217,533円	-	217,533円	・高濃度酸素海水生成装置など資機材費一式.
消耗品費	6,000円/本	3日(本)	18,000円	・酸素ボンベ(7 m ³).3日に1本の頻度で消費.
電力料金(鮮度保持技術)	977円/日	9日	8,793円	・単価は表3から引用.
雑費	10,000円	-	10,000円	・水中ポンプ洗浄用の水道代など.
合計			254,326円	

考察

休漁日の日数はどの地区も 4~5 月の間に 6 日間以上となると想定された(表 1). 本技術が導入され, 3 日間以上湯通し塩蔵加工をすれば(図 5), 増益を見込めると考えられた.

本研究では, 県内の湯通し塩蔵ワカメの平均販売単価を資料として用いたが, 加工業者によって販売単価が異なることが想定される. 加工方法は業者によって様々で, 例えば「塩もみ」であれば, 手作業で水槽に生鮮ワカメを入れて食塩で浸漬させる方法, 塩もみ機を使用する方法¹⁷⁾などがある. 湯通し塩蔵ワカメの平均販売単価や加工諸経費は, 本技術の導入を要望している加工業者の加工方法によって変更する必要があると考えられた.

試算表(表 2~4)は, 加工業者が鮮度保持技術を導入することで, どの程度増益が見込まれるのかを示している. 試算表の加工日数や加工量を変更, 他の加工機器の減価償却費を加えることで, 1 漁期あたりの湯通し塩蔵加工の利益が試算できると考えられ, 新規加工業者の参考になる.

島根県では養殖ワカメが収穫されており, 本県の特産品のひとつである「板ワカメ」にも加工されている. 養殖ワカメ(漁期: 2~4 月)は, かなぎ漁業や潜り漁業と同様に時化の影響で収穫できない日があり, 経営の課題となっている.¹⁸⁾ 本技術の開発試

験では, 養殖ワカメも材料として用いており, 収穫翌日以降もクロロフィル a のフェオフィチン化を抑制できることを確認している.²⁾ このことから, 本技術は養殖ワカメにも応用できる.

また, 天然ワカメ鮮度保持技術は, 他水産物への応用も期待できる. 例えば, ワカメと同様の色素を持っているアカモク^{19, 20)}の鮮度保持, 酸素充填によるウニの塩水パック加工開発^{21, 22)}の可能性が期待される.

さらに, ウニの塩水パック加工開発技術と本技術を組み合わせることで, 生鮮ワカメの高濃度酸素海水パックが開発でき, 隠岐地域から本土への生鮮ワカメ出荷の可能性も期待される. 水産技術センターと松江土建株式会社が生鮮ワカメの高濃度酸素海水パックの開発試験をしており, 5℃の冷暗所で保存すれば, 生鮮ワカメを 6 日間保存できることが示唆されている(開内, 未発表).

本研究での試算により, 天然ワカメ鮮度保持技術の導入によって加工業者の増益が見込まれると明らかにしたことから, 本技術の導入には有益性があると考えられた. また, 試算表(表 2~4)は新規加工業者参入のための参考資料となり, 本技術の養殖ワカメおよび他水産物への応用が期待される.

謝辞

本研究を進めるにあたって, 島根県内の天然ワカ

メ加工流通業者の皆様には、湯通し塩蔵加工にかかる経費や手法についてご助言いただきました。

島根県隠岐支庁水産局の池田博之水産課長、吉村真理主任水産業普及員（現：島根県松江水産事務所）、沖真徳水産業普及員（現：島根県水産技術センター内水面浅海部）、中山創一朗水産業普及員、堀内正志技師には本研究について議論いただきました。元島根県隠岐支庁水産局の来間淳一局長には試算表の作成方法についてご助言いただきました。

本研究に協力していただいた関係者の皆様には心から深くお礼申し上げます。

文献

- 1) 徳田久志：天然ワカメで地域を活性化!-知夫里島で一大産業プロジェクト-。第25回全国青年・女性漁業者交流大会資料（2020）。
- 2) 開内 洋，向井哲也，別所 大，曾田紀子，吉村真理，寺戸稔貴，堀内正志：ワカメの高密度ストック技術開発。令和元年度水産利用関係研究開発推進会議利用加工技術部会研究会資料，32-33（2019）。
- 3) 中国四国農政局島根統計情報事務所：島根農林水産統計年報昭和46～48年，島根農林統計協会，島根，1974，pp. 247。
- 4) 彦田和昭：めのは わかめ養殖読本，島根県浅増養殖技術開発会議，島根，1973，pp. 3-5。
- 5) 佐藤純一：ワカメの輸入と品質，「海藻食品の品質保持と加工・流通」（小川廣男，能登谷正浩），恒星社厚生閣，東京，2002，pp. 91-105。
- 6) 中国四国農政局島根統計情報事務所：島根農林水産統計年報平成2年～平成3年，島根農林統計協会，島根，1992，pp. 199。
- 7) 村山達朗，若林英人，安木 茂，沖野 晃，伊藤薫，林 博文：漁獲管理情報処理システムの開発。島水試研報，12，67-78（2005）。
- 8) 向井哲也，村山達朗，林 博文，向井雅俊：漁獲管理情報処理システムの改良。島根水技セ研報，3，85-90（2011）。
- 9) 佐藤照彦，船岡輝幸：海藻類の加工について（1）ワカメの鮮度保持試験，「北水試月報第23巻第7号」（北海道立水産試験場編），北海道立中央水産試験場，北海，1966，pp. 45-61。
- 10) 木下康宣，吉岡武也，宮崎俊一，鶴野由美，赤井雄次：保存中のワカメの特性変化。北海道立工業技術センター研究報告，8，62-66（2004）。
- 11) 木村 進，中林敏郎，加藤博通：食品の変色の化学，第1版，光琳，東京，1995，pp. 159-185。
- 12) 木下康宣，吉岡武也，宮崎俊一，加藤早苗，今野久仁彦：生鮮ワカメの鮮度に与える酸素の影響。日本食品工学会誌，9，297-302（2008）。
- 13) 山中良一：わかめにおける湯通しと品質保持，「海藻食品の品質保持と加工・流通」（小川廣男，能登谷正浩編），恒星社厚生閣，東京，2002，pp. 17-27。
- 14) 上田智宏：湯通し塩蔵わかめ，「全国水産加工品総覧」（福田裕，山澤正勝，岡崎恵美子編），株式会社光琳，東京，2005，pp. 517-519。
- 15) 株式会社清文社：Web版税務手引書フルセット，2010，pp. 1961-2080。
- 16) 山本辰義：分析でわかる漁業経営-複式簿記から営漁指導まで-，漁協経営セミナー出版部，東京，2008，pp. 17-33。
- 17) 長谷川勝男，鈴木四郎：養殖ワカメの収穫および塩蔵加工作業調査。水工研技術報，27，61-80（2005）。
- 18) 道根 淳，佐々木 正，清川智之：ワカメ養殖業安定化対策試験-I-島根県におけるワカメ養殖実態調査結果-。島根水技セ研報，1，25-31（2007）。
- 19) 篠原直哉，後川龍男，深川敦平，秋本恒基，上田京子，木村太郎，黒田理恵子，赤尾哲之：福岡県大島産アカモク *Sargassum horneri* の成熟と湯通し加工品の品質との関係。日水誌，75，70-76（2009）。
- 20) 村上 香：海藻アカモクの特徴と食品利用-福岡県筑前海産を中心として-。広島工業大学紀要研究編，45，263-270（2011）。
- 21) 木下康宣，吉岡武也，宮崎俊一，金地宏和，二川隆司，友清正明：塩水パックウニの品質に及ぼす酸素充填の影響。北海道立工業技術センター研究報告，7，21-25（2002）。
- 22) 木下康宣，吉岡武也，宮崎俊一，加藤早苗，今野久仁彦：海水浸漬ウニ生殖腺の鮮度に与える酸素の影響。日水誌，75，237-243（2009）。

餌料用微細藻類 3 種 (*Chaetoceros calcitrans*, *Chaetoceros neogracile*, *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate)) の屋外培養における低塩分濃度の影響

佐々木 正¹

Effects of low salinity on outdoor culture of the feed microalgae *Chaetoceros calcitrans*, *Chaetoceros neogracile* and *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate)

Tadashi SASAKI

キーワード: キートセロス・カルシトランス, キートセロス・ネオグラシーレ, イソクリシス・タヒチ, 低塩分, サルボウガイ, 人工種苗生産, 屋外培養

はじめに

現在, 中海では漁業者により垂下式の養殖カゴを用いた汽水性二枚貝のサルボウガイの試験養殖が行われている。養殖に用いる種苗は天然採苗および人工種苗により供給されているが, 安定的な種苗の確保が課題となっている。このため一部の地区では, 漁業者自らが中海の湖岸に設けた簡易的な生産施設において中海の湖水を飼育水として用いた人工種苗生産に取り組んでいる。¹⁾しかし, その生産では飼育に必要な餌料藻類を市販品で賄っていることから餌料コストが高くなることが課題であった。

一方, 島根県水産技術センター (以下, 水産技術センター) が 6~7 月に実施したサルボウガイの人工種苗生産では, 屋外培養した珪藻類の *Chaetoceros calcitrans* (以下, カルシトランス), *Chaetoceros neogracile* (以下, ネオグラシーレ) およびハプト藻類の *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate) (以下, タヒチ) を供給することにより低コストで安定した種苗生産ができることを確認している。²⁻⁵⁾

そこで, 今回著者は, 漁業者の行うサルボウガイの人工種苗生産における餌料コストの低減を目的に, 低塩分である湖水を培養水に用いた餌料の屋外培養の可能性を明らかにするために, 前述の 3 種の餌料用微細藻類の培養試験を実施し, 低塩分が各餌料の培養の安定性に与える影響について検討した。

材料と方法

屋外における餌料培養は, 水温, 日射, 降雨等の環境変動や培養水内に発生する原生動物等の複合的な要因の影響がある厳しい環境であることから, 一連の培養試験は, 実際の培養と同じ屋外において実施し, 中海の表層水 (深度 1 m) の塩分^{6, 7)}を考慮し, 培養水の塩分が異なる複数の試験区を設定した。

2017 年の培養試験

培養試験は各餌料とも 8 月下旬から 9 月に水産技術センター浅海科庁舎の飼育棟の西側において実施し, カルシトランスとネオグラシーレは各 4 回 (試験 1-1~4, 試験 2-1~4), タヒチは 3 回 (試験 3-1~3) 行った。1 回目の試験では, 各餌料とも 100%海水区 (以下, 100%区), 66%海水区 (以下, 66%区), 50%海水区 (以下, 50%区) の 3 つの試験区を設定したが, 2 回目以降の試験では, 33%海水区 (以下, 33%区) を追加して 4 つの試験区とした。100%区では, 海水 (塩分 33~35 psu) をそのまま用い, 66%区, 50%区, 33%区では海水を各々 66% (塩分 22~23 psu), 50% (塩分 17 psu), 33% (塩分 11 psu) に水道水で希釈して調整した。培養水に用いた海水は, 水産技術センター地先海域から揚水して砂ろ過後, さらに 1 μm のカートリッジ式フィルターでろ過を行い, 10 ppm の次亜塩素酸ナトリウムで 16 時間以上殺菌処理後にチオ硫酸ナトリウムで中和したものを使用した。

1 内水面浅海部 Inland Water Fisheries and Coastal Fisheries Division

培養水槽には、容量 100 l の透明円型ポリカーボネイト水槽（直径 60 cm × 深さ 45 cm）を用い、試験開始時の水量は 80 l に設定した。各試験では餌料種毎に 1 槽使用し、樹脂製のパレット（110 cm × 110 cm × 高さ 15 cm）を敷いた。水槽の配置では日照条件に差が生じ無いような並べ方に留意し、相互の種の混入を防止するために水槽の間隔を十分に空けた。通気はいずれの水槽も中央に配置したエアストーンにより行い、水槽内で飼育水がゆっくり循環するように通気量を約 5 l/分に調整した。

各餌料とも 5 l フラスコで明暗周期 12 時間のもとで約 1,000 万細胞/ml 以上に増殖した対数増殖期から定常期の初期段階にあるものを元種として用い、概ね 10~30 万細胞/ml の密度で接種して試験を開始した。強光阻害の防止対策⁸⁾として接種後約 1 日間は木製の板を用いて日射の状況に応じて水槽上面の約 1/2~4/5 を覆って遮光し、光量を調整した。培養水に添加する栄養塩類には市販の液体培養液（KW21, 第一製網）およびケイ酸栄養塩（ゲルカルチャー, 富士シリシア化学）を用い、試験開始時の添加量は培養水 1 l 当たり前者が 0.3 ml, 後者が 0.2 g とし、その後培養密度の増加に応じて同量を 1~2 回追加で添加した。

試験期間中は、設定した塩分を保つために蒸発により減水した培養水を水道水で補充した他、降雨が予測される場合は、直前に各水槽の上面を農業用の透明ビニールシートで個別に覆って培養水の水位を保持した。試験期間は水産技術センターのこれまでの実績に基づき、平均的な培養日数である 7~10 日を目安とした。

培養試験に用いた元株については、カルシトランスは市販品（サンカルチャー, マリンテック（株））由来のものを、ネオグラシーレ（高水温耐性株）とタヒチは国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所「水産生物遺伝資源保存事業」により入手したのを用いた。

餌料のモニタリングとして細胞密度と総細胞数を毎日記録した。細胞密度の計測にはトーマ式血球計算盤を用いて、計測を 3 回繰り返してその平均値から細胞密度を算出した。珪藻類については、細胞が 2 連結したものは 2 個体としてカウントし、細胞が 3 連結以上のものや、複数の細胞が塊状に集合しているものおよび細胞質の大部分が委縮して死滅期と見なされる細胞については、二枚貝幼生が摂餌不能あるいは餌料価値が低いと判断し、計数対象から除外した。総細胞数は計測時（10 時）の各水槽の水量に

細胞密度を乗じて算出した。なお、細胞密度と総細胞数の各値の評価には測定誤差を考慮して、3 日間の移動平均値を用いた。

培養水の水質モニタリングとして 10 時および 1 日のうちで最も水温が高くなる傾向にある 15 時に携帯型水質計（LF330, WTW）を用いて各水槽の水温・塩分（psu）を測定した。

2018 年の培養試験

カルシトランスとネオグラシーレは 5~6 月に各 4 回（試験 4-1~4, 試験 5-1~4）、タヒチは 5~9 月にかけて 3 回（試験 6-1~3）の培養試験を行った。試験場所は、2017 年と異なり、飼育棟の東側において実施した。

2018 年の培養試験は 2017 年と同様に 4 つの試験区を設定したが、2017 年の試験で 33% 区の培養が可能であったことから、50% 区の替わりに新たに中海の表層水（深度 1m）の塩分の下限値付近⁷⁾である 20% 海水区（以下、20% 区）を設けた。20% 区では他の試験区と同様に海水を 20%（塩分 7 psu）に水道水で希釈して塩分濃度を調整した。試験期間は 2017 年よりも長く設定し、各餌料とも基本的に定常期もしくは死滅期に達するまでとした。試験期間中は 2017 年とは異なり、培養水の水位の調整は行わないこととしたが、タヒチの 3 回目の試験（試験 6-3）では、事前に台風の通過による大雨が予測された 9 月 29~30 日は各水槽の上面を農業用の透明マルチビニールシートで個別に覆って培養水のオーバーフローを防止した。試験期間中の降雨量については各水槽の日々の水量の変動から推定した。欠測日は気象庁松江地方気象台の松江市の測定ポイントにおける値を用いた。

基本的な培養条件は 2017 年と同様としたが、2018 年は培養を不安定にする要因の一つである培養水中の浮遊性の原生動物^{9,10)}のモニタリングを追加し、測定を 1 日 1 回行った。

原生動物の計数には出現密度に応じてフックスローゼンタール式およびトーマ式血球計算盤を用いてサンプルを固定せずに目視で行い、細胞径約 10 μm 未満（以下、小型）とそれ以上（以下、大型）に分けて個体数を記録した。大型の原生動物については餌料藻類の捕食の可能性を想定し、千原・村野編¹¹⁾および末友編¹²⁾を参考に大まかに分類した。なお、出現密度の各値の評価には餌料細胞で用いた方法と同様に測定誤差を考慮して、3 日間の移動平均値を用いた。

カルシトランスとネオグラシーレの培養試験は、

ほぼ同時期に連続的に実施した。1回目の試験(試験4-1, 5-1)では、2017年と同様に室内の5 l フラスコで海水100%の培養水を用いて培養したものを接種して試験を開始した。2回目の試験(試験4-2, 5-2)では、実際の種苗生産における培養実態を考慮して、植え継ぎによる培養を設定した。元種には1回目の試験終了時の餌料を用い、それぞれ同じ塩分の試験区のもので植え継いだ。3回目の試験(試験4-3, 5-3)でも同様に、2回目の試験終了時の餌料を元種に用いて同じ塩分の試験区に植え継いで試験を開始した。4回目の試験(試験4-4, 5-4)では、1回目の試験と同様に室内の5 l フラスコで培養したものを接種したが、元種の培養では1回目と異なり、各々の試験区と同じ塩分に調整して増殖させたものを用いた。4回目の試験では、1回目の試験との比

較により元種の塩分の調整が培養に与える影響について評価を行った他、ほぼ同時期に実施した3回目の試験との比較により植え継ぎが低塩分の培養に与える影響の評価も併せて行った。

タヒチの1回目の試験(試験6-1)では、2017年と同様に室内の5 l フラスコで海水100%の培養水を用いて培養したものを接種して試験を開始した。2, 3回目の試験(試験6-2, 6-3)では前述2種のキートセラス属の4回目試験と同様に各々の試験区と同じ塩分に調整して室内の5 l フラスコで増殖させたものを接種して培養を行い、元種の塩分の調整がその後の培養に与える影響について評価を行った。

結果

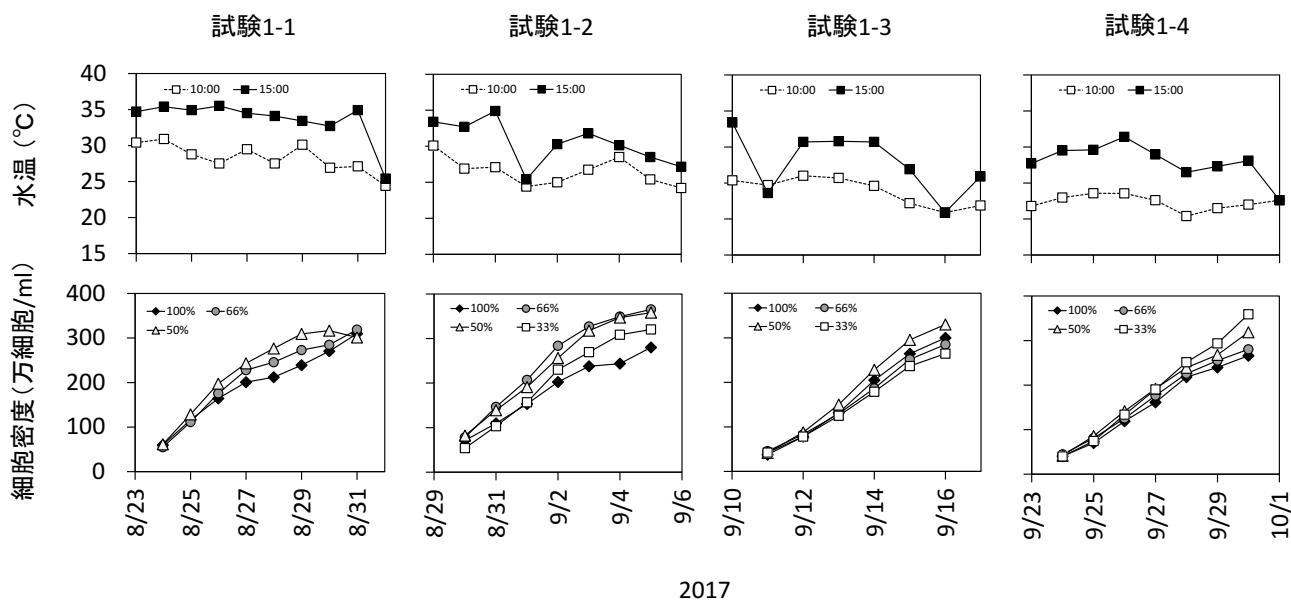


図1. 試験1 (キートセラス・カルシトランス 2017年)における培養水温および餌料細胞密度の3日移動平均値の推移

表1. 試験1 (キートセラス・カルシトランス 2017年) の概要

*は3日移動平均値を示す。

	試験 1-1 (8/23~9/1)			試験 1-2 (8/29~9/6)				試験 1-3 (9/10~9/17)				試験 1-4 (9/23~10/1)			
	100%	66%	50%	100%	66%	50%	33%	100%	66%	50%	33%	100%	66%	50%	33%
10時の平均水温(°C) (範囲)	28.3 (24.4~30.9)			26.5 (24.2~30.1)				23.9 (20.9~26.0)				22.3 (20.4~23.6)			
15時の平均水温(°C) (範囲)	33.6 (33.5~35.5)			30.5 (27.2~34.9)				27.9 (20.9~33.4)				28.0 (22.6~31.4)			
平均塩分 (psu)	33.8	22.3	16.9	34.8	23.0	17.4	11.5	33.5	22.1	16.8	11.1	34.3	22.6	17.2	11.3
開始細胞密度(万細胞/ml)	18.0			21.0				20.0				9.0			
元種の由来	室内培養			室内培養				室内培養				室内培養			
最高細胞密度(万細胞/ml)*	310	319	317	280	365	358	320	300	285	330	265	266	280	319	359

2017年の培養試験

(1) カルシトランス 2017年のカルシトランスの試験期間における水温(10時, 15時)と細胞密度の各3日移動平均値(以下, 細胞密度)の推移を図1に, 培養結果の概要を表1に示す. なお, 水温については各区ほぼ同様であったので100%区のみ値を示した(以下同様).

試験期間中の水温は, 10時では20.4~30.9°Cの範囲, 15時では20.9~35.5°Cの範囲で推移した.

8月23日に開始した1回目の試験(試験1-1)では, カルシトランスの細胞密度は, 50%区>66%区>100%区の順に高い傾向が見られたものの試験後半にはほぼ同じ値となり, 最高値は各試験区でほぼ同じ値(310~319万細胞/ml)となった.

8月29日に開始した2回目の試験(試験1-2)では, カルシトランスの細胞密度は, 開始直後から試験区間で差が見られ, 細胞密度の最高値は, 66%区(365万細胞/ml)および50%区(358万細胞/ml)>33%区(320万細胞/ml)>100%区(280万細胞/ml)の順で高かった. この時66%区の細胞密度は, 2017年のカルシトランスの試験における最高値を記録した.

9月10日に開始した3回目の試験(試験1-3)では, カルシトランスの細胞密度は, 試験開始から試験区間で大きな差が無く推移した. 細胞密度の最高値は, 50%区(330万細胞/ml)>100%区(300万細胞/ml)>66%区(285万細胞/ml)>33%区(265万細胞/ml)の順で高かったが, その差は僅かであった.

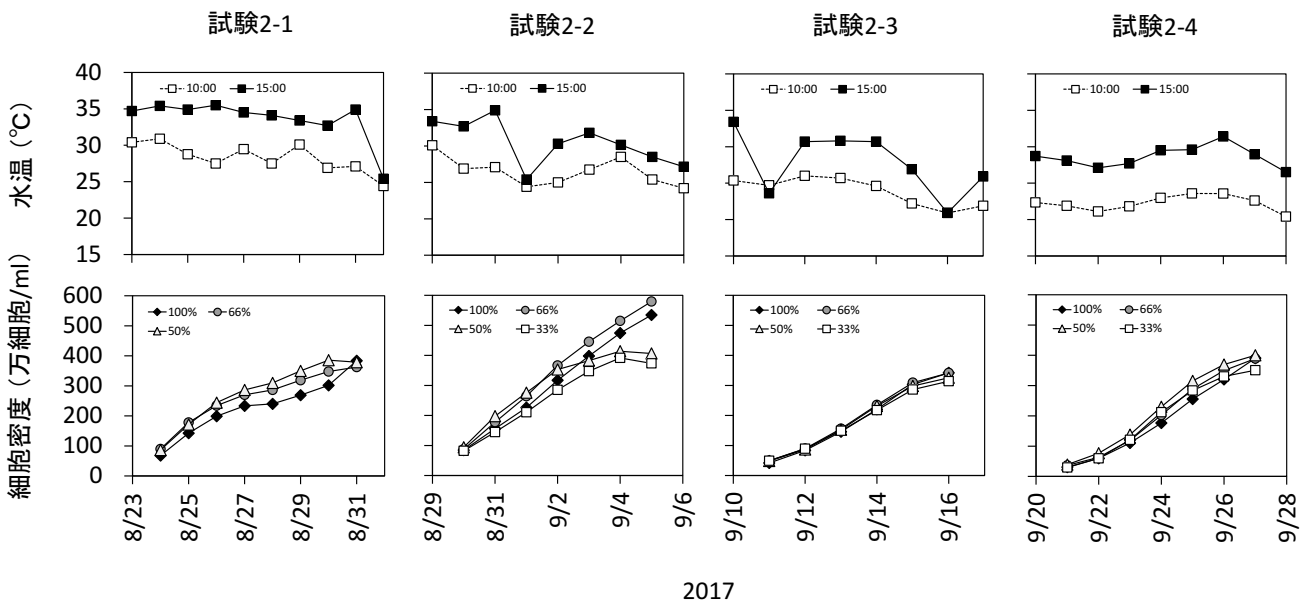


図2. 試験2(キートセロス・ネオグラシーレ 2017年)における培養水温および餌料細胞密度の3日移動平均値の推移

表2. 試験2(キートセロス・ネオグラシーレ 2017年)の概要
*は3日移動平均値を示す.

	試験 2-1(8/23~9/1)			試験 2-2(8/29~9/6)				試験 2-3(9/10~9/17)				試験 2-4(9/20~9/28)			
	100%	66%	50%	100%	66%	50%	33%	100%	66%	50%	33%	100%	66%	50%	33%
10時の平均水温(°C) (範囲)	28.3 (24.4~30.9)			26.5 (24.2~30.1)				23.9 (20.9~26.0)				22.2 (20.4~23.6)			
15時の平均水温(°C) (範囲)	33.6 (33.5~35.5)			30.5 (27.2~34.9)				27.9 (20.9~33.4)				28.6 (26.5~31.4)			
平均塩分(psu)	33.8	22.3	16.9	34.8	23.0	17.4	11.5	33.5	22.1	16.8	11.1	34.7	22.9	17.4	11.5
開始細胞密度(万細胞/ml)	26.0			22.0				21.0				27.5			
元種の由来	室内培養			室内培養				室内培養				室内培養			
最高細胞密度(万細胞/ml)*	384	363	386	534	579	414	392	342	342	326	314	391	389	400	351

9月23日に開始した4回目の試験(試験1-4)では、カルシトランスの細胞密度は、試験開始から試験区間で大きな差が無く推移した。細胞密度の最高値は、33%区(359万細胞/ml) > 50%区(319万細胞/ml) > 66%区(280万細胞/ml) > 100%区(266万細胞/ml)の順で高かった。

(2) ネオグラシーレ 2017年のネオグラシーレの試験期間における水温(10時, 15時)と細胞密度の各3日移動平均値(以下, 細胞密度)の推移を図2に、培養結果の概要を表2に示す。

試験期間中の水温は、カルシトランスの培養と同様に10時では20.4~30.9℃の範囲, 15時では20.9

~35.5℃の範囲で推移した。

8月23日に開始した1回目の試験(試験2-1)では、ネオグラシーレの細胞密度は、カルシトランスと同様に試験期間を通じて50%区 > 66%区 > 100%区の順に高い傾向が見られたものの試験後半にはほぼ同じ値となり、最高値は各試験区でほぼ同じ値(363~386万細胞/ml)となった。

8月29日に開始した2回目の試験(試験2-1)では、ネオグラシーレの細胞密度は、試験後半にかけて塩分濃度の高い試験区(100%区, 66%区)と低い試験区(50%区, 33%区)とで差が生じた。細胞密度の最高値は、66%区(579万細胞/ml) > 100%区(534

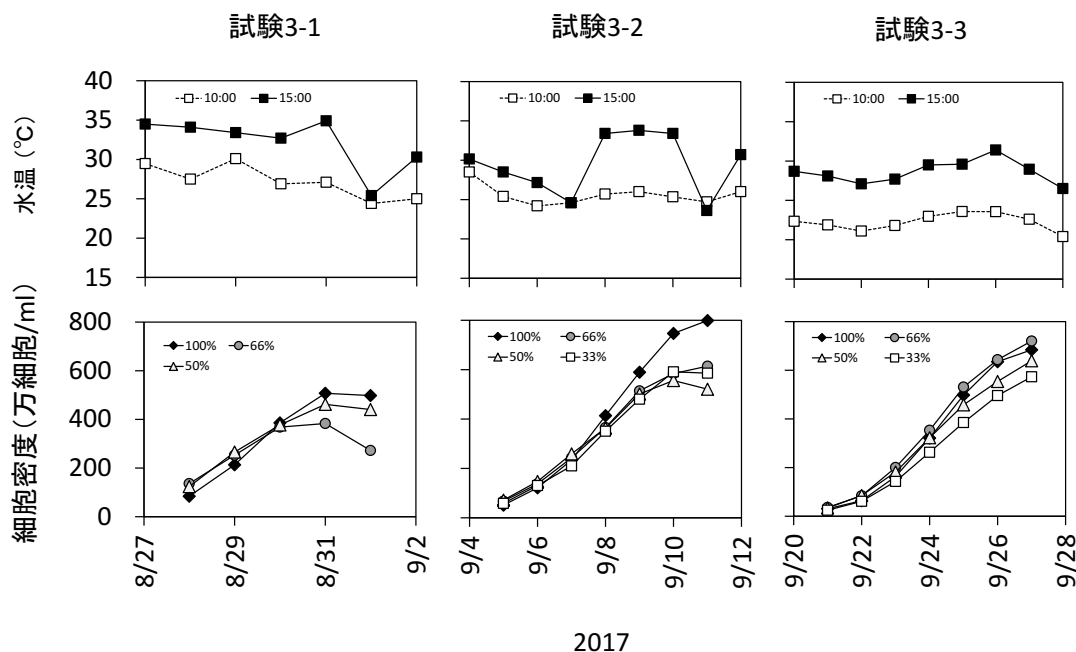


図3. 試験3(イソクリシス・タヒチ 2017年)における培養水温および餌料細胞密度の3日移動平均値の推移

表3. 試験3(イソクリシス・タヒチ 2017年)の概要
*は3日移動平均値を示す。

	試験 3-1 (8/27~9/2)			試験 3-2 (9/4~9/12)				試験 3-3 (9/20~9/28)			
	100%	66%	50%	100%	66%	50%	33%	100%	66%	50%	33%
10時の平均水温(°C)	27.2			25.6				22.2			
(範囲)	(24.4~30.1)			(24.2~28.5)				(20.4~23.6)			
15時の平均水温(°C)	32.2			29.5				28.6			
(範囲)	(25.4~34.9)			(23.6~33.4)				(26.5~31.4)			
平均塩分(psu)	34.9	23.0	17.5	34.0	22.4	17.0	11.2	34.7	22.9	17.4	11.5
開始細胞密度(万細胞/ml)	19.2			12.0				20.9			
元種の由来	室内培養			室内培養				室内培養			
最高細胞密度(万細胞/ml)*	507	383	462	799	614	556	591	684	720	639	573

万細胞/ml) >50%区 (414 万細胞/ml) >33%区 (392 万細胞/ml) の順で高かった。この時 66%区の細胞密度は、2017 年のネオグラシーレの試験にける最高値を記録した。

9 月 10 日に開始した 3 回目の試験 (試験 2-3) では、ネオグラシーレの各試験区の細胞密度は試験開始から終了までほぼ同じ値で推移し、細胞密度の最高値も各試験区でほぼ同じ値 (314~342 万細胞/ml) となった。

9 月 20 日に開始した 4 回目の試験 (試験 2-4) では、ネオグラシーレの細胞密度は試験開始から試験区間で大きな差が無く推移した。細胞密度の最高値は、100%区 (391 万細胞/ml)、66%区 (389 万細胞/ml) および 50%区 (400 万細胞/ml) がほぼ同様に、33%区 (351 万細胞/ml) がそれよりやや低い値を示した。

(3) タヒチ 2017 年のタヒチの試験期間における水温 (10 時, 15 時) と細胞密度の各 3 日移動平均値 (以下, 細胞密度) の推移を図 3 に、培養結果の概要を表 3 に示す。

試験期間中の水温は、10 時では 20.4~30.1°C の範囲、15 時では 23.6~34.9°C の範囲で推移した。

8 月 27 日に開始した 1 回目の試験 (試験 3-1) では、タヒチの細胞密度は、各試験区とも試験後半に低下し、試験区間で差が生じた。細胞密度の最高値は、100%区 (507 万細胞/ml) >50%区 (462 万細胞/ml) >66%区 (383 万細胞/ml) の順で高かった。

9 月 4 日に開始した 2 回目の試験 (試験 3-2) では、タヒチの細胞密度は、試験後半に試験区間で差が生じ、特に 100%区が他の試験区に対して高い値を示した。細胞密度の最高値は、100%区 (799 万細胞/ml) >66%区 (614 万細胞/ml) >33%区 (591 万細胞/ml) >50%区 (556 万細胞/ml) の順で高かった。この時 100%区の細胞密度は、2017 年のタヒチの試験における最高値を記録した。

9 月 20 日に開始した 3 回目の試験 (試験 3-3) では、タヒチの細胞密度は、試験開始から試験区間で差が生じた。細胞密度の最高値は、66%区 (720 万細胞/ml) >100%区 (684 万細胞/ml) >50%区 (639 万細胞/ml) >33%区 (573 万細胞/ml) の順で高かった。

2018 年の培養試験

(1) カルシトランス 2018 年のカルシトランスの試験期間における水温 (10 時, 15 時)、塩分および降水量の日々の値を図 4 の a, b に、サイズ別 (小型, 大型) の原生動物の出現密度の各 3 日移動平均

値 (以下, 出現密度) の推移を同 c, d に、カルシトランスの細胞密度と総細胞数の各 3 日移動平均値 (以下, 細胞密度, 総細胞数) の推移を同 e, f に、培養結果の概要を表 4 に示す。なお、水温については 2017 年と同様に各区ほぼ同様であったので 100%区のみ値を示した (以下同様)。

試験期間中の水温は、10 時では 17.1~28.5°C の範囲、15 時では 18.8~34.0°C の範囲で推移した。

試験期間中の塩分は、主に降水量により変動し、1 回目の試験では試験開始時の設定値よりやや低め、2~4 回目の試験ではやや高めに推移した。

各試験とも降水による培養水の一時的な増加は限定的であり、各餌料の細胞密度と総細胞数は、ほぼ連動して推移した。

5 月 11 日に室内培養の元種を接種して開始した 1 回目の試験 (試験 4-1) では、5 月 28 日までの 17 日間の培養を行った。カルシトランスの細胞密度は、試験開始から試験区間で差が生じた (図 4e, f)。細胞密度の最高値は、33%区 (805 万細胞/ml) >20%区 (733 万細胞/ml) >100%区 (688 万細胞/ml) >66%区 (607 万細胞/ml) の順で高かった。この時 33%区の細胞密度は、2018 年のカルシトランスの試験における最高値を記録した。また、カルシトランスの細胞密度が低かった 100%区、66%区では、試験後半に小型の原生動物が数十万個体/ml の密度で出現した (図 4c)。

5 月 30 日に 1 回目の試験終了時のものを植え継いで開始した 2 回目の試験 (試験 4-2) では、6 月 12 日までの 13 日間の培養を行った。カルシトランスの細胞密度は、試験開始直後は試験区間で差が無かったが、試験後半にかけて差が生じた (図 4e, f)。カルシトランスの細胞密度の最高値は、33%区 (639 万細胞/ml) >100%区 (568 万細胞/ml) および 20%区 (571 万細胞/ml) >66%区 (496 万細胞/ml) の順に高い値を示した。

6 月 12 日に 2 回目の試験終了時のものを植え継いで開始した 3 回目の試験 (試験 4-3) では、6 月 27 日までの 15 日間の培養を行った。カルシトランスの細胞密度は、試験開始直後から高塩分と低塩分の試験区間で差が生じ、33%区と 20%区はより高塩分の 100%区と 66%区より早く細胞密度が低下したため、6 月 23 日に培養を終了した (図 4e, f)。細胞密度の最高値は、100%区 (613 万細胞/ml) >66%区 (509 万細胞/ml) >20%区 (384 万細胞/ml) >33%区 (274 万細胞/ml) の順で高かった。33%区と 20%区のカルシトランスの細胞密度が低下した期間には、大型

の繊毛虫類（細胞長径は約 40 μm）および鞭毛を有する分類不明種（細胞径 10~20μm）が数種出現し、その密度は最大で 33%区では 21 万個体/ml、20%区では 16 万個体/ml を記録した（図 4d）。

6月13日に新たに塩分を調整した室内培養の元種を接種して開始した4回目の試験（試験4-4）では、

6月27日までの14日間の培養を行った。カルシトランスの細胞密度は、試験開始直後は試験区間で差が無かったが、試験後半にかけて差が生じた（図 4e, f）。細胞密度の最高値は、33%区（795 万細胞/ml）>20%区（633 万細胞/ml）>100%区および66%区（いずれも 530 万細胞/ml）の順で高かった。

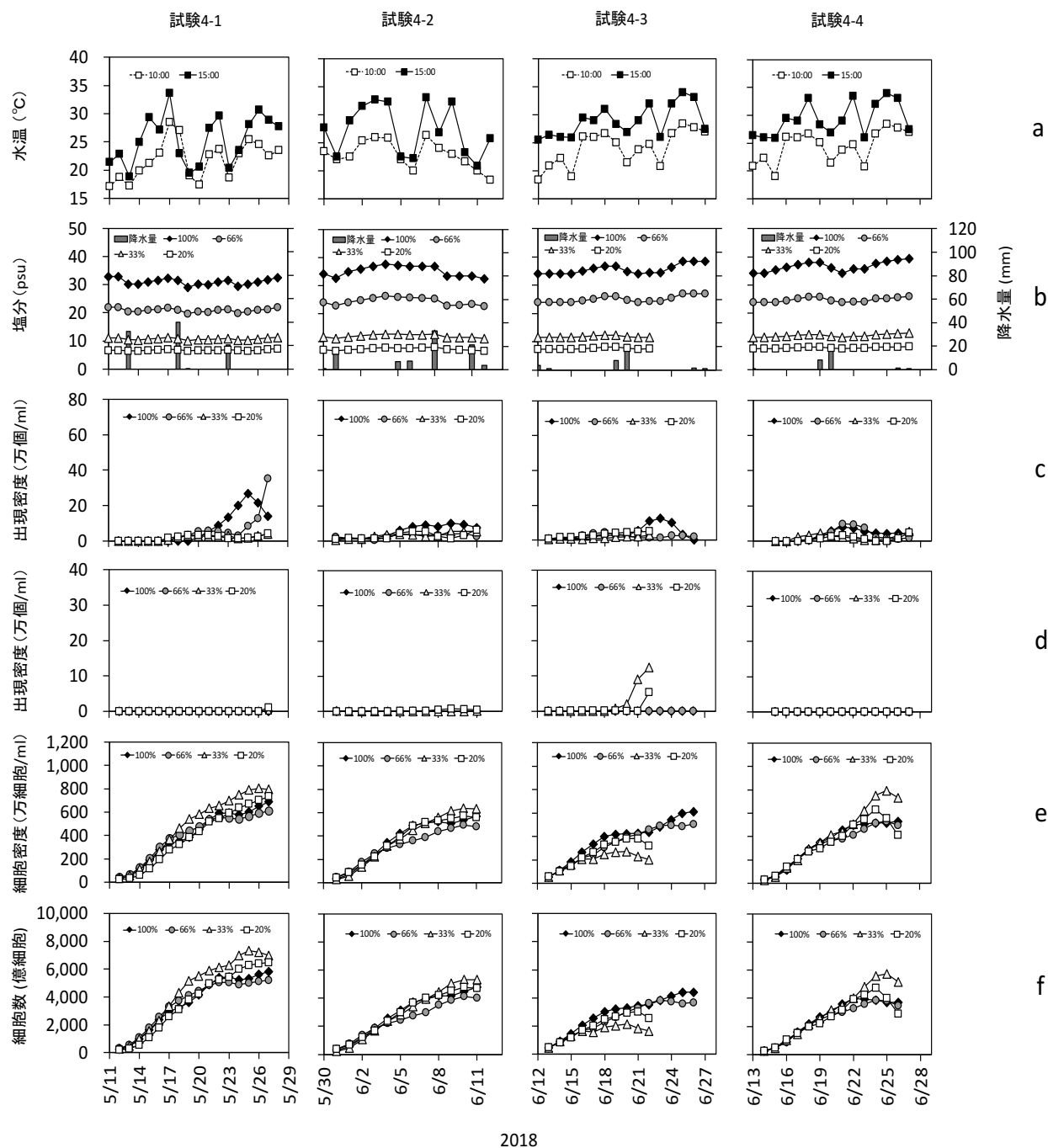


図 4. 試験 4（キートセロス・カルシトランス 2018 年）における培養水温 (a)，塩分・降水量 (b)，小型の原生動物の出現密度の 3 日移動平均値 (c)，大型の原生動物の出現密度の 3 日移動平均値 (d)，餌料細胞密度 (e) および総餌料細胞数 (f) の 3 日移動平均値の推移

表4. 試験4 (キートセロス・カルシトランス 2018年) の概要

*は3日移動平均値を示す。

	試験4-1 (S/11~5/28)			試験4-2 (S/30~6/12)			試験4-3 (G/12~6/27)			試験4-4 (G/13~6/27)			
	100%	33%	20%	100%	33%	20%	100%	33%	20%	100%	33%	20%	
10時の平均水温(°C) (範囲)	21.8 (17.1~28.5)	22.9 (18.4~26.3)	24.1 (18.4~28.4)	24.5 (19.0~28.4)	21.8 (17.1~28.5)	22.9 (18.4~26.3)	24.1 (18.4~28.4)	24.5 (19.0~28.4)	21.8 (17.1~28.5)	22.9 (18.4~26.3)	24.1 (18.4~28.4)	24.5 (19.0~28.4)	
15時の平均水温(°C) (範囲)	25.4 (18.8~33.6)	27.3 (20.9~33.1)	28.9 (25.5~34.0)	29.3 (25.9~34.0)	25.4 (18.8~33.6)	27.3 (20.9~33.1)	28.9 (25.5~34.0)	29.3 (25.9~34.0)	25.4 (18.8~33.6)	27.3 (20.9~33.1)	28.9 (25.5~34.0)	29.3 (25.9~34.0)	
平均塩分(psu) (範囲)	31.1 (29.1~33.0)	10.7 (10.2~11.3)	6.7 (6.4~7.2)	35.2 (32.4~37.7)	12.0 (11.2~12.8)	7.4 (6.8~8.1)	35.6 (34.1~38.4)	11.8 (11.5~12.4)	7.6 (7.4~8.1)	31.1 (29.1~33.0)	10.7 (10.2~11.3)	6.7 (6.4~7.2)	35.2 (32.4~37.7)
開始細胞密度(万細胞/ml)	23.0	21.1	23.9	24.1	23.0	21.1	23.9	24.1	23.0	21.1	23.9	24.1	
元種の由来	室内培養	屋外培養(試験4-1の補え継ぎ)	屋外培養(試験4-2の補え継ぎ)	屋外培養(試験4-3の補え継ぎ)	室内培養	屋外培養(試験4-1の補え継ぎ)	屋外培養(試験4-2の補え継ぎ)	屋外培養(試験4-3の補え継ぎ)	室内培養	屋外培養(試験4-1の補え継ぎ)	屋外培養(試験4-2の補え継ぎ)	屋外培養(試験4-3の補え継ぎ)	
接種時の元種の塩分濃度(psu)	35.0	22.0	11.3	7.2	35.0	22.0	11.3	7.2	35.0	22.0	11.3	7.2	
小型の原生動物の最高出現密度(億個体/ml)*	26.7	10.0	4.3	6.3	26.7	10.0	4.3	6.3	26.7	10.0	4.3	6.3	
大型の原生動物の最高出現密度(億個体/ml)* (種類)	0	0	0	0.2	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
最高細胞密度(万細胞/ml)*	688	607	805	733	688	607	805	733	688	607	805	733	
最高細胞数(億細胞)*	6,273	5,319	7,882	7,006	6,273	5,319	7,882	7,006	6,273	5,319	7,882	7,006	

表5. 試験5 (キートセロス・ネオグラシール 2018年) の概要

*は3日移動平均値を示す。

	試験5-1 (S/11~5/28)			試験5-2 (S/30~6/12)			試験5-3 (G/12~6/27)			試験5-4 (G/13~6/27)			
	100%	33%	20%	100%	33%	20%	100%	33%	20%	100%	33%	20%	
10時の平均水温(°C) (範囲)	21.8 (17.1~28.5)	22.9 (18.4~26.3)	24.1 (18.4~28.4)	24.5 (19.0~28.4)	21.8 (17.1~28.5)	22.9 (18.4~26.3)	24.1 (18.4~28.4)	24.5 (19.0~28.4)	21.8 (17.1~28.5)	22.9 (18.4~26.3)	24.1 (18.4~28.4)	24.5 (19.0~28.4)	
15時の平均水温(°C) (範囲)	25.4 (18.8~33.6)	27.4 (20.9~33.3)	27.4 (20.9~33.3)	27.4 (20.9~33.3)	25.4 (18.8~33.6)	27.4 (20.9~33.3)	27.4 (20.9~33.3)	27.4 (20.9~33.3)	25.4 (18.8~33.6)	27.4 (20.9~33.3)	27.4 (20.9~33.3)	27.4 (20.9~33.3)	
平均塩分(psu) (範囲)	31.1 (29.1~33.0)	10.7 (10.2~11.3)	6.7 (6.4~7.1)	36 (33.4~39.0)	12.3 (11.5~13.5)	7.9 (7.4~8.6)	35.6 (33.5~38.4)	11.9 (11.5~12.7)	7.9 (7.4~8.8)	31.1 (29.1~33.0)	10.7 (10.2~11.3)	6.7 (6.4~7.1)	36 (33.4~39.0)
開始細胞密度(万細胞/ml)	10.6	25.8	22.6	22.6	10.6	25.8	22.6	22.6	10.6	25.8	22.6	22.6	
元種の由来	室内培養	屋外培養(試験5-1の補え継ぎ)	屋外培養(試験5-2の補え継ぎ)	屋外培養(試験5-3の補え継ぎ)	室内培養	屋外培養(試験5-1の補え継ぎ)	屋外培養(試験5-2の補え継ぎ)	屋外培養(試験5-3の補え継ぎ)	室内培養	屋外培養(試験5-1の補え継ぎ)	屋外培養(試験5-2の補え継ぎ)	屋外培養(試験5-3の補え継ぎ)	
接種時の元種の塩分濃度(psu)	35.0	22.0	11.3	7.2	35.0	22.0	11.3	7.2	35.0	22.0	11.3	7.2	
小型の原生動物の最高出現密度(億個体/ml)*	66.7	65.0	25.3	21.7	66.7	65.0	25.3	21.7	66.7	65.0	25.3	21.7	
大型の原生動物の最高出現密度(億個体/ml)* (種類)	0	0	0	3.7	0	0	0	3.7	0	0	0	3.7	
最高細胞密度(万細胞/ml)*	659	767	803	741	659	767	803	741	659	767	803	741	
最高細胞数(億細胞)*	5,400	6,279	7,254	6,664	5,400	6,279	7,254	6,664	5,400	6,279	7,254	6,664	

(2) ネオグラシーレ 2018年のネオグラシーレの試験期間における水温(10時, 15時), 塩分および降水量の日々の値を図5のa, bに, サイズ別(小型, 大型)の原生動物の出現密度の各3日移動平均値(以下, 出現密度)の推移を同c, dに, ネオグラシーレの細胞密度と総細胞数の各3日移動平均値(以下, 細胞密度, 総細胞数)の推移を同e, fに, 培養結果の概要を表5に示す。

試験期間中の水温は, カルシトランスの培養と同様に10時では17.1~28.5°Cの範囲, 15時では18.8~34.0°Cの範囲で推移した。

試験期間中の塩分は, カルシトランスと同様に1回目の試験では試験開始時の設定値よりやや低め, 2~4回目の試験ではやや高めに推移した。各試験とも降水による培養水の一時的な増加は限定的であり, 各餌料の細胞密度と総細胞数は, ほぼ連動して推移

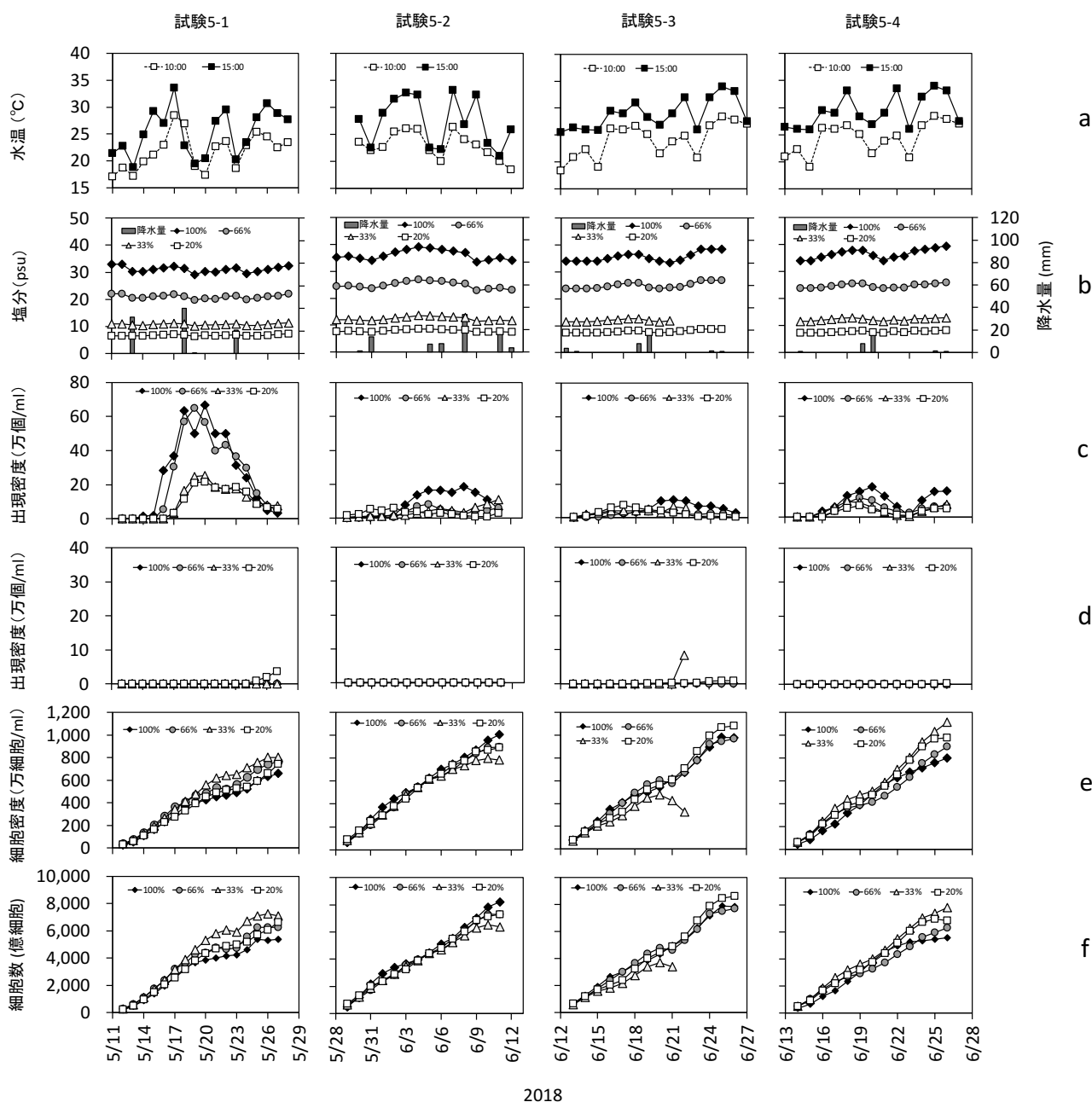


図5. 試験5(キートセロス・ネオグラシーレ 2018年)における培養水温(a), 塩分・降水量(b), 小型の原生動物の出現密度の3日移動平均値(c), 大型の原生動物の出現密度の3日移動平均値(d), 餌料細胞密度(e)および総餌料細胞数(f)の3日移動平均値の推移

した。

5月11日に室内培養の元種を接種して開始した1回目の試験(試験5-1)では、5月28日までの17日間の培養を行った。ネオグラシーレの細胞密度は、試験開始直後は試験区間で差が無かったが、試験後半にかけて差が生じた(図5e, f)。細胞密度の最高値は、33%区(803万細胞/ml) > 66%区(767万細胞/ml) > 20%区(741万細胞/ml) > 100%区(659万細胞/ml)の順で高かった。全ての試験区で小型の原生動物が高い密度で出現し、試験中期にかけて数十万個体/mlの密度まで増加した後に減少する現象が見られたことが特異的であった(図5c)。

5月28日に1回目の試験終了時のものを植え継いで開始した2回目の試験(試5-2)では、6月12日までの15日間の培養を行った。ネオグラシーレの細胞密度は、試験開始から試験区間で大きな差が無く推移したが、試験後半にかけて差が生じた(図5e, f)。細胞密度の最高値は、100%区(1,004万細胞/ml) > 66%区(895万細胞/ml) および 20%区(893万細胞/ml) > 33%区(799万細胞/ml)の順で高かった。

6月12日に2回目の試験終了時のものを植え継いで開始した3回目の試験(試験5-3)では、6月27日までの15日間の培養を行った。ネオグラシーレの細胞密度は、33%区のみ他の試験区と異なり、早期に低下したため6月23日に培養を終了した(図5e, f)。細胞密度の最高値は、20%(1,085万細胞/ml) > 100%区(983万細胞/ml) および 66%区(969万細胞/ml) > 33%区(475万細胞/ml)の順で高かった。早期に細胞密度が低下した33%区では、試験終了時に鞭毛を有する細胞径10~20 μ mの原生動物(分類不明)が観察された(図5d)。

6月13日に新たに塩分を調整した室内培養の元種を接種して開始した4回目の試験(試験4-4)では、6月27日までの14日間の培養を行った。ネオグラシーレの細胞密度は、試験開始から試験区間で大きな差が無く推移したが、100%区と66%区の高塩分の試験区がより低塩分の試験区より細胞密度がやや低い傾向が認められた(図5e, f)。細胞密度の最高値は、33%区(1,113万細胞/ml) > 20%区(975万細胞/ml) > 66%区(898万細胞/ml) > 100%区(798万細胞/ml)の順で高かった。この時33%区の細胞密度は、2018年のネオグラシーレの試験における最高値を記録した。

(3) タヒチ 2018年のタヒチの試験期間における水温(10時, 15時), 塩分および降水量の日々の値を図6のa, bに、サイズ別(小型, 大型)の原

生動物の出現密度の各3日移動平均値(以下, 出現密度)の推移を同c, dに、タヒチの細胞密度と総細胞数の各3日移動平均値(以下, 細胞密度, 総細胞数)の推移を同e, fに、培養結果の概要を表6に示す。試験期間中の水温は、10時では17.1~28.7 $^{\circ}$ Cの範囲、15時では18.8~33.6 $^{\circ}$ Cの範囲で推移した。試験期間中の塩分は、1回目の試験では試験開始時の設定値よりやや低め、2, 3回目の試験ではやや高めに推移した。各試験とも降水による培養水の一時的な増加は限定的であり、各餌料の細胞密度と総細胞数は、ほぼ連動して推移した。

5月11日に100%海水で培養した室内培養の元種を接種して開始した1回目の試験(試験6-1)では、5月26日までの15日間の培養を行った。タヒチの細胞密度は、試験開始直後から試験区間で差が見られた。特に20%区は、試験開始直後から他の試験区と比較して細胞密度が低く推移した(図6e, f)。細胞密度の最高値は、66%区(911万細胞/ml) > 100%区(778万細胞/ml) および 33%区(770万細胞/ml) > 20%区(357万細胞/ml)の順で高かった。20%区では、大部分の個体が活発に遊泳した他の試験区と異なり、試験開始直後には遊泳が緩慢な個体が多く観察されたが、その後は徐々に遊泳個体が増加する傾向が見られた。また、100%区と66%区ではランダムな方向に遊泳する個体が多いのに対し、より低塩分の33%区と20%区では同じ場所で巡回遊泳する個体が多いことが特徴的であった。

8月5日に各試験区と同じ塩分の条件で培養した室内培養の元種を接種して開始した2回目の試験(試験6-2)では、全ての試験区で試験開始から数日で増殖が不調となり、8月12日までの7日間で培養を終了した。タヒチの細胞密度は、試験開始直後から試験区間で差が見られた(図6e, f)。細胞密度の最高値は、100%区(724万細胞/ml) > 66%区(572万細胞/ml) および 33%区(556万細胞/ml) > 20%区(468万細胞/ml)の順で高かった。なお、20%区では1回目の試験と異なり、試験開始から活発に遊泳する個体が多く観察された。また、33%区と20%区では1回目と同様に同じ場所で巡回遊泳する個体が多く観察された。各試験区とも試験終了時には、細胞径が10~15 μ mのラフィド藻類が数十万個体/mlの密度で出現した(図6d)。

9月25日に2回目と同様に各試験区と同じ塩分濃度の条件で培養した室内培養の元種を接種して開始した3回目の試験(試験6-3)では、10月8日までの13日間の培養を行った。タヒチの細胞密度は、

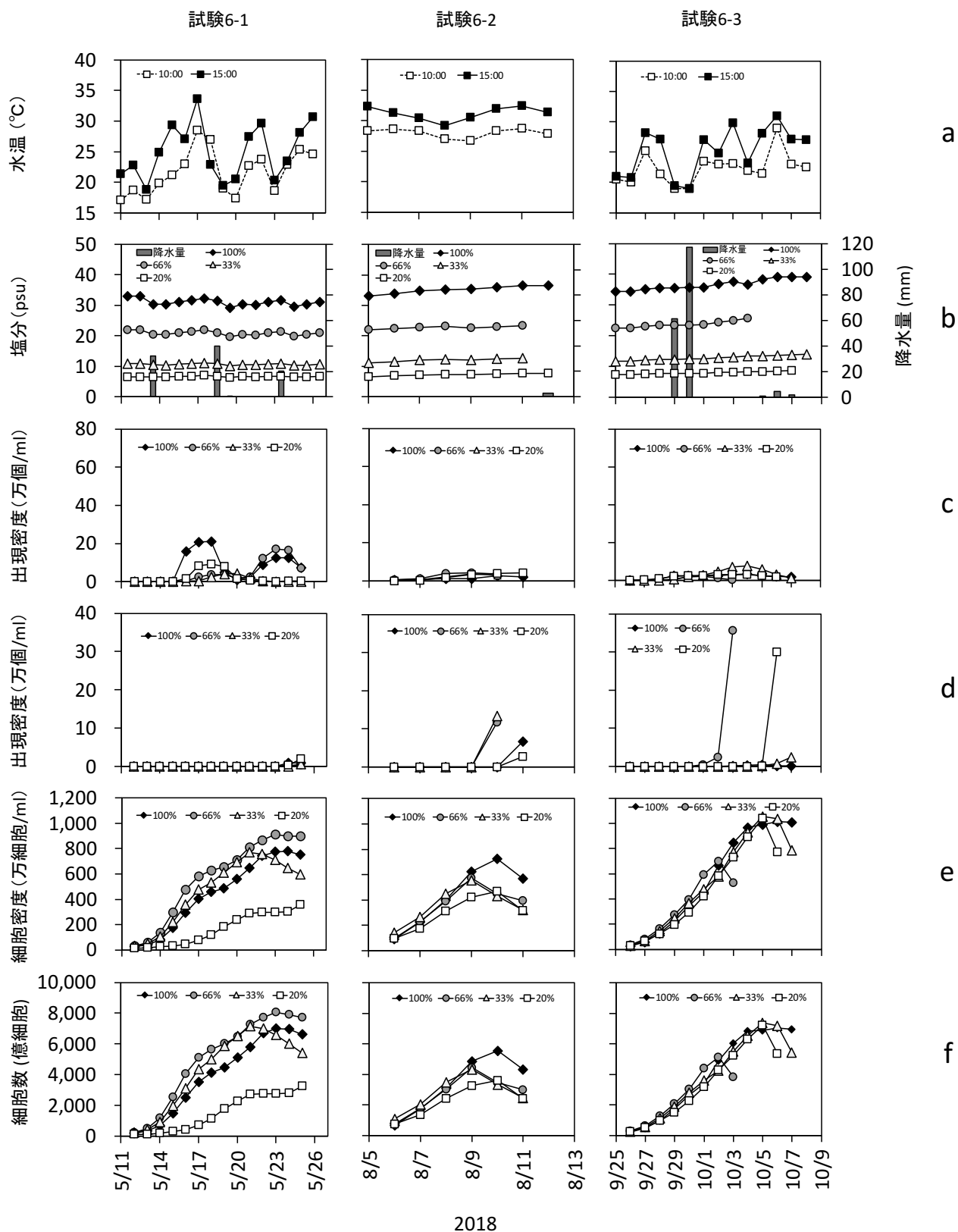


図6. 試験6 (イソクリシス・タヒチ 2018年) における培養水温 (a), 塩分・降水量 (b), 小型の原生動物の出現密度の3日移動平均値 (c), 大型の原生動物の出現密度の3日移動平均値 (d), 餌料細胞密度 (e) および総餌料細胞数 (f) の3日移動平均値の推移

表 6. 試験 6 (イソクリシス・タヒチ 2018 年) の概要

* 1 は 3 日移動平均値を, * 2 は遮光幕 (遮光率 75%) 設置による培養を示す.

	試験 6-1 (5/11~5/26)			試験 6-2 (8/5~8/12)*2			試験 6-3 (9/25~10/8)					
	100%	66%	33%	100%	66%	33%	100%	66%	33%			
10時の平均水温 (°C) (範囲)		21.7 (17.1~28.5)			28.0 (26.7~28.7)			22.3 (19.0~25.2)				
15時の平均水温 (°C) (範囲)		25.0 (18.8~33.6)			31.2 (29.2~32.4)			25.3 (19.0~31.0)				
平均塩分 (psu) (範囲)	31.0 (29.1~33.0)	20.9 (19.7~22.0)	10.7 (10.2~11.2)	6.7 (6.4~7.1)	35.1 (33.0~36.5)	22.7 (22.0~23.3)	12.0 (11.0~12.6)	7.2 (6.6~7.6)	36.7 (34.4~39.2)	23.7 (22.5~25.7)	12.8 (11.8~14.0)	8.0 (7.4~8.8)
開始細胞密度 (万細胞/ml)		14.6			42.6			16.8				
元種の由来		室内培養			室内培養 (塩分調整あり)			室内培養 (塩分調整あり)				
接種時の元種の塩分濃度 (psu)		35.0			22.4	11.2		22.4	11.2		6.8	
小型の原生動物の最高出現密度 (億個体/ml)*1	21.0	17.2	4.3	8.3	34.0	2.7	4.3	3.3	2.0	7.7	3.0	
大型の原生動物の最高出現密度 (億個体/ml)*1 (種類)	(ラフィド藻)	(ラフィド藻)	(ラフィド藻)	(ラフィド藻)	(ラフィド藻)	6.7	13.3	0.3	35.7	2.4	30.1	
最高細胞密度 (万細胞/ml)*1	778	911	770	357	724	572	556	1,014	701	1,058	1,040	
最高細胞数 (億細胞)*1	6,982	8,071	7,128	3,256	5,567	4,455	4,328	7,027	5,148	7,369	7,243	

66%区のみ他の試験区と異なり、早期に低下したため10月4日に培養を終了した(図6e, f)。細胞密度の最高値は、66%区(701万細胞/ml)以外の100%区(1,014万細胞/ml)、33%区(1,058万細胞/ml)および20%区(1,040万細胞/ml)は全て1,000万細胞/ml以上の高い値を示した。この時33%区の細胞密度は、2018年のタヒチの試験における最高値を記録した。試験期間に細胞密度の急激な減少が見られた66%区、33%区および20%区では、2回目の試験と同様の細胞径が10~15 μ mのラフィド藻類が数十万個体/mlの密度で出現した。

考察

カルシトランスの培養と塩分との関係 カルシトランスの培養と塩分の関係については、押尾ら¹³⁾、N. S. Adenan et al¹⁴⁾、S. V. Rai and M. Rajashekhar¹⁵⁾の室内試験の報告がある。各試験とも塩分の設定が異なることから単純な比較はできないが、今回の試験の塩分に近い設定で行われたS. V. Rai and M. Rajashekhar¹⁵⁾の試験では、塩分16, 25, 9, 32, 40 psuの順で高い増殖率を示した。今回の試験について、各試験に共通する塩分に着目し、高塩分(100%区: 33~35 psu)、中塩分(66%区: 22~23 psu)および低塩分(33%区: 11 psu)の3区分に分けて平均細胞密度の最高値と塩分との関係を検討すると(低塩分の設定の無い試験1-1を除く)、細胞密度が低塩分で高い値を示した4事例(試験1-4, 4-1, 4-2, 4-4)、中塩分で高い値を示した1事例(試験1-2)、高塩分で高い値を示した1事例(試験4-3)および試験区間で差が無かった1事例(試験1-3)に分けられた。この結果、低塩分で細胞密度が高くなる事例の割合が高かったものの、塩分と餌料の増殖との間に明瞭な関係性は確認されなかった。

ネオグラシーレの培養と塩分との関係 ネオグラシーレでは、バイオ燃料の開発を目的とした近年の研究における室内試験の報告があり^{16,17)}、塩分5~40 psuの比較的幅広い範囲の塩分で安定した増殖が得られている。今回の試験について、カルシトランスと同様に3区分の塩分に分けて平均細胞密度の最高値と塩分との関係を検討すると(同様に試験1-1を除く)、低塩分で高い値を示した2事例(試験5-1, 5-4)、中塩分で高い値を示した1事例(試験2-2)、高塩分で高い値を示した1事例(試験5-2)および一定の傾向が見られなかった2事例(試験2-3, 2-4)に分けられ、塩分と細胞密度との間に一定の関係性

は確認できなかった。このことから、ネオグラシーレでは、今回の試験の設定範囲内(7~35psu)であれば、前述の知見の室内培養と同様に屋外においても一律に安定した培養ができる可能性が示唆された。2018年の試験において、カルシトランス、ネオグラシーレともに低塩分の下限值付近の20%区(7 psu)で概ね他の試験区と同様の増殖が得られたことから、7psu程度までの塩分であれば増殖の安定性に影響を与えない可能性があるものと推察される。ただし、2018年のほぼ同時期に培養試験を実施した3回目(試験4-3, 5-3)と4回目(試験4-4, 5-4)の試験の比較から、カルシトランス、ネオグラシーレともに屋外培養したものを2回植え継いだ3回目試験の低塩分の試験区(試験4-3の33%区、20%区および試験5-3の33%区)において培養不調となる傾向が見られた。このことから、33%海水(11psu)より低い塩分で植え継ぎ培養を行う場合は、培養が不安定になるリスクが高まる可能性が考えられる。この時は両種とも大型の原生動物が数万~十数万個体/mlの密度で出現し、このうち繊毛虫類は細胞長径が40 μ mと大型であった。イワガキ幼生の飼育では飼育水中の原生動物の捕食と考えられる餌料ロスがしばしば観察されることから¹⁸⁾、細胞密度の低下はこれらの原生動物の捕食¹⁹⁾が少なからず影響した可能性が考えられる。植え継ぎを重ねて培養期間が長期に及んだことに加えて、低塩分の環境がこれらの大型の原生動物の増殖にとって好適な環境であった可能性も想定できる。

一方、小型の原生動物については、両種とも全ての試験で、大型より高い密度で出現し、100%区、66%区の塩分の高い試験区に多く出現する傾向が見られた(図4c, 5c)。しかし、小型の原生動物の出現密度と餌料細胞密度の低下との関連性は特に認められなかった。このことから、小型の原生動物については塩分に関係無く、両種の餌料の増殖に大きな影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。

カルシトランスとネオグラシーレの2018年は、サルボウガイの人工種苗生産期と重なったため、水温条件の厳しい盛夏期(7~8月)における塩分の比較試験ができなかった。しかし、サルボウガイの人工種苗生産において盛夏期に50~66%海水を用いて単独的に実施した屋外培養では、遮光幕を用いて水温を低く抑えることにより両種とも培養ができることを確認している(未発表)。また、2017年の8月下旬に実施した試験(試験1-1, 2-1)では、遮光幕を用いなかったため培養水温が高温で推移したが、

両種とも50%区および66%区で100%区と同様の培養ができたことから、水温条件の厳しい盛夏期においても遮光幕を有効に用いることにより少なくとも50~66%海水(17~23psu)であれば十分に安定した培養ができる可能性が高いと考えられる。

タヒチの培養と塩分との関係 タヒチでは、室内試験において、増殖可能塩分は4~80psuであること、好適増殖塩分は30~40 psu付近でありそこから離れるほど細胞密度が低くなることが明らかにされている。²⁰⁾ これと今回の結果を比較すると、好適増殖塩分である100%区では、6回の試験全てでほぼ安定した増殖を示したことから、前述の報告と一致した。そして、好適増殖塩分から最も離れた20%区では、試験回次によって異なる傾向を示した(図6e, f)。特に、2018年の1回目の試験(試験6-1)の20%区は、他の試験区より増殖が大きく劣った一方で、同3回目の試験(試験6-3)では他の試験区と同等もしくはそれ以上の良好な増殖を示した。この要因には元種の塩分が関係した可能性がある。前述の鳥羽・深山(1993)の試験では、33 psuの塩分で培養したものを元種として使用し、接種直後において10 psuの塩分の試験区のみ細胞密度の一時的な減少が見られたが²⁰⁾、この現象は試験6-1の20%区の状況と一致した。この時の20%区のタヒチは、接種前に活発に遊泳していたが接種後に遊泳を停止し、再び遊泳を開始するまでに数日間を要した一方で、元種と同じ塩分で培養したものを用いた試験6-3の20%区のタヒチは、接種直後の遊泳が活発でその後の増殖も順調であった。これらの観察結果は、培養水の塩分の差が最も大きかった試験6-1の20%区では、この塩分濃度の差がストレスとなって培養初期の増殖を停滞させた可能性を示すものであると推察される。このことから、7psu付近の低塩分でタヒチを安定的に屋外培養する場合は、元種の培養水の塩分を低く設定する必要があると考えられる。

なお、タヒチの屋外培養では、枯死期において鞭毛を有するラフィド藻類が2018年のほぼ全ての試験区で出現したことが特徴的であった(図6d)。この原生動物が高い密度で発生した時には、タヒチは運動を停止し、原生動物の周囲に数十個体がフロック状に付着する現象が観察されたことから、タヒチに対して何らかの悪影響を及ぼした可能性があると考えられる。これまで水産技術センターで行ったタヒチの屋外培養では、室内培養に比べて定常期が短くなる傾向があり、死滅期にはこのラフィド藻類の増殖を伴う場合が多いことを確認している。従って、

タヒチの屋外培養では、これらの原生動物の混入に十分に留意するとともに、定常期が短くなることを前提とした培養計画を設定する等の対策が必要である。一方、小型の原生動物については、キートセロス属2種と同様に各塩分濃度においてその出現密度と餌料細胞密度の低下との間に一定の関連性は認められず、タヒチの増殖に大きな影響を及ぼした可能性は低いと考えられる。

まとめ 試行回数は限られるものの、今回の試験結果から、カルシトランスとネオグラシーレおよびタヒチの3種の餌料藻類が屋外の粗放的な培養において比較的幅広い塩分でほぼ安定した培養ができることが明らかとなった。漁業者が実施する人工種苗生産では、サルボウガイに適した塩分17~22 psu(50~66%海水)の湖水を揚水して幼生から稚貝の飼育に使用しているが、同様の湖水を培養水に用いたこれらの餌料藻類の屋外培養の可能性は十分に見込まれるものと判断される。仮に、塩分が11 psu(33%海水)付近に低下した場合でも培養の安定性に問題は無いと考えられ、さらに中海の表層水の下限值7 psu付近まで低下した場合は、元種の塩分や植え継ぎ回数等の培養条件を適切に設定することにより同等の培養ができるものと推察される。

従って、現在、漁業者が実施するサルボウガイの人工種苗生産において、低塩分である中海の湖水を用いた餌料の屋外培養を導入することにより餌料コストの低減が十分に期待できると考えられる。ただし、安定した屋外培養を行うためには、湖水の水質モニタリングをはじめ、水温、日射、降雨等の環境変動や原生動物の影響等、培養を不安定にさせる要因への対処が必要であり、盛夏期の高水温対策(遮光幕の設置)や大規模な降雨時への対応(ビニールカバーの被覆)等の有効な対策を図ることが重要となる。

謝辞

本研究を行うにあたり、水産技術センター浅海科の職員の皆様には餌料培養や測定業務等にご協力とご支援を頂いた。特に松本洋典専門研究員には原生動物の分類に関して有益なご助言を頂いた。ここに記してお礼申し上げます。

文献

- 1) 開内 洋：中海におけるサルボウガイ、アサリ

- の増養殖技術の開発. 島根県水産技術センター年報, 88 (2014).
- 2) 開内 洋, 佐々木 正: 中海におけるサルボウガイの増養殖技術の開発. 島根県水産技術センター年報, 75-76 (2015).
 - 3) 開内 洋, 佐々木 正: 中海におけるサルボウガイの増養殖技術の開発. 島根県水産技術センター年報, 74-75 (2016).
 - 4) 石原成嗣, 佐々木 正: 中海におけるサルボウガイの増養殖技術の開発. 島根県水産技術センター年報, 72-73 (2017).
 - 5) 石原成嗣, 佐々木 正: 二枚貝養殖業の安定・効率化技術開発. 島根県水産技術センター年報, 78-80 (2018).
 - 6) 鈴木秀幸, 山口啓子, 瀬戸浩二: 閉鎖性の高い中海で垂下養殖されたサルボウガイの成長と生残. 水産増殖, 59, 89-99 (2011).
 - 7) 鈴木秀幸, 山口啓子, 瀬戸浩二: 中海におけるサルボウガイの生残と成長におよぼす低酸素および低塩分の影響. 水産増殖, 60, 261-268 (2012).
 - 8) 根本昌弘, 磯上孝太郎: *Chaetoceros calcitrans* および *Pavlova lutheri* の安定・大量培養 (福島県). 平成3年度~7年度特定研究開発促進事業総括報告書 (微小藻類の大量培養技術開発研究) 福島県・茨城県・千葉県・熊本県・沖縄県, 福島1-福島72 (1996).
 - 9) 兼松正衛, 前田昌調, 与世田兼三, 米田博貴: *Nannochloropsis* を摂食する鞭毛虫の駆除法について. 日水誌, 55, 1349-1352 (1989).
 - 10) 千葉県水産研究センター: アサリ種苗生産の現場基礎技術-富津研究所の経験-. 千葉県水産研究センター業績IV, 15-17 (2004) .
 - 11) 千原光雄, 村野正昭編: 日本産海洋プランクトン検索図説. 東海大学出版会, 東京, 1574 (1997).
 - 12) 末友靖隆編: 日本の海産プランクトン図解 (第2版). 共立出版, 東京, 268 (2013).
 - 13) 押尾明夫, 關 哲夫, 谷口和也: 二枚貝の餌料となる微小藻類の培養ハンドブック. 水産庁東北水研藻類増殖研資料, 3-6 (1995).
 - 14) N. S. Adenan, F. M. Yusoff and M. Shariff: Effect of salinity and temperature on the growth of diatoms and green algae. Journal of Fisheries and Aquatic Sci., 8, 397-404(2013).
 - 15) S. V. Rai and M. Rajashekhar: Effect of pH, salinity and temperature on the growth of six species of marine phytoplankton. Journal of Algal Biomass Utiln. , 5, 55-59(2014).
 - 16) L. Ying, S. Minghui, T. Chuanyuan, C. Chunhui and L. Zebang: Effects of salinity stress on the growth and chlorophyll fluorescence of *Phaeodactylum tricorutum* and *Chaetoceros gracilis* (Bacillariophyceae). Botanical marina, 57, 469-476 (2014).
 - 17) H. Tokushima, N. Inoue-Kashino, Y. Nakazat, K. Ifuku and Y. Kashino: Advantageous characteristics of the diatom *Chaetoceros gracilis* as a sustainable biofuel producer. Biotechnol Biofuels, 9, 1-19(2016).
 - 18) 佐々木 正, 近藤徹郎, 常盤 茂: 半屋外 100 kJ 水槽を用いたイワガキ *Crassostrea nippona* 付着期幼生の大量生産における飼育条件の検討. 水産増殖, 64, 295-307 (2016).
 - 19) 前田昌調: 栽培漁業に関わる微生物・原生動物とその利用. 栽培漁業技術研修事業基礎理論コーステキスト集, 1-24 (1987).
 - 20) 鳥羽光晴, 深山義文: イソクリシス・タヒチ株の大量培養-I. 好適培養条件. 栽培技研, 21, 45-53 (1993).

島根県における藻場モニタリングと調査方法の検討

吉田太輔^{1a}・向井哲也^{1b}・佐々木 正¹

Monitoring of seaweed beds and its survey techniques in Shimane Prefecture

Daisuke YOSHIDA, Tetsuya MUKAI and Tadashi SASAKI

キーワード：島根，藻場，磯焼け，モニタリング，空撮，ドローン，魚群探知機，植食性ベントス

はじめに

藻場には基礎生産，栄養吸収，食物供給など様々な機能があり，¹⁾ 沿岸生態系の重要な役割を担っている。しかし，近年全国的に藻場が衰退する「磯焼け」現象が広がり深刻な課題となっている。中でも，他海域では藻場の衰退を一因としたアワビ類の減少が指摘されており，²⁻⁴⁾ 本県のアワビ類も 2018 年の漁獲量 (19 トン) は，ピーク時 (1976 年) の約 1 割にまで減少している。⁵⁾ また，同じ磯根資源であるサザエについても 2018 年の漁獲量 (412 トン) は，ピーク時 (1988 年) の 3 割に減少するなど藻場衰退との関連が懸念されており，漁業者らによってウニ駆除などの磯焼け対策活動⁶⁾ が実施されている。

これまでに県内で実施された藻場の分布状況に関する調査としては，自然環境保全基礎調査^{7,8)} 島根県沿岸藻場分布把握調査⁹⁾ など多数あるものの，同じ方法で継続的に実施された調査は無く，県内の藻場の長期的な動向が把握できていない。水産技術センターでは 2014 年に県内全域で藻場の現状に関する聞き取り調査を実施したところ，長期的な藻場減少を確認した。¹⁰⁾ そこで，県内の藻場の長期的なモニタリングを目的とする調査を 2015 年から開始し，ここでは 2019 年までの結果を報告する。これまでの調査方法は主に潜水によるライントランセクト法，船上からの目視や水中カメラを用いた観察を実施してきたが，近年では安価なドローンや GPS 内蔵の魚群探知機 (以下，魚探とする) を用いた調査方法が開発され，普及しつつある。^{11,12)} そこで本研究では，これらの機器を用

いた調査方法の導入の検討も行ったので，併せて報告する。

また，藻場の形成阻害要因は各海域で異なるため，磯焼け対策ガイドラインでは磯焼け対策を実施する場合，実験的な調査により阻害要因の特定が必要とされている。¹³⁾ そこで，モニタリング海域における海藻のタネ (遊走子，幼胚) の供給不足の有無を調査するための播種試験およびウニ類の食害試験を実施し，藻場形成阻害要因の検討も行った。

方法

モニタリング調査 調査海域として，松江市島根町の沖泊漁港南側 (以下，沖泊地区)，出雲市坂浦町の若松鼻東側 (以下，坂浦地区)，浜田市外ノ浦町のタルヅケ湾 (以下，外ノ浦地区)，隠岐郡知夫村薄毛の大波加島西側 (以下，薄毛地区) の 4 つの海域を選定した (図 1)。このうち，沖泊地区と外ノ浦地区の 2 地区は 2014 年の聞き取り調査において過去 20~30 年間で藻場の量的変化が少ない海域であり，坂浦地区と薄毛地区の 2 地区は同調査において近年藻場が大きく減少した海域である。

2015 年には，まず調査海域全体の海底地形や藻場分布状況を把握するため，空撮，音響調査，海底の撮影を行った。空撮は，ドローン (Phantom2 および Phantom4, DJI 社製) を用いて高度 100~150m から真下方向に動画又はインターバル撮影を行い，画像合成ソフト (Photoscan (現: Metashape), Agisoft 社製) で 1 枚の空撮画像に合成した。合成した画像は，コントラストや明るさ，色調補正等を行い，藻場が判別しやすいよう編集した後，GIS

¹ 内水面浅海部 Inland Water Fisheries and Coastal Fisheries Division

^a 現所属：漁業生産部 Fisheries Productivity Division

^b 2019 年 9 月死去

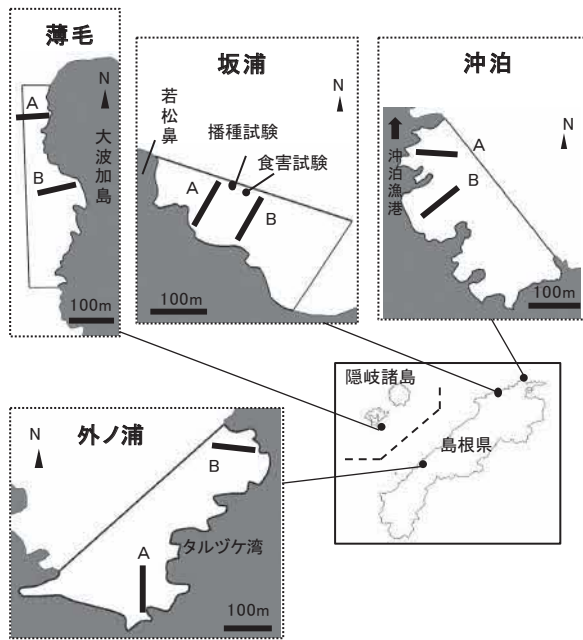


図1. 調査場所と調査ライン

枠線内が調査海域，A, B は調査ラインの位置を示す。

ソフト(Google Earth pro, Google社製)を用いて位置情報付きの空撮画像を作成し，海底の濃淡から藻場分布域を推定した．音響調査は，調査船に魚探(HDS-10, Lowrance社製)を取り付け，調査海域を10~50m程度の間隔で航行しながら，ダウンスキャン(周波数800kHz)，サイドスキャン(周波数455kHz)による海底データの収集を行った．収集したデータから，水中地形図作成ソフト(ReefMaster, ReefMaster Software社製)を用いて等深線図の作成，サイドスキャン画像の合成を行った．ダウンスキャン画像については梶原ら¹¹⁾を参考に，藻場分布域を判別した．海底の撮影については，調査船に小型カメラ(HDR-AS200V, Sony社製)を海底方向に取り付け，調査海域を10~50m程度の間隔で航行しながら，1秒間隔のインターバル撮影を行った．カメラの取り付けについては，水深5m以内の場所では水面直下から撮影し，水深5mより深い場所では，長さ5mのステンレスの棒の先端にカメラを取り付け，船から垂下して海底を撮影した．同時にハンディGPS(GPSMAP64s, Garmin社製)で1秒間隔で位置情報を取得し，画像編集ソフト(View NX-i, ニコン社製)を用いて撮影した海底画像と位置情報を同一時刻で合わせ，位置情報付きの海底画像を作成した．それぞれ得られたデータはGISソフトに集約し，等深線図とサイドスキャン画像から海底地形を，空撮画像とダウンスキャン画像から藻場の分布域を，海底画

像から藻場の被度を判断した．被度については，25%以下，25~50%，50~75%，75%以上の4区分に分け，藻場分布図を作成した．なお，被度の判別が難しいサンゴモ類については除外した．

後述する2015年の調査結果から，空撮画像から判断できる藻場分布域と被度25%以上の藻場分布域がほぼ一致したことから，被度25%以上の範囲を藻場と定義し，2016年以降は空撮のみを行い，GISソフトを用いて藻場面積を推定した．併せて海藻の種等を把握するために潜水調査を行った．ライントランセクト法により，各調査海域で汀線から沖合に向けた100mの調査ラインを2本設け(図1)，ライン上を10mごとに1×1mの方形枠を設置し，枠内の底質および海藻の種と被度，植食性ベントスの生息密度を記録した．なお，調査ラインの設定はハンディGPSを用いて行い，毎年同様な場所に設置した．

モニタリングの各調査期間と調査一覧については表1に示す．

表1. 調査期間と調査一覧

地区	年	調査期間	調査の有無		
			空撮	音響・海底撮影	潜水
沖泊	2015	6/4	○	○	
	2016	6/8	○		○
	2017	5/23~6/20	○		○
	2018	5/24~6/5			○
	2019	5/15	○		○
坂浦	2015	5/1~5/26	○	○	
	2016	5/26	○		○
	2017	5/28	○		○
	2018	5/29~6/7	○		○
	2019	5/22~6/30	○		○
外ノ浦	2015	8/6	○	○	
	2016	7/8	○		○
	2017	7/20	○		○
薄毛	2015	6/16	○	○	
	2016	6/30	○		○
	2017	6/14	○		○
	2018	6/22			○
	2019	6/12	○		○

藻場形成阻害要因調査 調査海域には坂浦地区の水深8mのクロメ *Ecklonia kurome* が生えていない場所を選定した(図1)．これは地元漁業者からの調査海域を含む沖側の海域は磯焼けが進行しているとの情報による．

(1) **播種試験** 2015年12月7日に，坂浦地区で採取した成熟したクロメ母藻を1時間程度陰干した後，ポリエチレン製のネット(サイズ60×80cm, 脚長5mm)に母藻2kg程度を入れたスポア

バッグを9袋作成し、10×10mの範囲に設置した。播種効果の確認には、スポアバッグ設置場所の周囲10m以内の範囲を、50×50cmの方形枠で5箇所サンプリングを行い、クロメ幼体の生長と生残を測定した。また、葉体の食痕から、吉村ら¹⁴⁾を参考に摂食した生物の推定を行った。併せて1×1mの方形枠で5箇所サンプリングを行い、植食性ベントスの生息密度を求めた。

(2) 食害試験 2016年7月12日にクロメ幼体の着生している直径1m程度の転石の周囲を、ウニ類が侵入できないよう磯焼け対策ガイドライン¹⁵⁾を参考に高さ30cm、目合い6cmの網で作成したウニフェンスで囲い、試験区とした。試験区から3m程度離れた同様な転石を対照区とし、両区の幼体の生残状況、植食性ベントスの付着数等を観察・記録した。また、調査海域の海底に水温ロガー(Onset社、ウォーターテンププロ V2、精度±

0.2℃)を設置し、水温観測を行った。

結果

モニタリング調査

(1) 沖泊地区 調査海域は、水深0~10mで起伏に富んだ岩盤の間に転石や礫が分布し、水深10~14mでは礫や砂が分布する地形であった(図2a, b)。2015年の藻場の分布状況は、調査面積5.7haのうち、被度75%以上が2.6ha、被度50~75%が0.8ha、被度25~50%が1.4ha、被度25%以下が0.9haと、調査海域北部を中心に被度75%以上の藻場が約半分を占めていた(図2c, d)。なお、空撮画像から判断できる藻場分布域と海底画像から判断した被度25%以上の範囲はほぼ一致していた。2016年以降の藻場面積は、2016年が4.6haであったが、2017年に沿岸域で藻場分布域が縮小したた

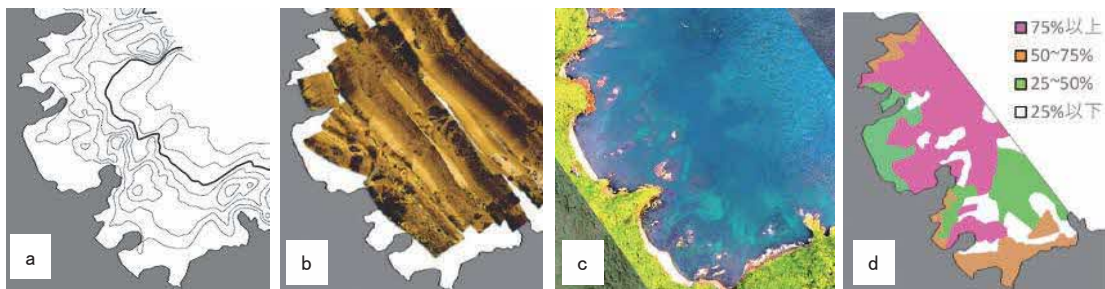


図2. 沖泊地区における2015年の海底地形図、空撮画像と被度別藻場分布図

(a) 等深線図(水深2m間隔、太線は水深10m)、(b) サイドスキャン画像、(c) 空撮画像、(d) 被度別藻場分布図

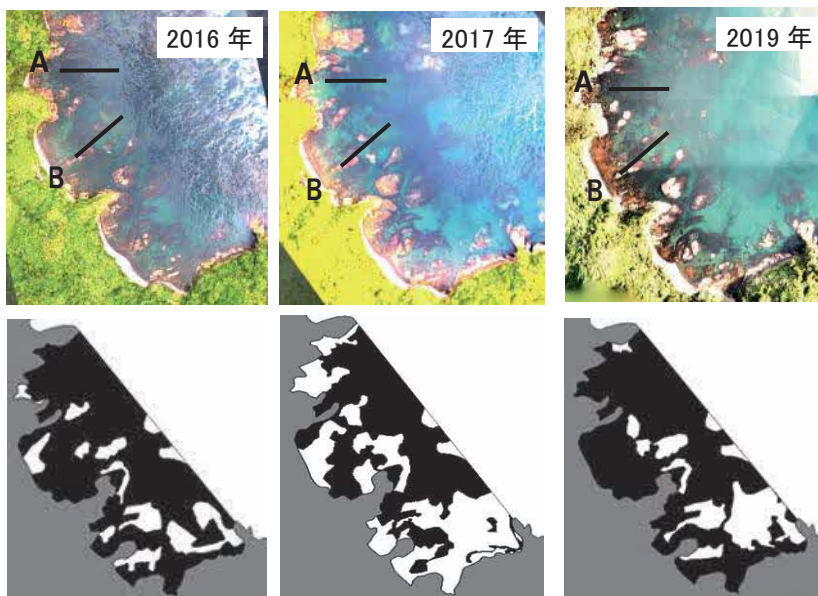


図3. 沖泊地区における2016~2019年の空撮画像と藻場分布図(上段)空撮画像、(下段)藻場分布図(黒色部分が藻場)

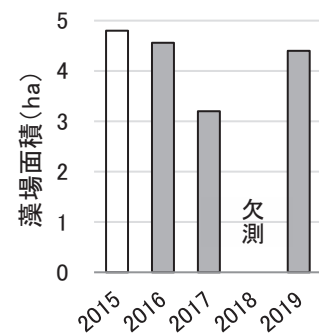


図4. 沖泊地区における藻場面積の推移

2015年は空撮画像、ダウンスキャン画像、海底画像から被度25%以上の藻場面積を測定、2016年以降は空撮画像から藻場面積を推定した。

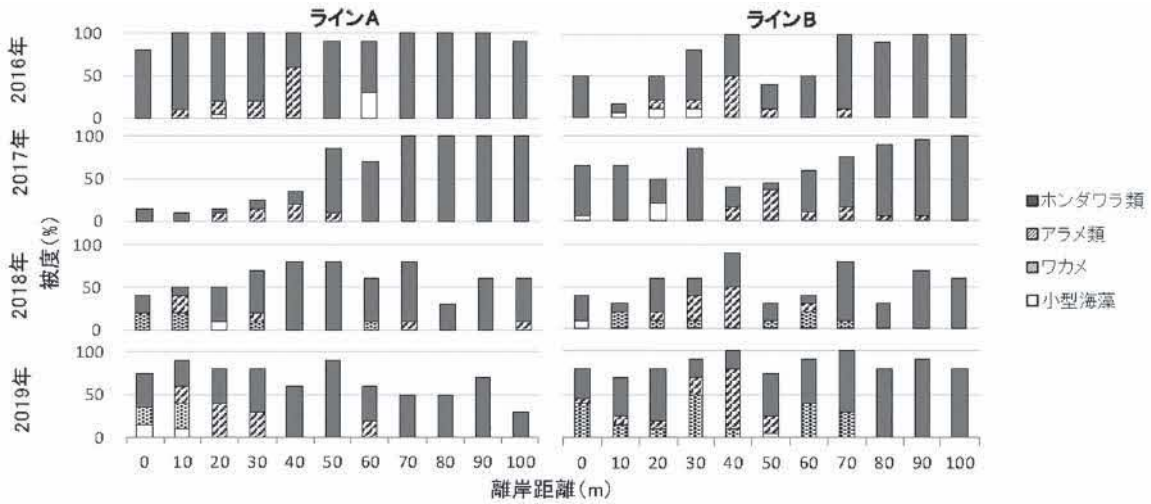


図5. 沖泊地区における調査ライン上の被度の推移

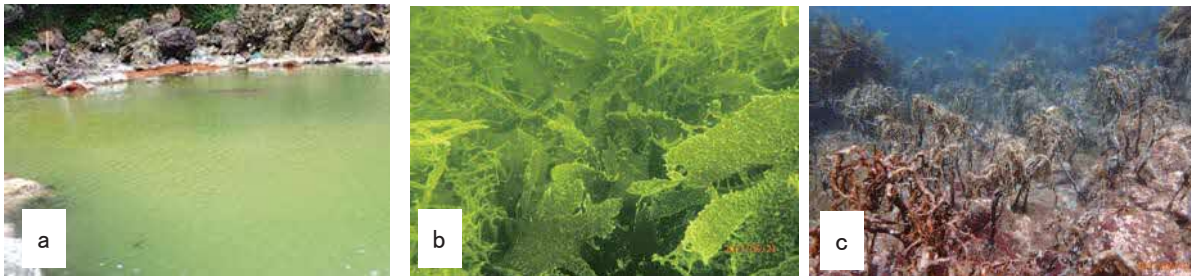


図6. 貧酸素の発生と海藻の枯死の様子
(a)海水の白濁, (b)海藻の白化, (c)ヤナギモクの枯死

め3.2haと前年の7割に減少した後、2019年には4.4haと再び増加した(図3, 4)。2018年については、機器の不具合により空撮できなかった。

調査ライン上に分布する藻場の主な構成種は、ヤナギモク *Sargassum coreanum*, ノコギリモク *S. macrocarpum*, ヤツマタモク *S. patens*, ヨレモク *S. siliquastrum*, アカモク *S. horneri*, ジョロモク *Myagropsis myagroides*, アラメ *Eisenia bicyclis*, クロメ, ワカメ *Undaria pinnatifida* であり、調査期間を通して種組成に大きな変化は見られなかった。藻場の被度については、2016年では、ラインAの離岸距離0~40mにおいて被度80~100%でホンダワラ類, アラメ類を主体とした混生藻場が、50~100mにおいては被度90~100%でホンダワラ類を主体とした藻場が形成されていた。ラインBでは、離岸距離0~60mまでは被度20~100%と変動の幅が大きく、ホンダワラ類, アラメ類を主体とした混生藻場が、70~100mでは被度90~100%でホンダワラ類を主体とした藻場が形成されていた(図5)。空撮画像からもラインAの周囲, ラインBの沖側で藻場の繁茂が観察された(図3)。しかし、2017年は、5月23日の調査にお

いてラインAを含む調査海域北部一帯で、アカモクの大量漂着とヤコウチュウ *Noctiluca scintillans* による赤潮の滞留が観察された。また、海水が白濁し、アラメ類やホンダワラ類が白く変色していた(図6a, b)。白濁した水域の溶存酸素濃度は0mg/L(水温20℃)で腐卵臭を伴い、同時に魚類や底生生物の斃死も見られた。その後、海水の白濁が見られなくなった6月1日に調査を実施したところ、ラインAではヤナギモクやクロメの立ち枯れが見られ(図6c)、離岸距離0~40mで被度10~35%と前年と比較して大きく減少しており(図5)、空撮画像からも調査海域北部の沿岸域で色が薄くなり藻場が衰退したことを確認した(図3)。一方で、ラインBでは前年と大きな変化は見られなかった(図3, 5)。その後、2018~2019年には、ラインAの離岸距離0~40mで減少したホンダワラ類, アラメ類の混生藻場が被度40~90%に増加しており、空撮画像からも沿岸部で藻場が再生した様子が観察された。また、ラインA, ラインBともに2017年までは殆ど見られなかったワカメが増加するなど、藻場の種組成に変化が見られた。

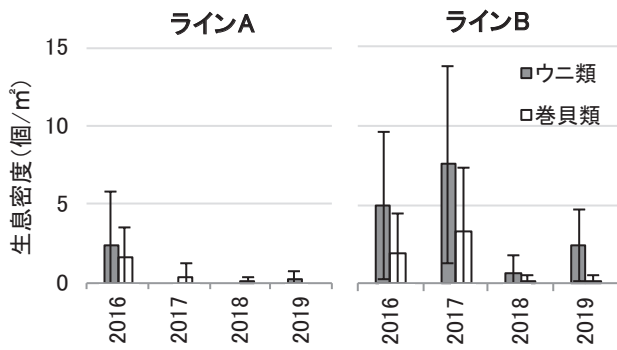


図7. 沖泊地区における調査ライン上の植食性ベントスの生息密度
エラーバーは標準偏差を示す。

植食性ベントスについては、主にムラサキウニ *Anthocidaris crassispina* , アカウニ *Pseudocentrotus depressus* , ウラウズガイ *Astraea haematraga* , サザエ *Turbo sazae* が確認された。平均生息密度は、ラインAについては2016年にウニ類で2.4個体/m²、巻貝類で1.6個体/m²であったが、2017～2019年はウニ類、巻貝類ともに0～0.4個体/m²に減少した(図7)。ラインBについては、2016～2017年にウニ類4.9～7.5個体/m²、巻貝類1.9～3.4個体だったが、2018～2019年

にはウニ類0.7～2.5個体/m²、巻貝類0.2個体/m²と減少した。

(2) 坂浦地区 調査海域は、水深0～10mで主に岩盤と転石、礫が分布する地形であった(図8a, b)。2015年の藻場の分布状況は、調査面積4.1haのうち、被度75%以上が0.9ha、被度50～75%が0.8ha、被度25～50%が1.0ha、被度25%以下が1.4haで、沿岸域で被度が高く、沖合で被度が低い傾向にあった(図8c, d)。なお、空撮画像から判断できる藻場分布域と海底画像から判断した被度25%以上の範囲はほぼ一致していた。2016年以降の藻場面積は、2016年が3.1haであったが、2017年に藻場分布域が沖合まで拡大したため3.9haと前年の1.3倍に増加した後、2018年は3.8ha、2019年は3.9haと横ばいで推移した(図9, 10)。

調査ライン上に分布する藻場の主な構成種は、アカモク、イソモク *Sargassum hemiphyllum* , ジョロモク、ヨレモク、ヤツマタモク、ノコギリモク、アラメ、クロメ、ワカメであり、調査期間を通して種組成に大きな変化は見られなかった。藻場の被度については、2016年では、ラインAの離岸距離0～70mにおいて被度50～85%でホンダワラ類、ア

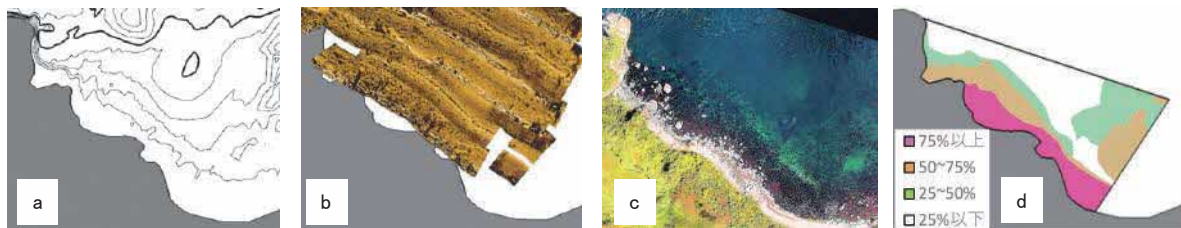


図8. 坂浦地区における2015年の海底地形図、空撮画像と被度別藻場分布図
(a) 等深線図(水深2m間隔、太線は水深10m)、(b) サイドスキャン画像、(c) 空撮画像、(d) 被度別藻場分布図

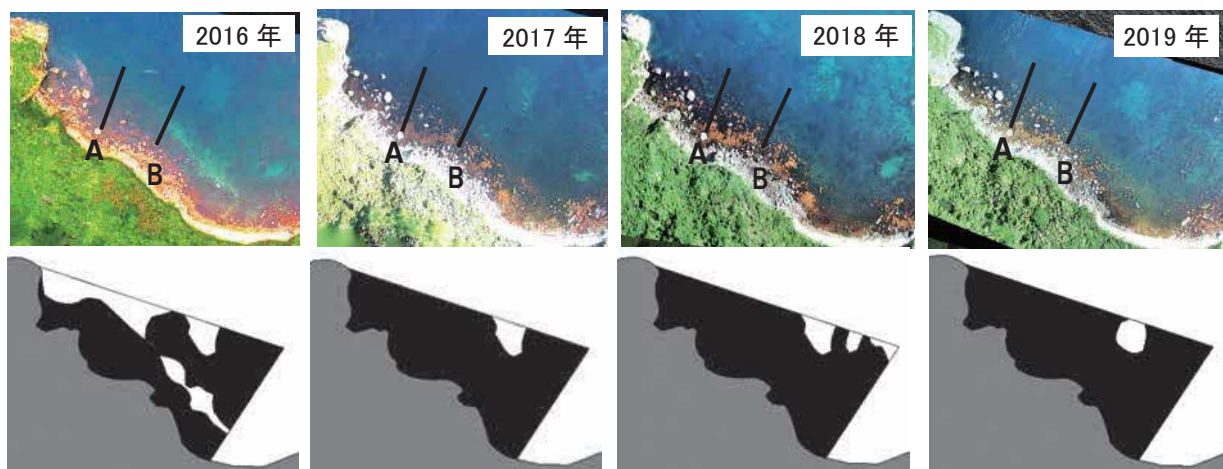


図9. 坂浦地区における2016～2019年の空撮画像と藻場分布図
(上段) 空撮画像、(下段) 藻場分布図(黒色部分が藻場)

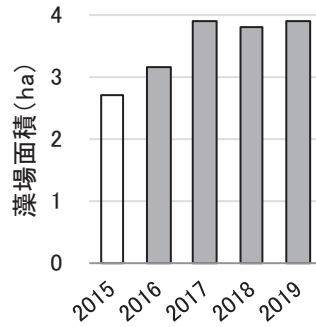
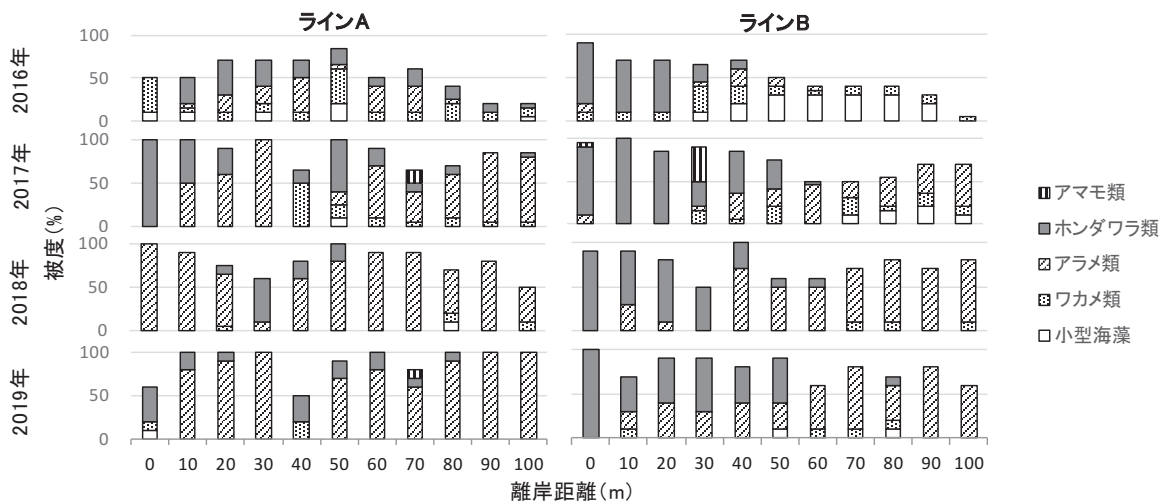


図 10. 坂浦地区における藻場面積の推移
2015 年は空撮画像，ダウンスキャン画像，海底画像から被度 25%以上の藻場面積を測定，2016 年以降は空撮画像から藻場面積を推定した。



ラメ類，ワカメ類を主体とした混生藻場が形成されていたが，80～100m では被度 20～40%と減少した (図 11)．ライン B では離岸距離 0～20m において被度 65～90%でホンダワラ類を主体とした藻場，30～50m ではホンダワラ類，アラメ類，ワカメ類を主体とした混生藻場が形成されていたが，60～100m では小型海藻主体で被度 5～40%と減少した．空撮画像からも沿岸域で藻場の色が濃く，沖合にいくにつれ色が薄くなり，藻場が減少する様子が観察された (図 9)．しかし，2017 年以降，ライン A，ライン B ともに沖合のアラメ類の被度が増加し，全ての定点で被度 50%以上となり，空撮画像からも藻場分布域が拡大した様子が観察された (図 9, 11)．

植食性ベントスについて，主にムラサキウニ，アカウニ，ガンガゼ *Diadema setosum*，ウラウズガイ，サザエが確認された．ウニ類の平均生息密度については，ライン A ，ライン B ともに 2016～2017 年では 4.5～8.5 個体/m²で，沿岸域に多く生

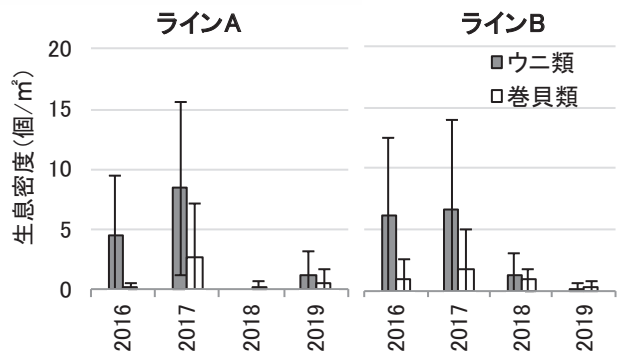


図 12. 坂浦地区における調査ライン上の植食性ベントスの生息密度
エラーバーは標準偏差を示す。

息する傾向にあったが，2018～2019 年には 0～1.3 個体/m²に減少した (図 12)．巻貝類については，ライン A では 2017 年に 2.6 個体/m²であったが，2016 年，2018～2019 年は 0.2～0.5 個体/m²と少なかった．ライン B についても 2017 年が最も多く

1.8 個体/m²であったが、2016 年、2018～2019 年は 0.3～0.9 個体/m²と少なかった。

(3) 外ノ浦地区 調査海域は、水深 0～14m で主に岩盤と転石、礫が分布し、水深 15～16m では砂が分布する地形であった (図 13a, b)。2015 年の藻場の分布状況は、調査面積 6.3ha のうち、被度 75%以上が 2.9ha、被度 50～75%が 0.2ha、被度 25～50%が 0.9ha、被度 25%以下が 2.3ha と、沿岸域の岩盤と転石、礫帯のほぼ全域に高被度な藻場

が分布していた (図 13c, d)。なお、調査当日は濁りや光量不足により空撮画像からは藻場分布域が把握できなかったため、ダウンスキャン画像から判断した。2016 年以降の藻場面積は、2016 年、2017 年ともに 3.9ha であり、分布域についても変化が見られなかった。(図 14, 15)。

調査ライン上に分布する藻場の主な構成種は、ヤナギモク、ヨレモク、ヤツマタモク、ジョロモク、ノコギリモク、クロメであり、調査期間を通し

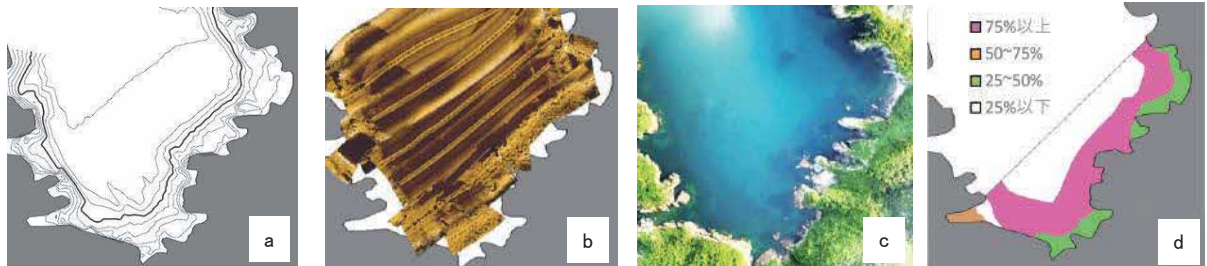


図 13. 外ノ浦地区における 2015 年の海底地形図、空撮画像と被度別藻場分布図

(a) 等深線図 (水深 2m 間隔, 太線は水深 10m), (b) サイドスキャン画像, (c) 空撮画像, (d) 被度別藻場分布図

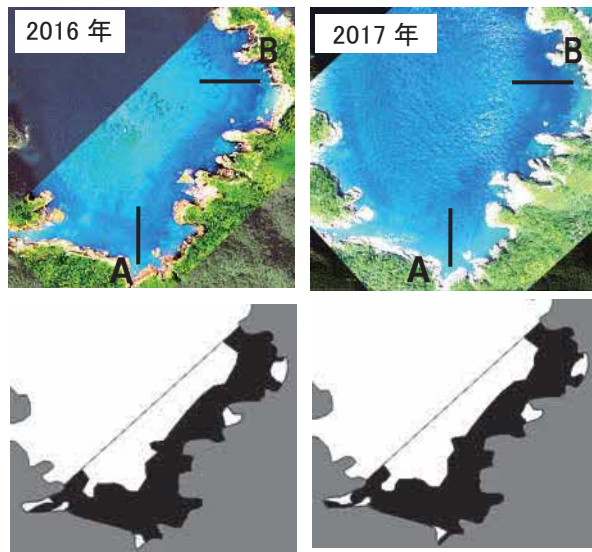


図 14. 外ノ浦地区における 2016, 2017 年の空撮画像と藻場分布図

(上段) 空撮画像, (下段) 藻場分布図 (黒色部分が藻場)

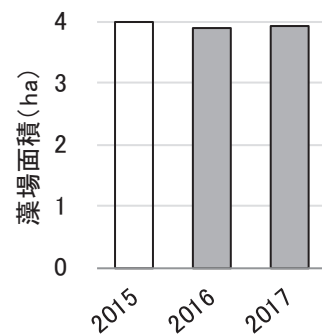


図 15. 外ノ浦地区における藻場面積の推移

2015 年は空撮画像, ダウンスキャン画像, 海底画像から被度 25%以上の藻場面積を測定, 2016 年以降は空撮画像から藻場面積を推定した。

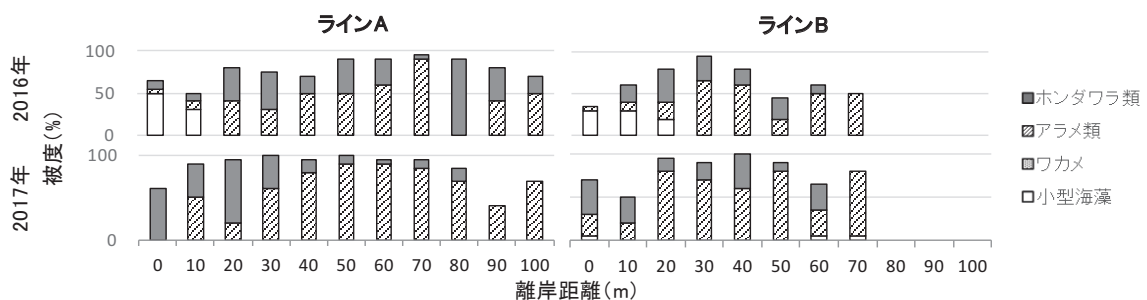


図 16. 外ノ浦地区における調査ライン上の被度の推移

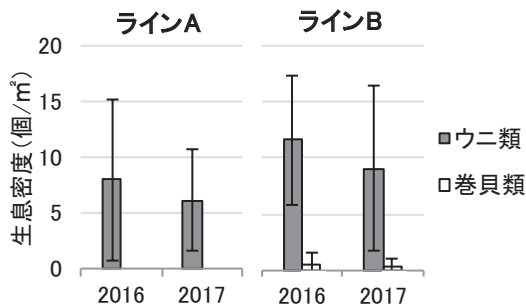


図 17. 外ノ浦地区における調査ライン上の植食性ベントスの生息密度
エラーバーは標準偏差を示す.

て種組成に大きな変化は見られなかった. 藻場の被度については, 2016 年では, ライン A において離岸距離 0~10m では小型海藻主体で被度 50~65%, 20~100m でアラメ類, ホンダワラ類を主体とした藻場が被度 70~95% で分布していた (図 16). ライン B は離岸距離 0~10m では小型海藻主体で被度 30~60%, 20~70m でアラメ類, ホンダワラ類を主体とした藻場が被度 50~95% で分布しており, 80~100m については底質が砂地であり海藻が観察されなかった. 空撮画像からも, ライン A では周囲に, ライン B では沿岸域を中心に藻場の形成が観察された (図 14). 2017 年については, ライン A の離岸距離 0~10m, ライン B の 0~20m で, アラメ類, ホンダワラ類を主体とした藻場となり種組成に変化が見られたものの, 30~100m については 2016 年と比較して大きな変化は見られなかった.

植食性ベントスについて, 主にムラサキウニ, アカウニ, クボガイ *Chlorostoma lischkei*, サザエが確認された. 平均生息密度については, ライ

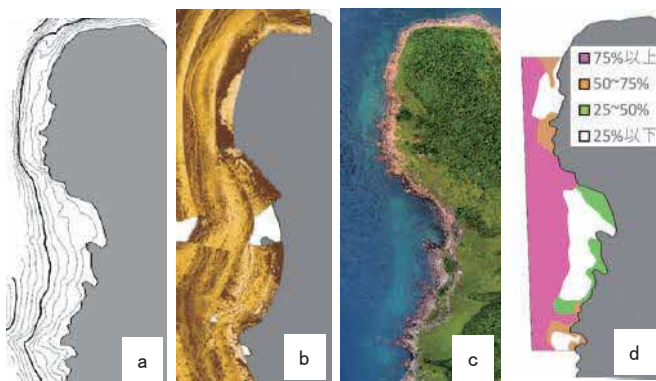


図 18. 薄毛地区における 2015 年の海底地形図, 空撮画像と被度別藻場分布図
(a) 等深線図 (水深 2m 間隔, 太線は水深 10, 20m), (b) サイドスキャン画像, (c) 空撮画像, (d) 被度別藻場分布図

ン A, ライン B ともに 2016~2017 年はウニ類が 6.2~11.7 個体/m² と比較的高密度であったが, 巻貝類については 0~0.6 個体/m² と低密度であった (図 17).

(4) 薄毛地区 調査海域は, 水深 0~18m で主に転石と礫が分布し, 水深 6~18m は急勾配となっており, 水深 19m 以深では主に礫と砂が分布する地形であった (図 18a, b). 2015 年の藻場の分布状況は, 調査面積 3.4ha のうち, 被度 75% 以上が 1.9ha, 被度 50~75% が 0.3ha, 被度 25~50% が 0.3ha, 被度 25% 以下が 0.9ha であり, 沿岸域と沖合に藻場が分布し, 中間域は藻場がない区域があった (図 18c, d). なお, 空撮画像から判断できる藻場分布域と海底画像から判断した被度 25% 以上の範囲はほぼ一致していた. 2016 年以降の藻場面積は, 2016~2017 年は 2.5ha であり, 2019 年には沿岸域の藻場分布域が若干拡大したため 2.7ha と微増した (図 19, 20). 2018 年は, 機器の不具合により空撮できなかった.

調査ライン上に分布する藻場の主な構成種は, ノコギリモク, ヤツマタモク, ジョロモク, アカモク, アラメ, ツルアラメ *Ecklonia stolonifera*, ワカメ, ヒロメ *Undaria undariodes* であり, 調査期間を通して種組成に大きな変化は見られなかつ

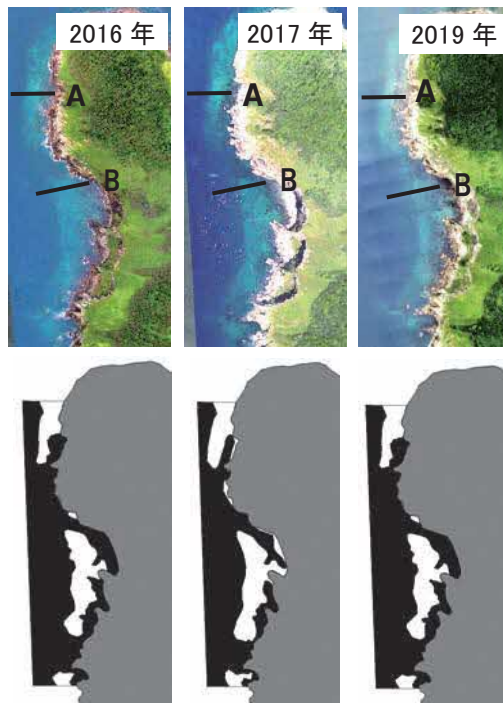


図 19. 薄毛地区における 2016~2019 年の空撮画像と藻場分布図
(上段) 空撮画像, (下段) 藻場分布図 (黒色部分が藻場)

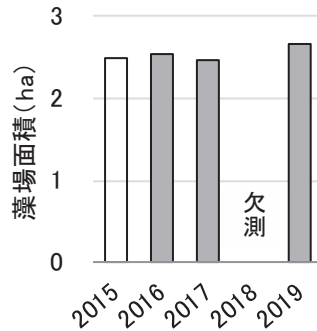


図 20. 薄毛地区における藻場面積の推移

2015 年は空撮画像, ダウンスキャン画像, 海底画像から被度 25%以上の藻場面積を測定, 2016 年以降は空撮画像から藻場面積を推定した.

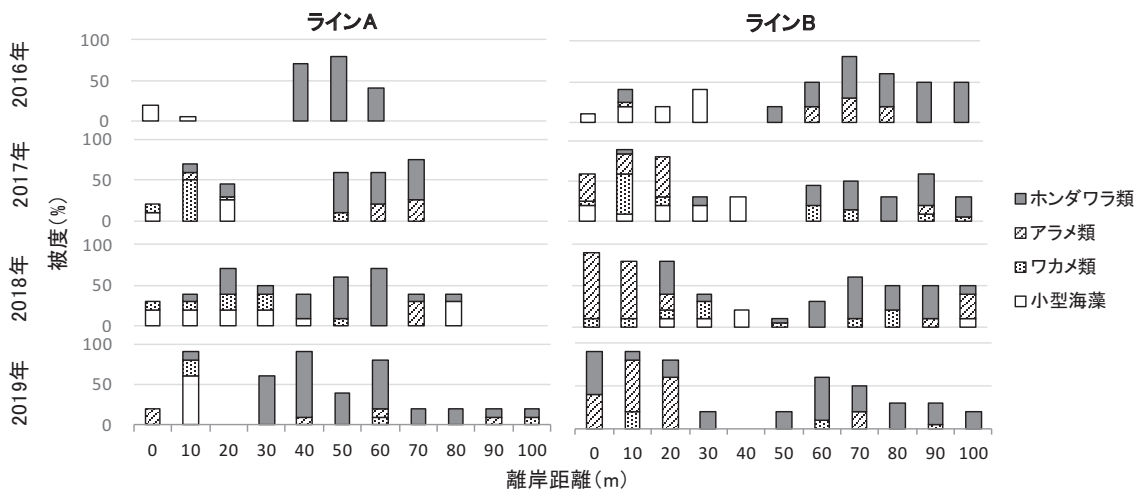


図 21. 薄毛地区における調査ライン上の被度の推移

た. 藻場の被度については, ライン A では, 2016 年の離岸距離 0~10m において被度 5~20%で小型海藻, 40~60m において被度 40~80%でホンダワラ類の藻場が形成されていたが, 2017 年では 0~20m, 50~70m で藻場が形成されるなど, 年ごとに藻場の位置が異なった (図 21). 底質についても, 2016 年は離岸距離 70~100m で, 2017~2018 年では 80~100m で砂地であったが, 2019 年では 100m まで転石と砂地が続いたことから, 調査ラインが同じ位置に設置できていなかった. 一方で, 水深別でみると, 調査期間を通して水深 1~3m でワカメ類や小型海藻の藻場が, 水深 5~18m を中心としてホンダワラ類を主体とした藻場が形成され, ライン中間域で被度が低くなるという傾向があり, 空撮画像からも同様な傾向が見られた (図 19, 21). ライン B についてもライン A と同様に, 調査期間を通して離岸距離 30~50m の中間域で被度 0~40%と, 沿岸域や沖合と比較して被度が低い傾向にあった. また, 離岸距離 0~20m については, 2016 年に被度 10~40%の小型海藻主体の藻場であったが, 2017 年

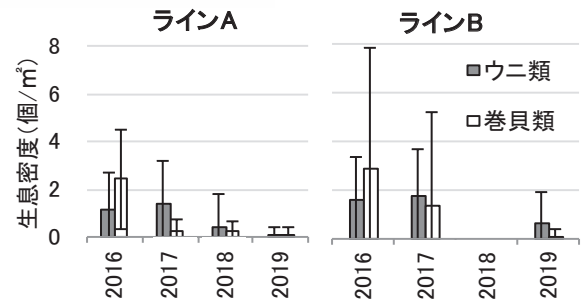


図 22. 薄毛地区における調査ライン上の植食性ベントスの生息密度
エラーバーは標準偏差を示す.

以降は被度 60~90%のホンダワラ類, アラメ類, ワカメ類の混生藻場へと変化した. 離岸距離 60~100m については, ホンダワラ類主体の藻場であり, 大きな変化は見られなかった.

植食性ベントスについて, 主にムラサキウニ, アカウニ, サザエ, クボガイが確認された. ウニ類の平均生息密度は, ライン A, ライン B とともに 2016~2017 年で 1.1~1.7 個体/m²であったが, 2018~2019 年は 0~0.6 個体/m²に減少した (図 22).



図 23. 2016 年の坂浦地区における水温の推移

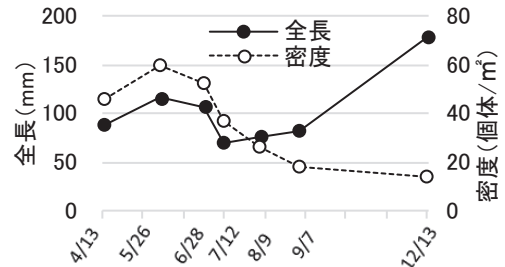


図 24. クロメ幼体の生長と密度

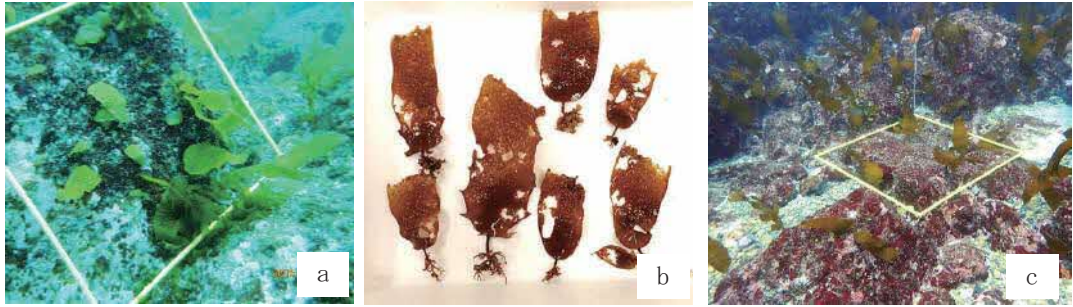


図 25. 着生したクロメ幼生の様子
(a) 4月13日, (b)6月28日 食痕, (c) 12月13日

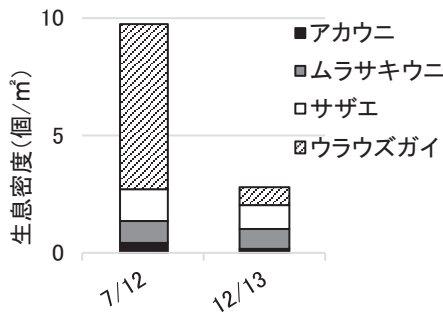


図 26. 植食性ベントスの生息密度

巻貝類についても、ライン A は 2016 年に 2.4 個体 /m²であったが、2017~2019 年は 0.1~0.3 個体 /m²に減少し、ライン B についても 2016~2017 年に 1.4~2.9 個体 /m²であったが、2018~2019 年は 0~0.1 個体 /m²に減少した。

藻場形成阻害要因調査 本試験を実施した 2016 年の坂浦地区の水温は、2 月の 12.5°C が最低、8 月の 28.9°C が最高であった (図 23)。

(1) **播種試験** 調査地点は沿岸域のクロメの分布域から 50m 程度離れており、2015 年 12 月 7 日のスポアバッグ設置時点では周囲にはアラメ類、ホンダワラ類は観察されなかったが、翌年 4 月 13 日には平均全長 88mm のアラメ類の幼体が平均密度 46 個体 /m²で観察された (図 24, 図 25a)。幼体の着生は広範囲で見られ、スポアバッグ設置場所より周囲 50m 以上離れた場所でも同様な密度で観察された。全長について、5 月 26 日には平均全長

116mm に生長したが、6 月 28 日には幼体に食痕や先枯れが見られるようになり、7 月 12 日に 70mm まで小型化した。その後、幼体は再び伸長し、12 月 13 日に 178mm であった (図 25c)。密度については、幼体に食痕や先枯れが見られた 6 月 28 日から減耗が始まり、9 月 7 日時点で平均密度 18 個体 /m²まで減少した。その後は緩やかに減少が続き、12 月 13 日に平均密度 14 個体 /m²であった。なお、2017 年以降の同地区でのモニタリング調査から、着生した幼体はクロメと同定された。食痕については、縁辺部の不規則な凹凸や葉部表面の不定形な孔から、ウニ類や巻貝、ヨコエビ等の摂食によるものと判断され、魚類の食痕は見られなかった (図 25b)。植食性ベントスの生息密度については、ウラウズガイでは 7 月 12 日に 7 個体 /m²であったが、12 月 13 日には 0.8 個体 /m²に減少した。一方で、サザエ、ムラサキウニ、アカウニでは、7 月 12 日、12 月 13 日ともに 1 個体 /m²以下で大きな変化は見られなかった (図 26)。

(2) **食害試験** 7 月 12 日の試験開始時のクロメ幼体の着生数は試験区で 58 個体、対照区で 37 個体だった。対照区では 8 月 9 日から、試験区では 9 月 7 日から生残率の低下が見られ、ともに 9 月 7 日から 12 月 13 日は緩やかに低下した (図 27, 28)。試験終了時の 12 月 13 日では試験区 31 個体、対照区 14 個体で、生残率はそれぞれ 53%、38%

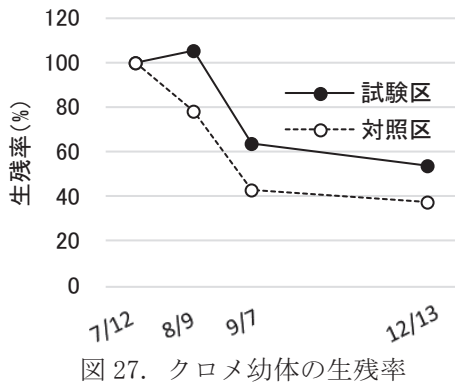


図 27. クロメ幼体の生残率

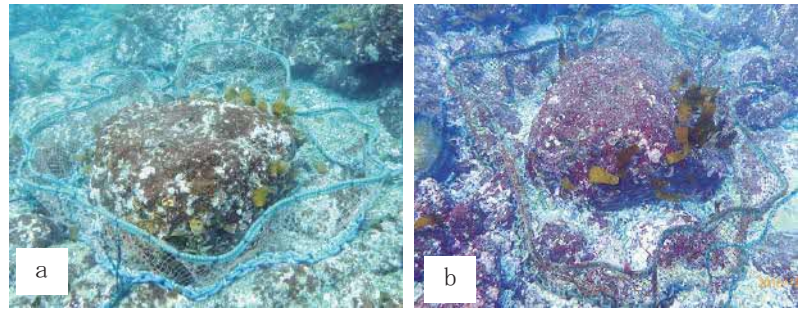


図 28. ユニフェンスで囲った試験区の様子
(a) 7月12日, (b) 12月13日

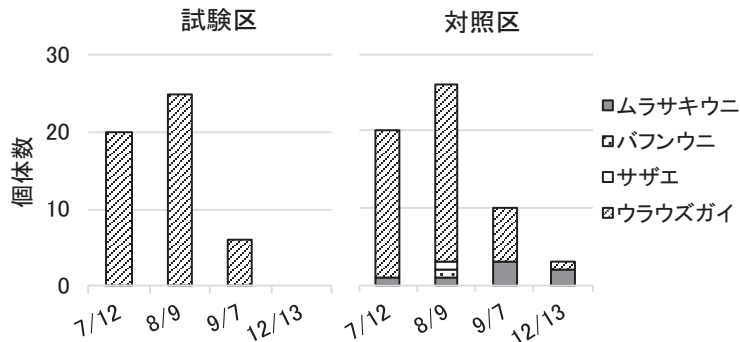


図 29. 転石に付着した植食性ベントスの個体数

と試験区の方が高かった。また、試験区、対照区ともに7月12日から9月7日には播種試験と同様にウニ類や巻貝、ヨコエビ等による食痕や先枯れが見られた。植食性ベントスは、試験区、対照区ともに調査期間を通してウラウズガイが優占し、7月12日から8月9日には19~25個体観察された後、9月7日から12月13日にかけてその個体数は0~6個体に減少した(図29)。試験区では、ウラウズガイのみ観察されたが、対照区ではウラウズガイの他にムラサキウニ、バフンウニ、サザエが各々1~3個体観察された。

考察

藻場状況 各地区の藻場分布状況について、まとめると以下のとおりとなる。

沖泊地区では、2015、2016年はアラメ類やホンダワラ類の藻場が高被度で形成されていたが、2017年に沿岸域で発生した海藻の枯死により藻場面積が前年の7割に縮小した(図2~5)。この原因としては、同年5月に県内の沿岸域各所で南方海域由来と考えられるアカモクの大量漂着¹⁶⁾ および同時期に滞留したヤコウチュウ赤潮が共に腐敗し、貧酸素や硫化水素の発生を伴う水質の悪化が引き起こされたことにより海藻全体が枯死したものと推定された。しかし、2018年以降、沿岸域に

再び藻場が形成され、藻場面積も拡大したことから、その影響は一過性のものでありその被害も限定的であったと考えられた。2018年以降には、それまでは殆ど見られなかったワカメが増加しており、藻場衰退の前後で種組成に若干の変化が見られた(図5)。吾妻ら¹⁷⁾は、ウニ除去による藻場の再生過程として、先に1年生海藻が入植し、多年生海藻へと遷移したと報告している。沖泊地区においても衰退した藻場の再生過程において、1年生海藻であるワカメが増加したと考えられる。

坂浦地区では、沿岸域を中心にアラメ類やホンダワラ類の藻場の形成を確認した(図8,9,11)。2017年以降には沖合にアラメ類を主体とした藻場が新たに形成され、2015~2016年と比較して藻場面積が1.3倍に拡大した(図10)。

外ノ浦地区では、沿岸域を中心にアラメ類やホンダワラ類の藻場の形成を確認し、2015年から2017年まで藻場の分布域や被度に大きな変化は見られなかった(図13~16)。

薄毛地区では、藻場のなかった中間域を除く沿岸域と沖合でアラメ類やホンダワラ類の藻場の形成を確認し、2015年から2019年まで藻場の分布域や被度に大きな変化は見られなかった(図18~21)。

以上の結果から、モニタリングを実施した4地区ともに、アラメ類、ホンダワラ類を中心とした

混生藻場の形成が確認され、調査期間中において藻場の恒常的な衰退や構成種の大きな変化は無かったと言える。

藻場形成阻害要因 播種試験では、2015年12月に坂浦地区沖合の磯焼け海域にクロメ母藻のスポアバッグを設置したところ、2016年4月に46個体/m²と高密度なクロメ幼体が確認された(図24)。スポアバッグの効果については、磯焼け対策ガイドライン¹⁸⁾によると、潮流等の影響を受けるものの、コンブ、アラメ、カジメ類の遊走子の拡散範囲は経験的に半径10m程度で、母藻移植の効果は限定的としている。また、クロメではスポアバッグから最大20m離れた場所まで幼体が着生し、10m以内で5個体/m²以上と高密度であったとしている。カジメにおいても、スポアバッグから最大26m離れた場所まで幼体が着生し、5~10m以内で10個体/m²以上と高密度であったとの報告がある。¹⁹⁾ 本試験では、幼体の着生はスポアバッグから周囲50m以上離れた場所でも同様な密度で観察され、翌年の2017年には同地区である坂浦地区のモニタリング調査において、試験海域を含む沖合の藻場がなかった場所に200×40m程度の広範囲でクロメを主体とした藻場が形成された(図9)。よって、他海域における報告と比較してより広範囲に遊走子が拡散した可能性がある。ただし、スポアバッグの設置場所は天然のクロメ分布域から沖合に50m程度しか離れていないこと、スポアバッグの周囲だけでなく天然藻場の沖合一帯に一樣に高被度な藻場が形成されたことから、幼体の着生はスポアバッグの効果のみによるものか明らかにできなかった。着生した幼体は6~9月に52個体/m²から18個体/m²へと3割にまで減耗した(図24)。減耗要因としては、8月にクロメの生育限界水温である28℃²⁰⁾を超えた日が4日続いたことから高水温の可能性が挙げられるが、減耗は水温20℃程度の6月から発生しているため主な要因とは考え難い。一方、減耗が発生した時期とウニ類、巻貝類、ヨコエビ類の食痕が見られ始めた時期が一致したことから、これら植食性ベントスによる摂食が主な減耗要因と考えられる。藻場を衰退させる植食性ベントスとして問題となっているのは主にウニ類であり、藻場を維持するために適正な生息密度は、ムラサキウニで3~5個体/m²以下とされている。^{21, 22)} 本試験では植食性ベントスの生息密度が高かった7月でムラサキウニ、アカウニが合計1.4個体/m²と適正な生息密度の範囲内であった。一方で、

9月以降は幼体の減耗が殆ど見られなくなり、12月には生息密度が14個体/m²であった(図24)。試験海域では前年12月時点では見られなかったクロメ群落が形成されたことから、植食性ベントスによるクロメ幼体の減耗は発生したものの、藻場形成阻害を引き起こす程の摂食圧はなかったと考えられる。

食害試験では、試験区でクロメ幼体の生残率が53%、対照区で38%とウニフェンスで囲った試験区の方が高かった(図27)。これによりウニ類による一定の摂食圧は確認できたものの、生息密度は対照区でも直径1m程度の転石に3個体以下と適正な生息密度の範囲内であった。また、両区ともに幼体の減耗は発生したものの、試験終了まで生残したクロメ幼体は翌年以降クロメ群落を形成した。播種試験と同様に主な減耗原因として高水温の可能性は低く、植食性ベントスによる摂食によるものと考えられる。なお、両区ともに7~8月に19~25個体とウラウズガイが高い密度で生息していたものの、本種の餌は主に附着珪藻でありカジメ幼体等をほとんど摂食しないとの報告があることから、^{23, 24)} 減耗への影響は少ないと考えられる。よって、播種試験、食害試験ともに植食性ベントスの摂食による減耗は見られたものの、春に着生したクロメ幼生の群落が維持され、試験海域を含む坂浦地区の藻場分布域が拡大したことから、坂浦地区沖合の磯焼け海域における藻場形成阻害要因は海藻のタネ(遊走子、幼胚)の供給不足であったと考えられる。

本県における長期的な藻場衰退の要因としては、2014年の聞き取り調査では藻場の衰退が始まった1989年以降と、秋季から冬季の水温が上昇した時期が一致することから水温の上昇の可能性が考えられた。¹⁰⁾ モニタリング調査期間中である2015~2019年の平均水温は、10~12月で18.8~20.0℃、1~3月で12.8~14.3℃であり、1989年以降の高水温期と同じ水温帯となっていた(図30)。しかし、4地区全てで藻場の衰退が確認できず、坂浦地区においては藻場分布域が拡大したことから、秋季から冬季の水温上昇と藻場衰退の関係性は見られなかった。一方で、夏期の高水温も藻場衰退の要因となっており、2013年に日本海西部沿岸域で夏期の特異的な高水温による藻場の急激な衰退が発生した。²⁵⁾ 本県でも8月に30℃を超える水温が1週間以上続き、県西部を中心にアラメ類の枯死・流失が見られた。¹⁰⁾ 本調査期間においては29℃を

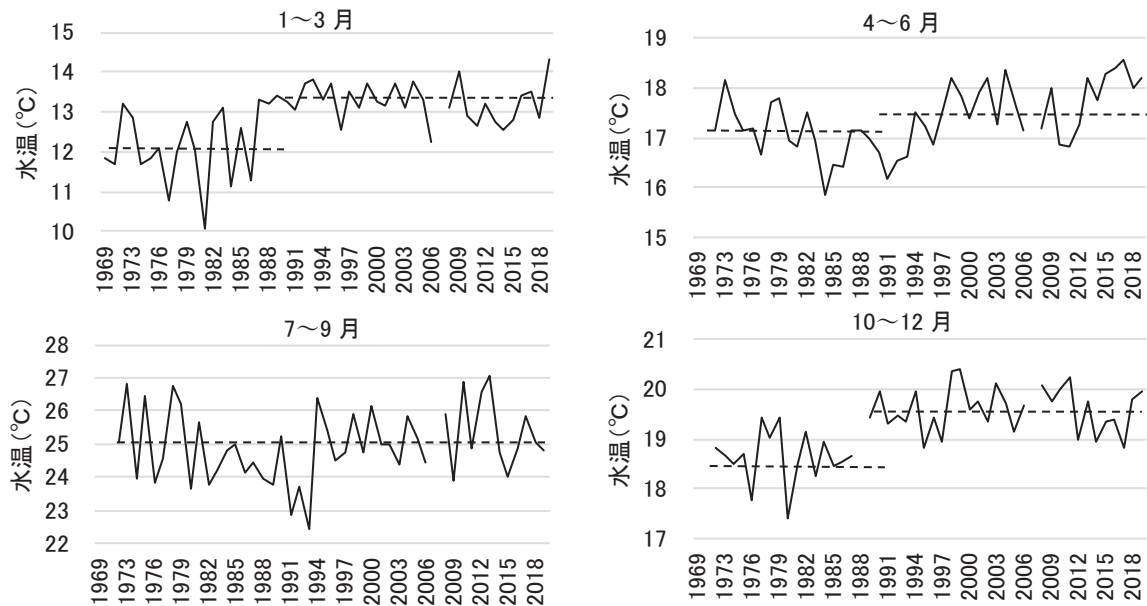


図 30. 旬別平均水温の推移

水産技術センター内水面浅海部浅海科庁舎（松江市鹿島町）の水温記録。
破線は 1969～1988 年及び 1989～2019 年の平均水温を示す。

超えた日は 2016 年に 2 日間のみであり、高水温に伴う急激な藻場衰退は見られなかった。

モニタリング調査における各地区のウニ類の密度については、沖泊地区では 2016～2017 年のライン B で 4.9～7.5 個体/m²、坂浦地区では 2016～2017 年のライン A, B で沿岸域を中心に 4.5～8.5 個体/m²、外ノ浦地区では 2016～2017 年のライン A, B で 8.0～11.7 個体/m²と適正密度を超えた生息が度々見られた（図 7, 12, 17）。一般に磯焼け海域では、植食動物の摂食量と海藻の生産量とのバランスが崩れ、植食動物の摂食量が海藻の生産量を上回っている状況とされていることから、²⁶⁾ これら地区では適正密度を超えるウニ類が生息するものの、現状では藻場の生産力とのバランスが取れた状態にあると考えられる。

本調査では 5 年間という短期間で実施した藻場のモニタリング調査、藻場形成阻害要因調査により、恒常的な藻場の衰退や食害による藻場形成阻害は確認されなかった。しかし、他機関の調査では隠岐郡や益田市において植食性魚類とウニ類による食害や藻場の衰退が確認されている。^{27, 28, 29)} また、水温上昇によりホンダワラ類は生育上限水温の低い種から高い種へ交代することが指摘されており、³⁰⁾ 土佐湾や長崎県では水温上昇に伴う藻場の衰退や構成種の変化も報告されている。^{31, 32)} 本県においても食害や藻場の構成種の動向に注意しつつ今後も継続したモニタリング調査を行う必

要がある。

モニタリング方法の検討 藻場調査の方法として、潜水調査は調査範囲が狭いが海藻の種や被度など得られる情報が多く、空撮や音響による調査は範囲が広いが得られる情報が少ないとされている。³³⁾ また、モニタリングを行うに当たって、藻場状況を定量化し経年変化を比較することが重要となる。

本調査では、2015 年には調査海域全体の藻場状況の把握、調査ラインの設置場所の検討のため、空撮、音響調査、船上からの海底画像の撮影という潜水を伴わない方法で被度別藻場分布図を作成した。それぞれの方法の特徴は以下のとおりである。空撮では、メリットとして画像の濃淡から判断される藻場範囲を GIS ソフトを用いて作図することで簡単に藻場分布域や面積を把握することができた。一方、デメリットとして濁りや光量不足、水面の反射などの環境条件に影響を受けやすく、調査現場では環境条件の良否や画像の仕上がりが判断できない等の課題があった。しかし、ドローンを用いた空撮では陸地からでも手軽に行うことができるため、条件の良い日に撮り直すことで対応できる。音響調査は、メリットとしてダウンスキャン画像から濁り等の環境条件に左右されず藻場を判別できることが挙げられるが、デメリットとして小型海藻など高さの低い海藻は判別しにくいこと、ダウンスキャン画像から藻場を判断しな

から GIS 上で分布図を作成する作業は空撮に比べて労力が大きいことが分かった。海底撮影は、メリットとして藻場分布域だけでなく被度情報まで把握できるものの、デメリットとして調査海域全体を撮影した数百枚以上の海底画像から被度を判断しながら区分けする作業は労力が非常に大きいことが分かった。よって、これらの方法を組み合わせることにより被度別の藻場分布状況が把握できたものの、被度判別の労力が大きく、調査方法としては課題が残った。一方で、空撮は環境条件に左右されるものの、簡単に藻場面積の定量化が可能であり、推定された藻場分布域は被度 25%以上の藻場分布域ともほぼ一致したことから、空撮から算出する藻場面積の妥当性は高いと考えられる。

2016～2019 年には、空撮による藻場面積の把握に加え、本県の藻場調査で従来実施してきた潜水調査を行った。潜水によるライントランセクト法については、調査ライン上の海藻の種や被度、植食性ベントスの密度など詳細なデータを取得できるものの、調査ラインの設置が課題であり、今回用いたハンディ GPS によるラインの設置でも薄毛地区のライン A のように調査ラインの位置がずれてしまうこと、特にパッチ状に藻場が分布するような海域では調査ラインの数 m のずれで被度が大きく変化することから、被度の経年変化を定量的に比較することは難しいと考えられた。また、2017 年における沖泊地区では、ライン B 上の被度は前年と比較して減少しなかったが、調査海域全体では藻場面積は減少したこと（図 3～5）から、潜水調査の局所的な情報では海域全体の藻場の変化を反映できない可能性もある。

以上のことから、モニタリング方法としては、空撮により定量的な藻場面積の推移を、潜水調査により藻場の種組成など定性的な変化等を把握するのが良いと考えられる。なお、本調査では検討できなかったが、空撮における画像解析による藻場面積の測定やマルチスペクトルカメラの活用等により精度の高い手法も開発されており^{12, 34)} 今後は更なる調査方法の改善について検討していきたい。

謝辞

本調査を進めるにあたり、JF しまね島根町支所所属の小川雅道氏、小川章氏、JF しまね平田支所所属の郷原豊実氏、JF しまね浜田支所所属の古和

重幸氏、笹田卓氏、JF しまね浦郷支所所属の濱辰成氏、谷裕二氏には現地調査においてご協力頂いた。開内洋氏、石原成嗣氏、金元保之氏を始めとした水産技術センター所属の皆様には現地調査におけるご協力、本報告書作成にあたりご助言頂いた。JF しまね各支所、松江水産事務所、浜田水産事務所、隠岐支庁水産局の皆様には調査へのご協力頂いた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

文献

- 1) 藤田大介：植食性魚類は海藻・藻場とどのように関わってきたか、「磯焼け対策シリーズ1 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで—」（藤田大介、野田幹雄、桑原久実）、初版、成山堂書店、東京、2006、pp. 1-15.
- 2) 戸澤 隆、渡邊庄一：長崎県小値賀町におけるアワビ資源の減少について。日水誌、78、1202-1204 (2012).
- 3) 清本節夫：アワビ類の生態に基づく資源管理・増殖、水産増殖関係研究開発推進会議養殖産業部アワビ研究会 監修、2018、pp. 55-57.
- 4) 清本節夫・渡邊庄一・前野幸男・吉村 拓・玉置昭夫：海藻群落の優占種の差異がクロアワビとメガイアワビの再生産と成長に与える影響、水産増殖、67、65-79 (2019)
- 5) 農林水産省：海面漁業生産統計調査 長期累年、海面漁業魚種別漁獲量累年統計（都道府県別）全国～沖縄（1956年～2015年）。
- 6) 島根県：H28 年度大田海域の磯焼け対策を行いました！。 https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/suisan/chiho_kikan/hamada_suisan/suisangyo/katudousyukai/h28isoyake_taisaku.html, 2020 年 11 月 11 日。
- 7) 環境庁自然保護局：第 4 回自然環境保全基礎調査（干潟、藻場、サンゴ礁調査）海域生物環境調査報告書、第 2 巻藻場、1994.
- 8) 環境庁自然保護局：第 5 回自然環境保全基礎調査 海辺調査 総合報告書、1998.
- 9) 島根県農林水産部漁港漁場整備課、国際航業株式会社：平成 30 年度水産環境整備事業 島根県沿岸藻場分布把握調査業務委託報告書、2019.
- 10) 吉田太輔：島根県沿岸における藻場の状況と磯焼けに関する聞き取り調査、島根県水産技術センター研究報告、9、P37-42 (2016)

- 11) 梶原瑠美子, 桑原久実, 濱田保夫, 中嶋 泰: 藻場や磯焼け域の把握に関わる新たな装置や技術～廉価版サイドスキャナー, ラジコンヘリ, 簡潔撮影カメラの利用～. 水産工学, **51**, 221-226 (2015).
- 12) 山田充哉, 渡辺一俊, 南部亮元, 干川 裕, 福田裕毅, 秋野秀樹, 梶原瑠美子, 桑原久実, 森口朗彦: ドローンを用いた広域藻場調査. 水産工学, **54**, 121-125 (2017).
- 13) 水産庁: 改訂版磯焼け対策ガイドライン, 2015, pp. 48-69.
- 14) 吉村 拓, 長谷川雅俊, 霜村胤日人, 尾上静正, 内海訓弘, 藤井明彦, 桐山隆哉: 藻食性魚類の藻場に及ぼす影響評価のための基礎資料. 水産業関係特定研究開発促進事業 藻食性魚類の大型褐藻類に対する食害の実態解明総括報告書 平成 13～16 年度, 2005, 共著-1～39.
- 15) 水産庁: 改訂版磯焼け対策ガイドライン, 2015, pp. 103-107.
- 16) 島根県水産技術センター: 流れ藻の大量漂着!, とびくす 80 号, 2017
- 17) 吾妻行雄, 松山恵二, 中多章文, 川井唯史, 西川信良: 北海道日本海沿岸のサンゴモ平原におけるウニ除去後の海藻群落の遷移. 日水試, **63**, 672-680 (1997).
- 18) 水産庁: 改訂版磯焼け対策ガイドライン, 2015, pp. 108-118.
- 19) 芹澤如比古, 井本善次, 田井野清也, 崖 昌根, 石川 徹, 大野正夫, 平岡雅規: 土佐湾の磯焼け海域におけるスポアバッグ法によるカジメ海中林の造成. 藻類, **53**, 19-24 (2005).
- 20) 村瀬 昇: 水温 - 高水温の影響の現れ方, 「磯焼け対策シリーズ 3 藻場を見守り育てる知恵と技術」(藤田大介, 村瀬昇, 桑原久実), 初版, 成山堂書店, 東京, 2010, pp. 33-38.
- 21) 長崎県水産部: 長崎県における磯焼け対策ガイドライン (平成 30 年度改訂版), 2018.
- 22) 山田和也, 市原 肇: 本県沿岸の海域特性を考慮した藻場造成技術の確立. 平成 23 年度宮崎水試事報, 69-77 (2013).
- 23) 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所: ウラウズガイ増加の謎を生態から考える (コラム). <http://feis.fra.affrc.go.jp/seika/tayousei/urauzugai/urauzugai.html>, 2020 年 11 月 11 日.
- 24) 尾形梨恵, 高木康次, 御宿昭彦, 藤田大介: 静岡県内浦湾における中層網式母藻移植によるガラモ場回復の試み. 水産工学, **52**, 177-184 (2016)
- 25) 村瀬 昇: 藻場が消えた?! ～ 2013 年, 夏から秋にかけての山口県日本海沿岸の藻場の異変～. 豊かな海, **32**, 2014, pp. 67-70.
- 26) 桑原久実, 綿貫 啓, 青田 徹: これまでの取り組みと要素技術, 「磯焼け対策シリーズ 1 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで—」(藤田大介, 野田幹雄, 桑原久実), 初版, 成山堂書店, 東京, 2006, pp. 206-218.
- 27) 藤田大介, 新井章吾: 日本海沿岸の藻場も魚に食われる!?, 「磯焼け対策シリーズ 1 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで—」(藤田大介, 野田幹雄, 桑原久実), 初版, 成山堂書店, 東京, 2006, pp. 89-98.
- 28) 株式会社海中景観研究所: 隠岐の島町沿岸域における藻場等の漁場環境の現状把握調査報告書, 2009.
- 29) 公益社団法人島根県水産振興協会: 平成 25 年度磯焼けの現状調査報告書, 2013.
- 30) 原口展子, 村瀬昇, 水上譲, 野田幹雄, 吉田吾郎, 寺脇利信: 山口県沿岸のホンダワラ類の生育適温と上限温度. 藻類, **53**, 7-13 (2005).
- 31) 平岡雅規, 浦 吉徳, 原口展子: 土佐湾沿岸における水温上昇と藻場の変化 (特集 黒潮圏の自然と人間の共存・共生(1)), 海洋と生物 **27**(5), pp. 485-493, 2005.
- 32) 桐山隆哉: 長崎県沿岸の近年における大型褐藻群落の衰退減少に関する研究, 長崎県水産試験場研究報告第 35 号, 2009.
- 33) 平成 30 年度水産基盤整備調査委託事業報告書 藻場回復・保全技術の高度化検討調査, 2018.
- 34) 宇野女草太, 吉田夏樹, 高野正範, 田村恵子, 宮坂 聡: 航空機搭載型センサを用いた沿岸環境調査事例の紹介. 日本リモートセンシング学会, **38**, 219-224 (2018).

島根県沿岸に来遊する浮魚類の漁獲量と水温の時空間分布の関係

安原 豪¹

Relationship between catches of pelagic fish in coastal area of Shimane prefecture and spatiotemporal distribution of water temperature

Go YASUHARA

キーワード: 浮魚類, 水温, 来遊, 漁獲量, 漁況予測

はじめに

島根県においてマアジ *Trachurus japonicus*, サバ類, イワシ類などの浮魚類は重要魚種であり 2019 年の全県漁獲量のうち約 6 割を占める。¹⁾ 本県では浮魚類は主にまき網漁業で漁獲されるほか, 定置網漁業や一本釣り漁業など様々な漁法で漁獲される。浮魚類の多くは資源評価対象魚種であり資源状況や TAC(漁獲可能量)には毎年注目が集まっている。また, マアジやブリ *Seriola quinqueradiata* は島根県独自にブランド化が進められ,^{2, 3)} 県内外から需要が高まっている。

漁業者や漁業関係者にとって漁の良否は最大の関心事であり, いつ, どこで, どれくらい獲れるかを事前に予測する漁況予測への関心は高い。また, 漁況予測は水産技術センターとして地域の水産業へ貢献するための最重点課題の 1 つである。現在島根県では浮魚類の漁況予測を上半期(4~9 月)と下半期(11~翌年 3 月)に分けて行っている。⁴⁾ その方法は他海域(長崎県~山口県)の予測内容⁵⁾ および本県の直近の漁況を参考にしている。一方, 近年の漁況予測は, 予測結果に影響を与える要因を構造化できる一般化線形モデル等の統計モデル(以下, 漁況予測モデル)を用いた方法が主流である。⁶⁾ 浮魚類の漁獲量は水温などの海洋環境と密接な関係があることから本県においても過去に定地水温からマアジの漁況予測を行う⁷⁾ ことが検討されたが, 漁況予測モデルの開発にまで至っていない。他海域での漁況予測の事例として例えば, 山口県沿岸でのイワシ

類, 宮崎県の日向灘でのマアジ, ゴマサバについて漁況予測モデルを用いた報告がある^{8, 9)} が, 漁況を左右する要因は海域ごとに異なるため本県で同様のモデルを適用することはできない。そのため本県の沿岸域に適用できる独自の漁況予測モデルを検討する必要がある。

そこで, 浮魚類の漁況予測モデルの構築を最終目的として, まずは魚類の来遊に影響する水温¹⁰⁾ の時空間分布と浮魚類の漁獲量との相関について解析し, その関係について既存の知見による考察を試みた。

材料と方法

対象とした魚種は中型まき網漁業で主に漁獲されるマアジ, ウルメイワシ *Etrumeus teres*, マサバ *Scomber japonicus*, 定置網漁業や一本釣り漁業などで漁獲されるカンパチ *Seriola dumerili*, ブリの 5 魚種とした。漁獲データは島根県の漁獲管理情報処理システム¹¹⁾ から出力した 2008~2019 年の月別, 魚種別の属人漁獲量を用いた。なお, 漁場が島根県沖合に限らない大中型まき網漁業の漁獲量については除いた。漁獲管理情報処理システムではマサバとゴマサバをサバ類として集計しているが, 9 割以上がマサバであるため¹²⁾ サバ類の漁獲量をマサバのものとして扱った。水温に関するデータは, 本県沿岸の漁場をカバーし, 予測も出来る拡張版日本海海況予測システム(以下, JADE2)の南部日本海(東経 129~134 度, 北緯 33~38.5 度)における過去の水温の再現値を用いた(水産教育, 研究機構:

¹ 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

http://jade2.dc.affrc.go.jp/jade2/digital_data/, 2020年1月21日). JADE2の水温データは、経度が1/12度、緯度が1/15度の1メッシュ単位である. 解析範囲は、東経129~134度、北緯33~37度とした. この水温データのうち2008~2019年の1~12月までの各月の15日の値を代表として、水深は50m深を使用した. 50m深を用いた理由は一般的に浮魚類の生息水深に近いためである.

解析方法は小塚ほか¹³⁾を参考にして、各魚種の盛漁期の総漁獲量と、各月別の各メッシュの水温との相関を調べた. 解析には統計解析ソフトであるR(ver. 3.4.1)を用いて網羅的に解析し、その結果をマッピングすることで可視化した. 本研究ではデータ数が2008~2019年の12個であり、この時のP値が0.05となるピアソンの積率相関係数は0.576¹⁴⁾である. このことからマッピングの色分けは相関係数が0.6以上もしくは-0.6以下をそれぞれ赤色、青色で、それら以外の相関なしは黄色とし、陸地などは緑色で示した. なお、1例としてマアジにおける相関があった1メッシュのデータセットと散布図を図1に示す. さらに、これらの解析結果を各魚種の生物学的特性の知見と比較して妥当性を検討した.

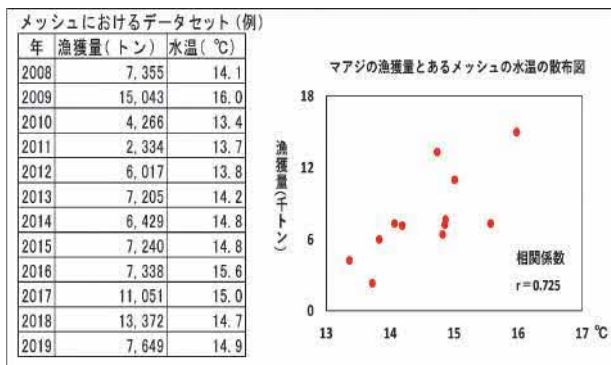


図1.1メッシュにおけるデータセットと散布図(例)

結果

マアジ 2008~2019年におけるマアジの月別漁獲動向を図2に示した. マアジの盛漁期は春の4~7月と秋の9~11月であるが、近年はその傾向に変化がみられ秋の漁獲量が減少し春に集中する傾向にある. また9月の漁獲量の年変動は他の月と比べて大きくなっていった. 解析には近年の盛漁期であり、マアジの需要も高まる4~6月の総漁獲量を用いた. その結果、5月の水温のうち本県沿岸と隠岐諸島西方の海域に正の相関がみられた(図3).

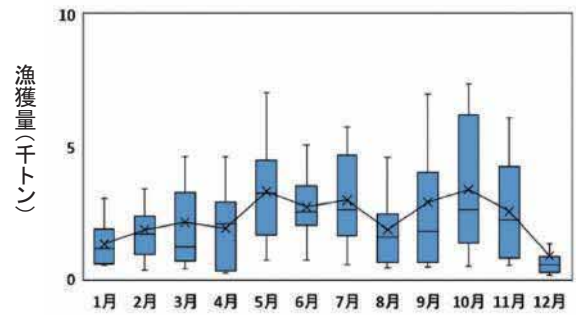


図2. マアジの月別漁獲量の推移
×は各月の平均を表し、箱の線は中央値を示す

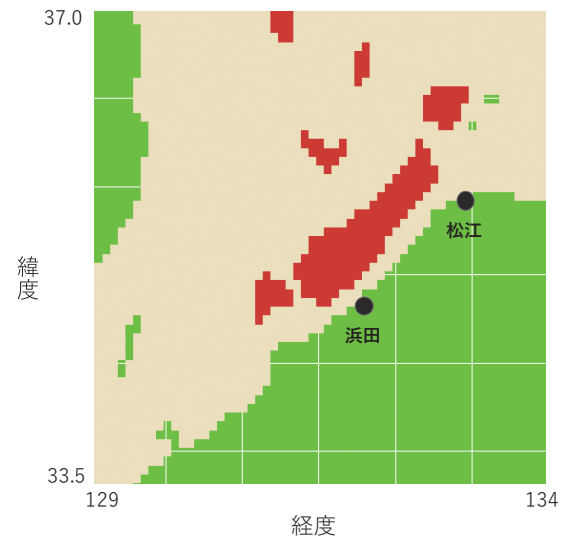


図3. マアジの4~6月の漁獲量と5月の水温の相関図

相関係数(r)が0.6以上を赤色、-0.6以下を青色で示す. それ以外は相関なしとして黄色、陸地などは緑色で示す.

ウルメイワシ 2008~2019年におけるウルメイワシの月別漁獲動向を図4に示した. ウルメイワシの漁獲量は増減が著しく、秋から冬に漁獲が集中する傾向にあった. そこで解析には盛漁期である10~11月の総漁獲量を用いた. その結果、11月の山陰沿岸の広い範囲で正の相関がみられた(図5).

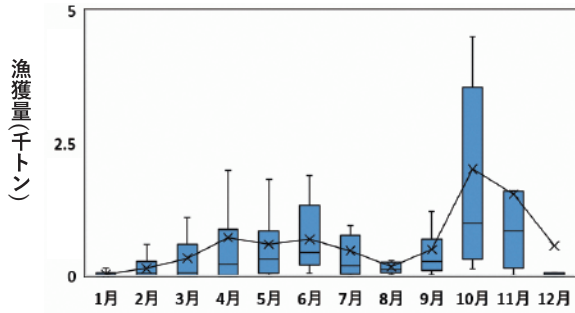


図 4. ウルメイワシの月別漁獲量の推移

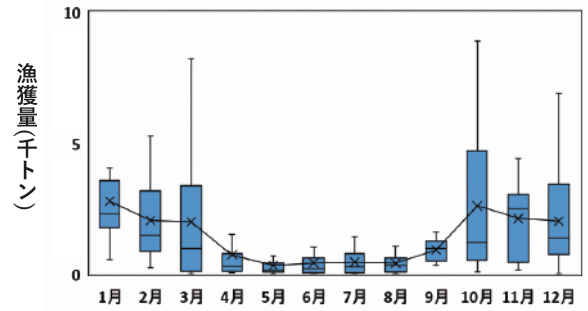


図 6. マサバの月別漁獲量の推移

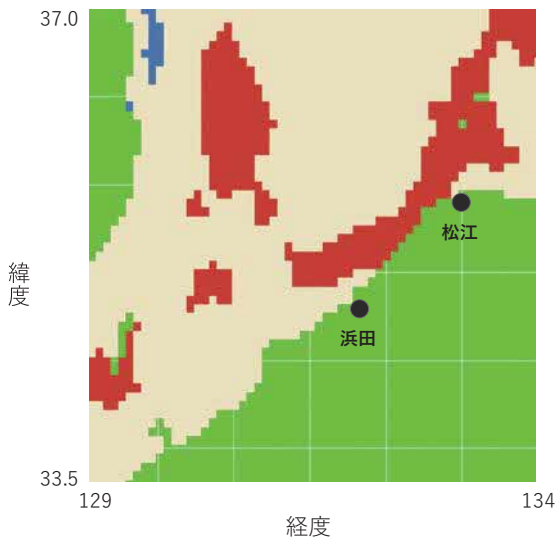


図 5. ウルメイワシの 10～11 月の漁獲量と 11 月の水温の相関図

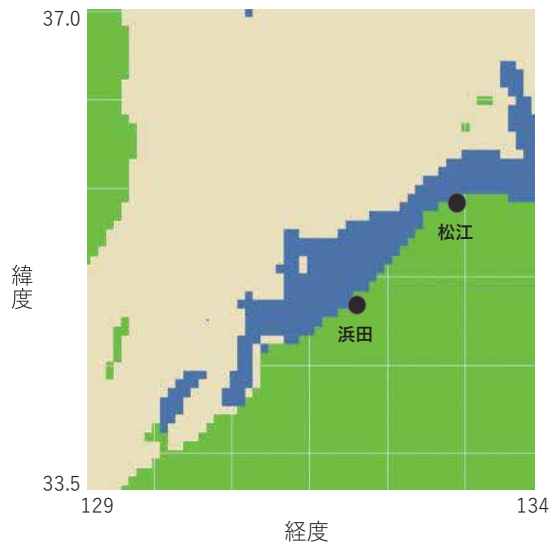


図 7. マサバの 11～12 月の漁獲量と 5 月の水温の相関図

マサバ 2008～2019 年におけるマサバの月別漁獲動向を図 6 に示した。マサバの盛漁期はこれまでには秋に集中していたが、近年では冬にも漁獲されるようになり 11～翌年 3 月に漁獲が集中する傾向にある。漁獲される期間が長いので漁獲量を 11～12 月と 1～3 月に分けて解析を行った。1～3 月の漁獲量は前年の 1～12 月の水温を用いて解析を行った。その結果、11～12 月の漁獲量は山陰沿岸の広い範囲で 5 月の水温と負の相関がみられ(図 7)、1～3 月の漁獲量は隠岐諸島北方の海域で前年 12 月の水温と負の相関がみられた(図 8)。

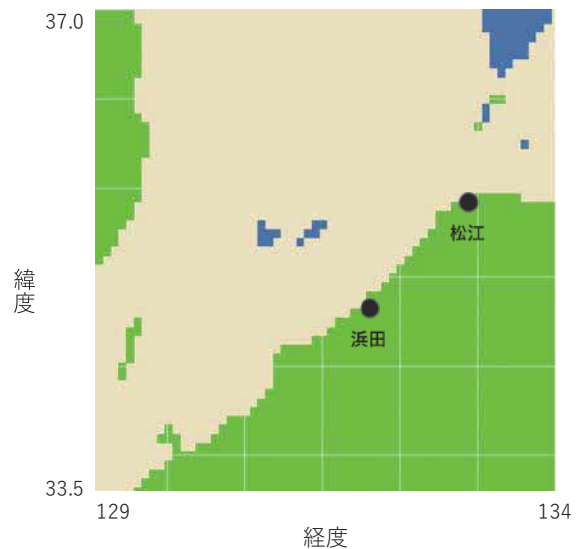


図 8. マサバの 1～3 月の漁獲量と 12 月の水温の相関図

カンパチ 2008～2019 年におけるカンパチの月別漁獲動向を図 9 に示した。8～10 月にまとめて漁獲されるが年による変動は大きい。解析にはカンパチの盛漁期である 8～10 月の総漁獲量を用いた。その結果、8 月、9 月、10 月の各月の隠岐諸島周辺から島根県東部の海域の水温に正の相関、隠岐諸島北西の海域の水温に負の相関がみられた。結果が類似していたため代表として 10 月の水温との解析結果を図 10 に示した。

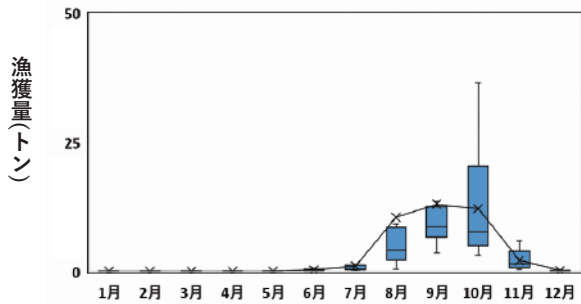


図 9. カンパチの月別漁獲量の推移

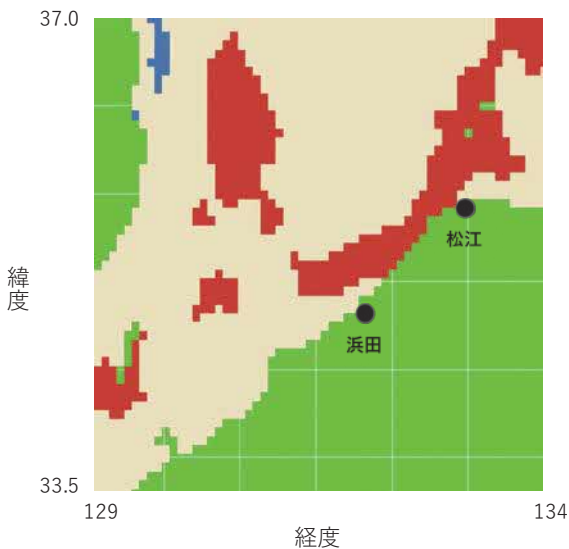


図 10. カンパチの 8～10 月の漁獲量と 10 月の水温の相関図

ブリ 2008～2019 年におけるブリの月別漁獲動向を図 11 に示した。盛漁期は春と冬の 2 回あり、冬の方が多獲される。本研究では盛漁期でありブリの需要が高まる 10～12 月の総漁獲量を用いた。その結果、山陰沿岸の全域で 4 月、5 月、6 月の各月の水温と正の相関がみられた。結果が類似していたため代表として 5 月の水温との解析結果を図 12 に示した。

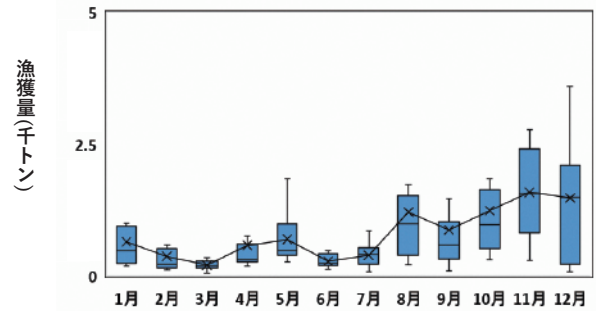


図 11. ブリの月別漁獲量の推移

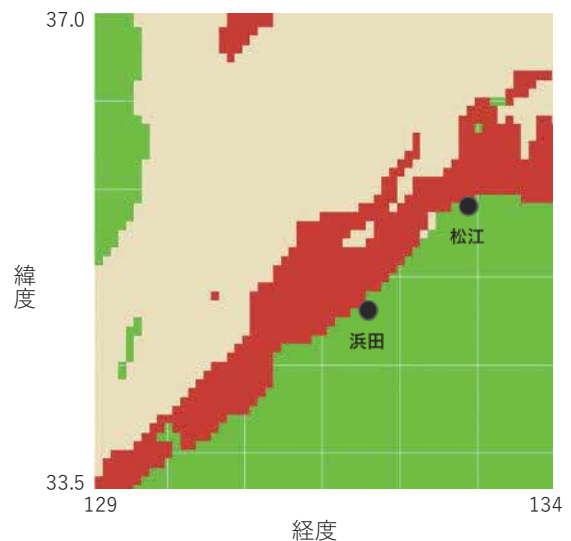


図 12. ブリの 10～12 月の漁獲量と 5 月の水温の相関図

考察

マアジ 本研究結果から 5 月の水温と盛漁期である 4～6 月の漁獲量との間に相関がみられた。これまでも島根県沿岸域の春から初夏の中型まき網漁業による漁獲量と、初夏におけるマアジの適水温帯（16℃以上）の水塊体積との間には高い正の相関が認められている。¹⁵⁾また島根県の 5～7 月の全県の漁獲量と 4 月下旬の浜田市瀬戸ヶ島の定地水温は正の相関がある⁷⁾ことも報告されている。このように春の水温と初夏の漁獲量に相関があることは以前から報告されており、本研究でも同様の関係が確認された。マアジは春夏に索餌のため北上回遊する。¹⁶⁾それに加えて、北上する際の水温は高水温の方が適していると報告されている。¹⁷⁾そのため春から初夏の沿岸の水温が高くなると沿岸寄りに回遊し、漁獲量が増加すると推察された。

ウルメイワシ 本研究結果から 11 月の水温と 10～11 月の漁獲量との間に相関がみられた。ウルメイワシはマイワシ、カタクチイワシと比べると温暖性である。¹⁸⁾ 日本の沿岸域を中心に分布するが、特に本州中部以南に多く分布する。¹⁹⁾ 一部は日本海へ回遊し、冬季に九州西岸へ到達する。¹⁸⁾ 主産卵場は日向灘、四国沿岸、九州沿岸および山陰沿岸などにある。²⁰⁾ 本研究結果から水温が高くなることはウルメイワシの来遊に好条件となると考えられた。11 月の水温と 10～11 月の総漁獲量に相関があったことについては産卵や、冷水域の張り出し等の関係を検討したが、説明することができず今後更なる検討が必要である。

マサバ 本研究結果から 5 月の水温と 11～12 月のマサバの漁獲量、12 月の水温と翌年 1～3 月の漁獲量との間に相関がみられた。対馬暖流域のマサバは周年漁獲されるが、盛漁期である 10～翌年 3 月²¹⁾ は、産卵、越冬のために南下する²²⁾ 群れが漁獲されていると考えられる。日向灘では黒潮の離岸傾向時には好漁で、黒潮の流入傾向時には不漁と報告されている。²³⁾ また神奈川県沿岸の表面水温と来遊魚群量指数（太平洋系群の資源量と相模湾大型定置網漁業の漁獲量から求められる指数）には負の相関がみられている。²⁴⁾ これらのことからマサバが来遊する好条件には比較的低水温であることが関係している可能性が高く、本研究の解析結果を支持するものである。一方、11～12 月の漁獲量と 5 月の水温に相関があったことについてはマサバの 0 歳魚の漁獲加入時期²¹⁾ と一致することから何らかの関係があると考えられるが既往の生物学的知見での説明が難しく今後更に検討が必要である。

カンパチ 本研究結果から 8～10 月の水温と 8～10 月の漁獲量との間に相関がみられた。カンパチはブリ属の中では温暖性であり、²⁵⁾ 8～10 月に漁獲されるカンパチは産卵、越冬のため南下する群れ²⁶⁾ であると考えられる。また図 10 で示したように隠岐諸島北西に負の相関が見られる海域があり、相対的に冷たい海域を避けるようにより暖かい沿岸寄りを南下している可能性がある。また鹿児島県においても秋の水温とカンパチの資源量指数（年間のカンパチ類漁獲量を年間有漁日数で除した漁獲量）には正の相関があること、²⁷⁾ 低緯度ほどブリ類（ブリ、ヒラマサ、カンパチ）に含まれるカンパチの漁獲割合が増加する²⁸⁾ ことが報告されている。カンパチの回遊の好条件には水温が高いことが関係しており、本研究の結果を支持するものである。

ブリ 本研究結果から 4～6 月の水温と 10～12 月の漁獲量との間に相関がみられた。この相関は以下の理由からモジャコの加入が関係する可能性がある。ブリの日本海における年齢別漁獲割合は 0 歳魚が主体で多い年では約 80% を占めている。²⁹⁾ 島根県においても 2kg 以下のハマチ銘柄が最も漁獲されている（図 13）。ブリは 1 歳弱で 2kg となる³⁰⁾ ことからハマチ銘柄は 1 歳魚も含まれるが 0 歳魚が主体であると考えられる。また太平洋側の鹿児島県から三重県では 3 月末からモジャコが現れて加入するようになり、²⁹⁾ 山陰への加入は 6 月がピークと報告されている。³⁰⁾ またモジャコの沿岸への加入は水塊配置が大きく関与しているとされ、²⁹⁾ 3 月から 4 月にかけて甕海峡で行われたモジャコの調査では水温が高くなればなるほどモジャコの資源量指数が増加することが報告されている。³¹⁾ これらのことから初夏の水温が高いことでモジャコの来遊条件が良くなり漁獲対象の大きさまで成長することで 10～12 月の 0 歳魚の総漁獲量が増加することが考えられる。

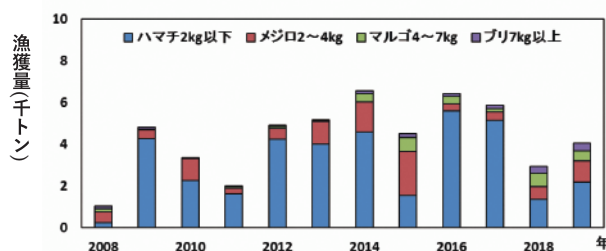


図 13. 島根県全県における 10～12 月のブリの銘柄別漁獲割合の推移

今後の課題 これまでの知見では漁獲量と水温の関係を検討する場合、JADE2 などの時空間的なデータの提供はされていなかったため定置水温などの時間的なデータが解析に使用される⁷⁾ ことが主流であった。本報では浮魚類を対象とした漁況予測モデルを構築することを最終目標として新たな手法を用いて検討を行った。本報のように JADE2 などの時空間的な水温データを用いることである期間の漁獲量がいつ・どこの水温と相関があるか可視化できる。その結果、検討した 5 魚種のうちウルメイワシ、マサバについては検討課題が残るもののマアジ、ブリ、カンパチは盛漁期と水温の相関が高く、それぞれの生物学的特性と相違なかったといえる。生物学的特徴の知見から妥当性が説明できなかった、例え

ばマサバについて、本研究結果から5月の水温と11～12月の総漁獲量にはなんらかの関係があることが示唆されたため、新しい生物学的知見の手がかりとなるかもしれない。また、JADE2は2ヶ月後の水温を予測できることからモデルの作成にも利用可能である。

新たな手法の第一歩ということで水温と漁獲量を用いた解析を行った。しかし島根県全県の総漁獲量を用いたため地域差や漁業種類による影響を受けて考察を深めることができない魚種もあった。今後は漁業種類を絞り地域差を考慮した解析を行う予定である。また、各魚種の来遊に影響を与えられられる水温以外の資源量、塩分、対馬暖流の勢力などの要因を考慮し、精度の高い漁況予測モデルの構築を目指したい。

謝辞

本研究の解析手法については、富山県農林水産総合技術センターの小塚晃主任研究員にご教授して頂いた。解析については島根県水産技術センター内水面浅海部浅海科の金元保之主任研究員に助言を頂いた。考察については島根県水産技術センター漁業生産部海洋資源科の寺門弘悦専門研究員をはじめ同庁舎職員各位に格別の協力を頂いた。ここに記して深謝します。

文献

- 1) 島根県水産技術センター:平成31年(2019年)の島根県の動向。トビウオ通信, **2** (2020).
- 2) 清川智之, 井岡 久:ポータブル型近赤外線分光分析装置によるマアジ, アカムツ脂質含量量の非破壊測定とその活用事例。島根水技セ研報, **1**, 11-17 (2007).
- 3) 内田 浩:水揚げ現場での脂の乗り(脂質含量)の測定への試み-島根県浜田漁港発“どんちっちあじ”-。ていち, **117**, 1-8 (2010).
- 4) 島根県水産技術センター:令和2年度上半期浮魚中長期漁況予測。トビウオ通信, **3** (2020).
- 5) (独)水産研究, 教育機構:2019年度第2回対馬暖流系マアジ・さば類・いわし類長期漁況予報。プレスリリース (2019).
- 6) 市野川桃子, 岡村 寛:一般化状態空間モデルで漁業動態を記述する-マサバ努力量管理効果の定量評価。統計数理, **64**, 59-75 (2016).
- 7) 森脇晋平, 寺門弘悦:島根県沿岸域に来遊する重要な4魚種(マアジ, トビウオ類, シイラ, ケンサキイカ)の簡便な漁況予測手法の再検討。島根水技セ研報, **5**, 71-75 (2013).
- 8) 河野光久:山口県日本海沿岸域で漁獲されるいわし類当歳魚の漁況予測に関する研究-II。山口水研セ報, **5**, 9-14 (2007).
- 9) 福田博文:日向灘におけるマアジ, ゴマサバの資源生態と漁況予測。黒潮の資源海洋研究, **11**, 55-66 (2010).
- 10) 桑原久実, 明田定満, 小林 聡, 竹下 彰, 山下 洋, 城戸勝利:温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測。地球環境, **11**, 49-57 (2006).
- 11) 村山達朗, 若林英人, 安木 茂, 沖野 晃, 伊藤薫, 林 博文:漁獲管理情報処理システムの開発。島水試研報, **12**, 67-78 (2005).
- 12) (独)水産研究, 教育機構:日本海南西海域から東シナ海におけるマサバの生態。西水研研報, **60**, 31-55 (1983).
- 13) 小塚 晃, 北川慎介, 南条暢聡, 辻本 良:富山湾におけるブリ, スルメイカ, ホタルイカの漁況と日本海の海洋環境との関係。沿岸海洋研究, **58**, 81-86 (2020).
- 14) 市原清志:バイオエンスの統計学。株式会社南江堂, 東京, 1990, pp. 363.
- 15) 森脇晋平, 寺門弘悦:島根県沿岸域のマアジ漁況-春～初夏の漁獲量変動におよぼす水温変動の評価-。島根水技セ研報, **4**, 33-37 (2012).
- 16) (独)水産研究, 教育機構:平成29年度マアジ対馬暖流系群の資源評価。我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁増殖推進部, 第1冊文, 東京, 2017, pp. 125-156.
- 17) 金 熙容, 稲井大典, 兼田敦志, 武岡英隆:豊後水道における海洋環境とマアジの漁獲変動特性。水産海洋研究, **711**, 1-8 (2007).
- 18) (独)水産研究, 教育機構:平成29年度ウルメイワシ対馬暖流系群の資源評価。我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁増殖推進部, 第2冊文, 東京, 2017, pp. 765-787.
- 19) 内田恵太郎, 道津善衛:第1篇対馬暖流域の表層に現れる魚卵, 稚魚概説。対馬暖流開発調査報告書, **2**, 3-65 (1958).
- 20) 落合 明, 田中 克:新版魚類学(下)。恒星社厚生閣, 東京, 1986, pp. 521-523.
- 21) 向草世香, 黒田啓行:暦年集計と漁期年集計に

- もとづく資源評価の比較:マサバ対馬暖流系群を事例として. 水産海洋研究, **82**, 14-25 (2018).
- 22) (独)水産研究, 教育機構:平成 29 年度マサバ対馬暖流系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁増殖推進部, 第 1 冊文, 東京, 2017, pp. 201-237.
- 23) 能津純治:日向灘を中心としたサバの魚群生態と漁場形成. 水産海洋研究会報, **36**, 50-53 (1980).
- 24) 山本貴一:神奈川県沿岸域へのマサバの来遊と表面水温分布の関係. 神奈川水技セ研報, **7**, 61-64 (2014).
- 25) 落合 明, 田中 克:新版魚類学(下). 恒星社厚生閣, 東京, 1986, pp. 814-815.
- 26) 落合 明, 田中 克:新版魚類学(下). 恒星社厚生閣, 東京, 1986, pp. 804-813.
- 27) 宍道弘敏, 東 剛志, 中野正明, 富安正臧, 野元 聡:鹿児島県海域におけるカンパチ類の資源動向把握の試み. 黒潮の資源海洋研究, **16**, 75-82 (2015).
- 28) 宍道弘敏:鹿児島県海域におけるブリ類の魚種別漁獲量. 鹿児島水技セ研報, **5**, 1-6 (2014).
- 29) 村山達朗:日本海におけるブリの資源生態に関する研究. 島水試研報, **7**, 1-64 (1992).
- 30) 森脇晋平, 為石起司, 斉藤寛之, 古江幸治, 若林英人:島根沿岸の流れ藻に付随する魚類の出現特性. 島水試研報, **12**, 33-42 (2005).
- 31) 池上彰一, 小松輝久:ニューラルネットワークを用いたモジャコ漁況の予測. 黒潮の資源海洋研究, **1**, 39-43 (2000).

日本海南西海域におけるマアナゴの漁獲実態と生物学的特性

道根 淳¹・河津優紀^{2a}・望岡典隆²

Actual Catches and Biological Characteristics of White-spotted Conger *Conger myriaster* in the Southwestern Japan Sea

Atsushi MICHINE, Masanori KAWAZU and Noritaka MOCHIOKA

キーワード：マアナゴ，日本海南西海域，漁獲実態，性比，食性

はじめに

マアナゴ *Conger myriaster* は、北海道以南の日本沿岸および渤海，黄海，東シナ海，朝鮮半島沿岸部に広く分布し，¹⁾主に底びき網やかご，あなご筒で漁獲されている。²⁾また，本種は中国，韓国でも漁獲されており，重要な水産資源となっている。³⁾

ところで，国内におけるあなご類の漁獲量は1995年以降減少傾向にあるが，その変動は海域により大きく異なっている。⁴⁾特に2000年以降は，大陸棚漁場（仙台湾～常磐海域，九州北部）では漁獲量は安定している一方，内湾漁場（東京湾，伊勢三河湾，瀬戸内東部・中西部）では減少している。⁵⁾このようにあなご類の漁獲量は内湾漁場を中心に減少傾向にあるが，本種を漁獲対象としている漁業においては漁獲努力量制限や小型魚保護といった資源管理方策がとられている。⁶⁾

島根県においても，底びき網漁業での目合制限，あなごかご漁業での使用かご数の上限設定といった管理方策に取り組んでいるが，⁷⁾これらは本種の資源水準を考慮したうえでの取組みとは言い難い。今後，マアナゴ資源を持続的に利用していくためには，資源水準に見合った管理方策を構築する必要があるが，当海域におけるマアナゴの生態に関する知見は乏しい。

そこで本研究では，日本海南西海域における本種の漁獲実態と生物学的特性を把握することを目的とし，基礎的な知見を得たので報告する。

材料と方法

漁獲実態 島根県における漁獲動向は，島根農林水産統計年報⁸⁾および島根県漁獲管理情報処理システムのデータベースよりデータを収集，整理し，漁業種別漁獲量を求めた。なお，島根県漁獲管理情報処理システムでは「アナゴ・ハモ類」と集計されているが，県内におけるハモ類の漁獲量は僅かであるため，ここで得たデータはアナゴ類として取り扱った。また，後述する精密測定の結果をもとに，水揚げ日の銘柄別出荷箱数を乗じ，水揚げされたマアナゴの全長組成を推定した。

生物学的特性 2010年から2012年にかけて，沖合底びき網漁業（2 そうびき）により島根県浜田漁港に水揚げされたものを購入し，精密測定に供した。標本は，全長 (TL, mm)，肛門前長 (PAL, mm)，体重 (BW, g)，胃内容物重量 (SCW, g) を測定し，目視により雌雄判別を行った。胃内容物については，消化が進んでなく，判別可能なものは種の同定を行った。また，2012年2月の標本の一部は生殖腺重量 (GW, g) を測定した。

さらに今回購入した標本のうち，腹部が群雲状に黒化する個体（2011年12月；4個体，2012年2月；2個体）が得られたため，九州大学大学院農学研究院水産増殖学研究室に標本を提供し，腹部内の観察および生殖腺組織切片（ヘマトキシリン-エオシン染色）の観察を行った。

なお，生殖腺指数 (GSI)，肥満度 (C.F) は以下の式により求めた。

¹ 島根県浜田水産事務所 Shimane Prefecture Hamada Fisheries Office

² 九州大学大学院農学研究院 Laboratory of Fisheries Biology, Department of Animal and Marine Bioresource Science, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Motoka, Fukuoka, 819-0395, Japan

^a 現所属：(国研)水産研究・教育機構水産資源研究所清水庁舎 Shimizu Field Station, Fisheries Resources Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 5-7-1 Orido, Shimizu, Shizuoka 424-8633, Japan

生殖腺指数 (%) $GSI = GW / (BW - SCW) \times 100$
 肥満度 $C.F = (BW - SCW) / TL^3 \times 10^6$

結果

漁獲実態

漁獲動向 島根県におけるアナゴ類の漁獲量の推移を図1に示す。本県におけるアナゴ類の漁獲量は、1995年以降、400~700トンの間で周期的な増減を繰り返しつつ、長期的には概ね横ばいで推移している。県内では、主に底びき網（沖合底びき網および小型底びき網）で漁獲されるが、本漁法による漁獲割合は漁獲量の8割以上、年によっては9割を超えることもある。沖合底びき網および小型底びき網それぞれの漁獲量は、沖合底びき網が200~400トン、小型底びき網が100~300トンで推移している。また、2011年までは沖合底びき網での漁獲が多く、小型底びき網を大きく上回っていたが、2012年以降は漁業種間での差がなくなり、小型底びき網の漁獲が沖合底びき網を上回る年も見られた。

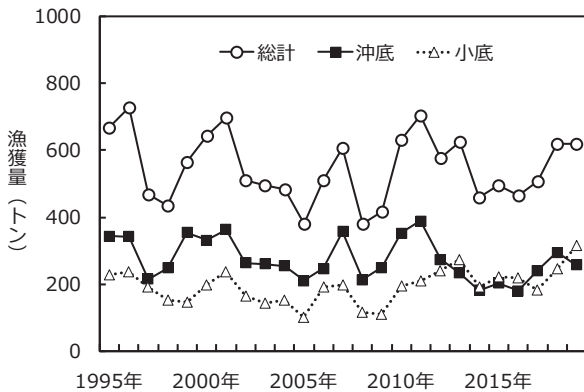


図1. 島根県におけるアナゴ類の漁業種別漁獲量の推移

次に、2010年から2019年における漁業種別月別平均漁獲量の推移を図2に示す。沖合底びき網では、1月から3月の漁獲量は少ないが、3月から5月にかけて増加傾向を示す。その後、6月1日から8月15日までは2か月半の休漁期間となるが、休漁明け後の8月から10月にかけて漁獲量は再び増加し、10月には最大となり、12月にかけて減少する。一方、小型底びき網は、1月に漁獲量は最小となるが、その後、2月から5月にかけて漁獲量は増加する。6月1日から8月31日までは3ヶ月の休漁期間となるが、休漁明け後の9月から10月にかけて漁獲量は増加し、沖合底びき網同様に10月には最大とな

る。その後、12月にかけて減少するが、11月から12月の減少量は沖合底びき網に比べて大きい。

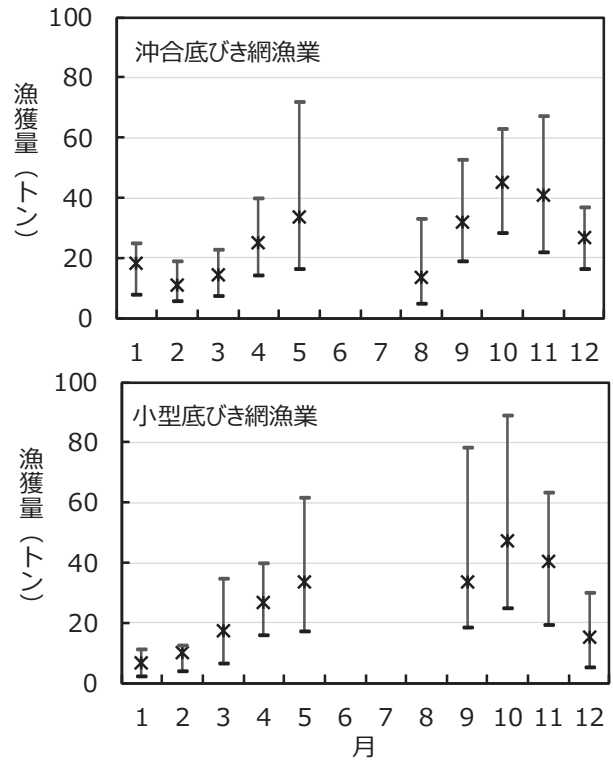


図2. 島根県におけるアナゴ類の漁業種別月別平均漁獲量の推移

*は平均値、縦棒の上端は最大値、下端は最低値を示す

全長組成 調査日に水揚げされたマアナゴの全長組成を図3に示す。水揚げされたマアナゴは、2010年11月、12月および2011年8月、12月は全長400mmおよび500mmの階級が、2012年2月、4月は全長500mmおよび600mmの階級が水揚げの主体であり、全長400mm以下および全長700mm以上のものは少なかった。そして2011年8月を除いた各調査月では、明瞭ではないが複数のモードが認められた。

一方、2011年8月の全長組成は、他の調査月の組成に比べて全長400~500mmの階級に大きなモードが認められた。また、全長700mm以上の大型マアナゴは数が少ないが、2011年8月を除いた各調査月で確認された。今回の調査における雌雄別の最大全長は、雌が2012年4月27日に水揚げされた1,056mm(雌)、雄が2011年12月2日に水揚げされた469mmであった。このほか、雌では2011年12月2日(1,004mm;雌)、2012年2月21日(903mm;雌)にも1,000mm前後の大型個体が確認された(表1)。

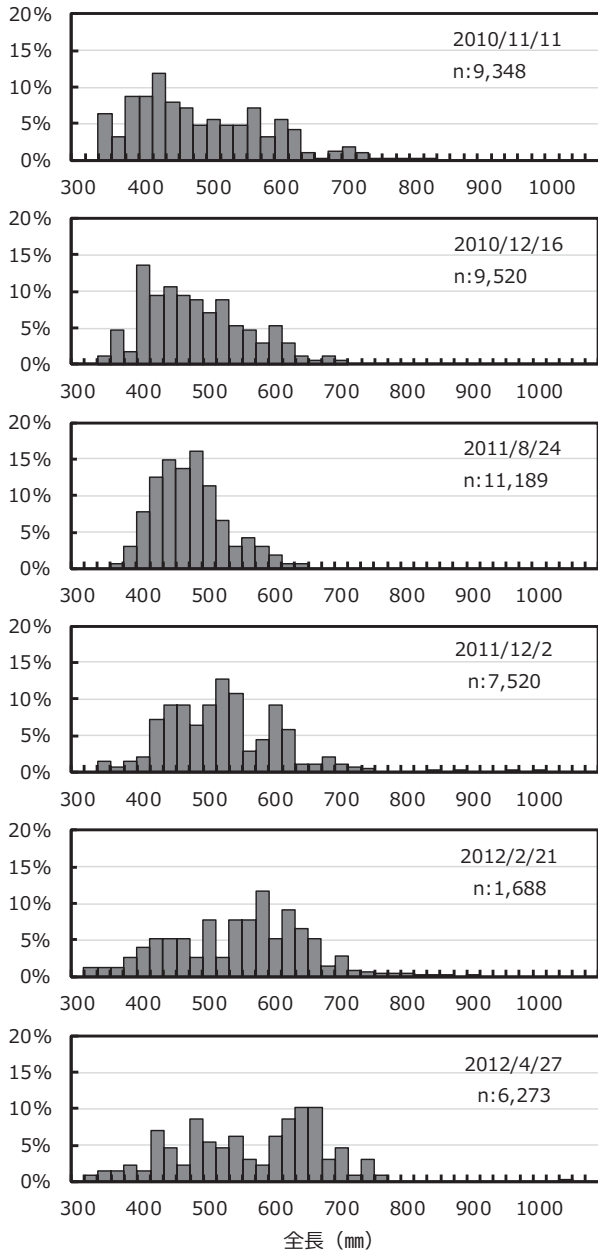


図 3. 沖合底びき網漁業により調査当日水揚げされたマアナゴの全長組成

表 1. 各調査時における雌雄別最大全長

調査日	雄	雌
2010/11/11	390 mm	844 mm
2010/12/16	454 mm	716 mm
2011/ 8/24	449 mm	644 mm
2011/12/ 2	469 mm	1,004 mm
2012/ 2/21	401 mm	903 mm
2012/ 4/27	422 mm	1,056 mm

生物学特性

全長-肛門前長および全長-体重の関係 相対成長式として、全長 (TL : mm) と肛門前長 (PAL : mm) の関係を求めたところ次式で示された (図 4).

雄 : $TL = 2.426PAL + 37.190$
 $(R^2 = 0.893, N : 34)$

雌 : $TL = 2.392PAL + 35.683$
 $(R^2 = 0.983, N : 757)$

雌雄込み : $TL = 2.386PAL + 37.435$
 $(R^2 = 0.983, N : 791)$

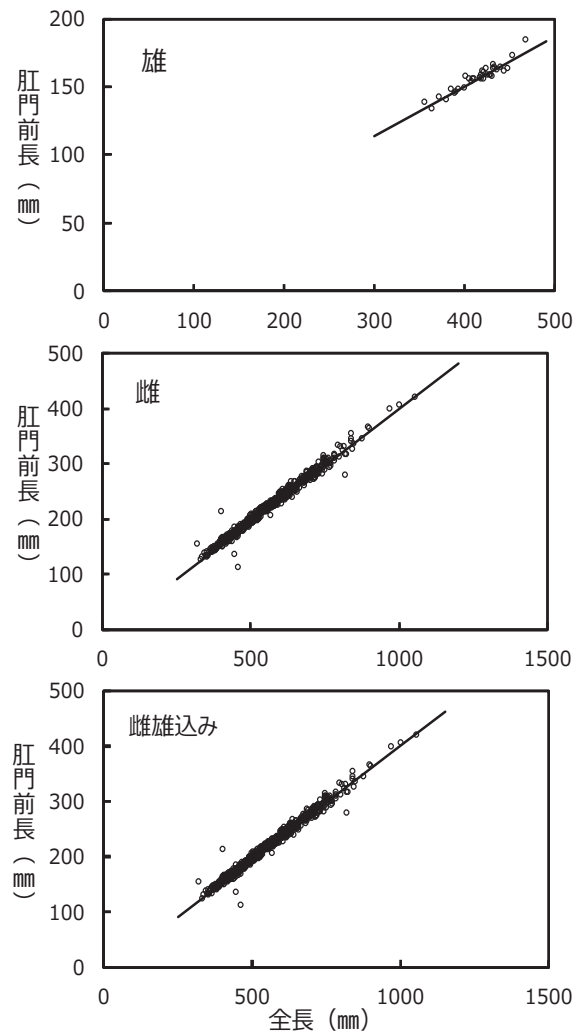


図 4. マアナゴの全長と肛門前長の関係

さらに、全長 (TL : mm) と体重 (BW : g) の関係は次式で示された (図 5). なお、体重は胃内容物重量を除いた値を用いた.

雄 : $BW = 9.757 \times 10^{-7} \cdot TL^{3.062}$
 $(R^2 = 0.877, N : 22)$

雌 : $BW = 1.473 \times 10^{-7} \cdot TL^{3.369}$
 $(R^2 = 0.974, N : 474)$

雌雄込み： $BW = 1.610 \times 10^{-7} \cdot TL^{3.355}$
 $(R^2 = 0.975, N : 496)$

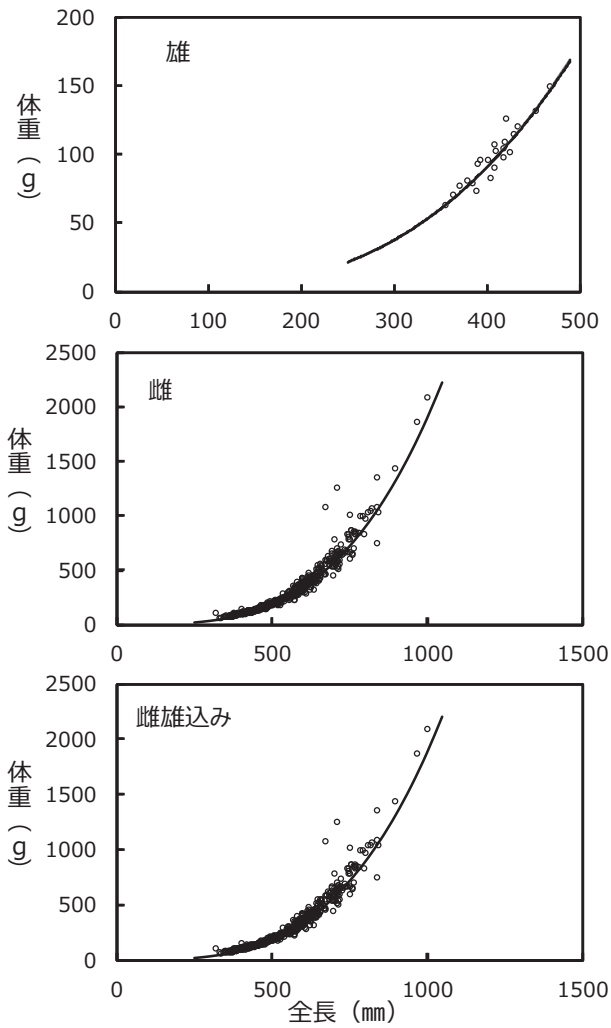


図5. マアナゴの全長と体重の関係

食性 全長階級別の胃内容物組成を図6に示す。胃内容物は、全ての階級において魚類、甲殻類、軟体類の3種で8割以上を占めた。魚類は全階級において一定の出現割合があり、全長300mmおよび400mmの階級では29~33%であったが、全長500~700mmの各階級では41~47%と出現割合は高くなり、全長800mmの階級では70%であった。甲殻類は全長300mmおよび400mmの階級では出現割合が50%を超えていたが、成長にともないその割合は低くなり、全長600mmおよび700mmの階級では20~22%であった。一方、軟体類は甲殻類とは逆の傾向を示し、全長300mmおよび400mmの階級では出現割合は2~4%であったが、全長500mmの階級では17%となり、成長にともないその割合も高くなり、全長600mmから

800mmの各階級では出現割合が22~33%であった。胃内容物は消化途中のものが多かったが、形態的な特徴により種判別が行えたものは以下のとおりであった。魚類ではニギス、マアジが多く、底生魚類ではワニギス、カナガシラ類、カレイ類(ムシガレイ、ソウハチ、ヤナギムシガレイ)などが確認された。甲殻類ではカニ類、エビ類が多く、判別できたものはエンコウガニ、ヒメエンコウガニ、エビジャコ類などであった。また、軟体類ではイカ類が多く、スルメイカ、ケンサキイカなどが確認された。

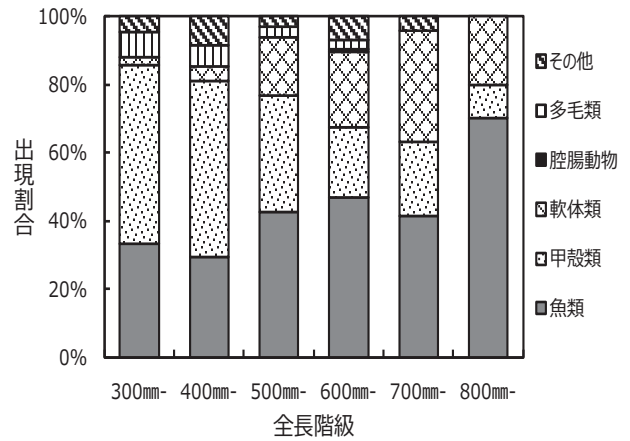


図6. マアナゴの全長階級別胃内容物組成

性比 各調査時に測定したマアナゴの雌雄別個体数を表2に示す。全ての調査月において、雌が多く確認され、2010年11月、2011年12月、2012年2月、2012年4月では雄は1~3個体と僅かであった。一方、2010年12月と2011年8月では雄が他の月よりも多く確認され、それぞれの比率(雄:雌)は概ね1:16, 1:5であった。

表2. 各調査時に測定したマアナゴの雌雄別個体数

調査日	雄	雌
2010/11/11	2	165
2010/12/16	10	159
2011/ 8/24	17	91
2011/12/ 2	1	160
2012/ 2/21	1	103
2012/ 4/27	3	79

表 3. 全長階級別のマアナゴの性比

	全長階級 (mm)							
	300-399	400-499	500-599	600-699	700-799	800-899	900-999	1000<
雄	8	26	0	0	0	0	0	0
雌	40	265	219	142	73	14	2	2
性比	17%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

※ 性比 = (雄 / (雄 + 雌)) × 100

表 4. 全長 400 mm 以下のマアナゴを対象とした全長階級別の性比

		全長階級 (mm)				
		300-349	350-399	400-449	450-499	計
2010 年 11 月	雄	0	2	0	0	2
	雌	0	10	31	25	66
	性比	-	17%	0%	0%	3%
2010 年 12 月	雄	0	2	7	1	10
	雌	0	10	41	39	90
	性比	-	17%	15%	3%	10%
2011 年 8 月	雄	0	3	14	0	17
	雌	0	3	13	24	40
	性比	-	50%	52%	0%	30%
2011 年 12 月	雄	0	0	0	1	1
	雌	1	4	20	27	52
	性比	0%	0%	0%	4%	2%
2012 年 2 月	雄	0	0	1	0	1
	雌	2	3	7	9	21
	性比	0%	0%	13%	0%	5%
2012 年 4 月	雄	0	1	2	0	3
	雌	1	6	12	17	36
	性比	0%	14%	14%	0%	8%

次に全調査期間における全長階級別の性比を表 3 に示す。性比は、全個体数のうち、雄の占める個体数の割合とした。雄は全長 300mm および 400mm の階級で確認されるが、全長が大きいほど性比は低くなり、全長 500mm の階級以上では全てが雌となった。そこで、全長 400mm の階級以下のものを対象に性比を見たところ (表 4)、2011 年 8 月が 30% と最も高く、次いで 2010 年 11 月が 10% であった。特に 2011 年 8 月の全長階級別では全長 350-399mm および 400-449mm では性比が 1 : 1 となり、他の月とは異なる結果となった。

肥満度 全調査期間における雌雄別全長階級別平均肥満度を図 7 に示す。全長 300mm および 400mm の各階級では、雌雄による平均肥満度には差は認められず、また大きさの違いによる差もなかった。

雌の場合、全長 500mm の階級以上になると全長が大きくなるにしたがい、平均肥満度も高くなる傾向が見られた。特に全長 900mm の階級以上では平

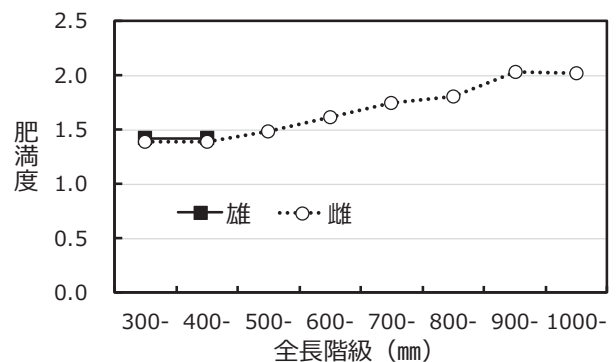


図 7. マアナゴの雌雄別全長階級別平均肥満度

均肥満度も 2.0 を超え、最も高い値を示した。

成熟 マアナゴ雌における全長と生殖腺指数 (GSI) の関係を図 8 に示す。全長と生殖腺指数の間には明瞭な関係性は認められなかった。しかし、GSI 2.0% を境として、大きさに関係なく、GSI が 1.0% 前後の低い値を示すグループと GSI が 2.0% を上回る高い値を示す 2 つのグループの存在が確認された。

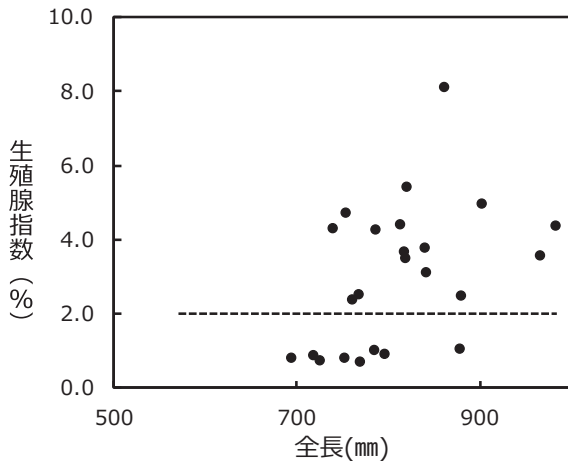


図 8. マアナゴ雌の全長と生殖腺指数の関係

ところで、本種の成熟に伴う外部形態の変化の一つとして体色の黒化がある⁹⁾。今回の標本のうち、腹部が群雲状に黒化する巨大マアナゴが得られたので、九州大学大学院農学研究院水産増殖学研究室に標本を提供し、腹腔内および生殖腺組織切片の観察を行った。その結果、2011年12月の標本は、全長 842~984 mm、体重 1,054~2,079g、生殖腺重量 32.5~90.7g、GSI 2.5~4.5% であった。外観的には体色はまだ淡く、さらに腹部内を観察したところ消化管は退縮していなかったため、産卵回遊開始にともなう変態は開始していないと判断された。一方、2012年2月の標本(図 9)は、全長は 855 mm, 734 mm、体重はそれぞれ 1,166g, 692g、生殖腺重量はそれぞれ 94.8g, 29.8g であり、GSI はそれぞれ 8.1% と 4.3% で高い値を示した。また、生殖腺組織切片の観察結果より、卵巣内には脂肪細胞は確認されず、発達中の卵の充満が認められ、生殖腺の発達段階はそれぞれ第二次卵黄球期、第一次卵黄球期(図 10)と卵黄蓄積期に達し、両個体とも生殖腺発達の進行が確認された。両個体とも外観的に腹部が群雲状に黒化しており(図 9c)、腹部内を観察したところ消化管の退縮も確認されたことから産卵回遊開始にともなう変態が進んでいると判断された。



図 9. マアナゴ雌の生殖腺 (a, b) と腹部が群雲状に黒化した個体 (c)

a : 全長 855 mm, 体重 1,166g, 生殖腺重量 94.8g, GSI 8.13%

b : 全長 734 mm, 体重 692g, 生殖腺重量 29.8g, GSI 4.30%

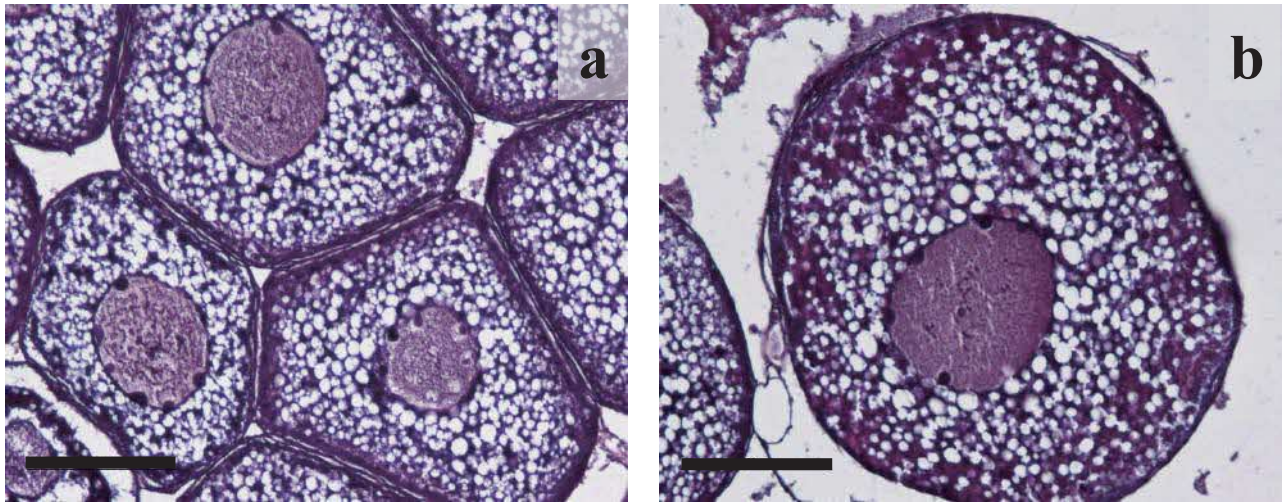


図 10. マアナゴの生殖腺組織切片像

a : 第一卵黄球期 (卵黄蓄積期, 全長 734 mm, 2012 年 2 月 21 日水揚げ)

b : 第二卵黄球期 (卵黄蓄積期, 全長 855 mm, 2012 年 2 月 21 日水揚げ)

スケールバー : 100 μ m

考察

本報告では、日本海南西海域に生息するマアナゴの生物学的特性について、沖合底びき網漁業の水揚げ物から明らかにした。沖合底びき網漁業によって水揚げされるマアナゴは、全長 400~600 mm の大型のものが主体であり、そのほとんどが雌であった (図 3, 表 2)。この特徴は、仙台湾、常磐海域、熊野灘など外洋性海域⁵⁾や日本海の若狭湾^{10, 11)}に分布するマアナゴと同じ特徴を有していた。なお、日本海における本種の年齢に関する知見は乏しいため、若狭湾における年齢と平均全長の関係¹⁰⁾より当海域で漁獲されるマアナゴの年齢を推定したところ、2 歳から 4 歳が主体であると推察された。また、全長と体重の関係を他海域と比較したところ、体サイズが大きくなるにしたがい、内湾性海域の備讃瀬戸¹²⁾よりも成長は劣ったが、外洋性海域である常磐海域¹³⁾とはほぼ同様の関係を示した (図 11)。

次に食性について、胃内容物の出現状況より魚類、甲殻類、軟体類を主に採餌していることから、この 3 種は重要な餌料生物であり、また成長にともない主となる餌料生物が変化する傾向が認められた。餌料生物について、他海域においても魚類、甲殻類、軟体類の出現割合が高いことが報告されており、¹⁴⁻¹⁸⁾ 本研究においても支持された。しかし、餌料生物として確認された種は生息海域の特徴的な生物が反映されており、魚類を例にすると、

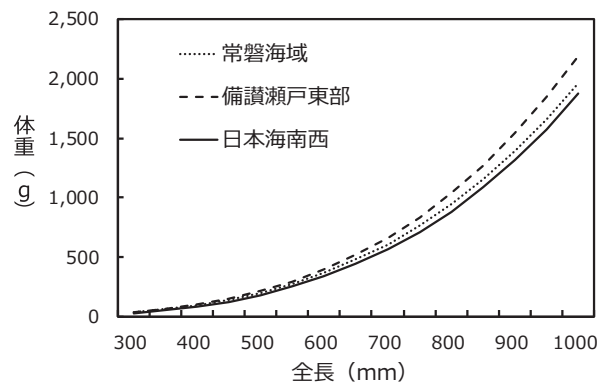


図 11. 海域別のマアナゴの全長と体重の関係

日本海南西海域では中底層性魚類のニギス、表～底層性魚類のマアジのほか、底生性のワニギス、カレイ類、カナガシラ類など、大阪湾や伊勢湾などの内海や内湾域で確認されているハゼ類、イカナゴ、ネズボ類とは異なる種を採餌していることが認められた。ところで、堀ら¹⁹⁾は超音波加速度深度発信機による記録から、マアナゴは特定の休息地点で日中を過ごし、夜間に索餌等の目的で鉛直・水平移動を行っている と推察している。本研究結果より、餌料生物は底生性魚類よりも中底層性のニギス、表～底層性魚類のマアジが多く確認されている。ニギスはオキアミ類や橈脚類を主餌料としており、²⁰⁾ これら餌料生物は昼に底層に分布し、夜間表層に上昇移動する日周鉛直移動が確認されている。^{21, 22)} さらにニギスは、底びき網漁業において昼に漁獲効率が高いことが認められて

おり、*餌料生物の日周性に連動した分布移動をする可能性が考えられる。また、マアジは日中には人工魚礁や天然礁に留まり、日没後に礁から離脱し、夜間は表層を遊泳する鉛直方向の日周行動が確認されている。²³⁾この主要餌料生物の日周鉛直移動からも、本種は夜間の索餌に合わせ、鉛直方向へも大きな移動を行っている可能性が示唆された。

次に成長段階による餌料生物の変化について、本研究では全長 300~500mm の各階級では甲殻類の出現割合が高かったが、体成長にともないその割合は低くなり、逆に軟体類の出現割合が全長 500mm の階級から高くなる傾向が認められた。また、魚類についても全長 500 mmの階級を境にその割合が高くなる傾向が認められた。このことは、大阪湾においても同じ傾向が見られ、全長 450 mmを境に主に採餌する生物が体成長にともない甲殻類、魚類から魚類、軟体類に変化することが報告されており、¹⁶⁾本研究においても支持された。ところで、動物にとって最適の餌とは、コストに対して最大の収益を与えるような種類の餌である。²⁴⁾一例として、アカガレイでは体成長が増大する要因として、栄養価の高い魚類や甲殻類十脚目を捕食し始めることで、餌利用度が好転し獲得エネルギーが増大するためと考えられている。²⁵⁾本研究においても、全長 500 mmの階級を境として餌料生物の組成がそれまでの甲殻類主体から体サイズの大きい魚類や軟体類を対象が変化し、肥満度もこの階級より増大し始める。このことから、餌から獲得するエネルギーを高成長や肥満度増加に向けたため、対象とする餌料生物が変化するのではないかと推察された。

島根県浜田漁港を根拠地とする沖合底びき網漁船は、対馬東沖から山口県日本海側の水深 100~120m を中心に広範囲を操業海域としている。この海域は大陸棚上に位置し、本種の主要漁場になっている。漁獲量の季節変化を見たところ、冬季の漁獲量は少なく、春季・秋季の漁獲量は増加する季節的な増減が認められた。漁獲量の季節変化について、兵庫県瀬戸内海では漁獲が低調となる時期は最高水温期と最低水温期にあたること、²⁶⁾また常磐海域では本種の水揚量の増減要因のひとつに沿岸水温の高低が影響していることが報告されている。¹³⁾当海域においても水温が低くなる冬

季に漁獲量が少なくなることから、漁獲量の季節変化は当海域の海底付近の水温変化が影響していることが示唆された。

ところで、最近になって本種の産卵回遊の研究が進展し、九州・パラオ海嶺上の海域がマアナゴの産卵場のひとつと特定された。²⁷⁾これまでも、東シナ海大陸棚斜面域では生殖腺の発達した個体が採取されており、季節進行による本種の生殖腺の成熟進行の可能性、沿岸を移出した個体の生殖腺の発達にともなう大陸棚縁辺海域への移動の可能性が指摘されている。²⁸⁾今回、当海域で採取された標本の一部では、生殖腺の肥大、腹部の黒化がわずかではあるが、産卵回遊開始にともなう変態の進んだ個体が確認された。また当海域では、今回の結果も含め、過去にも生殖腺が卵黄蓄積期（第二次卵黄球期）に達している個体が発見されている。²⁹⁾一方、東シナ海で採取された成熟の進んだ標本は、体全体の黒化が進み、外部形態も成熟前のもので大きく異なっており、³⁰⁾東シナ海の標本と比べても、今回得られた標本は外観的にも異なり、成熟進行初期のものと考えられた。次に当海域と東シナ海における性比を比較したところ、当海域では夏季に雄の割合が高く、冬季はほぼ雌のみになるのに対し、東シナ海では夏季は雌のみとなり、冬季はほぼ 1:1 に近い性比となる。²⁸⁾このように接続する当海域と東シナ海において、性比の季節変化が逆の傾向を示すことが明らかとなった。また、冬季の標本からほぼ同じ大きさの個体において、生殖腺指数 (GSI) の数値が 2.0%を境に高いグループと低いグループの 2 つのグループが存在することが確認された (図 8)。明石海峡における大型マアナゴにおいても冬季の標本から、GSI が 2 つのグループに分かれることが確認されており、GSI の高い個体は産卵回遊を開始しようとしている可能性を指摘している。³¹⁾そこで、マアナゴの移動の模式図⁵⁾を参考に、当海域の回遊パターンを検討した。まず雄について、日本海南西海域と東シナ海の性比の違いより夏から冬における水温下降期に日本海南西海域から東シナ海へ移出、南下し、大陸棚上に滞留する。一方、雌は、両海域の性比と冬季の GSI の状況から冬季は日本海南西海域に留まり、生殖腺の発達を進行させ、春から夏にかけて GSI の高い個体が日本海南西海域から移出し、東シナ海へ回遊するのではないかと推察さ

* 金元・道根：投稿中

れた。本研究結果および過去の報告からも当海域では雌の生殖腺発達個体が確認されており、産卵回遊に向かう初期段階の個体が存在する可能性は高いと考えられる。ところで東シナ海、黄海では、本種主群が秋の水温低下期に韓国西岸および海州湾沿岸域から済州島西方海域へ南下し、その一部は春には大陸棚縁辺まで南下することが確認されている。さらに大陸棚縁辺域までの移動理由について、漁獲物の大きさと本種の産卵期から、この移動は大型魚の産卵のための移動である可能性を示唆している。³²⁾ このように、東シナ海に隣接する当海域の回遊パターンおよび生殖腺の状況から、当海域は産卵回遊に向かうまでの集積地のひとつであり、東シナ海への移出は産卵場に向かうための移動である可能性が高いと考えられた。

本研究では、日本海南西海域におけるマアナゴの漁獲実態と生物学的特性が明らかとなり、当海域が本種の成育場、索餌場のひとつであり、成熟が進行した個体は産卵回遊の南下移動を行う可能性が示唆された。ところで、日本海南西海域の沿岸域にあたる九州北部から山口県日本海側、島根県の沿岸域では太平洋・瀬戸内海のようなレプトケパルスが混獲されるシラスパッチ網漁業等が営まれていないため、³³⁾新規加入から漁獲対象となるまでの期間の生活史は未解明のままである。一方、当海域では中型から大型のマアナゴは主に沖合底びき網、小型底びき網によって、またこれら漁業の休漁期となる夏季にはあなご筒によって漁獲される。さらに当海域の西側にあたる対馬西沖ではあなご筒による漁獲も多い。³⁴⁾ 本種の資源管理は主に小型魚保護を中心に取組まれており、小型魚の放流や漁具選択性を応用した小型底びき網の網目拡大や最小目合制限、あなご筒の水抜き孔の拡大が実施されている。⁶⁾ 島根県においては、沖合底びき網ではコッドエンド部最小目合 36mm、あなごかご漁業での使用上限筒数 350 かごと自主的に規制している。当海域のマアナゴ資源の加入機構が明らかになっていない中、小型魚保護の取組みは有効な手段と考えるが、本種の成育場、産卵回遊に向かう集積地であることを考慮すれば、小型魚保護に加えて、腹部が群雲状黒化を示す大型個体の放流等の加入乱獲を防ぐ管理方策の取組みも必要と思われる。当海域の漁獲量の変動は漁獲努力量の変化による影響が大きいことから、今後は努力量の把握を行い、また連続した生物データの追跡により当海域における年齢構成、成熟・産卵等

を明らかにし、資源状態に合わせた管理方策の検討が望まれる。

謝辞

本研究を行うにあたり元九州大学大学院農学研究院生物資源環境科学府の亀田崇史氏には標本の測定等でご協力をいただいた。この場を借りて厚くお礼を申し上げます。

文献

- 1) 中坊徹次：日本産魚類検索 全種の同定 第三版，東海大学出版会，神奈川，2013，pp. 281.
- 2) 望岡典隆，東海 正：マアナゴの資源生態と漁業．月刊海洋，**33**，525-528 (2001).
- 3) 東海 正：東シナ海，黄海における漁獲動向と資源管理．月刊海洋，**51**，55-60 (2019).
- 4) 東海 正：最近のあなご類の漁獲量と生産額について．マアナゴ資源と漁業現状，中央水産研究所，**3**，4-15 (2010).
- 5) 片山知史：漁獲対象魚の生態．月刊海洋，**51**，25-29 (2019).
- 6) 東海 正：マアナゴ漁業の漁獲特性と資源管理．月刊海洋，**33**，590-595 (2001).
- 7) 道根 淳，由木雄一，石田健次：島根県におけるマアナゴ漁業と資源管理．月刊海洋，**33**，575-579 (2001).
- 8) 中国四国農政局島根統計情報事務所編：平成7年～20年島根農林水産統計年報，島根農林統計協会，島根.
- 9) 河津優紀：I-6. 成熟と産卵回遊．日水誌，**85**，82 (2019).
- 10) 片山知史，岩谷芳自，家接直人，橋本 寛：若狭湾におけるマアナゴの年齢組成．日本海ブロック試験研究集録，**45**，31-33 (2012).
- 11) 岩谷芳自，家接直人，橋本 寛，片山知史：福井県における漁業種類別のマアナゴ年齢組成と成熟について．マアナゴ資源と漁業の現状，中央水産研究所，**2**，198-200 (2010).
- 12) 竹森弘征，山本昌幸，牧野弘靖：備讃瀬戸東部海域におけるマアナゴの生態調査と標識放流．香川水試研報，**5**，7-12 (2004).
- 13) 石田敏則，山廻邊昭文，後藤勝彌，片山知史，望岡典隆：常磐海域におけるマアナゴについて．福島水試研報，**11**，65-79 (2003).

- 14) 田中小治郎, 高杉輝雄, 合田 理: マアナゴ (*Astroconger myriaster* BREVOORT) の胃内容物について. 香川生物, **2**, 6-8 (1959).
- 15) 福田富男, 増成伸文, 濱崎正明: 岡山県東部水域におけるマアナゴの食性. 岡山水試報, **12**, 1-8 (1997).
- 16) 鍋島靖信: マアナゴの成長と食性. 月刊海洋, **33**, 544-550 (2001).
- 17) 後藤勝彌: 福島県海域におけるマアナゴの生態について. マアナゴ資源と漁業の現状, 社団法人日本水産資源保護協会, **1**, 172-173 (2004).
- 18) 日比野 学: 伊勢・三河湾におけるマアナゴの食性. マアナゴ資源と漁業の現状, (国研)水産総合研究センター増養殖研究所, **3**, 101-102 (2016).
- 19) 堀 友彌・野田琢嗣・和田敏裕・岩崎高資・三田村啓理・荒井修亮: バイオテレメトリーによる松川浦におけるマアナゴの時空間分布と活動. マアナゴ資源と漁業の現状, (国研)水産総合研究センター増養殖研究所, **3**, 183-184 (2016).
- 20) 兵庫県但馬水産事務所, 石川県水産総合センター: 日本海におけるニギスの生態と資源利用に関する研究 (新技術地域実用化研究促進事業総合報告書), 85pp (2000).
- 21) 井口直樹, 池田 勉, 今村 明: 富山湾におけるツノナシオキアミ (*Euphausia pacifica* HAANSEN) の成長と生活史. 日水研報告, **40**, 69-81 (1993).
- 22) 齋藤宏明: 親潮域における低次生産特性とカイアシ類日周摂食リズムに関する研究. 海の研究, **7**, 383-393 (1998).
- 23) 日本海佐渡島羽茂地先の人工魚礁における超音波バイオテレメトリーを用いたマアジの行動様式. 日水誌, **75**, 1019-1026 (2009).
- 24) 佐原雄二: 魚の採餌行動, 東京大学出版会, 東京, 1987, pp. 13-31.
- 25) 岩川浩大, 高橋豊美, 高津哲也, 稲垣祐太, 中谷敏邦, 前田辰昭: 北海道噴火湾におけるアカガレイ *Hippoglossoides dubius* の成長様式. 日水誌, **79**, 10-19 (2013).
- 26) 反田 實, 西川哲也, 五利江重昭: 兵庫県瀬戸内海におけるマアナゴの漁獲実態. 兵庫水試研報, **34**, 59-64 (1998).
- 27) Kurogi H, Mochioka N, Okazaki M, Takahashi M, Miller MJ, Tsukamoto K, Ambe D, Katayama S, Chow S: Discovery of a spawning area of the common Japanese conger *Conger myriaster* along the Kyushu-Palau Ridge in the western North Pacific. *Fish Sci.*, **78**, 525-532 (2012).
- 28) 河津優紀, 望岡典隆: 成熟と産卵回遊. 月刊海洋, **51**, 30-34 (2019).
- 29) 望岡典隆, 楫 善継, 道根 淳: マアナゴとクロアナゴ属 sp. は日本海で産卵するか?. マアナゴ資源と漁業の現状, 社団法人日本水産資源保護協会, **1**, 280 (2004).
- 30) Kawazu M, Kameda T, Kurogi H, Yoda M, Ohshimo S, Sakai T, Tsukamoto Y, Mochioka N: Biological characteristics of *Conger myriaster* during the initial stage of spawning migration in the East China Sea. *Fish Sci.*, **81**, 663-671 (2015).
- 31) Gorie S, Nagasawa K: Biological Aspects of Large Whitespotted Conger (*Conger myriaster*) in the Akashi Strait, Eastern Seto Inland Sea, Japan. *Aquaculture Sci.*, **60**, 341-348 (2012).
- 32) 時村宗春, 山田梅芳: 東シナ海におけるマアナゴの分布. 月刊海洋, **33**, 580-584 (2001).
- 33) 清水詢道: 趣旨説明にかえて. マアナゴ資源と漁業の現状, 社団法人日本水産資源保護協会, **1**, 78-84 (2004).
- 34) 酒井 猛: 対馬海域. 月刊海洋, **51**, 52-54 (2019).

資 料

宍道湖における無人航空機を用いた沈水植物の把握

岡本 満¹

Grasp of submerged aquatic plants using unmanned aerial vehicle in Lake Shinji

Mitsuru OKAMOTO

キーワード：オオササエビモ、空撮、宍道湖、沈水植物、ドローン、無人航空機

はじめに

宍道湖では2010年代初頭から沈水植物の繁茂が確認されるようになった。¹⁾なかでも、オオササエビモは盛夏を中心に草体が湖面上に現れ、景観面で問題視されるとともに、糸状緑藻のシオグサ類を滞留させることによるヤマトシジミなど水産資源への影響も危惧されるところである。このため、島根県水産技術センターでは湖岸からの目視によるオオササエビモの分布状況を調査し、例年6月頃に湖面に出現して12月頃に湖面から消失することを明らかにした。²⁻⁹⁾また、近年はオオササエビモと異なり湖面に出現しないツツイトモの繁茂も確認されている。⁶⁻⁹⁾これらの背景を踏まえ、従来の目視調査に代わる効率的な調査手法として、2018年度に無人航空機（ドローン）からの空撮によるオオササエビモ群落等の把握を試みたので報告する。

材料と方法

オオササエビモ群落の空撮 宍道湖でオオササエビモの繁茂が著しい地区（来待、玉湯、秋鹿、図1）において、無人航空機（Phantom4 Pro, DJI社）を用い、2018年7～11月にかけて、毎月1回、同一の飛行ルートから空撮を行った。空撮の時間帯は湖面

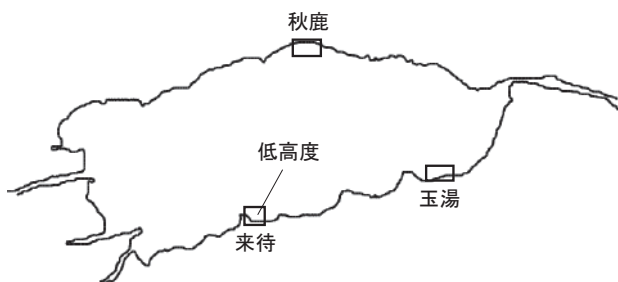


図1 宍道湖における調査地区

が静穏な午前中とした。飛行ルートはPhantom4 Pro用測量アプリ（GS Pro, DJI社）で設定し、飛行高度148mからカメラ方向を湖面に対して垂直にしてインターバル撮影を行った。

オオササエビモ群落の広域把握 得られた空撮画像について、それぞれの調査地区ごとに100枚前後をソフトウェア（Agisoft PhotoScan, Agisoft LLC社）で合成して広域画像を作成した。

低高度からの詳細把握 来待沖の沈水植物繁茂帯（図1）でPhantom4 Proの飛行高度を30mに設定し、湖面のみならず水中の把握を試みた。空撮方法は「オオササエビモ群落の空撮」に準じた。

結果と考察

オオササエビモ群落の空撮 2018年8月、9月、10月、11月の、来待（2ヶ所、図2、図3）、玉湯（図4）、秋鹿（図5）の空撮画像を示す。オオササエビモの群落は、湖面から出ている部分はおおむね明るい緑色として描写され、湖水内にある部分は暗い緑色として描写された。湖面に出ている部分はいずれの地区も8月が最も大きく、9月、10月にしたがって縮小していき、11月にはほぼ消失する様子が描写された。これらの傾向は過去の目視による分布調査²⁻⁹⁾と一致していた。また、秋鹿における画像に顕著だが、8月から10月にかけて湖面の草体が縮小していくとともに、緑色から褐色を帯びていく様子も描写され、晩秋に向けて草体が枯れていくためと推察された。来待（2）の8月のように湖岸に堆積する枯死シオグサ類も描写された。天候による光線の具合で水面に日光や上空の雲が反射するなど、撮影条件を厳密に揃えることは難しかったが、オオササエビモ群落の季節的な消長を把握するためドローン空撮が有用であることが分かった。

¹現所属：漁業生産部 Fisheries Productivity Division

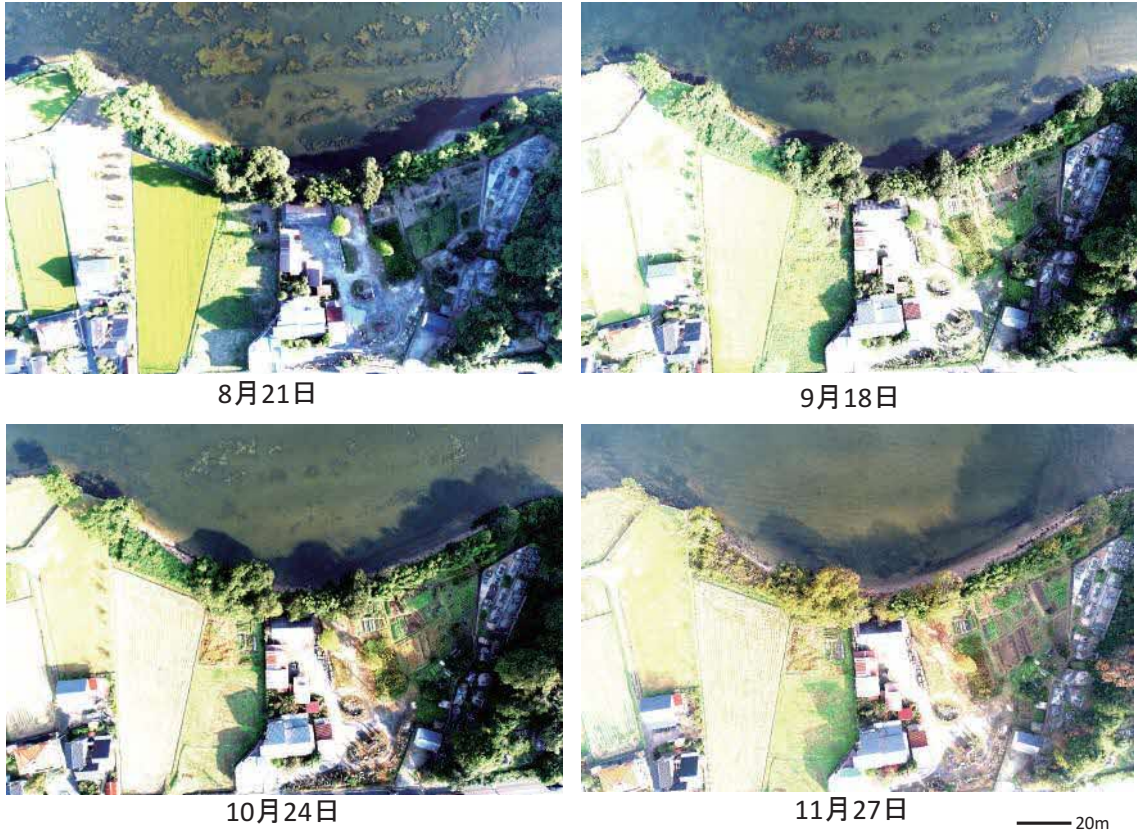


図2 来待地区（1）における2018年の月別空撮画像

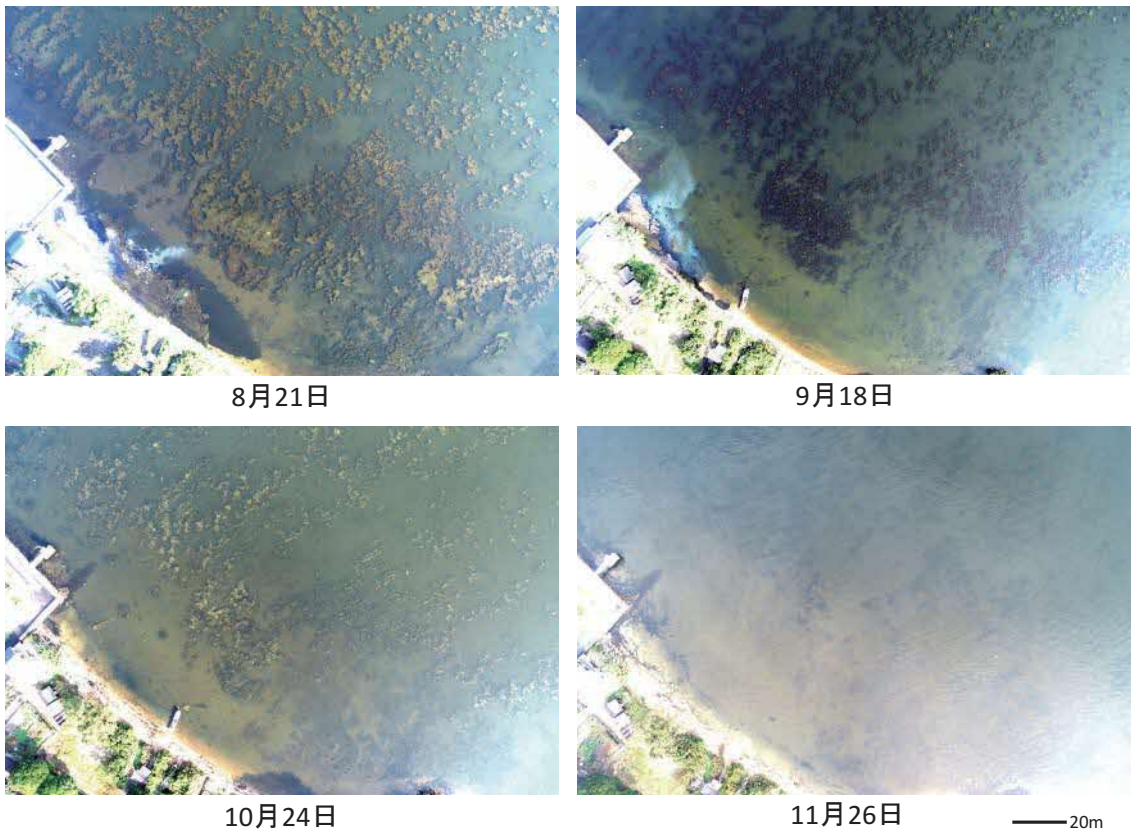


図3 来待地区（2）における2018年の月別空撮画像

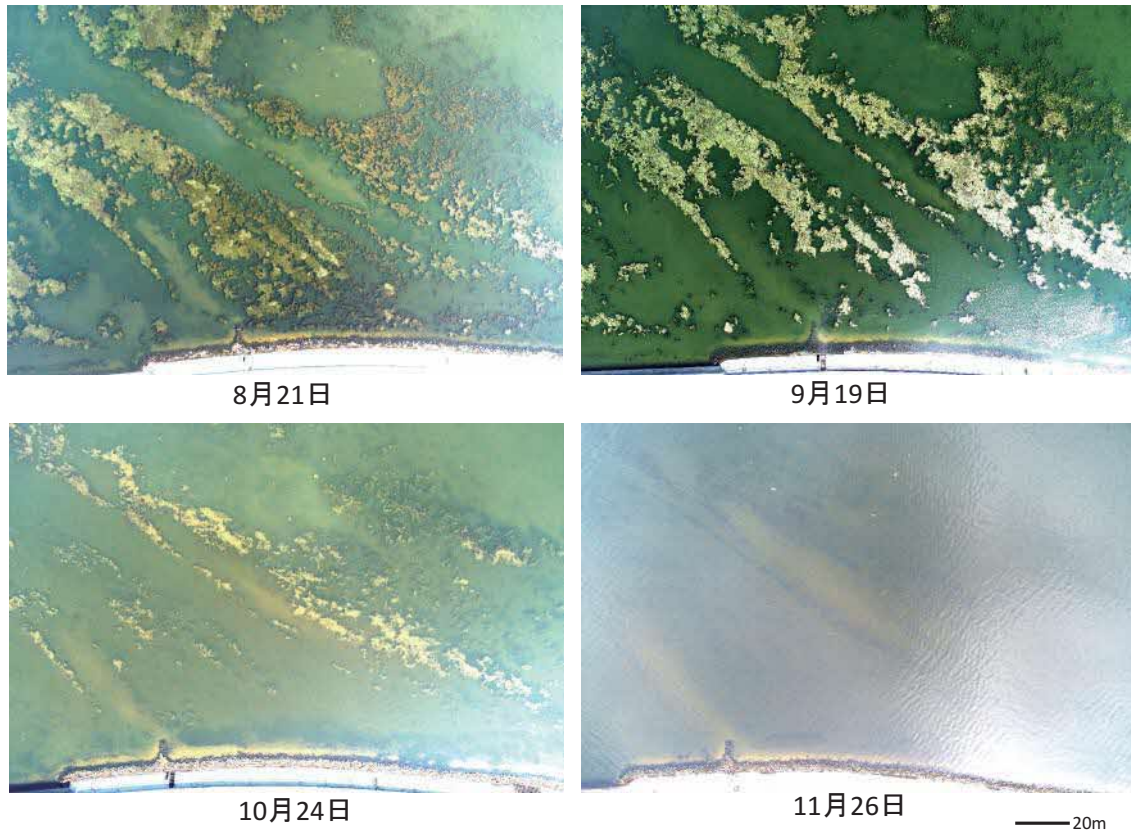


図4 玉湯地区における2018年の月別空撮画像

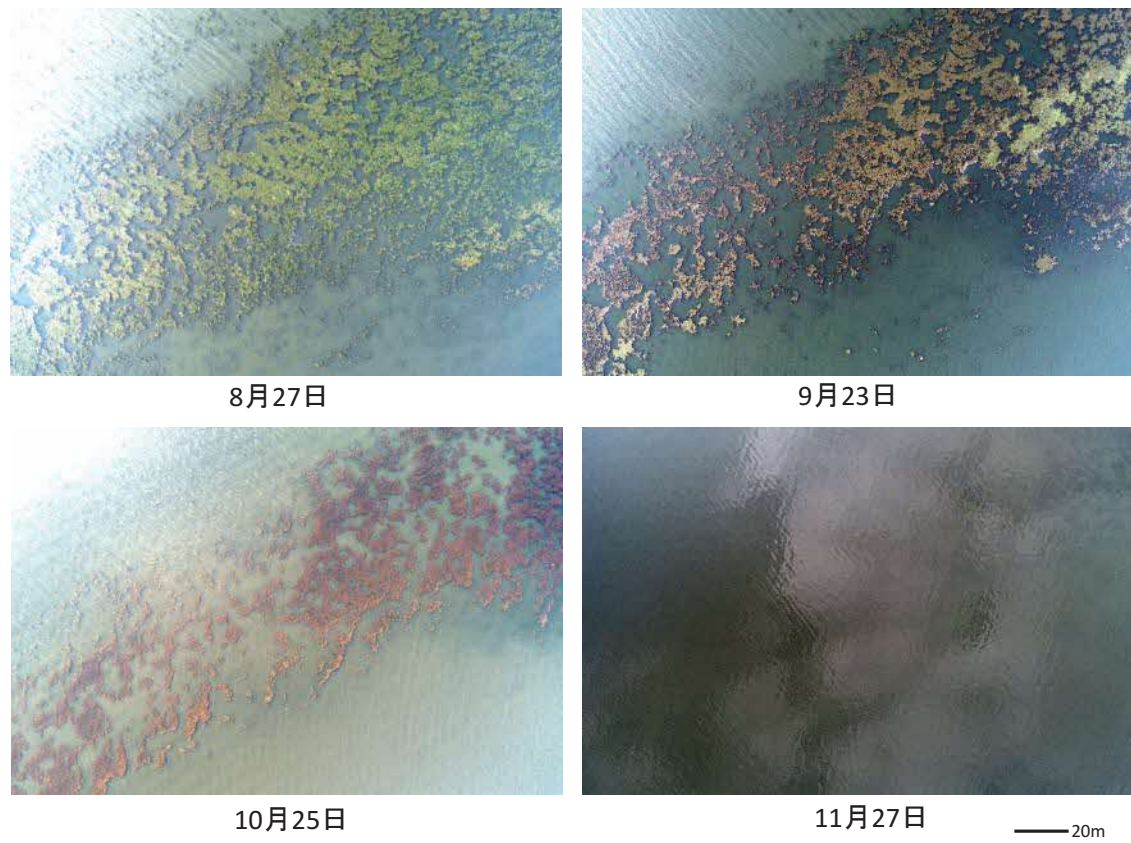


図5 秋鹿地区における2018年の月別空撮画像

オオササエビモ群落の広域把握 2018年7月、8月、9月、10月の来待、玉湯における広域画像を図6、図7に示す。湖面に現れる群落は7～8月がピークで、9月、10月になるにしたがって縮小していく様子が描写された。秋鹿については8～10月の広域画像の合成がうまくいかなかったことから、7月のみの広域画像を図8に示す。来待、玉湯、

秋鹿ともに最盛期における群落の広がりには最長で距岸300m前後で、2014年に実施されたGPS魚群探知機による調査結果⁵⁾とほぼ一致していた。

なお、今回の合成画像においては、湖面の反射によると思われる白色部分が現れたことから、撮影方法の改善が必要と考えられる。

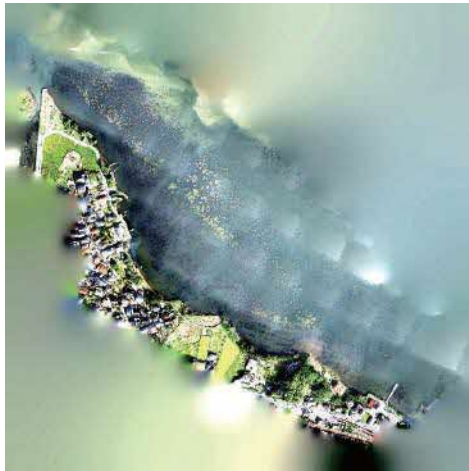
7月19日



8月21日



9月18日



10月24日



図6 来待沖における2018年の月別広域画像

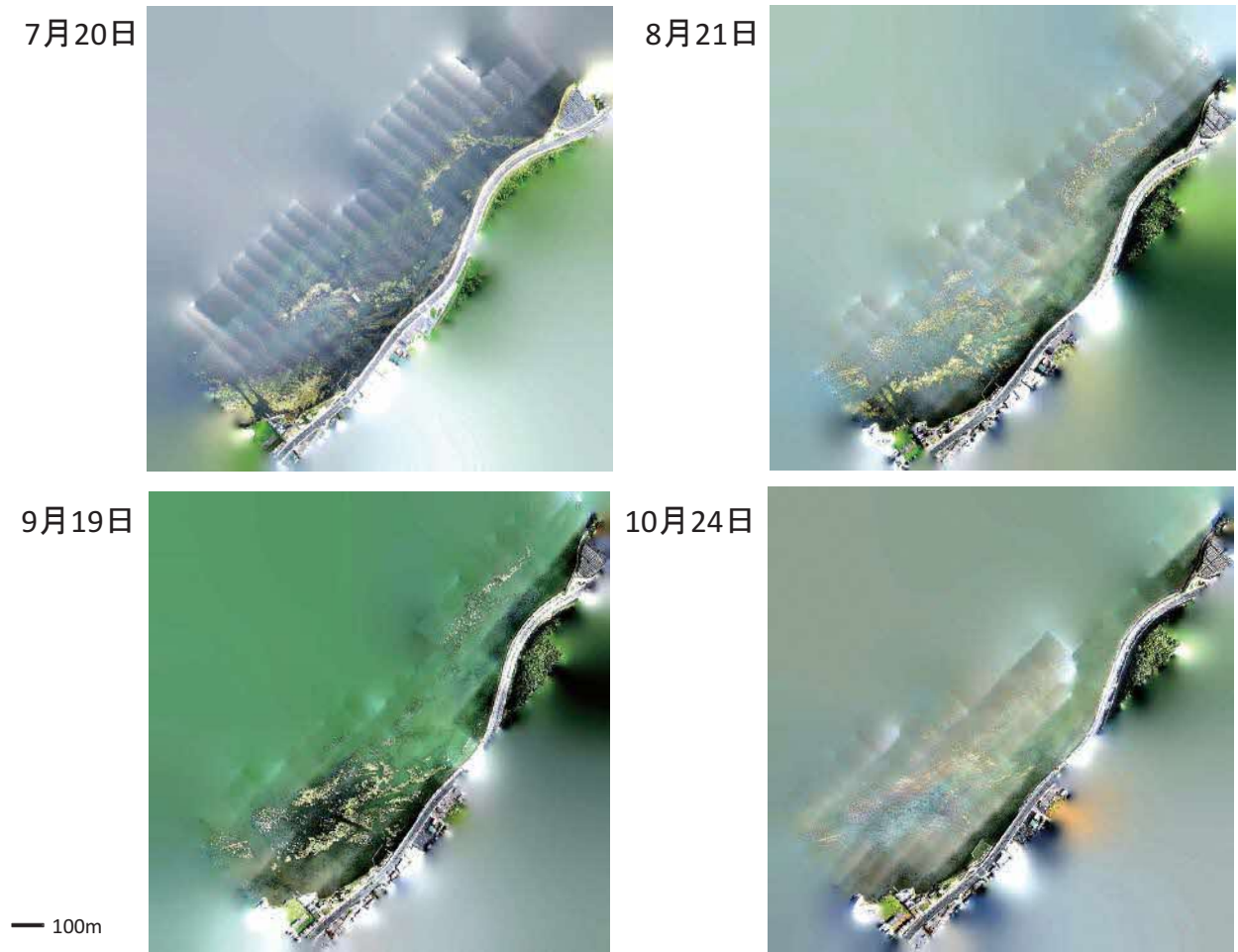


図7 玉湯沖における2018年の月別広域画像



図8 秋鹿沖における2018年7月20日の広域画像

低高度からの詳細把握 来待沖における高度 30m からの空撮画像を図 9 に示す。水中において水草類にからまったシオグサ類が描写されたが、水中のオオササエビモとツツイトモの判別までは困難だった。調査日は透明度が悪かったことから、条件を変えるかさらに高度を下げることで、より詳細な描写が可能と考えられた。



図 9 来待沖における高度 30m からの空撮画像

謝辞

島根県水産技術センターの吉田太輔氏ならびに向井哲也氏（故人）には、無人航空機による空撮ならびに画像処理についてご指導いただいた。山口大学大学院創成科学研究科（当時）の小室 隆博士には、空撮の技術面についてご助言をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

文献

- 1) 山根恭道：ヨシ帯水産生物保護育成機能調査。島根県水産技術センター年報，平成 22 年度，70(2012)。
- 2) 柳 昌之，石田健次：藻の産業利用に係る調査（宍道湖・中海水環境保全・再生・賢明利用推進事業）。島根県水産技術センター年報，平成 23 年度，72(2013)。
- 3) 石田健次：藻の産業利用に係る調査（宍道湖・中海水環境保全・再生・賢明利用推進事業）。島根県水産技術センター年報，平成 24 年度，72-73(2014)。
- 4) 石田健次：藻の産業利用に係る調査（宍道湖・中海水環境保全・再生・賢明利用推進事業）。島根県水産技術センター年報，平成 25 年度，75-76(2015)。
- 5) 勢村 均，若林英人，石田健次：宍道湖の水草分布調査（宍道湖・中海水産資源維持再生事業）。島根県水産技術センター年報，平成 26 年度，73(2016)。
- 6) 若林英人，内田 浩，石田健次：宍道湖の水草分布調査（宍道湖・中海水産資源維持再生事業）。島根県水産技術センター年報，平成 27 年度，59(2017)。
- 7) 岡本 満，石田健次：宍道湖の水草分布調査（宍道湖・中海水産資源維持再生事業）。島根県水産技術センター年報，平成 28 年度，59(2018)。
- 8) 岡本 満，石田健次，勢村 均：宍道湖の水草分布調査（宍道湖・中海水産資源維持再生事業）。島根県水産技術センター年報，平成 29 年度，57(2019)。
- 9) 岡本 満，清川智之：宍道湖の水草分布調査（宍道湖有用水産動物モニタリング事業）。島根県水産技術センター年報，平成 30 年度，62(2020)。

資料

2019年の江の川におけるアユの産卵場造成と産卵状況

寺門弘悦¹・吉田太輔¹・安原 豪¹

Maintenance for the quality of spawning habitat, and spawning surveys of ayu
Plecoglossus altivelis altivelis in the Gounokawa River in 2019

Hiroyoshi TERAKADO, Daisuke YOSHIDA and Go YASUHARA

キーワード：アユ，江の川，産卵場，河床の状態，造成，埋没深

はじめに

江の川では天然アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* 資源の増大を目的に，江川漁業協同組合（以下，江川漁協）が主体となり親魚保護や産卵場環境の改善に取り組んでいる．産卵場環境の改善を図るため，2008年以降，産卵場の河床状態（河床材料の粒径分布，河床の柔らかさ，付着藻類の繁茂状況等）や見込まれる親魚量に応じて，重機による河床の耕耘，天地返し等による産卵場の造成を行ってきた．¹⁻⁵⁾しかし産卵場造成は，産卵場環境を良くする一方で河床を浮き石状態とするため，産卵場に必要の小石を流されやすくしてしまう．上流からの土砂供給が乏しい江の川で，安易に造成を続けることは産卵場の環境をさらに悪化させる危険性がある．したがって，その年ごとに産卵場の河床状態や見込まれる親魚量の多寡を検討したうえで，江川漁協とも協議しながら造成の必要性を判断している．2019年も産卵期前に河床状態等の調査を行い，江川漁協と協議し，産卵に不適な場所は造成を行い，環境改善を図った．その後，造成範囲を含めて江の川でのアユの産卵状況を調査した．本報告では2019年に実施した一連の産卵場関連の調査結果を報告する．

方法

産卵場事前調査 この調査はアユの産卵場として適した場所がどの程度あるかを産卵期前に把握するものである．調査は2019年9月26日に谷住郷の瀬，長良の瀬，ボウフラの瀬およびセジリの瀬に



図1. 江の川における調査地点

において実施した（図1）．調査日の日平均水位（長良観測所）は0.86 mであった（国土交通省水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>，2020年10月29日入手）．アユの産卵場として適した河床は，小石（粒径5～50mm⁶⁾）が主体の浮き石底であるため，河床の礫の粒径組成と貫入度を測定した．河床の礫の粒径組成の調査では，線形格子法を用いて，礫の粒径は谷田・竹門の簡便階級⁷⁾に従って区分した．すなわち，10cm間隔で10個の点が刻まれた木製の棒を河床に固定し，各点の下に位置する礫の粒径（長径）を目視で5階級（砂泥：<4mm，砂利：4mm～50mm，石：50mm～250mm，巨石：250mm～500mm，岩：>500mm）に区分した．なお，本調査では泥（<0.125mm），細砂（0.125mm～1mm）および粗砂（1mm～4mm）をまとめて砂泥（<4mm）として扱った．河床の柔らかさの目安として，石井⁸⁾に準じてシノによる貫入度を測定した．水温はデジタル水温計（Myron L社製 ULTRAPEN

¹ 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

PT1) で測定した。河川の形状は、無人航空機 (通称ドローン: DJI 社製 Phantom 3) で空撮した画像を、画像加工ソフトウェア (Agisoft 社製 Photo Scan) で合成した平面図から把握した。アユの産卵が可能であると判断した範囲 (以下、産卵適地) の外周の位置情報をハンディ GPS (GARMIN 社製 GPSMAP 64SJ) で取得し、GIS アプリケーションソフトウェア (Google 社製 Google Earth Pro) を使って位置情報から面積と形状を求めた。

産卵場造成 後述する産卵場事前調査の結果から、長良の瀬の右岸側は糸状緑藻が繁茂し、河床はアーマー化 (河床表面が粗粒化するとともに堅く締まり礫がほとんど動かない状態⁹⁾) しており、アユ産卵場としては不適と判断した。そこで、堅く締まった河床を浮き石底にするため、2019年10月23日に重機による産卵場造成を行った。まずバックホー (コベルコ社製 SK225SR) で深さ 20cm 程度を目安に、河床の礫をバケットで掘り起こして、粗く均す作業を繰り返した (図 2 写真①)。その後、ブルドーザー (コマツ社製 D53P) で排土板を河床に当てながら前進し、河床の均しを行った (図 2 写真②)。作業時間は約 4 時間であった。



図2. 長良の瀬における産卵場造成の状況

産卵状況調査 この調査はアユの産卵状況を把握するものである。調査は 2019 年 10 月 23 日に八戸川合流点において、11 月 7 日に谷住郷の瀬、長良の瀬、ボウフラの瀬およびセジリの瀬において実施し

た (図 1)。各調査日の日平均水位 (長良観測所) は、10 月 23 日が 0.72 m、11 月 7 日が 0.70 m であった (国土交通省水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>, 2020 年 10 月 29 日入手)。

なお、八戸川合流点を調査地点に追加した理由は以下のとおりである。前年 (2018 年) の「平成 30 年 7 月豪雨」で土砂が堆積した八戸川合流点付近でのアユの産卵の情報が江川漁協から提供された。加えて、同年のアユの流下仔魚調査では、10 月 10 日と 10 月 16 日の調査において、21~22 時にかけてアユ仔魚の流下のピークが出現することから、長良付近よりも上流にアユの産卵場の存在を推察していたことによる。

各地点を踏査・潜水目視し、アユの産着卵を確認した。産着卵が確認された場合、産卵場事前調査と同様の方法で産卵範囲の面積と形状を求めた。卵の埋没深の測定は、高橋ら¹⁾に従い、卵が付着している最も深い部分と周辺の河床面との高低差と定義し、産卵場内で無作為に選定した産卵床で行った。水温はデジタル水温計 (Myron L 社製 ULTRAPEN PT1) で測定した。

結果と考察

産卵場事前調査 河床の粒径組成を図 3、貫入度の測定結果を図 4 に示した。水温は谷住郷の瀬で 22.4°C (12:20 測定)、長良の瀬で 22.7°C (17:00 測定) であり、アユの産卵適水温の 14~19°C¹⁰⁾ までは低下していなかった。そのため調査日時点では産卵は始まっていないと考えられたが、谷住郷の瀬でわずかに産着卵が確認された (後述)。アユの姿はいず

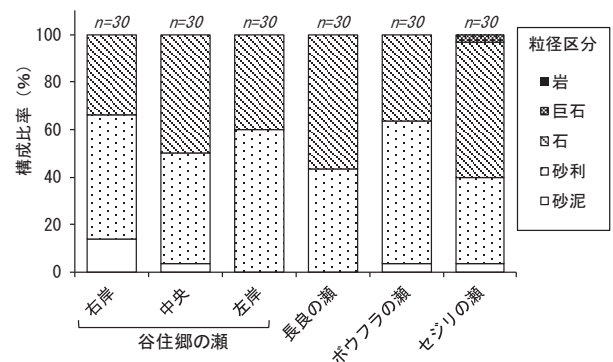


図3. 各調査地点における産卵期前の河床の礫の粒径組成
粒径は竹門の簡便階級 (砂泥: ~4mm, 砂利: ~50mm, 石: ~250mm, 巨石: ~500mm, 岩: 500mm~) に従い区分した。

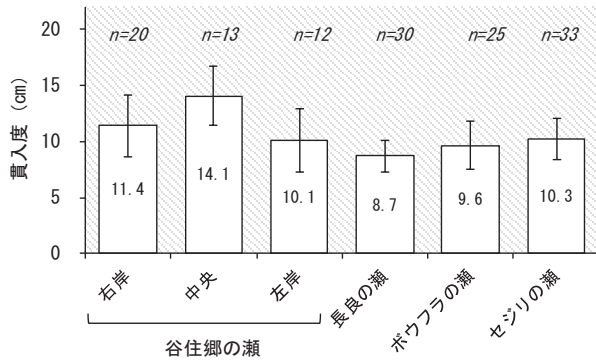


図4. 各調査地点における産卵期前の河床の貫入度
バーは標準偏差，図中の数字は平均を示す。

れの地点でも視認できなかった。産卵適地はいずれの地点でも見られ，その面積は合計 1,070m² と推測した。各地点の状況は以下のとおりである。

(1) 谷住郷の瀬 平面図を図5に示した。産卵適地は3ヶ所(図5中の地点A, BおよびC)に分散して見られた。いずれも河床は浮き石底で貫入度は10cm以上であった(図4)。礫の粒径組成は，アユの産卵に適した砂利(粒径4~50mm)が大半を占めた(図3, 図6写真①~③)。産卵適地の面積は270m²と推測した。中央の瀬(図5中の地点B)では，この時点でアユの産着卵(未発眼)(図6写真④)が確認されたが，一つの産卵床のみであった。この卵は，産卵時期が海産アユより早い琵琶湖産アユ¹¹⁾のものと同推察され，広島県側の江の川上流で放流された琵琶湖産種苗が成長し降下したものと考えられる。



図5. 産卵期前の谷住郷の瀬の平面図
赤い網掛け部分が産卵適地と考えられる範囲を示す。産卵適地の面積は地点Aが200 m²，Bが40 m²，Cが30 m²。

(2) 長良の瀬 平面図を図7に示した。河川の中央に礫が堆積し，それを境に右岸と左岸に大きく

流れが分かれる流況であった。右岸側(図7中の地点G, 図8写真④)と左岸側(図7中の地点H, 図8写真⑤)は糸状緑藻が繁茂し，河床はアーマー化しており，産卵には不適と判断した。河川中央は，貫入度(平均8.7cm, 図4)は10cmを下回るが，糸状緑藻の繁茂は少なく産卵に適した礫が多く，産卵を阻害する20cm以上の礫¹²⁾は少ないことから，産卵適地と判断した(図7中の地点D, 図8写真①)。産卵適地の面積は300m²と見積もった。ただし，河床表面の礫を取り除くと空隙を埋める砂泥分が多かった。

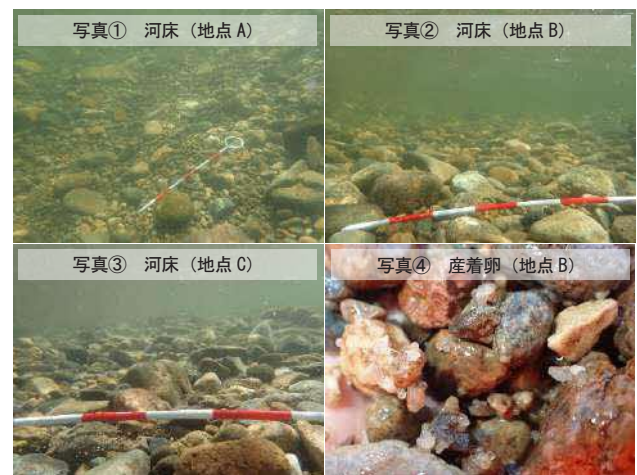


図6. 産卵期前の谷住郷の瀬の図4中の地点A~Cの河床および地点Bにおけるアユの産着卵

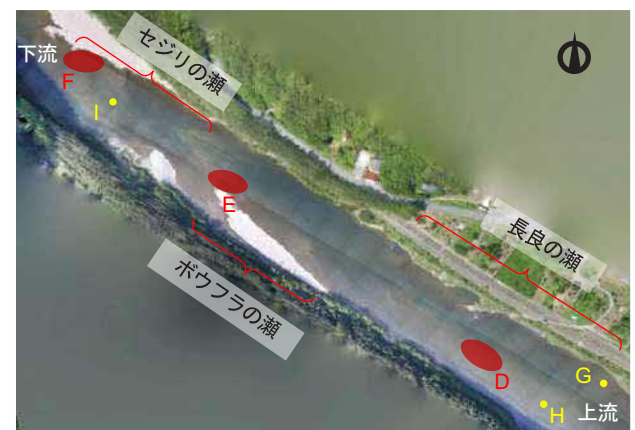


図7. 産卵期前の長良，ボウフラおよびセジリの瀬の平面図
赤い網掛け部分が産卵適地と考えられる範囲を示す。産卵適地の面積は地点Dが300 m²，Eが250 m²，Fが250 m²。

(3) ボウフラの瀬 平面図を図7に示した。長良の瀬とセジリの瀬の間にある“ボウフラ”と呼ばれる場所にある，左岸側の砂州に沿った瀬で，アユの産卵に適した礫が多く，貫入度(平均9.6cm, 図

4) は10cm程度あり、産卵適地と判断した(図7中の地点E, 図8写真②). 礫の空隙を埋める砂泥分は河床を10cm以上掘ると出てくる程度であり、糸状藻類の生育が若干見られるが、この程度は影響が少ないと考えられる. 産卵適地の面積は250m²と見積もった.

(4) セジリの瀬 平面図を図7に示した. 2013年(平成25年)の大出水で、アユの産卵に適した河床材料が流失し、産卵場としての機能が低下していたが、今回の調査では礫が堆積しており、改善がみられた. 流心となる左岸側の流れは、糸状緑藻が繁茂し、産卵を阻害する20cm以上の礫が多いため、産卵には不適と判断した(図7中の地点I, 図8写真⑥). 一方、右岸側の瀬は、アユの産卵に適した礫が多く、貫入度(平均10.3cm, 図4)は10cm程度であり、産卵適地と判断した(図7中の地点F, 図8写真③). 産卵適地の面積は250m²と見積もった.

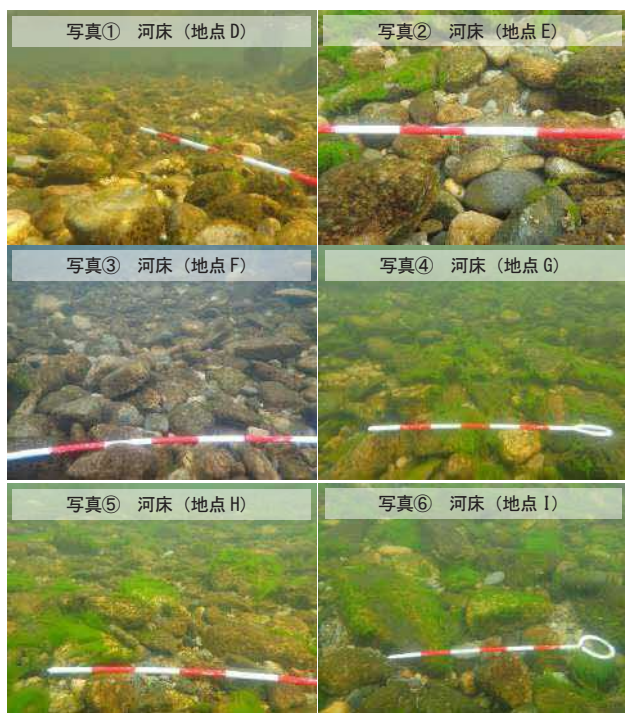


図8. 産卵期前の長良、ボウフラおよびセジリの瀬の図7中の地点D~Iの河床
地点D~Fは産卵適地、地点G~Iは産卵には不適と考えられる.

産卵場造成 長良の瀬の右岸側で造成した範囲の位置と形状を図9に、造成前後の河床を図2(造成前: 写真③, 造成後: 写真④, ⑤)に示す. 造成した面積は1,500m²であった. 河床の均しに費やす時間が不十分であったが、貫入度は造成前の7.3 ± 1.8cm(平均±標準偏差, n=49)から造成後は14.8 ± 2.0cm(n=30)となり(図10), アーマー化が改

善され浮き石底になったと考えられる. しかし、全体的に5cm以上の礫が多く、造成範囲の右岸寄りには砂が多く抜けきらなかった.

なお、当初の造成計画では、産卵場に礫(80m³)を直接供給する予定であったが、河床材料に適さない粒径が多かった(図2写真⑥)ため、江川漁協とも協議したうえで、供給を見送ることにした.

産卵状況 谷住郷の瀬, 長良の瀬および八戸川合流点でアユの産着卵が確認された. 産卵面積は合計538 m²であった. ボウフラの瀬およびセジリの瀬ではアユの産着卵は確認されなかった. 水温は谷住郷の瀬で15.3°C(9:04測定), 長良の瀬で16.3°C(10:13測定)であった. 各地点の産卵状況は以下のとおりである.

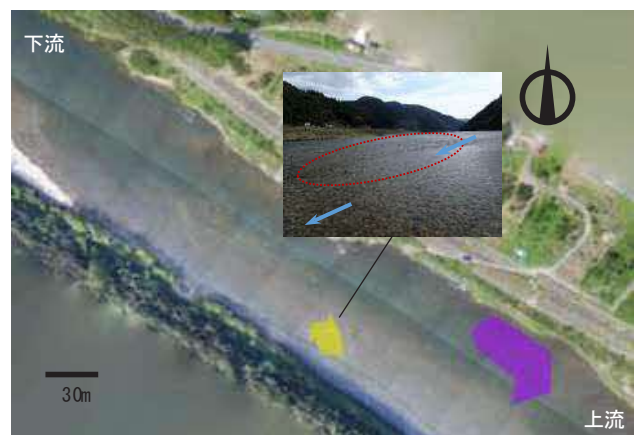


図9. 長良の瀬におけるアユの産卵範囲と造成範囲
黄色い網掛け部分はアユの産卵範囲(面積: 350 m²)を、紫色の網掛け部分は産卵場造成をした範囲(面積: 1,500 m²)を示す. 拡大写真の赤い点線で囲まれた範囲は産卵範囲, 水色の矢印は流向を示す.

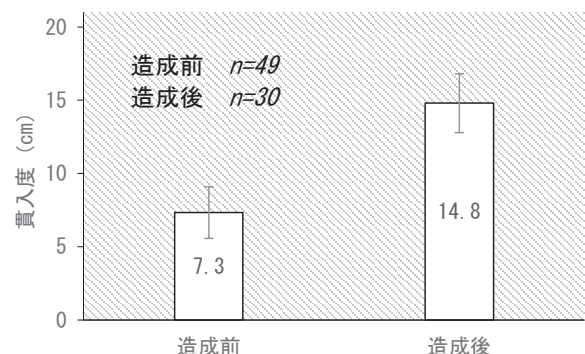


図10. 長良の瀬(右岸側)における産卵場造成の前後の貫入度の変化
バーは標準偏差, 図中の数字は平均を示す.

(1) 谷住郷の瀬 左岸側と中央部の浅瀬の2ヶ所で産着卵が確認され(図11), 産卵面積はそれぞ

れ13m²および5m²で合計18m²あった。左岸側の浅瀬で測定した卵の埋没深は7.0±0.7cm(平均±標準偏差, n=5)であり, 良好な産卵環境の目安となる平均10cm以上¹³⁾に達しなかった(図12)。なお, 右岸側の早瀬は流れが速く調査ができず, 産着卵の有無を確認できなかった。

(2) 長良の瀬 10月23日に造成した右岸側では産着卵は確認されなかったが, 造成していない中央付近の浅瀬で確認され(図9), 産卵面積は350m²であった。卵の埋没深は9.6±1.7cm(平均±標準偏差, n=10)で, 良好な産卵環境の目安となる平均10cm以上¹³⁾にほぼ達していた(図12)。造成した範囲で産着卵が確認されなかった理由は, 2019年の親魚量が少なく, より好条件の他の地点が産卵場として選択されたためと考えられる。



図11. 谷住郷の瀬におけるアユの産卵範囲
黄色い網掛け部分はアユの産卵範囲(面積: 2ヶ所で合計18m²)を示す。拡大写真の赤い点線で囲まれた範囲は産卵範囲, 水色の矢印は流向を示す。

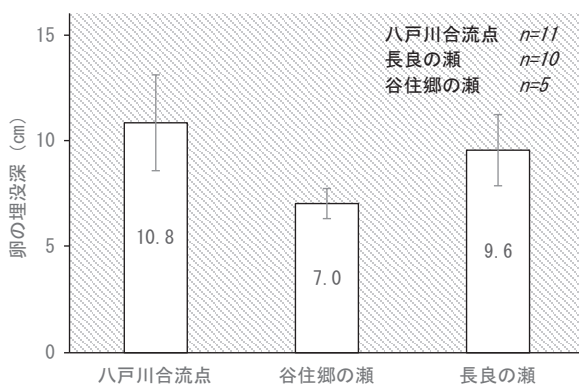


図12. 各調査地点におけるアユ卵の埋没深
バーは標準偏差, 図中の数字は平均を示す。

(3) 八戸川合流点 八戸川合流点で産着卵が確認され(図13, 図14写真①), 産卵面積は170m²であった。卵の埋没深は10.8±2.3cm(平均±標準偏差, n=11)で, 良好な産卵環境の目安となる平均10cm以上¹³⁾に達していた(図12)。また, 産卵範囲の上流側に位置する早瀬(図13中の黄色い点線で囲んだ場所)で, 100尾程度の親アユの遊泳が確認された(図14写真②)。

今後の課題 天然アユ資源を増やすにはアユの再生産サイクルの保全が大切であり,¹⁴⁾産卵期まで十分量の親魚を残し, 好適な産卵場で産卵させる必要がある。江の川では親魚確保のための漁獲規制が2011年から行われているが, 今でも親魚不足が続いている。親魚の確保は当面は必須の対策として位置づけられ, 今後もしばらくは継続することが必要である。

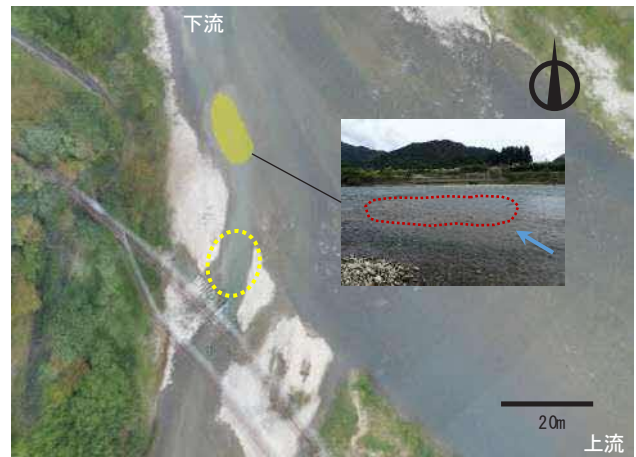


図13. 八戸川合流点におけるアユの産卵範囲
黄色い網掛け部分はアユの産卵範囲(面積: 170m²)を, 黄色い点線で囲まれた部分は親アユの遊泳が見られた場所を示す。拡大写真の赤い点線で囲まれた範囲は産卵範囲, 水色の矢印は流向を示す。



図14. 八戸川合流点で観察された産着卵および親アユの群れ

硬く締まった産卵場の河床を柔らかくする造成は, アユ産卵場としての質を高める効果が期待できる。

一方で河床の礫を流れやすくするため、上流から土砂供給の乏しい江の川では、河床状態をさらに悪化させる危険性もある。造成による産卵場環境の改善効果は一時的であり、根本的な問題解決を図るためには、江の川下流域の土砂不足¹⁵⁾の対策に取り組む必要がある。江の川ではその対策として、2014年から浚渫したダム堆積土砂をダム下流に置き土することで河川に還元する取り組みが開始された。しかし、置き土した地点から産卵場まで距離があり、その効果が明確に現れるまでには長い期間を要すると予想される。そのため、この取り組みを中長期的に継続すると同時に、当面は産卵場に礫（粒径 5mm～50mm 主体）を直接供給する河床のメンテナンス（造成）を行うことが望ましい。産卵場造成の効果には、卵の埋没深を深くして食卵の被害¹⁶⁾を軽減することや、重ね産みによる卵の流下（同じ場所で産卵を繰り返すと先に産み付けられていた卵が剥離する）を低減させる²⁾ことがある。特に親魚量が少ない現状では、礫供給による産卵場のメンテナンスを行うことができれば、アユの産卵やふ化の効率を高めることになり、少しでも多くの仔魚をふ化させることができると期待される。

文献

- 1) 高橋勇夫, 寺門弘悦, 村山達朗: 島根県西部河川におけるアユ産卵場造成について. 島根水技セ研報, **2**, 39-48 (2009).
- 2) 高橋勇夫, 寺門弘悦, 村山達朗: 島根県西部河川におけるアユ産卵場造成について-Ⅱ. 島根水技セ研報, **3**, 69-84 (2011).
- 3) 高橋勇夫, 寺門弘悦, 曾田一志, 安木 茂: 2011年の江の川におけるアユ産卵場造成について. 島根水技セ研報, **5**, 43-52 (2013).
- 4) 高橋勇夫, 寺門弘悦, 曾田一志, 安木 茂, 沖野晃: 2012年の江の川におけるアユ産卵場造成について. 島根水技セ研報, **6**, 19-29 (2014).
- 5) 高橋勇夫, 寺門弘悦, 曾田一志, 安木 茂, 村山達朗, 福井克也: 2013年の江の川におけるアユ産卵場造成について. 島根水技セ研報, **8**, 29-37 (2015).
- 6) 高橋勇夫: 天然アユが育つ川. 築地書館, 東京, 2009, pp. 194.
- 7) 竹門康弘: 水域の棲み場所を考える, 「棲み場所の生態学」, 平凡社, 東京, 1995, pp. 11-66.
- 8) 石井 徹: 貫入度, アユの産卵場づくりの手引き (魚類再生産技術開発調査報告書), 全国内水面漁業協同組合連合会, 1993, pp. 228.
- 9) 高橋勇夫: 産卵場造成の実際, 「アユを育てる川仕事」(古川彰・高橋勇夫編), 築地書館, 東京, 2010, pp. 116-123.
- 10) 落合 明, 田中 克: アユ, 「新版魚類学(下)改訂版」, 恒星社厚生閣, 東京, 1985, pp. 465-474.
- 11) 田子泰彦: 庄川における放流湖産アユの生残. 水産増殖, **47**, 111-112 (1999).
- 12) 高橋勇夫, 寺門弘悦, 村山達朗: 島根県西部河川におけるアユ産卵場造成について-Ⅲ. 島根水技セ研報, **4**, 45-57 (2012).
- 13) 高橋勇夫: 産卵場造成の必要性とその実際, 天然アユを増やすと決めた漁協のシンポジウム第1回天竜川大会記録集, 天然アユ保全ネットワーク, 2007, pp. 11-18.
- 14) 高橋勇夫, 東 健作: 天然アユの本. 築地書館, 東京, 2016, 279pp.
- 15) 島根県水産技術センター: 第2回江の川の天然アユを増やすためのシンポジウム~今, 私たちにできる川づくりとは?~. 島根水技セ研報, **6**, 59-67 (2014).
- 16) 高橋勇夫, 東 健作: ここまでわかったアユの本, 築地書館, 東京, 2006, 265pp.

本号掲載要旨

(報文)

天然ワカメの鮮度保持技術導入における採算性の検討

寺戸稔貴・開内 洋・別所 大・曾田紀子

隠岐地域では天然ワカメの湯通し塩蔵加工が行われている。漁獲当日に加工できなかった生鮮ワカメは、翌日には加工品として適さないことが課題となっている。そこで、筆者らは天然ワカメの鮮度保持技術を開発し、本技術の導入における採算性について検討した。湯通し塩蔵加工の収支と鮮度保持技術導入にかかる経費を試算し、採算性を検討した。

本技術の導入により 643, 202 円/漁期の増益が見込まれた。また、損益分岐点売上高は 405, 968 円となり、3 日間以上の加工が必要であると示された。

隠岐地域では4~5月の間に休漁日の日数が6日間以上になると想定される。本技術が導入され、3日間以上湯通し塩蔵加工されれば、増益を見込めると考えられた。

餌料用微細藻類 3 種 (*Chaetoceros calcitrans*, *Chaetoceros neogracile*, *Isochrysis* sp. (Tahiti Isolate)) の屋外培養における低塩分の影響

佐々木 正

餌料用微細藻類 3 種 (キートセラス・カルシトランス, キートセラス・ネオグラシーレおよびイソクリシス・タヒチ) について、培養水の塩分が屋外培養の安定性に与える影響を明らかにするために、塩分の異なる試験区 (100~20%海水) を設定して培養試験を実施した。

その結果、3 種とも、屋外において比較的幅広い塩分で安定培養ができることが明らかとなり、元種の塩分や植え継ぎ回数等の培養条件を適切に設定することにより、7 psu 付近の低塩分でも培養ができる可能性が示唆された。

このことから、漁業者が実施するサルボウガイの人工種苗生産において、低塩分の中海の湖水を用いた餌料の屋外培養の導入により餌料コストの低減が期待できると考えられる。

島根県における藻場モニタリングと調査方法の検討

吉田太輔・向井哲也・佐々木 正

県内藻場 4 地区について、2015 年から 5 年間のモニタリング調査、藻場形成阻害要因の検討、モニタリン

グ方法の検討を行った。モニタリング調査では、各地区ともに調査期間中における藻場の恒常的な衰退や構成種の大きな変化はみられなかった。藻場形成阻害要因について、坂浦地区において食害試験、播種試験を行ったところ、阻害要因は海藻のタネ (遊走子, 幼胞) の供給不足であったと考えられた。モニタリング方法について、潜水調査、ドローンによる空撮、魚探による音響調査等を行ったところ、空撮と潜水調査を組み合わせることで定量的、定性的に藻場の変化を把握することが可能と考えられた。

島根県沿岸に來遊する浮魚類の漁獲量と水温の時空間分布の関係

安原 豪

漁業者にとって漁の良否は最大の関心事であり、いつ、どこで獲れるか事前に予測する漁況予測への関心は高い。しかし島根県では浮魚類における漁況予測モデルの検討はされていない。そこで本研究は浮魚類の漁況予測モデルの構築を最終目標として、JADE2 の水温と島根県の浮魚類の漁獲量を用いて水温と漁獲量の関係をみた。その結果、複数の魚種で水温と漁獲量には関係があり、生物学的特性により説明が可能であった。今後は、各魚種の来遊に影響を与えると考えられる水温以外の資源量、塩分、対馬暖流の勢力などの要因を考慮し、精度の高い漁況予測モデルの構築を目指したい。

日本海南西海域におけるマアナゴの漁獲実態と生物学的特性

道根 淳・河津優紀・望岡典隆

日本海南西海域におけるマアナゴの漁獲実態と生物学的特性について沖合底びき網漁業の水揚物から明らかにした。浜田港での本種の漁獲量は、冬季に少なく、春季・秋季に増加する季節的な増減が認められ、全長 400~600 mm の大型のものが主体であり、その多くが雌個体であった。本種は、魚類、甲殻類、軟体類を主に採餌しており、成長にとまない主たる餌料生物が変化する傾向が認められた。今回、標本の一部から腹部黒化が進み、生殖腺の成熟が卵黄蓄積期に達する個体が確認された。さらに、性比の季節変化および生殖腺熟度指数より、当海域は産卵回遊に向かうまでの集積地の一つであり、産卵場に向かうため東シナ海へ移出する可能性が示唆された。

(資料)

宍道湖における無人航空機を用いた沈水植物の把握

岡本 満

宍道湖に繁茂するオオササエビモ等の沈水植物の分布状況を把握するため、無人航空機（ドローン）による空撮を試みた。高高度からの空撮によりオオササエビモ群落の季節的な消長を把握できるとともに、浅場に堆積した枯死シオグサ類を描写できることが分かった。複数画像の合成により距岸 300m におよぶオオササエビモ群落の広がりを描写できた。低高度からの空撮における湖面下のオオササエビモとツツイトモとの判別は難しく、高度の見直しや湖水の透明度など最適条件の検討が必要と考えられた。

2019 年の江の川におけるアユの産卵場造成と産卵状況

寺門弘悦・吉田太輔・安原 豪

江の川における 2019 年のアユの産卵場の造成の必要性を判断するため、産卵期前に河床状態等を調査し、産卵場としての適否を把握した。その結果、産卵適地は合計 1,070m² の面積が見込まれた。産卵に不適な場所では、江川漁協とも協議のうえで産卵場造成を行った。その後の産卵状況の調査から、造成を行った長良の瀬（右岸側）では産着卵は確認されなかったが、八戸川合流点、谷住郷の瀬、長良の瀬（中央）で産着卵が確認され、産卵面積は合計 538m² であった。

他誌掲載論文の抄録

中海におけるサルボウガイ (*Scapharca kagoshimensis*) の生息分布に及ぼす夏季の貧酸素水塊の影響について

開内 洋・佐々木 正・勢村 均・
向井哲也・曾田一志

日本ベントス学会誌, 74(1), 16-24(2019)

2012年3月と11月に中海において、夏季の貧酸素水塊がサルボウガイの分布に及ぼす影響を調査した。溶存酸素(DO)は、2011年と2012年の夏(7~9月)に毎月観測した。中浦水道の南端から大根島の南側にはサルボウガイが分布していたが、中海湖中央部の南側からは生きたサルボウガイは採取されなかった。3月から11月にかけて、中浦水道から離れた生息密度の低い3地点(5個体/230m²未満)では、殻長32mm以下の小型個体が多くそのサイズから1歳と推定された。生息密度の高い場所(>11個体/230m²)では、殻長40mm以上の大型個体が多く、そのサイズから2~3歳以上と推定された。貧酸素水塊は、2011年夏には断片的で量が少なかったが、2012年夏には大きな水塊が約2ヶ月間湖全体を覆っていた。2012年8月から9月にかけて、中海の中央部の底層で5~6日間の連続した無酸素状態が2回観測された。11月に生存したサルボウガイがいなかった3地点では、2012年夏の貧酸素によりサルボウガイが死んだ可能性が高い。夏季の底層のDOは、中浦水道の南端からの距離が長くなるにつれて減少し、中浦水道の南端から4.5kmの地点までは大型のサルボウガイ(殻長40mm以上)が生息していた。このことから、生きたサルボウガイの分布は夏の貧酸素の影響を受けており、中海では中浦水道からの酸素を含んだ海水の供給が湖内のDOに影響し、ひいてはサルボウガイの母貝の生息場に影響している。

ハイブリッド氷を用いた沖底漁獲物の鮮度保持効果について

開内 洋・井岡 久・寺谷俊紀

水産物利用に関する共同研究, 第60集, 17-20(2020)

ハイブリッド氷(-1℃)を用いて、島根県の沖合底びき網漁業の漁獲物の鮮度保持効果を検証した。真水氷とハイブリッド氷処理したアカムツ、ムシガレイ、マトウダイ、キダイ等について、色調、外観、鮮度(K値)の調査を行った。ハイブリッド氷の使用により、魚体の体表の色調は赤み、黒みは退色し概ね白くなった。真水氷(砕氷)使用時にみられる体表の氷の痕は

みられなかった。鮮度の低下の早いアカムツ、カレイ等ではハイブリッド氷の鮮度保持効果が高いと考えられた。ハイブリッド氷の製造機は、高価で氷の生産量が限られるため、高価格で鮮度保持効果が期待されるアカムツなどを対象とした限定的な使用が有効であると考えられる。

バイオサーモメーターを用いた浜田産マアジの鮮度可視化実証試験

岡本 満・開内 洋・寺谷俊紀・
橋口怜央人・濱田奈保子

水産物利用に関する共同研究, 第60集, 21-23(2020)

東京海洋大学が開発したバイオサーモメーター(BTM)を用いて浜田産マアジの鮮度可視化実証試験を行った。2019年5月下旬に中型まき網漁船によって漁獲されたマアジをWST-8型BTMとともに0~4日目まで0℃および5℃で貯蔵し、経時的にBTMの吸光度とマアジ体側筋のK値を測定した。1日目以降のBTM吸光度は5℃が0℃に対して高い値を示し、その差は経時的に大きくなった。BTM吸光度とK値ならびに積算温度の間には0℃貯蔵および5℃貯蔵いずれにおいても高い相関が認められた。以上から、マアジの鮮度指標としてBTMが有効であることが示唆された。しかしながら、BTM色調に対する目視判定は難しく、今後の改善が必要と考えられた。

日本海南西海域におけるアカムツ小型魚を対象とした時空間分布の特性把握と予測モデルの開発

金元保之・高澤拓哉・宮原寿恵・
道根 淳・沖野 晃・寺門弘悦・
村山達朗・金岩 稔

水産海洋研究, 84(3), 149-160(2020)

島根県機船底曳網漁業連合会所属の沖合底曳網漁船では2012年以降、漁業情報を活用した機動的禁漁区を導入し、アカムツ小型魚の資源管理を行っている。一方で、海域全体のアカムツ小型魚の分布状況を事前に把握し、それらの情報を基により効果的な禁漁区の場所と範囲を設定する必要性が高まってきている。そこで、本報告では2011~2018年の3~5月の沖合底曳網漁業船の操業情報と底水温、底塩分及び底流速の海洋環境情報からランダムフォレストを用いて、日本海南西海域におけるアカムツ小型魚の分布を推定及び予測するモデルを開発した。out of bag(OOB)データに

対する予測誤差は、操業年に基づくモデルでは 14.5%、漁期前半の一曳網当たり漁獲量に基づくモデルでは 14.6%であった。さらに、漁業試験船を用いた試験操業により、漁獲の有無の予測精度を評価した結果、正答率は 94%であった。これらの結果に基づき、アカムツ小型魚の時空間分布特性と分布に影響を与える要因の特徴について議論した。

島根県沿岸におけるケンサキイカの CPUE に影響を与える要因の検討と将来予測

金元保之・柴田泰宙

日本水産学会誌, 86(5), 371-385(2020)

本報告では、長期的なデータに基づきケンサキイカ釣り漁業の CPUE と来遊量指数及び種々の環境要因との関係をモデル化することを目的とした。一般化加法モデルを用い、情報量規準 (AIC 及び BIC) と交差検証によりモデル選択を行った。それらの結果、海洋環境の各指標が水深 100 m であるフルモデルが選択された。最良モデルを基に将来予測を行った結果、観測値と予測値との自由度調整済み決定係数は 0.63 であり、来月時点の島根県沿岸におけるケンサキイカ釣り漁業の CPUE を精度良く予測できる可能性が示唆された。

島根半島沖海域におけるアカアマダイの資源特性値

松本洋典

水産増殖, 68(3), 263-274(2020)

島根半島沖におけるアカアマダイ資源動態および種苗放流効果を評価するための各種資源特性値を推定した。調査は 2003 年 7 月から 2019 年 3 月までの期間に、小伊津漁港に水揚げされたアカアマダイを対象に行われた。2015 年 7 月から 2018 年 11 月の期間に同港に水揚げされた漁獲物から 663 尾が採集され、すべてのサンプルについて雌雄判別、全長、体重および生殖腺重量の計測のほか、耳石を用いた年齢査定が実施された。これにより産卵期が 9 月下旬を盛期として 5 月中旬から 9 月末までであること、漁獲物の年齢構成について雌が 2~14 歳、雄で 2~16 歳であることなどが明らかとなった。また、ベルタランフィの成長曲線について次式が算定された。雌: $L_t = 346(1 - \exp^{-0.542(t+0.045)})$, 雄: $L_t = 472(1 - \exp^{-0.328(t+0.134)})$

さらに 2006 年 4 月から 2019 年 3 月までの銘柄別漁獲量記録をもとに、VPA の基礎資料となる、雌雄別全長組成を推定した。

天然アユの肝臓にみられた Cucullanidae 科幼線虫の寄生 (英文)

岡本 満・沖野 晃・

Mark A. Freeman・小川和夫

魚病研究, 55(4), 142-150(2021)

本州日本海側西部の河川で採捕されたアユの肝臓に直径 0.43~1.57 mm の白色のシスト様構造物が多数見つかつた。内部には体長約 1 mm の線虫が 1~2 個体、まれに 3 個体含まれていた。2008~2013 年に調査した 6 水系のうち 3 水系のアユに感染が確認された。寄生率は 0~100%、シスト数は 1~837 とばらつきが大きかった。無感染の人工種苗アユが放流後に感染したことから、感染は河川で起きたと推察された。アユ漁獲後 24 時間では線虫はシスト内でほとんど動かなかったが、生理食塩水に暴露した瞬間に激しく運動した。生理食塩水中では 22~25°C で 81 時間生存したが、37°C で 12 時間以内、80°C で 1 分以内に死滅した。本線虫は形態学的に第 3 期幼虫と思われた。18S rRNA 領域を利用した遺伝解析では *Cucullianus* 属または *Dichelyle* 属に分類されると考えられた。終宿主は淡水魚と推定されるが、生活環は不明である。

編集委員長

川島隆寿

編集委員

若林英人・内田 浩

事務局

栗田守人

島根県水産技術センター研究報告 第13号

2021年（令和3年）3月発行

● 編集・発行

島根県水産技術センター研究報告編集委員会

〒697-0051 島根県浜田市瀬戸ヶ島町25-1

TEL 0855-22-1720 FAX 0855-23-2079

●印刷

柏村印刷株式会社

〒697-0034 島根県浜田市相生町3889

TEL 0855-23-2040 TAX 0855-22-3274

REPORT
OF
SHIMANE PREFECTURAL FISHERIES
TECHNOLOGY CENTER
NO. 13

CONTENTS

Original

Investigation of the profitability in introducing technology keeping freshness of natural wakame seaweed <i>Undaria pinnatifida</i> Toshiki TERADO, Hiroshi HIRAKIUCHI, Hiroshi BESSHO and Noriko SOTA	1
Effects of low salinity on outdoor culture of the feed microalgae <i>Chaetoceros calcitrans</i> , <i>Chaetoceros neogracile</i> and <i>Isochrysis</i> sp. (Tahiti Isolate) Tadashi SASAKI	9
Monitoring of seaweed beds and its survey techniques in Shimane Prefecture Daisuke YOSHIDA, Tetsuya MUKAI and Tadashi SASAKI	25
Relationship between catches of pelagic fish in coastal area Shimane prefecture and spatiotemporal distribution of water temperature Go YASUHARA	41
Actual Catches and Biological Characteristics of White-spotted Conger, <i>Conger myriaster</i> in the Southwestern Japan Sea Atsushi MICHINE, Masanori KAWAZU and Noritaka MOCHIOKA	49

Notes

Grasp of submerged aquatic plants using unmanned aerial vehicle in Lake Shinji Mitsuru OKAMOTO	59
Maintenance for the quality of spawning habitat, and spawning surveys of ayu <i>Plecoglossus altivelis altivelis</i> in the Gounokawa River in 2019 Hiroyoshi TERAOKA, Daisuke YOSHIDA and Go YASUHARA	65