

原著論文

金属板による養殖ノリへの食害防除効果の検証

梶原慧太郎*¹・高倉良太*¹・谷田圭亮*¹・兼田敏信*²

Verification of the effectiveness of metal plate to prevent grazing damage to cultivated Nori *Pyropia yezoensis*

Keitaro KAJIWARA, Ryota TAKAKURA, Keisuke TANIDA and Toshinobu KANEDA

To prevent the browsing behaviors of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) on cultured nori (*Pyropia yezoensis*), we tested the intimidation effect of metal reflectors suspended from nori nets. In both early December (1st test) and the late December to early January (2nd test), the total appearance numbers of black sea bream were lower in the test area with reflectors than in the control area without reflectors. In addition, the leaf length of cultured nori was longer in the test area than in the control area, indicating that the metal reflectors were effective in preventing the browsing behaviors of black sea bream. If the metal plates are also found to be effective at the larger spatiotemporal scale, they can be expected to be put into practical use in the future to reduce the damage to nori caused by fish browsing and stabilize the production of nori culture.

キーワード：食害, クロダイ, 反射板, 光
2023年5月26日受付 2024年6月26日受理

兵庫県の瀬戸内海域ではノリの養殖が盛んに行われており、1990年代までは1漁期あたり15億枚を上回る乾海苔が生産されていたが、2000年代前半からは減少傾向が続き、2018年漁期は13.8億枚にとどまった(谷田2020)。養殖ノリの不作の要因として、溶存態無機窒素(DIN)濃度の低下に伴う色落ちや、水温上昇に伴う生産期間の短縮化などが知られており(原田2013)、加えて近年ではクロダイ *Acanthopagrus schlegelii* による食害の影響も示唆されている(谷田2020)。

クロダイは本州以南の全国各地の内湾、沿岸岩礁域、河口域などに生息する雑食性の魚種であり、甲殻類や軟体類のほか海藻類も摂食する(中川ら1984, 山本・山元1988, 岡村・尼岡1997)。特に、越冬期は脂肪のエネルギーへの転換効率を向上させるため、海藻類を選択的に摂食する(海野2010)。本種による養殖ノリへの食害は、瀬

戸内海(草加2007, 加藤2021, 入江2022, 松岡・松下2022, Takakura *et al.* 2023, 手塚ら2023)、有明海(児玉ら2014)、伊勢湾(山田・成田2022, 成田・中島2023)などの全国各地でみられ、ノリ網で生長したノリ葉体が数日で消失する「バリカン症」の一因と考えられている(草加1996, 児玉ら2014)。現在、水中スピーカーを用いた音響による威嚇(山田・成田2022)や、敷網や囲い網などの防除ネットによる対策(松岡・松下2022, 成田・中島2023)が講じられているものの、養殖現場で有効性が実証された報告は少ない。また、これらの防除装置の購入コストや設置および撤去にかかる労力も、養殖現場への導入にあたっての懸念材料のひとつである(Takakura *et al.* 2023)。実際、兵庫県のノリ養殖場では防除ネットの導入が検討されたが、養殖規模の大きい経営体が多いため、実用化に至った例はほとんどない。

*¹ 兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター
〒674-0093 兵庫県明石市南二見町二見22-2

Fisheries Technology Institute, Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Akashi, Hyogo 674-0093, Japan
E-mail: keitarou_kajiwara@pref.hyogo.lg.jp

*² マルコ水産株式会社

上記以外の食害防除方法として、金属板による魚追い具が開発されている（製品名：ギョニゲール、マルコ水産有限会社、以下、金属板とする）。本製品は、広島県田島沖のノリ養殖場における定性的な食害防除実績をもとに製品化されているが、防除効果の定量的な実証データは示されておらず、また、海域特性が異なる他の養殖現場での効果も確認されていない。

そこで本研究では、比較的低コストかつ少労力で導入可能な本製品を兵庫県瀬戸内海域のノリ養殖場に設置して、対照区との比較試験によりクロダイの食害防除効果を定量的に評価し、本製品の有効性を検証した。

材料と方法

試験は2022年11月30日～12月5日（1回目試験）と2022年12月27日～2023年1月3日（2回目試験）に分け、兵庫県神戸市須磨区地先のノリ養殖場（浮き流し養殖）で実施した（図1）。例年食害が多発する養殖施設のうち、隣接するノリ網（目合32cm）に金属板を設置した試験区と設置しない対照区を設定し（図1）、タイムラプスカメラ（TLC200 Pro, Brinno Inc., 以下、カメラとする）により、クロダイの来遊状況をモニタリングした。

金属板は縦2m×横25mm×厚さ0.3mmのステンレス製で、先端にスィベルが接続しており、海中に垂下すると潮流を受けて不規則になびいたり回転する構造となっている（写真1）。本試験では、スィベルにナイロンロープ（約1m長）を結びつけ、海面直下の浮子網（ノリ網設置用の枠網）に垂下した。カメラは6秒ごとに1枚画像を撮影するように設定し、塩化ビニル配管製防水ハウジングに収容して浮子網から垂下した（水深約30cm）。海中におけるカメラの対角画角は約85°であった。

1回目試験では、11月30日にノリ網の北側の浮子網（試験区：南東向き、対照区：南西向き）にカメラを設置し、



写真1. 試験場所への設置前と設置後の金属板（矢印）、いずれも2022年11月30日撮影

金属板は可能な限り多く画角内に収まるように、北側の浮子網に3本、南側に5本、1.4m間隔でそれぞれ設置した。2回目試験では、1回目試験のカメラの画像から、画角内に十分な枚数の金属板が確認されたこと、および順光撮影の方がより鮮明な画像の撮影が可能であることから、金属板は移動させず、カメラは12月27日に水深と撮影間隔は1回目と同じくして南側の浮子網（試験区：北西向き、対照区：北東向き）に設置した（図1）。いずれの試験も、カメラの設置位置と画角から、観察対象部分の面積はノリ網1枚（平面）の約30%となった（図1）。なおカメラは、1回目試験時は12月5日、2回目試験時は1月3日にそれぞれ回収したが、金属板は11月30日から3月末まで清掃や交換はせずに継続して設置し続けた。

カメラによる撮影画像はAVI動画ファイルで記録されている。そこで、動画ファイルをPCモニタ上で再生し、魚類が出現した時間帯を抽出した後、画像変換ソフトFree Video to JPG Converter (<https://www.dvdvideosoftware.com/products/dvd/Free-Video-to-JPG-Converter.htm>, 2023年4月7日)により動画をJPG画像に変換した。画像は1分間あたり10枚撮影されているため、この10枚の画像において外部形態の目視により魚種を判別し、1枚ずつ出現した魚種ごとに個体数を計数して、最も大きかった値をその時間帯における各魚種の出現個体数とした。

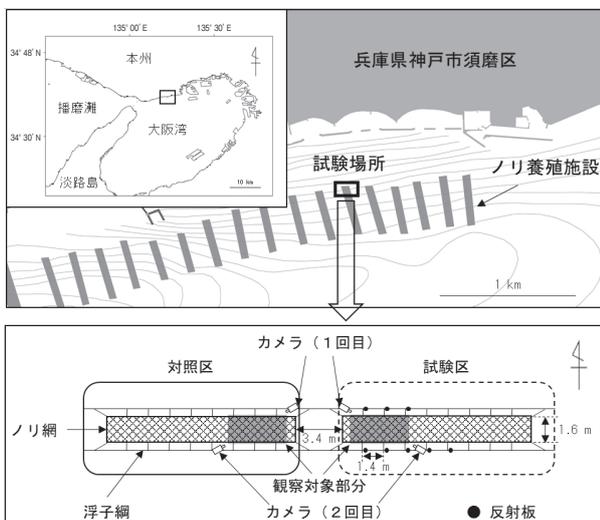


図1. 試験場所、ノリ網の影つき部分は観察対象部分

なお、画像上で形態がクロダイに類似し、色調が不明瞭な個体はキチヌ *Acanthopagrus latus* との明確な判別が困難であったが、周辺海域の実態としてキチヌの漁獲がほとんど無いことが漁業者からの聞き取りにより確認されているため、本研究では全数をクロダイとして計数した。

各試験日で魚種別に出現個体数を記録した後、1回目・2回目試験で試験日ごとに合計して総出現個体数とした。クロダイにおいては、各試験日において最も多かった出現個体数を最大出現個体数とした。画像の撮影期間と時間帯は、小椋・平井 (2020) に準じてカメラの設置日および回収日を除き、12月1日～4日 (1回目試験)、12月28日～1月2日 (2回目試験) の日中 (7:00～17:00) とした。水温は、試験場所近傍の須磨海づり公園の水深1mの水温データ (大阪湾水質定点自動観測データ配信システム、<http://teiten.pa.kkr.mlit.go.jp/obweb/index.aspx>, 2023年2月1日) から2022年11月～2023年1月の日平均水温を算出した。

試験区と対照区の養殖ノリは、いずれも11月24日から本養殖を開始した同一品種のスサビノリ *Pyropia yezoensis* であり、12月8日に初めて摘採した。兵庫県瀬戸内海域では、クロダイによる養殖ノリへの食害は養殖期間内で水温が比較的高い12月に集中する (Takakura *et al.* 2023)。したがって、試験区では1回目試験終了後も継続してノリが食べられていたと考えられるため、以下の方法により食害の有無を調べた。ノリは食害を受けると葉体の先端部から齧られるので葉長が短くなることが予測される。そこで、葉長の差が最も顕著にみられる可能性が高い初回摘採日 (摘採1時間前) に試験区と対照区のノリ網の一部をそれぞれ切り取り、30枚ずつノリ葉体を分離して写真を撮影した後、画像処理ソフト ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/download.html>, 2023年4月7日) で葉長を計測した。両区の葉長の平均値は、Excelの分析ツールを用いて Welch の *t* 検定により比較した。有意水準は5%とした。また食害を受けたノリは葉体に摂食痕が残っている可能性が高い。そのため、各葉体の先端部を目視観察し、食害の有無を確認した。

結果

画像解析では、1回目・2回目試験のほとんどの試験日および時間帯で金属板が海流を受けてなびいたり、傾いたりすることで、断続的かつ不規則に日光を反射する様子が観察された (写真2左上, 左中)。2回目試験時は、金属板の表面が広く付着微細藻類で覆われており、試験区・対照区ともノリ葉体は約30cmまで生長していた (写真2右中, 左中)。魚種については、全個体数に占めるクロダイの総出現個体数の割合 (出現率) が98.3%に達し、他に確認されたウマヅラハギ *Thamnaconus modestus* (0.5%) やボラ *Mugil cephalus* (1.2%) と比較して優占的

に確認された (写真2右下, 左下, および表1)。

1回目・2回目試験のいずれも、試験日ごとのクロダイの総出現個体数は、試験区よりも対照区の方が多かった (図2, 図3および表1)。1回目試験の対照区では全ての試験日において、多くの時間帯でノリ網の直下で遊泳・滞留するクロダイが多数確認された (写真2右上)。総出現個体数は4,336尾となり、試験日別の最大出現個体数は24尾 (12月1日, 3日) であった。一方で、試験区でクロダイは12月3日の10:19に1尾出現したのみであった (表1)。なお12月2日の11:31～11:43は、海中ではなく海面直上の画像が記録されており、ノリ網の養殖管理作業によりカメラが海面上に持ち上げられたと判断されたことから、出現個体数を0尾とした。2回目試験は、対照区では1回目試験と同じく全ての試験日において、多くの時間帯でクロダイが出現した (写真2右中)。総出現個体数は1,511尾となり、試験日別の最大出現個体数は7尾 (1月1日) であった。試験区では、1月1日を除いた複数の試験日および撮影時間帯でクロダイが出現した。総出現個体数は48尾となり、対照区よりも少なく、試験日別の最大出現個体数は2尾 (12月31日, 1月2日) であった。

日平均水温は11月上旬～1月下旬にかけて徐々に低下し、最高は21.3°C (11月4日)、最低は10.1°C (1月13日) であった (図4)。

12月8日に採集した養殖ノリの葉体において、葉体の

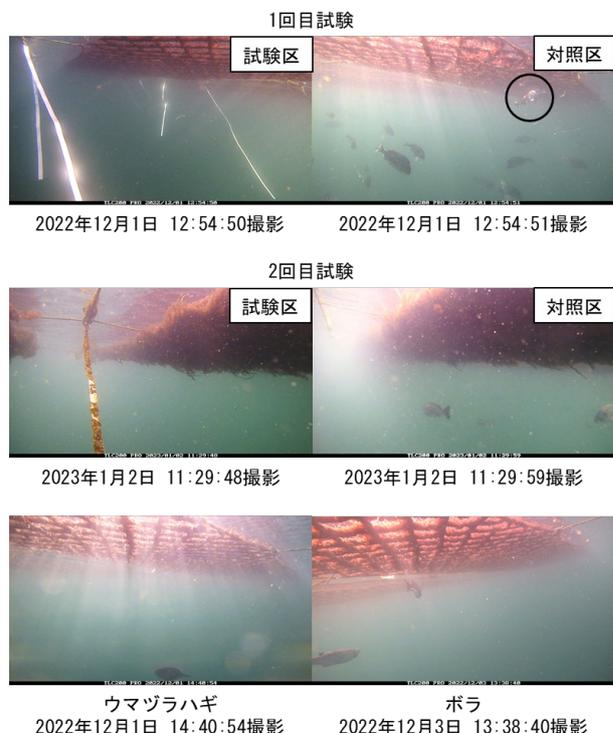


写真2. 1回目試験時・2回目試験時の試験区と対照区の様子と出現したウマヅラハギとボラ、丸印はノリを摂食しているとみられるクロダイ

表 1. クロダイの 1 分間あたりの最大出現個体数と各魚種の試験期間中の総出現個体数と出現率

試験区分	試験日	最大出現個体数 (尾)		総出現個体数 (尾)					
		クロダイ		クロダイ		ボラ		ウマヅラハギ	
		試験区	対照区	試験区	対照区	試験区	対照区	試験区	対照区
1回目	2022/12/1	0	24						
	2022/12/2	0	19						
	2022/12/3	1	24	1	4.336	2	22	0	25
	2022/12/4	0	13						
2回目	2022/12/28	1	4						
	2022/12/29	1	6						
	2022/12/30	1	4						
	2022/12/31	2	4	48	1.511	24	26	0	0
	2023/1/1	0	7						
	2023/1/2	2	6						
出現率 (%)				98.3		1.2		0.5	

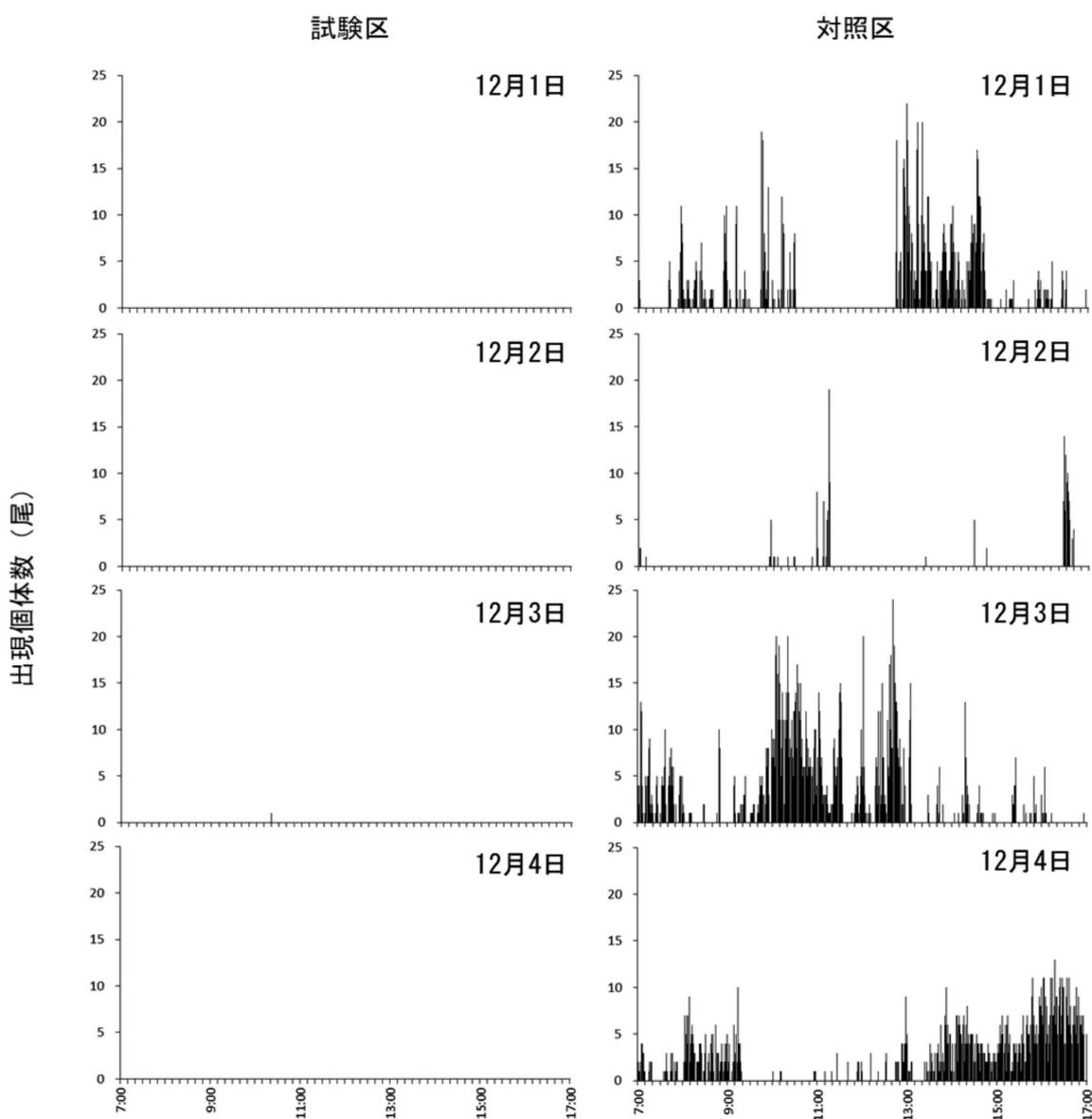


図 2. 1 回目試験時 (2022 年 12 月 1 日～ 12 月 4 日) の試験区・対照区における 1 分間あたりのクロダイの出現個体数

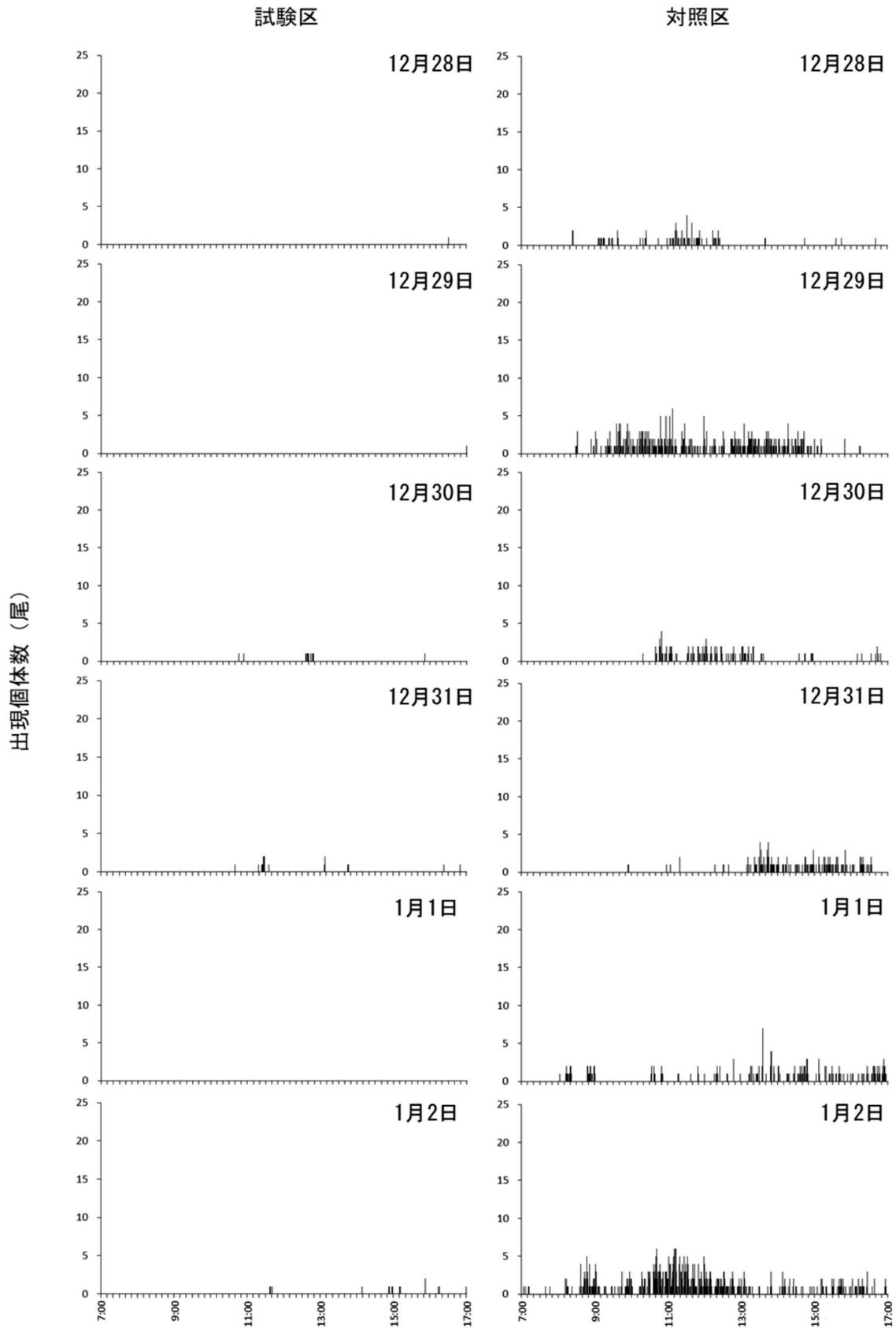


図 3. 2 回目試験時 (2022 年 12 月 28 日～ 2023 年 1 月 2 日) の試験区・対照区における 1 分間あたりのクロダいの出現個体数

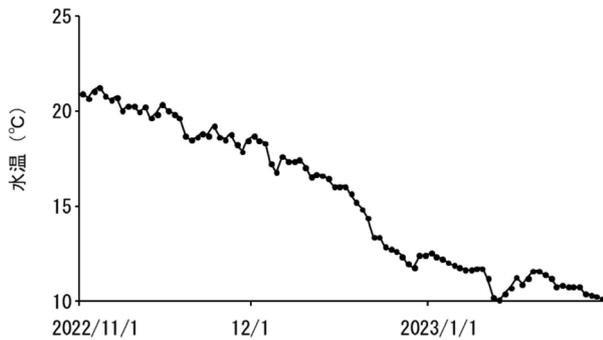


図 4. 須磨海づり公園（水深 1m）の日平均水温

平均葉長±標準偏差は試験区で $26.0 \pm 5.0\text{cm}$ 、対照区で $9.9 \pm 3.2\text{cm}$ であり、試験区で有意に長かった ($p < 0.001$)。また対照区の葉体は先端部が裂開しているものが多かった一方で、試験区では先端部の裂開構造や欠損はみられなかった (写真 3)。

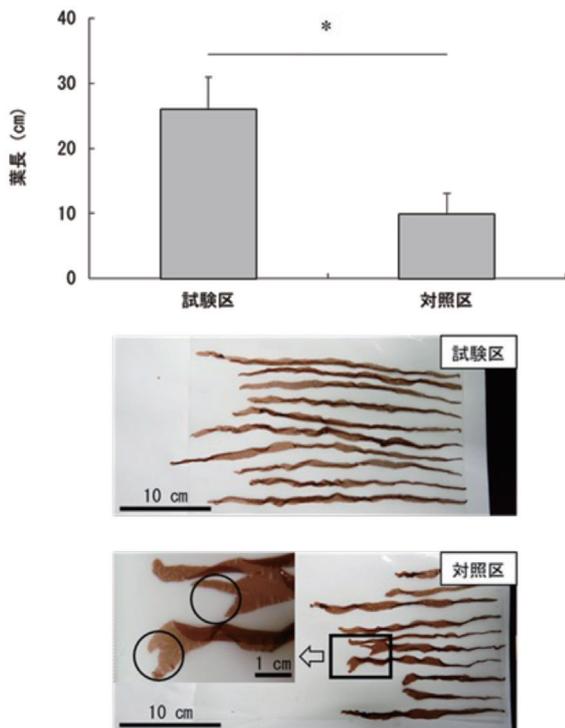


写真 3. 2022 年 12 月 8 日に採集した試験区と対照区の葉長 (平均値) とノリ葉体の写真 (2022 年 12 月 8 日撮影)
エラーバーは標準偏差、*は有意差 ($p < 0.001$) があることを示す
丸印はクロダイによるものとみられる摂食痕

考 察

試験海域における食害の状況 試験場所では、クロダイの他に、藻食性の魚種であるウマヅラハギとボラが出現した。ウマヅラハギは鳴門海域で養殖ワカメの種苗を摂食することが知られているが (棚田ら 2019, 野田・村瀬 2022), 養殖ノリに対する食害は報告されていない。一方で、ボラは瀬戸内海 (伊藤 2011) や伊勢湾 (平澤ら 2005, 小椋・平井 2020) などにおける養殖ノリの食害の原因種と考えられており、タイムラプスカメラによりノリ網付近における摂食様行動が確認されている (手塚ら 2023)。本研究では、両種はいずれもクロダイと比較すると総出現個体数は少なく、撮影期間を通じてノリ網に接近してノリを摂食する様子もみられなかった。したがって、試験場所およびその周辺海域では、養殖ノリに対する両種の食害の影響は少ないことが示唆された。

金属板の食害防除効果 1回目試験は、対照区ではいずれの試験日もクロダイの最大出現個体数および総出現個体数が試験区よりも多く、ノリ網の直下を群れて移動し、ノリを摂食する様子が頻繁に確認された。また、対照区のノリ平均葉長は試験区よりも短く、多くの葉体の先端部に、ワカメ *Undaria pinnatifida* におけるクロダイの摂食痕 (野田・村瀬 2021) に類似した裂開構造が確認された。したがって、1回目試験の実施期間 (11月 30日～12月 5日) の養殖ノリに対する主な食害魚種はクロダイであり、対照区のみ食害があったことが示唆された。

魚類の行動を制御する人為的刺激のひとつに光刺激があり、光による威嚇や駆逐により、魚群の誘導や遊泳行動が制御できることが報告されている (小池 1989, 小池ら 1991, 野田ら 2019)。光刺激の威嚇効果は光源の移動性の有無や光色、点滅の有無とその周期などにより増減し (高橋 1978, 小池 1989, 野田ら 2019, 松本ら 2005), 多くの魚種で移動性のある光源に対して嫌忌反応を示すこと、および連続光よりも断続光の方が、威嚇効果が高いことが報告されている (黒木・中馬 1953, 高橋 1978, 小池 1985)。クロダイの明所における光刺激への反応は不明であるが、本種は、暗所では桿体視 (網膜の桿体細胞が優位にはたっている状態) となって光感度が向上し、光源に対して忌避する可能性が指摘されているため (海野 2010), 負の走光性を示すものと考えられる。そして試験区では、金属板が海中でなびき、傾くとともに日光を反射する写真が多数確認された。したがって本研究では、試験区で確認された金属板による不規則な反射光による刺激が、クロダイのノリ網への来遊、接近および摂食を阻害したものと考えられ、ノリ養殖現場への反射能力のある金属板の導入は、食害の防除・低減技術として一定の効果があると思われる。

2回目試験は1回目試験よりも試験日数が多かったにもかかわらず、対照区のクロダイの総出現個体数は1回

目の約30%にとどまり、試験区と合計しても1回目の対照区の半数以下であった。また、ノリ葉体は両区ともよく伸長している様子がうかがえた。試験場所の水温は12月上旬～1月上旬にかけて徐々に低下していたが、12月28日以降の水温は、クロダイの摂餌活動が鈍化する13°C(草加2007)を下回っていた。これらのことから、2回目試験時は、そもそもクロダイの摂餌活性が1回目試験時よりも低下し、食害の発生に至らなかったことが考えられた。

本研究では、既製品の仕様のまま養殖現場で試験を実施し、一定の忌避効果を確認した。魚類の光に対する嫌忌行動は、背景照度(小池1989)などに左右される。そのため、天候や水質などの外部環境条件が異なる試験場所で金属板の有効性を比較すれば、より詳細に防除効果を評価することが可能となる。今後、養殖現場での技術導入事例が増加し、使用方法などに独自の工夫が加われば、さらなる防除効果の向上が期待できよう。

養殖現場への実装に向けた費用対効果と留意点 兵庫県の瀬戸内海域では、食害は養殖期間内で水温が比較的高い12月に水深の浅い沿岸付近のノリ網に集中し、食害を受けたノリ網は、本研究と同様に葉体先端部の裂開構造などからある程度目視により判別することが可能である。本研究を実施した海域では、漁期を通じて1経営体あたり約300枚のノリ網が食害を受けているとされる(被害額約1,200万円)。仮に、食害を受けている全ての浮子網に、本研究と同様に1.4m間隔で金属板(1本あたり1,000円と仮定、2023年4月時点)を設置した場合、8本×2列×300枚=4,800本(約480万円)が必要となるが、毎漁期の食害の被害額と比較すると約720万円の損失を軽減できる。ただし、本製品が未設置の海域へ食害魚が移動し、結果的に食害を受けるノリ網が代わっただけになる可能性もあるため、漁場を同じくする生産者間の調整や他の防除装置と併用などといった、技術実装時の工夫が必要となろう。また、本研究で用いた金属板は、防除ネットとは異なり摘採のたびに撤去・再設置する必要がないことから養殖工程上の妨げになりにくく、養殖現場においてこの手間を省略することが可能である。今後は、さらに長期間かつ大規模な実証試験を行い、設置にかかる経済的コストや人的労力なども含めて総合的な費用対効果が認められれば、クロダイによる食害の軽減に向けてより広範囲な養殖現場への実用化が期待できる。

謝辞

金属板とカメラの設置、ノリ葉体の採集において多大なるご協力を賜ったすまうら水産有限責任事業組合の森本明氏をはじめとする関係各位に深謝する。本稿の執筆にあたり貴重なご助言を賜った東京海洋大学の二羽恭介教授にお礼申し上げる。

文献

- 原田和弘(2013) 養殖ノリ生産期における播磨灘の溶存態無機窒素(DIN)濃度と養殖ノリ生産額の関係. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告(水産編), 43, 7-10.
- 平澤康弘・坂野昌宏・鈴木好男(2005) ノリ養殖指導. 平成16年度愛知県水産試験場業務報告, 97-101.
- 入江隆乃介(2022) 資源・環境に関するデータの収集・情報提供-3 ノリ養殖安定対策推進事業(情報の提供と技術指導). 令和3年度大分県農林水産研究指導センター水産研究部事業報告, 230-233.
- 伊藤龍星(2011) ノリ養殖漁場に飛来したカモ類の消化管内容物. 大分県農林水産研究指導センター研究報告(水産研究部編), 1, 17-22.
- 加藤慎治(2021) ノリを食べたのは誰だ?. 徳島水研だより, 111.
- 児玉昂幸・白石日出人・測上哲(2014) 有明海区河口域漁場におけるノリ葉体の消失原因について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 24, 13-23.
- 小池隆(1985) 断続光に対する魚類の反応. 日本水産学会誌, 51, 1097-1102.
- 小池隆(1989) 断続光に対するマアジの行動反応に関する研究. 三重大学生物資源学部紀要, 2, 23-53.
- 小池隆・山口辰哉・松生治(1991) 光断続光を利用したマアジの行動制御. 日本水産学会誌, 57, 7-14.
- 黒木敏郎・中馬三千雄(1953) 漁業用嫌忌灯光の研究I・振廻し光束について. 日本水産学会誌, 18, 26-29.
- 草加耕司(1996) 養殖ノリの流失被害にかかる魚類の胃内容物調査. 南西海ブロック藻類研究会誌, 16, 18-23.
- 草加耕司(2007) クロダイによる養殖ノリの摂餌試験. 岡山県水産試験場報告, 22, 15-17.
- 松本太郎・川村軍蔵・西隆昭・高田吉雄・杉村暢昭・山下佑介・栗原梢(2005) LED点滅光によるマダイの侵入抑制効果. 日本水産学会誌, 71, 188-197.
- 松岡聡・松下悠介(2022) 県産水産物品質向上・生産安定化事業ノリの食害対策試験. 令和2年度香川県水産試験場事業報告, 38.
- 中川平介・笠原正五郎・杉山瑛之・和田功(1984) クロダイに対するアオサ添加飼料の効果. 水産増殖, 32, 20-27.
- 成田正裕・中島広人(2023) ノリ食害対策試験. 令和3年度愛知県水産試験場業務報告, 22-23.
- 野田幹雄・米田実由・村瀬昇(2019) 点滅閃光に対するアイゴの大型海藻の採餌抑制効果. 水産大学校研究報告, 67, 253-261.
- 野田幹雄・村瀬昇(2021) クロダイ成魚による養殖ワカメの食痕の特徴と採餌行動. 水産大学校研究報告, 69, 93-101.
- 野田幹雄・村瀬昇(2022) ウマヅラハギ成魚による養殖ワカメの食痕の特徴と採餌行動. 水産大学校研究報告, 70, 115-123.
- 小椋友介・平井玲(2020) ノリ病障害対策試験. 平成30年度愛知県水産試験場業務報告, 11-12.

- 岡村 収・尼岡邦夫（1997）山溪カラー名鑑日本の海水魚．山と溪谷社，東京，pp. 354-355.
- 高橋 正（1978）移動光膜の魚類行動に及ぼす影響について．日本水産学会誌，**44**，869-874.
- Takakura R, Tanida K, Inazaki A, Mitsunaga Y (2023) Behavioral study of black sea bream *Acanthopagrus schlegelii* by acoustic telemetry to guide countermeasures against feeding damage to cultivated nori *Neopyropia yezoensis* off Kobe, Hyogo, Japan. *Fish, Sci.*, **89**, 785-799.
- 棚田教生・多田篤司・手塚尚明・清本節夫（2019）養殖漁場でワカメ種苗の食害魚撮影に初めて成功．徳島水研だより，**109**．
- 谷田圭亮（2020）瀬戸内海の水温上昇が生物に与える影響－兵庫県におけるノリ養殖－．瀬戸内海，**79**，19-21.
- 手塚尚明・梶原直人・小栗一将・喜安宏能・渡部祐志・塩田浩二（2023）撮影手法を用いたノリ・アオノリ養殖場における食害種の出現記録．日本水産学会誌，**89**，34-48.
- 海野徹也（2010）クロダイの生物学とチヌの釣魚学．成山堂書店，東京，pp. 60-65.
- 山田穂高・成田正裕（2022）海産植物病害対策試験．令和2年度愛知県水産試験場業務報告，10-11.
- 山本純弘・山元宣征（1988）大村湾におけるクロダイの年齢と成長について．長崎県水産試験場研究報告，**14**，1-6.