
福岡県水産海洋技術センター研究報告

第 3 5 号

BULLETIN
OF
FUKUOKA FISHERIES AND MARINE TECHNOLOGY RESEARCH CENTER
No. 35

福岡県水産海洋技術センター

2025年3月

目 次

[研究報告]

1. 環境水からの KHV 検出法に関する研究
 兒玉 昂幸・伊藤 輝昭 1
2. 投石によるアカモク漁場の拡大に向けた実証試験
 日高 研人・鹿島 祥平・黒川 皓平・後川 龍男・田中 慎也 7
3. 福岡県豊前海区の干潟における網袋によるアサリ保護効果
 鹿島 祥平・日高 研人・田中 慎也・後川 龍男・黒川 皓平 13
4. 筑前海におけるアカモク養殖手法に関する研究
 大形 拓路・梨木 大輔・坂田 匠 21
5. 貧海藻域から採取される短期養殖に適したムラサキウニの選定条件
 坂田 匠・梨木 大輔・神田 雄輝・佐野 満汰 27
6. ノリ養殖に使用するカキ殻糸状体の恒温室培養技術の開発
 加藤 将太・安河内 雄介・藤井 直幹 37
7. 福岡県有明海のノリ養殖漁場におけるカモ類の来遊実態について
 徳田 眞孝 45
8. 筑前海におけるイサキの成熟と成長および漁獲物の年齢組成
 松島 伸代・長倉 光佑・長本 篤・吉 浦 藍 53

[資料]

9. 福岡県の日長に応じた光周期調節によるアユ成熟調整技術の開発
 植田 ひまわり・中本 崇 61

環境水からの KHV 検出法に関する研究

兒玉 昂幸^a・伊藤 輝昭
(内水面研究所)

KHV が発生した河川や養鯉場での Sph 法及び TK 法による KHV 検査の簡便化を図るため、環境水からの KHV 検出法に使用可能な DNA ポリメラーゼについて検討した。既報で作成した鉄凝集法による河川水からの DNA 抽出液を用いた検討では、候補とした 5 種の DNA ポリメラーゼのうち、TAKARA の Tks Gflex DNA Polymerase と EX Premier Polymerase で、全サンプルでの DNA の増幅が確認された。また、DNA 増幅の阻害が見られた河川水からの DNA 抽出液に、KHV 罹患魚鰓から抽出した KHVDNA を 100 倍希釈で添加したサンプルを用いた試験では、Tks Gflex DNA Polymerase、EX Premier Polymerase とともに、全サンプルでの KHVDNA の増幅が確認された。以上のことから、Tks Gflex DNA Polymerase、EX Premier Polymerase のいずれかを使用することで、環境水からの Sph 法及び TK 法による KHV 検査が可能であると考えられた。

キーワード：コイ、KHV 病、Sph 法、TK 法、PCR

コイヘルペスウイルス病 (KHV 病) は 2000 年にアメリカとイスラエルで新しいウイルス病として報告されて以降、ヨーロッパやアジアなど、各国で発生が報告され、日本では 2003 年に霞ヶ浦で発生し、その後、全国に広がり、養殖及び天然水域の鯉へ多大な被害を及ぼした。

本県でも 2003 年に KHV 病が食用鯉養殖場で初認¹⁾された後、県内に広がり、主に筑後川と遠賀川流域を中心に発生域が広がった。そのため、本県では KHV 病のまん延防止ため、内水面漁場管理委員会指示により、KHV 病既発生河川からのコイの移動や KHV 病の陰性が確認されているコイ以外の放流が禁止されている。また、養殖コイの流通に伴う県内外への KHV 病まん延防止のため、県内の養鯉業者に対し、春と秋の 2 回、KHV 病の定期検査も実施している。これらの取り組みの結果、本県では 2012 年度以降、河川や養鯉場での KHV 病による被害は発生していない²⁻¹²⁾。

KHV 病は持続的養殖生産確保法施行規則により特定疾病に指定されており、特定疾病については水産防疫要綱において病性鑑定指針に基づき検査をするように定められている¹³⁾。病性鑑定指針では、検査部位を鰓、腎臓及び脾臓とし、初動診断法として PCR 検査の Sph 法と LAMP 法が、最終診断法として PCR 検査の TK 法が記載されており¹⁴⁾、一般的には PCR 検査が行われ、本県での KHV 病の検査においても PCR 検査を実施している。

KHV 病発生水域での検査における問題点としては検査魚のサンプリングが挙げられる。河川や水路では、疾病

による斃死魚が腐敗しており、河川を泳いでいる弱った個体を採捕する必要があるが、水深等の理由から採捕困難なケースがある。また、養鯉場では、採卵用の親ニシキゴイや価値の高いニシキゴイなど、生かした状態でのサンプリングが必要な場合があるが、これらの個体を捕獲する際の水飛沫等により他水域に KHV 病が水平感染する恐れやサンプリングに伴う衰弱・斃死の危険性等がある。

マダイ養殖やウナギ養殖では、鉄凝集法にて環境水からウイルスを凝集し、検査を行う手法が開発されている¹⁵⁻¹⁷⁾。KHV 病の検査においてもこの手法が適用できればサンプリングの問題点が解決できると考えられるが、環境水に含まれるフミン酸等の PCR 阻害物質により、正しく検査が行えない可能性がある¹⁸⁾。

そこで、環境水からの KHV 病の PCR 検査に使用可能な DNA ポリメラーゼについて検討した。

方 法

1. DNA ポリメラーゼ候補の探索

TAKARA の Ex Taq HS (以降、Ex Taq)、Tks Gflex DNA Polymerase (以降、Gflex)、EX Premier DNA Polymerase (以降、EX Premier)、KAPA の HiFi Hot Start PCR Kit (以降、HiFi)、2G Robust Hot Start PCR Kit (以降、2G Robust) の 5 種の DNA ポリメラーゼを候補とし、検討を行った。

^a現所属：水産海洋技術センター

上記 DNA ポリメラーゼを用いて、既報¹⁹⁾において作成した、ウイルス DNA を鉄凝集法にて環境水より抽出済みのサンプル 45 検体 (KHV 陰性確認済み) から、ウイルス凝集確認用として添加している RSIV を対象に Kurita *et al* のプライマー²⁰⁾にて PCR 検査を実施し、DNA の増幅が見られた本数から DNA ポリメラーゼ候補を選定した。

反応液の組成や増幅条件は Kurita *et al* の報告²⁰⁾を基本としつつ、メーカー推奨の条件で設定し、表 1 のとおりとした。

2. DNA ポリメラーゼ候補での KHV 検出試験

1. において、DNA 阻害が見られた抽出液 8 本に対し、KHV 病罹患魚の鰓から抽出した DNA を 100 倍希釈となるように添加した。選定した DNA ポリメラーゼ候補を用い、上記サンプルにおいて sph 法にて PCR 検査を実施し、DNA が増幅されるかを確認した。

反応液の組成や増幅条件は、水産防疫要綱における病性鑑定指針記載の手法と同様とした。すなわち、表 1 におけるプライマーを KHV Sph I -5 F (50 μM) 0.12 μl, KHV Sph I -5 R (50 μM) 0.12 μl とし、増幅条件は、94℃・30 秒を 1 サイクル、94℃・30 秒、63℃・30 秒、72℃・30 秒を 40 サイクル、72℃・7 分を 1 サイクルで行った。

結 果

1. DNA ポリメラーゼ候補の探索

各 DNA ポリメラーゼ候補における RSIV の増幅結果について、参考例として図 1 に電気泳動図の一部を、表 2 に増幅の全結果を示す。

Ex Taq では 45 検体中 37 検体、HiFi では 45 検体中 30 検体、2G Robust では 45 検体中 37 検体で 570bp の DNA 片の増幅が確認され、Gflex, Ex Premier では全検体で DNA 片の増幅が確認された。

Ex Taq, HiFi, 2G Robust で DNA 増幅の阻害が見られたサンプルのうち、3 種とも増幅できなかったサンプルは 4 検体であり、Ex Taq, HiFi で増幅できなかったサンプルは 1 検体、HiFi, 2G Robust で増幅できなかったサンプルは 4 検体、Ex Taq, 2G Robust で増幅できなかったサンプルは 2 検体であった。その他、HiFi のみが増幅できなかったサンプルは 2 検体であった。

2. DNA ポリメラーゼ候補での KHV 検出試験

表 1 に示すように、1. において DNA 増幅の阻害が見られたサンプルのうち、Ex Taq, HiFi, 2G Robust の 3 種の DNA ポリメラーゼともに阻害が見られた 4 検体、

HiFi, 2G Robust で阻害が見られた 4 検体の計 8 検体に KHV 病罹患魚の鰓から抽出した DNA を 100 倍希釈となるように添加し、Gflex, Ex Premier で KHV 病の PCR 検査を行った。

結果を図 2 に示す。

Gflex, Ex Premier とともに、全サンプルで 290bp の DNA 片の増幅が確認された。

考 察

Gflex, Ex Premier とともに、1, 2 の試験における全検体から DNA を増幅できたことから、いずれかを使うことで、環境水を用いての KHV 病の PCR 検査が可能であると考えられた。

しかし、本県では、2012 年度以降、県内で KHV 病が発生していないため、KHV 病が発生した河川や養鯉場の環境水から実際に検出可能か検証できていない。このため、今後は KHV 病発生時に現場での検証を行っていくことが必要と考えられた。

なお、Gflex は DNA ポリメラーゼや dNTP Mix 等の試薬を必要に応じて都度混ぜるタイプの、Ex Premier は Ready mix タイプの商品である。また、2024 年 10 月時点の単価は、それぞれ、Gflex が約 180 円/回、Ex Premier が約 165 円/回のため、環境水からの PCR 検査においては、労力・コストの両面を考慮すると、Ex Premier が優れていると考えられた。

謝 辞

鉄凝集法についてご指導・ご鞭撻いただいた国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所の河東康彦氏に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 高橋実, 恵崎摂, 中本崇, 吉岡武志, 福澄賢二, 佐藤博之. 魚類防疫体制推進整備事業. 平成 15 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/H15_279-303.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 2) コイヘルペスウイルス病対策チーム. コイヘルペスウイルス病対策事業. 平成 24 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upLoad/H24_347-375.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧

- 3) コイヘルペスウイルス病対策チーム. コイヘルペスウイルス病対策事業. 平成 25 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/H25_385-413.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 4) コイヘルペスウイルス病対策チーム. 内水面環境保全活動事業 (2) 魚病まん延防止対策 (コイヘルペスウイルス病). 平成 26 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/H26_413-436.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 5) コイヘルペスウイルス病対策チーム. 内水面環境保全活動事業 (2) 魚病まん延防止対策 (コイヘルペスウイルス病). 平成 27 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/H27_373-400.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 6) コイヘルペスウイルス病対策チーム. 内水面環境保全活動事業 (2) 魚病まん延防止対策 (コイヘルペスウイルス病). 平成 28 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/H28_348-376.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 7) コイヘルペスウイルス病対策チーム. 内水面環境保全活動事業 (2) 魚病まん延防止対策 (コイヘルペスウイルス病). 平成 29 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/H29_341-367.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 8) コイヘルペスウイルス病対策チーム. 内水面環境保全活動事業 (2) 魚病まん延防止対策 (コイヘルペスウイルス病). 平成 30 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/H30_327-355.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 9) コイヘルペスウイルス病対策チーム. 内水面環境保全活動事業 (2) 魚病まん延防止対策 (コイヘルペスウイルス病). 令和元年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/R1_320-348.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 10) コイヘルペスウイルス病対策チーム. 内水面環境保全活動事業 (2) 魚病まん延防止対策 (コイヘルペスウイルス病). 令和 2 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/R2_308-341.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 11) コイヘルペスウイルス病対策チーム. 内水面環境保全活動事業 (2) 魚病まん延防止対策 (コイヘルペスウイルス病). 令和 3 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/R3_301-331.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 12) コイヘルペスウイルス病対策チーム. 内水面環境保全活動事業 (2) 魚病まん延防止対策 (コイヘルペスウイルス病). 令和 4 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. <https://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/jigyuu/upload/8ae00aeb7fca31d54f4bdadd6c7396a13dc06bbb.pdf>, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 13) 農林水産省. I 水産防疫対策の基本的な考え方 2 水産防疫対策の推進方向及び関係者の果たすべき役割. 水産防疫対策要綱. https://www.maff.go.jp/j/syouan/suisan/suisan_yobo/attach/pdf/index-26.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 14) 農林水産省. II 病性鑑定指針 1 魚類 (8) コイヘルペスウイルス病 (KHVD). 水産防疫対策要綱. https://www.maff.go.jp/j/syouan/suisan/suisan_yobo/attach/pdf/index-26.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 15) Kawato Y, Ito T, Kamaishi T, Fujiwara A, Ototake M, Nakai T, Nakajima K. Development of red sea bream iridovirus concentration method in seawater by iron flocculation. *Aquaculture* 2016 ; 450 : 308-312.
- 16) Kawato Y, Mekata T, Inada M, Ito T. Application of Environmental DNA for Monitoring Red Sea Bream Iridovirus at a Fish Farm. *Microbiology Spectrum* 2021 ; 9(2). <https://journals.asm.org/doi/10.1128/spectrum.00796-21>, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 17) 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所養殖部門病理部, 静岡県水産・海洋技術研究所. 1. ウイルス性血管内皮壊死症の診断方法 1.3 飼育水中のウイルス DNA の検出. ウナギのウイルス性血管内皮壊死症診断・防除マニュアル. https://www.fra.go.jp/gijutsu/project/files/diagnostic_prevention_of_viral_endothelial_cell_necrosis.pdf, 2024 年 10 月 31 日閲覧
- 18) 一般社団法人環境 DNA 学会. 5. DNA の分析 5-1-2. リアルタイム PCR 実験. 環境 DNA 調査・実験マニュアル. <https://ednasociety.org/wp-content/uploads/>

2024/08/%E7%92%B0%E5%A2%83DNA%E8%AA%BF%E6%9F%B
B%E3%83%BB%E5%AE%9F%E9%A8%93%E3%83%9E%E3%83%8B
%E3%83%A5%E3%82%A2%E3%83%AB_ver3_0.pdf, 2024年
10月31日閲覧

://www.sea-net.pref.fukuoka.jp/info/kenkyu/up
Load/K34-2.pdf, 2024年10月31日閲覧

- 19) 兒玉昂幸, 松本昌大, 伊藤輝昭, 中本崇. KHV 病既発
生河川におけるコイ放流再開の可能性について. 福
岡県水産海洋技術センター研究報告第 34 号. <https>

- 20) Kurita J, Nakajima K, Hirono I, Aoki T. Polyme
rase chain reaction (PCR) amplification of DN
A of red sea bream iridovirus (RSIV). Fish Pat
hol; 33 : 17-23.

表1 RSIVのPCR検査における各DNAポリメラーゼ候補の反応液組成及び増幅条件

TaKaRa Ex Taq Hot Start Version				KAPA HiFi HotStart PCR Kit					
試薬名	添加量 (μL)	温度	時間	サイクル数	試薬名	添加量 (μL)	温度	時間	サイクル数
10×バッファー	2	94°C	2分	1サイクル	5×KAPA HiFi Fidelity Buffer	4	98°C	20秒	
dNTP Mixture (2.5mM)	1.6	58°C	30秒	40サイクル	dNTP Mixture (10mM)	0.6	60°C	15秒	35サイクル
1-Fプライマー (100μM)	0.2	72°C	40秒		1-Fプライマー (100μM)	0.06	72°C	15秒	
1-Rプライマー (100μM)	0.2	72°C	2分	1サイクル	1-Rプライマー (100μM)	0.06	72°C	1分	1サイクル
TaKaRa ExTaq HS	0.1				KAPA HiFi HotStart DNA Polymerase	0.4			
DW	14.9				DW	13.88			
テンプレート	1				テンプレート	1			
合計	20				合計	20			

KAPA 2G Robust HotStart PCR Kit				Tks Gflex DNA Polymerase					
試薬名	添加量 (μL)	温度	時間	サイクル数	試薬名	添加量 (μL)	温度	時間	サイクル数
		95°C	3分	1サイクル			94°C	2分	1サイクル
5×KAPA 2G Buffer B	4	95°C	15秒		2×Gflex PCR Buffer	10	94°C	30秒	
dNTP Mixture (10mM)	0.4	58°C	15秒	40サイクル	1-Fプライマー (100μM)	0.06	58°C	15秒	40サイクル
1-Fプライマー (100μM)	0.1	72°C	15秒		1-Rプライマー (100μM)	0.06	68°C	40秒	
1-Rプライマー (100μM)	0.1	72°C	1分	1サイクル	Tks Gflex DNA Polymerase HS	0.4	68°C	2分	1サイクル
KAPA 2G Robust HotStart DNA Polymerase	0.08				DW	8.48			
DW	14.32				テンプレート	1			
テンプレート	1				合計	20			
合計	20								

TAKARA Ex Premier DNA Polymerase				
試薬名	添加量 (μL)	温度	時間	サイクル数
		94°C	2分	1サイクル
2×Polymerase Mixture	10	94°C	30秒	
1-Fプライマー (100μM)	0.06	58°C	15秒	40サイクル
1-Rプライマー (100μM)	0.06	68°C	40秒	
DW	8.88	68°C	2分	1サイクル
テンプレート	1			
合計	20			

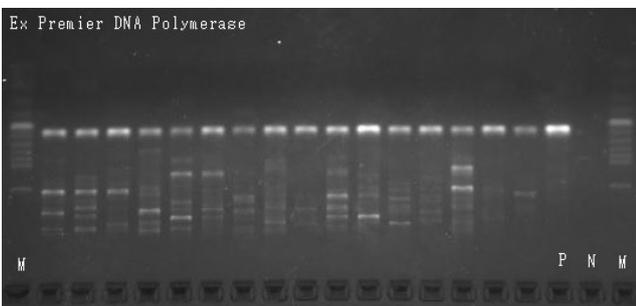


図1 サンプルNO.17~32における電気泳動図 (左 : Ex Premier DNA Polymerase, 右 : 2G Robust Hot Start PCR Kit)
M:100bp DNA Ladder P:Positive Control N:Negative Control

表2 既報で作成したサンプルにおけるRSIVのPCR検査結果

サンプルNO.	DNAポリメラーゼ						KHV検出試験での 使用の有無
	Ex Taq HS	2G Robust Hot Start PCR Kit	HiFi Hot Start PCR Kit	Tks Gflex DNA Polymerase	Ex Premier DNA Polymerase		
1	○	○	○	○	○		
2	○	○	○	○	○		
3	○	○	○	○	○		
4	○	○	○	○	○		
5	○	○	×	○	○		
6	○	○	○	○	○		
7	○	○	○	○	○		
8	○	○	○	○	○		
9	○	○	○	○	○		
10	○	○	○	○	○		
11	○	○	○	○	○		
12	○	○	○	○	○		
13	×	×	○	○	○		
14	×	×	○	○	○		
15	○	○	○	○	○		
16	×	○	×	○	○		
17	×	×	×	○	○	使用	
18	○	×	×	○	○	使用	
19	○	×	×	○	○	使用	
20	○	○	×	○	○		
21	○	×	×	○	○	使用	
22	○	○	×	○	○		
23	○	×	×	○	○	使用	
24	○	○	○	○	○		
25	×	×	×	○	○	使用	
26	○	○	×	○	○		
27	○	○	○	○	○		
28	×	×	×	○	○	使用	
29	×	○	○	○	○		
30	○	○	×	○	○		
31	○	○	○	○	○		
32	×	×	×	○	○	使用	

※ ○：陽性 ×：陰性



図2 添加したKHVに対するPCR結果

M:100bp DNA Ladder P:Positive Control N:Negative Control 1~8: サンプルNO

投石によるアカモク漁場の拡大に向けた実証試験

日高 研人・鹿島 祥平・黒川 皓平^a・後川 龍男^a・田中 慎也^b
(豊前海研究所)

福岡県豊前海ではアカモクの生育に適した浅場の岩礁域がほとんどないことから、アカモク藻場の拡大を図るためには投石による漁場造成が必要である。そこで、豊前海で藻場造成を行う際の基礎知見とすることを目的として、投石と母藻投入によりアカモク藻場の造成と維持拡大が可能かを検証するとともに、アカモク増殖に適した光条件について整理した。その結果、投石と母藻投入により宇島漁港内および漁港外ともにアカモク藻場の形成が確認された。光条件の整理では、相対光量子量が10%以上でアカモクの継続した生育が確認された。また、自然光下において、海面および最干潮時の水深別に測定した光量子束密度と照度との関係に強い正の相関がみられ、アカモク増殖に適した水深の基準を2m以浅とすると、今回算出した相対照度2.8%以上についても藻場造成の指標になり得ることが示唆された。照度計は光量子計に比べ比較的安価で入手可能なため、アカモク藻場造成に適した海域を簡易に判断する際には有効であると考えられた。

キーワード：アカモク、投石、光条件、相対光量子量、相対照度、漁場造成

アカモク *Sargassum horneri* は北海道東部を除く日本列島のほか、朝鮮半島から香港まで広く分布する一年生の褐藻である^{1, 2)}。福岡県豊前海では、主に波浪の影響が少ない静穏域にアカモク群落が形成されており、魚介類の隠れ処や産卵場、稚仔魚の育成場としての機能を担っている。

アカモクは、従来から日本海沿岸を中心に食用海藻として各地で利用されており³⁾、本県では筑前海に次いで豊前海でも2010年から加工品の生産が開始され、道の駅や直販所などで人気を博している。アカモクは、漁港近くに群落形成されるため、燃料費も少なく、大規模な設備投資が不要なことから、新規就業者をはじめ高齢者や女性でも利用可能な資源として現場から増殖の要望が強い海藻である。

アカモク増養殖の取り組みは、全国的な需要拡大と共に各地で行われており、本県筑前海においてもクレモナ基質やコンクリートブロックに種苗を付着させる増殖手法⁴⁾や母藻投入手法に関する試験により、漁場に確実に幼胚を供給するためには、半径1mを確保する2m間隔での母藻投入が有効⁵⁾だとする知見が得られている。加えて、豊前海のアカモクについては、最干潮時の水深（以後、水深とする）1~2mの静穏な浅海域に分布

し、海域全体では、生育に適した浅場の岩礁域がほとんどないことが明らかとなっている。また、付着基質の無い水深1~2mの海域において、石材等の付着基質の投入と幼胚の供給により、アカモク藻場の造成が可能であることが示唆されており、その水深は1~4mの間に閾値が存在すると考えられている⁶⁾。

そこで本研究では、これまで得られている知見をもとに今後、豊前海で藻場造成を行う際の基礎知見とすることを目的として、投石と母藻投入によりアカモク藻場の造成と維持拡大が可能かを検証するとともに、アカモクの増殖に適した光条件について整理した。

方 法

1. 漁場造成試験

福岡県豊前市宇島地先を試験区に設定し、2021年8~12月に、宇島漁港内の水深1~2m域に1.5m×150mの投石試験区を1カ所、宇島地先漁港外の水深1~2m域に5m×5mの投石試験区を4カ所造成した（図1）。石材は大栗石（径150~300mm）を使用し、投石後の高さが40cm程度となるように投入量を0.4t/m²に調整した（表1）。その後、2022年3月に、敷設した試験区上に成熟したアカモ

a 現所属：水産振興課

b 現所属：漁業管理課

クの母藻をスポアバック方式で設置した。なお、母藻投入は、2m 間隔で 1.2kg/袋とした。

投石試験区におけるアカモクの生育状況を調査するため、2022 年 10 月 3 日、11 月 9 日、2023 年 2 月 3 日、3 月 24 日、10 月 30 日、11 月 29 日、2024 年 2 月 6 日、3 月 25 日に、漁港内および漁港外の投石試験区と対照区としてそれに隣り合う宇島地先の天然礁において（以下、漁港内区、漁港外区、天然区とする）、アカモク藻体の全長測定を行った。試験区ごとのアカモク全長を比較するため、採取月毎に Mann-Whitney の U 検定を用いて検定した。また、2023 年 3 月 24 日および 2024 年 3 月 25 日に、1m×1m の正方枠での枠取り観察による海藻被度調査、50cm×50cm の正方枠による坪刈り調査を行い、研究所に持ち帰ってアカモクの湿重量を測定し、現存量を算出した。

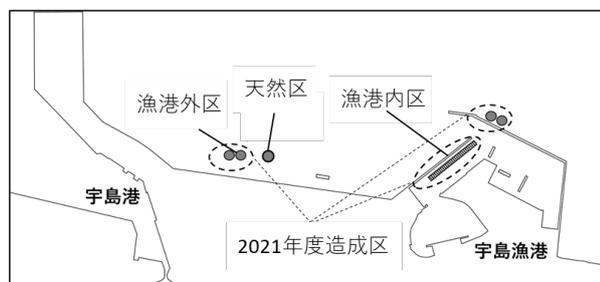


図 1 漁場造成試験区位置

表 1 漁場造成試験区

設置場所	石材	造成箇所	造成面積 (m ²)	投入量 (t/m ²)
漁港内	大栗石 (150~300mm)	1	225	0.4
漁港外	大栗石 (150~300mm)	4	100	0.4

2. アカモク藻場形成にかかる光条件

(1) 光量子束密度および照度

2022 年 10 月 4 日～11 月 7 日に、アカモクの増殖に適した光条件を整理するため、2019 年度に水深 4m に設置した投石試験区および 2021 年度に造成した投石試験区の海面および水深 1m、2m、3m、4m (図 2) において、アドバンテック社製小型メモリー光量子計 (DEFI2-L) と Onset 社 HOB0 ペンダントロガー (UA-002-64) を用いて、光量子束密度と照度の連続観測を行った。光量子束密度とは、単位面積、単位時間当りの光量子数のことで、1 m² 当り 1s 当りに、アボガドロ定数 (6.022×10²³) に等しい光量子が通過した時の光量子束密度が、1mol / (m²・s) である⁷⁾。今回の測定における単位は μmol / (m²・s) で表す。次に照度とは、人間の眼に感じる明るさを数値化したもので、単位面積あたり

に入射する光束を示し、照度計のセンサーの波長感度特性は、眼の標準比視感度特性 (人間の目が波長ごとに光を感じ取る強さの度合を定量化したもの) に対応するように設定されているため、一般に照度は、同一の波長分布を有する放射源に対してのみ、光量子束や放射束に比例する⁷⁾。今回の測定における単位は lx で表す。

今回、光量子計および照度計は、2021 年度造成区の海面および水深 1m、2m を、2019 年度造成区の水深 3m、4m を測定できるように設置した。なお、海面はフロートに添わせて取り付け、水深 1m、2m および 3m、4m はコンクリートブロックの中心部に 1m の鉄パイプを固定したものを作成し、底面に 2m および 4m、鉄パイプに添わせて 1m および 3m とセンサー部が各水深帯になるように取り付けた (図 3)。

また、これらの試験で得られたデータから各水深帯の相対光量子量 ((各水深帯の光量子束密度) / (海面の光量子束密度)) および相対照度 ((各水深帯の照度) / (海面の照度)) を算出した。

(2) 潜水目視調査

光量子束密度と照度の連続観測を行った水深 1m、2m、3m、4m において、アカモクの生育状況を確認するため、天然礁でアカモク種苗が着生した石を 2022 年 10 月に各水深帯に設置し、2022 年 10 月～2023 年 3 月にかけて、SCUBA 潜水による目視調査を行いアカモクの生育状況を観察した。

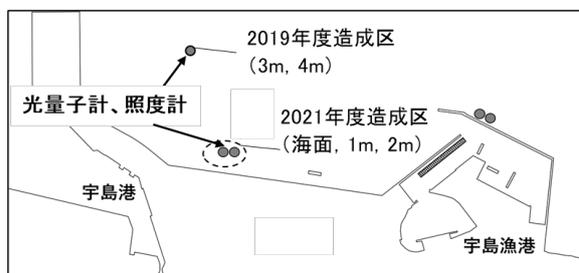


図 2 光量子計および照度計設置場所

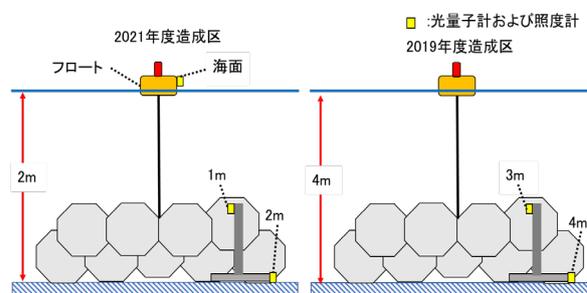


図 3 光量子計および照度計の設置状況

結 果

1. 漁場造成試験

各試験区におけるアカモク藻体の平均全長の推移について図4, 5に示した。2022年度は11月時点まで全地点で同様の生長を示していたが、2月に漁港内区 55.8cm, 漁港外区 99.6cm, 天然区 126.7cm, 3月に漁港内区 137.6cm, 漁港外区 202.1cm, 天然区 212.0cm と天然区>漁港外区>漁港内区の順に生長が良い結果となった。検定の結果から、漁港外区および天然区と漁港内区は2月および3月調査において、有意な差がみられた(2月 P<0.01, 3月 P<0.05)。2023年度も同様に11月時点まで全地点で同様の生長を示していたが、2月に漁港内区 69.5cm, 漁港外区 174.4cm, 天然区 178.0cm, 3月に漁港内区 136.7cm, 漁港外区 213.1cm, 天然区 224.7cm と天然区>漁港外区>漁港内区の順に生長が良い結果となった。検定の結果から、漁港外区および天然区と漁港内区は2月および3月調査において、有意な差がみられた(2月 P<0.01, 3月 P<0.05)。

各試験区における海藻被度およびアカモク現存量の結果を表2, 3, 図6, 7に示した。2023年3月24日調査では、大型海藻被度は漁港内区 30%, 漁港外区 30%, 天然区 60%, 大型海藻の種類はワカメ, アカモクが出現し、大半がアカモクであった。アカモク現存量は、漁港内区 1,120g/ m², 漁港外区 1,840g/ m², 天然区 3,156g/ m² と被度、現存量ともに天然区で高かった。2024年3月25日調査では、大型海藻被度は漁港内区 40%, 漁港外区 50%, 天然区 50%, 大型海藻の種類はワカメ, アカモクが出現し、大半がアカモクであった。アカモク現存量は、漁港内区 1,185g/ m², 漁港外区 4,815g/ m², 天然区 3,501g/ m² と被度は漁港外区と天然区で同等、現存量は漁港外区で高かった。

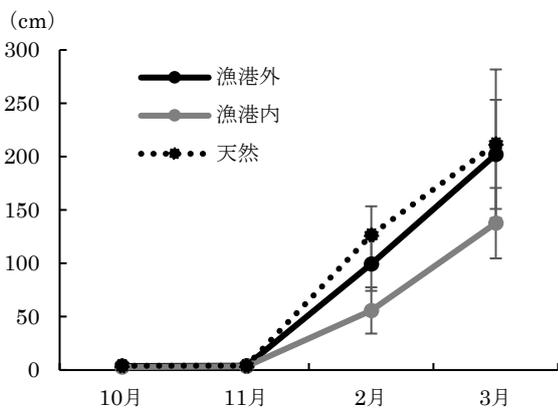


図4 2022年度アカモクの全長推移

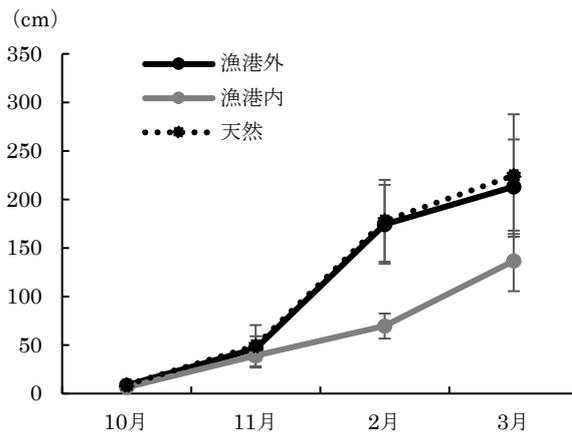


図5 2023年度アカモクの全長推移

表2 2022年度海藻被度

調査区		漁港内	漁港外	天然
水深(m)		2.0	2.0	2.0
底質被度	岩盤			10
	大礫(拳大≤)	100投石	100投石	80
	小礫(米粒大≤)			5
	砂(粒子確認)			5
景観被度	大型海藻	30	30	60
	小型海藻	40	40	30
	無節サンゴモ	—	—	—
	固着動物等	15	5	5
大型海藻被度	ワカメ		+	+
	アカモク	30	30	60

表3 2023年度海藻被度

調査区		漁港内	漁港外	天然
水深(m)		2.0	2.0	2.0
底質被度	大礫(拳大≤)	100投石	100投石	90
	小礫(米粒大≤)			5
	砂(粒子確認)			5
	景観被度	40	50	50
景観被度	大型海藻	30	40	35
	小型海藻	—	—	—
	無節サンゴモ	—	—	—
	固着動物等	10	5	10
大型海藻被度	ワカメ		+	+
	アカモク	40	50	50

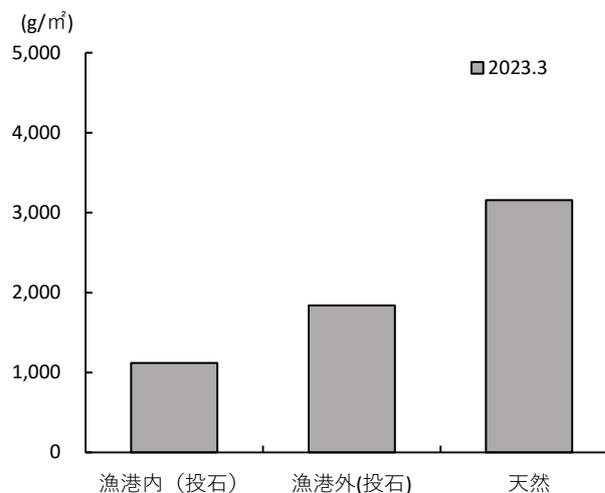


図6 2022年度アカモクの現存量

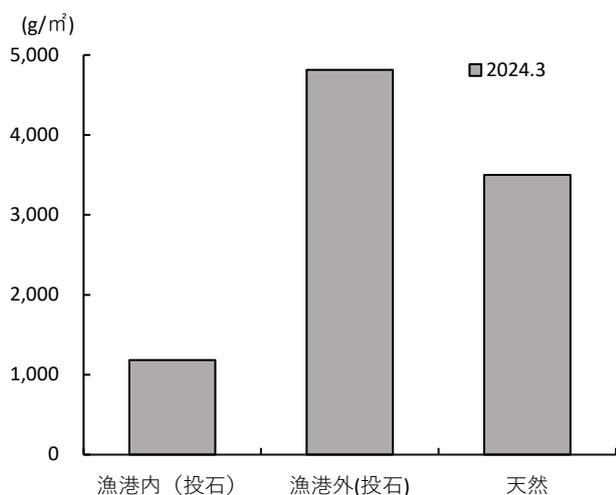


図7 2023年度アカモクの現存量

2. アカモク藻場形成にかかる光条件

(1) 光量子束密度および照度

海面および水深 1m, 2m, 3m, 4m 別の光量子束密度と照度との関係を図8に示した。その結果、両者の関係には強い正の相関が見られた ($R^2=0.66\sim0.99$)。

平均光量子束密度および照度, 相対光量子量, 相対照度について表4に示した。また, 水深別の相対光量子量および相対照度について図9に示した。いずれの値も海面に近いほど高く, 平均光量子束密度は $15\sim442\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 平均照度は $663\sim45,244\text{lx}$ であった。相対光量子量は $5.9\sim18.5\%$, 相対照度は $1.3\sim6.5\%$ であった。

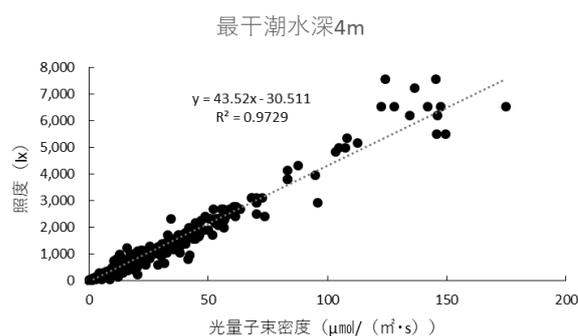
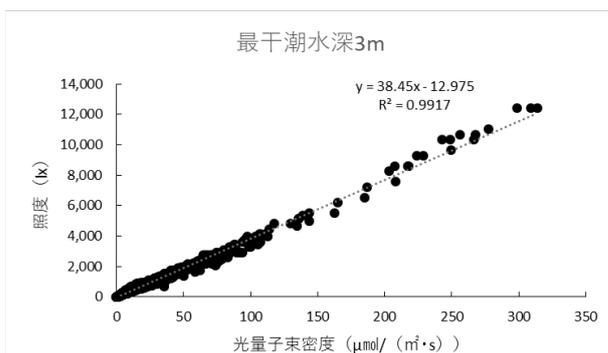
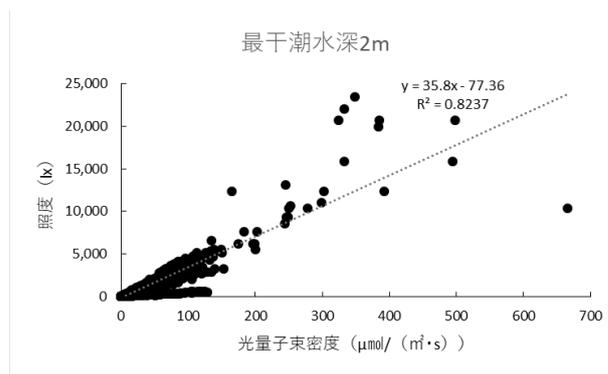


図8 水深別光量子束密度と照度との関係

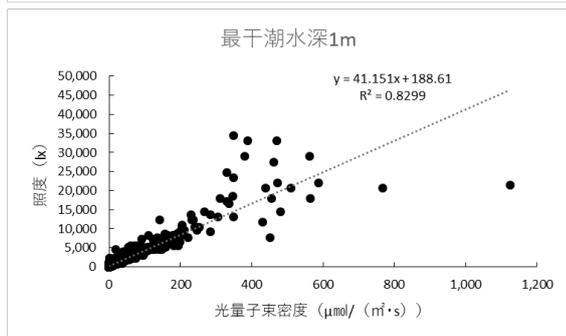
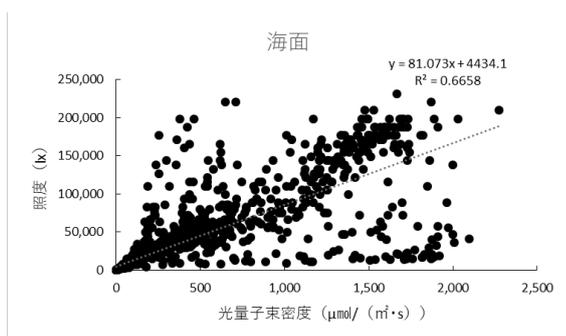


表4 水深別平均光量子束密度と照度

	相対光量子量 (%)	平均光量子束密度 ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)	相対照度 (%)	平均照度 (lx)
海面	100.0%	442	100.0%	45,244
最干潮水深 1 m	18.5%	84	6.5%	3,235
2 m	11.4%	46	2.8%	1,508
3 m	9.1%	33	2.3%	1,203
4 m	5.9%	15	1.3%	663

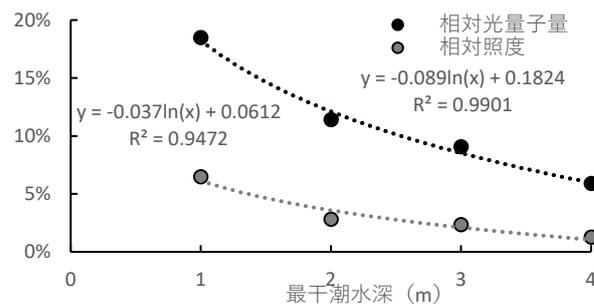


図9 水深別相対光量子量と相対照度

(2) 潜水目視調査

水深 1m および 2m ではアカモクの生長が継続して確認されたが、水深 3m および 4m ではアカモクは 11 月時点で消失していた (図 10, 11)。



図 10 11 月調査時最干潮水深 2m での観察状況



図 11 11 月調査時最干潮水深 3m での観察状況

考 察

伊藤ら⁸⁾によると、浅海域における藻場造成は、生態系全体の底上げの観点から重要であり、藻場造成を効果的に行うための研究・実証を行い、浅海域における生産力の底上げを図る必要があるとの報告がある。今回、投石と母藻投入によりアカモク藻場の造成と維持拡大が可能かを検証したところ、漁港内区および漁港外区ともにアカモク藻場の形成が確認された。しかし、漁港内区では漁港外区や天然区に比べて現存量が少なかったことから、アカモクの増殖に適していない要因があると考えられた。従来から海藻の生育には、水温、照度、波浪、漂砂などが影響すると考えられているが⁹⁻¹¹⁾、今回潜水調査時に、アカモクの生育を確認したところ、漁港外区や天然区では、順調な生育が確認できたが、漁港内区では葉や茎に浮泥の

堆積が見られ、漁港外区や天然区に比べて 2 月、3 月のアカモクの全長が有意に小さかった (2 月 $P < 0.01$, 3 月 $P < 0.05$)。これらのことから、浮泥が堆積したことにより光量不足になり、アカモクの生長が阻害されている可能性が推察された。吉田ら¹²⁾によると、浮泥が幼胚の着生を阻害し、仮に着生できても成長、再生産が阻害されている可能性があるとのことから、今回調査時にも同様の事象が確認されたものと考えられた。また、吉田ら¹²⁾は適度な物理的攪乱のある場所では浮泥が刷新され、アカモクの入植も可能になりうることも報告していることから、今後、豊前海で藻場造成を行うのであれば、流速環境も調べたうえで漁港外の地先で行うのが得策と考えられた。また、筑前海において、アカモク増殖を図る漁場に確実に幼胚を供給するためには、半径 1m を確保する 2m 間隔での母藻投入が有効⁵⁾、豊前海でも、漁港内の新規投石漁場において、2m 間隔および 4m 間隔に 1.2kg の母藻を投入することで十分な増殖効果が得られた⁶⁾との報告がある。今回、母藻投入の密度は、2m 間隔で 1.2kg としており、同様の結果が確認された。

黒川ら⁶⁾によると、豊前海のアカモクは底層における海面直上に対する相対光量子量が 10% を下回る海域ではその分布が確認されず、概ね 10% 以上の水深帯に分布していると報告している。また、京都府で実施されたアカモク養殖試験でも相対光量子量が 10% 以上であれば生育が保障される旨の報告がある¹³⁾。今回の結果でも、相対光量子量が 10% 以上であった水深 2m 以浅では、アカモクの継続した生長が確認されたが、10% 未満であった 3m 以深では、アカモクは消失していた。このことから、豊前海においてアカモク藻場を造成するためには、相対光量子量が 10% 以上であることが条件になると考えられた。また、10% をアカモク藻場造成の指標と考えたとき、水深別の相対光量子量から得られた近似式に代入すると、 $x=2.5$ となり、宇島地先では、最干潮水深 2.5m に閾値があると推察された。ただし、実際にアカモクの継続した生育が確認できたのは、水深 2m であるので、宇島地先で藻場造成する際には、水深 2m を基準とすることが望ましいと考えられた。

また、今回、自然光下において、同時に測定した光量子束密度と照度の関係に強い正の相関があることが明らかになり、今回、算出した相対照度もアカモク藻場造成の指標となり得ると考えられた。水深 2m を基準とすると相対照度は 2.8% であり、相対照度 2.8% 以上も指標として使用できることが示唆された。照度計は光量子計に比べ比較的

安価で入手可能なため、アカモク藻場造成に適正な海域を簡易に判断する際には有効であると考えられた。

本調査において宇島地先では、小型の大栗石（径 150～300mm）でも水深 2m 以浅であればアカモク藻場を造成することが可能であった。寺脇ら¹⁴⁾によると、事業が想定される特定の海域において、光、付着基質、水の動き（波浪、砂の移動など）、藻食動物、基質の競合などの局地的に藻場の分布を制限する要因を把握し、その影響を緩和することが特に重要となるとしている。このことから、宇島地先においては、光条件が制限要因になっていると考えられるため、水深 2m を基準とすると、宇島地先でアカモク藻場造成を目的に投石を実施する場合、水深 1～2m 域では小型の投石、水深 2～3m 域では大型の投石（1t 石以上）、水深 3～4m 域では従来から豊前海で行っている覆砂による嵩上げと大型の投石（1t 石以上）¹⁵⁾等によるアカモクの生育に必要な水深を確保する工法を実施することが望ましい。また、投石だけでなく、藻場礁等の着定基質を設置することも有効と考えられる。

最後に、今回の調査時に投石による効果として、アカモクだけでなくワカメの着生、カサゴやメバルなどの根魚やマナモコの蛸集が確認された。江藤ら¹⁵⁾によると、豊前海浅海域で投石を行えば、新しいナマコ漁場や建網漁場を形成するとともに、幼魚の保育場など豊前海全体の漁業生産に寄与すると報告している。今後、投石によりアカモク藻場の造成をする際には、複数の漁業種と調整しながら漁場を有効活用することが求められると考えられた。

文 献

- 1) 吉田忠生. 新日本海藻誌日本産海藻類総覧 内田老鶴圃, 東京. 1998 ; 367-402.
- 2) 寺脇利信. 海藻類の生活史集成第 2 巻褐藻・紅藻類 (堀輝三編) 内田老鶴圃, 東京. 1993 ; 160-161.
- 3) 池原宏二. 日本海における食用としてのホンダワラとアカモク. 藻類 1987 ; 35(3) : 233-23
- 4) 秋本恒基, 松井繁明, 中本崇, 濱田弘之 アカモク *Sargassum horneri* の増殖試験. 福岡県水産海洋技術センター-研究報告 2010 ; 20 : 67-72.
- 5) 梨木大輔, 後川龍男, 林田宜之, 日高研人. 筑前海におけるアカモク増殖手法に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター-研究報告 2022 ; 32 : 1-6.
- 6) 黒川皓平, 後川龍男, 野副滉, 田中慎也. 豊前海におけるアカモク増殖手法に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター-研究報告 2022 ; 32 : 7-14.
- 7) 古在豊樹. 植物組織培養研究における単位表記. 植物組織培養 1989 ; 6 (1) : 38-41.
- 8) 伊藤靖. 漁場整備・人工魚礁の歩みと現状. 水産工学 2011 ; 48 (2) : 157-160.
- 9) 吉田吾郎, 有馬郷司, 内田卓志. 褐藻アカモクの初期生長に及ぼす日長, 照度, 水温の影響. 南西海区水産研究所研究報告 1995 ; 28 : 21-32.
- 10) 中嶋泰. 藻場造成の適地選定手法について. 水産工学 2005 ; 42 (2) : 159-163.
- 11) 吉田吾郎, 吉川浩二, 新井章吾, 寺脇利信. アカモク群落内に設置した実験基質上の海藻植生. 水産工学 2006 ; 42 (3) : 267-273.
- 12) 吉田吾郎, 寺脇利信, 吉川浩二, 有馬郷司. 広島湾大野瀬戸における秋に成熟するアカモクの初期成長と減耗. 南西海区水産研究所研究報告 1995 ; 28 : 21-32.
- 13) 西垣友和, 山本圭吾, 遠藤光, 竹野功璽. 阿蘇海で養殖されたホンダワラ科褐藻アカモクの生長と生残. 京都府農林水産技術センター-海洋センター-研究報告 2010 ; 32 : 23-27.
- 14) 寺脇利信, 新井章吾川, 川崎保夫. 藻場の分布の制限要因を考慮した造成方法. 水産工学 1995 ; 32 (2) : 145-154.
- 15) 江藤拓也, 上妻智行, 佐藤利幸, 長本篤. 豊前海浅海域における投石による魚介類の蛸集効果. 福岡県水産海洋技術センター-研究報告 2005 ; 15 : 7-11.

福岡県豊前海区の干潟における網袋によるアサリ保護効果

鹿島 祥平・日高 研人・田中 慎也^a・後川 龍男^b・黒川 皓平^b
(豊前海研究所)

福岡県豊前海区において、アサリ増殖のために網袋による採苗と育成の取組みが行われている。育成したアサリは母貝として産卵を行い、干潟には一定規模での稚貝の発生がみられるようになったが、干潟に発生した稚貝は成貝になる前に波浪や食害等によって減耗してしまうため、網袋を用いた保護手法について検討した。その結果、豊前海の干潟では、転石帯に網袋を設置することで、砂泥域に比べ、波浪による逸散と食害が軽減され、アサリが保護されることが示唆された。

キーワード：豊前海，干潟，アサリ，網袋，減耗防止，石原地帯

福岡県豊前海区におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の漁獲量は、ピーク時の1986年には11,377t¹⁾であったが、近年では10t以下^{2,3)}と極めて低水準で推移している。この減少の要因として、過剰な漁獲や⁴⁾、ナルトビエイ等有害生物による食害^{4,5)}、波浪による稚貝の逸散等^{6,7)}が報告されている。

アサリ資源回復のため、全国的には被覆網を使用した食害防止対策や、覆砂、耕耘による底質改善⁸⁾、網袋を用いた天然採苗等が行われている⁹⁻¹⁵⁾。福岡県豊前海区では、被覆網による保護や^{7,16)}、波浪軽減によりアサリ稚貝の減耗防止を図った杭打ち場の造成¹⁶⁾などの取組みが行われてきた。その結果、取組みを行った場所については減耗防止効果が確認されたものの、海区全体における資源の回復までには至っていない。

そのような中、野副らは網袋を用いて、人工稚貝を殻長30mm以上まで保護しながら育成し、産卵にも寄与できる手法を開発し¹⁷⁾、海区全域へ普及を行った。

また、網袋は天然採苗も可能であることが明らかとなり¹⁸⁾、これらの取組みを継続した結果、産卵母貝が増加し、干潟では一定規模の稚貝の発生がみられるようになったが、波浪・食害等によって成貝まで

生残する個体が少ないことが課題となっている。

一方、豊前海区では、干潟の転石帯（以下「石原地帯」）や、設置した網袋周辺においてアサリ生息数が他の干潟域に比べて多いことが、これまでの調査等で経験的に知られている。

そこで、本研究では干潟のアサリの生息状況を底質別に比較し、さらに、石原地帯に生息するアサリを網袋により効果的に保護するため、設置時期や設置方法等の検討を行った。

方 法

試験は、図1に示す豊前海区の代表的な干潟である、行橋市の蓑島干潟および杵尾干潟、吉富町の吉富干潟で実施した。

調査については、30cm×40cm (0.12 m²) で枠取りし、現場で大きめの石を除き、4mm目合いの篩いで砂泥を篩ったサンプルを持ち帰り、研究室でアサリを選別後に個体数計数を行い、m²あたりの密度の算出を行った。なお、2試験区間の比較はU検定を、3試験区以上の比較にはTukey法による多重比較検定を行った。

a現所属：漁業管理課

b現所属：水産振興課

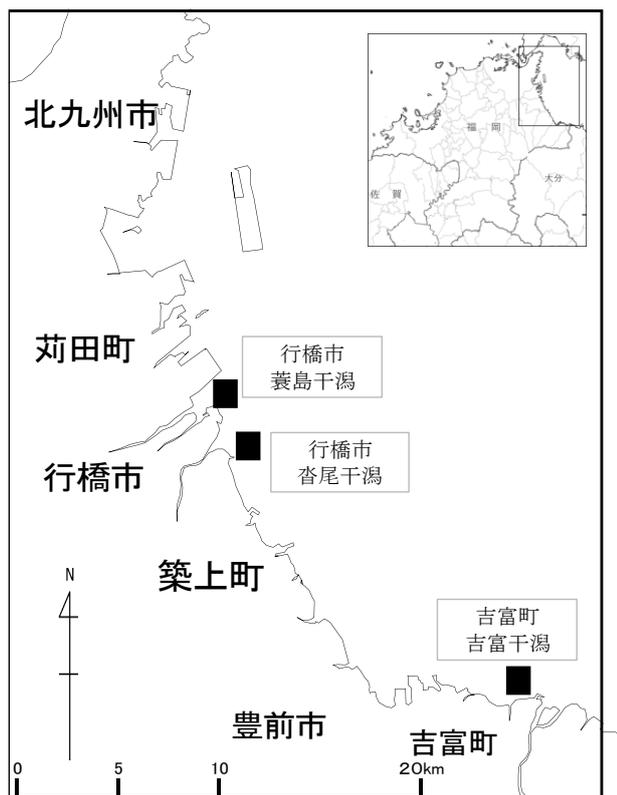


図1 豊前海における干潟位置

1. アサリ生息状況調査

網袋の効果的な設置条件を明らかにするための基礎調査として、既存の網袋の直下におけるアサリの生息状況と、吉富干潟の石原地帯における試験地選定のためのアサリの生息状況の調査を行った。

(1) 網袋直下の生息状況調査

2023年3月に、漁業者が毎年網袋を設置している3つの干潟において、アサリの生息状況を網袋直下および対照区の周辺地盤で行った。それぞれの干潟底質の特徴は、葦島干潟が砂泥主体、吉富干潟が石原主体、杵尾干潟が、砂泥と石原が混じり合った前2地点の間のような状況であった。サンプリングは網袋直下、対照区とも5箇所ずつ採取により行った。

(2) 吉富干潟石原地帯のアサリ生息状況調査

豊前海で石原地帯を最も広く有する吉富干潟において、干潟各所に存在する石原地帯における詳細なアサリ生息密度を調査するため、2024年4月に、図2に示す吉富干潟のStn. 1~3の3点の石原地帯において、採取りを3回ずつ行った。

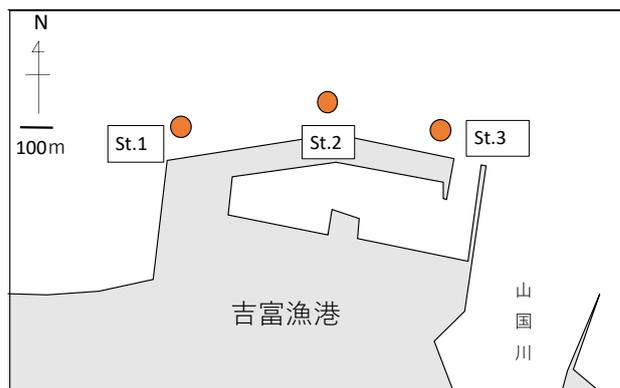


図2 石原地帯のアサリ生息密度調査実施場所

2. 減耗防止試験

干潟に生息するアサリの保護を目的として、網袋の効果的な設置時期や設置方法を検討するため、以下の試験を行った。

(1) 夏季試験

波浪による逸散及び夏季に来遊するナルトビエイ等の食害生物からの保護効果を明らかにするため、2023年6月5日に、図3に示す吉富干潟東側の石原地帯に試験区を設定し、9月14日まで毎月追跡調査を行った。試験には、前年秋に漁場に設置された網袋から6月5日に採集したアサリを用いた。これらを5m×5mの範囲に放流し（平均殻長14.0mm、約3,600個体、平均密度142.7個/m²）、その直上に砂利5kgを入れた4mm目合いのラッセル網袋を設置した。

網袋の設置方法は、設置密度による保護効果の差を比較するため、いずれも5m×2.5mの範囲に、120個を隙間なく設置した区画（以下、「間隔なし区」と）、60個を約30cm（網袋約1個分）の間隔を空けて設置した区画（以下、「間隔あり区」）の2パターンとした。

対照区は、試験区から約2m離れた同地盤高に設定し、試験区と同じく前年秋に設置された網袋から6月5日に採集したアサリを用い、5m×5mの範囲に放流した（平均殻長17.9mm、約7,500個体、平均密度298.7個/m²）。なお、供試したアサリについては試験区と対照区それぞれ別々の網袋から採取したものをを用いたため、試験区と対照区で殻長及び密度に差が生じる結果となった。

サンプリングは、設置1ヶ月後、2ヶ月後及び3ヶ月後に採取りを各試験区、対照区それぞれ3箇所ずつ実施し、個体数を計数して平均残留率を算出した。

(2) 冬季試験

波浪による逸散からの保護効果を明らかにするため、2023年10月30日に、図3に示す吉富干潟中央の石原地帯に試験区を設定し、1月31日まで追跡調査を行った。試験区については、後述する夏季試験の結果を受け、

河川からの淡水の影響を受けにくい、夏季試験実施場所よりも山国川河口から離れた場所に設定した。

試験には、前年秋に設置された網袋から10月30日に採集したアサリを用いた。これらを夏季試験と同様に5m×5mの範囲に放流し(平均殻長21.5mm, 約2,800個体, 平均密度114.6個/m²)、その直上に砂利5kgを入れた4mm目合いのラッセル網袋250個を設置した。設置方法は、後述する夏季試験の結果を受けて間隔なし区のみとした。対照区は、試験区から約2m離れた同地盤高に設定し、試験区と同じ殻長及び密度でアサリを放流した。サンプリングは、設置2週間後、1ヶ月後、2ヶ月後及び3ヶ月後に枠取りを試験区、対照区それぞれ3箇所ずつ実施し、個体数を計数して平均残留率を算出した。

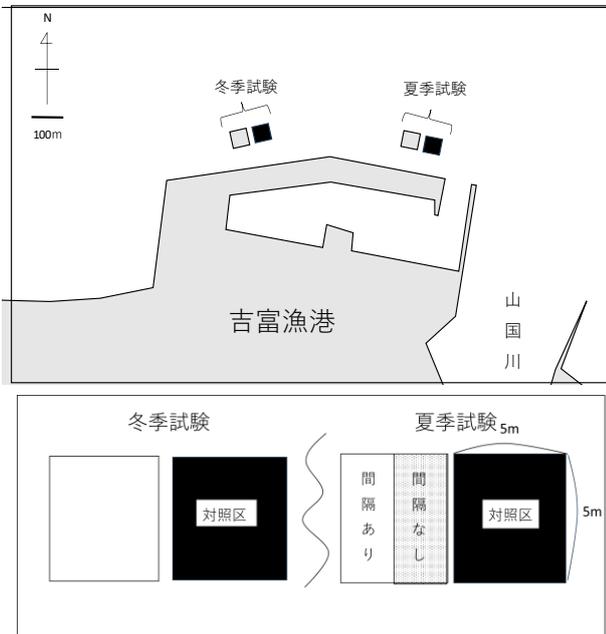


図3 減耗防止試験実施場所

結果

1. アサリ生息状況調査

(1) 網袋直下の生息状況調査

網袋直下及び対照区のアサリの平均生息密度を図4に示した。3つの干潟全てにおいて、アサリの平均生息密度は対照区と比較して網袋直下の方が有意に高い結果($p < 0.05$)となった。蓑島干潟では、対照区の8.3個/m²に対し、網袋直下では12.5個/m²と対照区の1.51倍、杵尾干潟では対照区の1.7個/m²に対し、網袋直下は20.8個/m²と対照区の12.2倍、吉富干潟では対照区の0.8個/m²に対し、網袋直下で8.3個/m²と対照区の10.4倍であった。

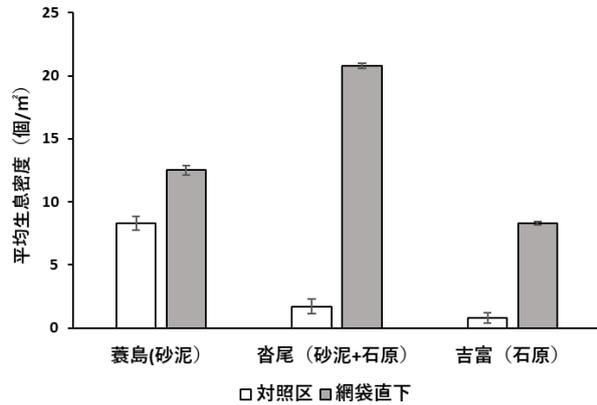


図4 干潟別網袋直下のアサリ平均生息密度

(2) 吉富干潟石原地帯のアサリ生息状況調査

吉富干潟の石原地帯におけるアサリの平均生息密度の結果を図5に示した。Stn.1は87.5個/m²、Stn.2は58.3個/m²、Stn.3は287.5個/m²であり、いずれの地点でも生息が確認された。

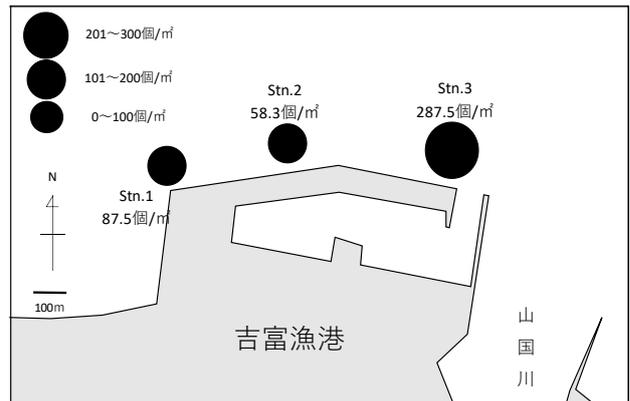


図5 吉富干潟の石原地帯におけるアサリの平均生息密度

2. 減耗防止試験

(1) 夏季試験

夏季試験における平均残留率の推移を図6に示した。平均残留率は、対照区で試験開始1ヶ月後に25%まで急激に低下し、2ヶ月後で17.4%、3ヶ月後で12.7%と低水準で推移した。間隔あり区は、試験開始1ヶ月後で57.0%、2ヶ月後で35.0%と対照区よりも高い値を示したが、3ヶ月後では11%と、対照区とほぼ同じ値まで低下した。一方、間隔なし区では、試験開始1ヶ月後で60%、2ヶ月後で50%、3ヶ月後で22%であり、試験の期間を通じて対照区及び間隔あり区よりも高い値を示した。なお、Tukey検定では両試験区と対照区の間には有意差は確認されなかったが、9月を除いていずれの試験区とも対照区より高い値を示した。

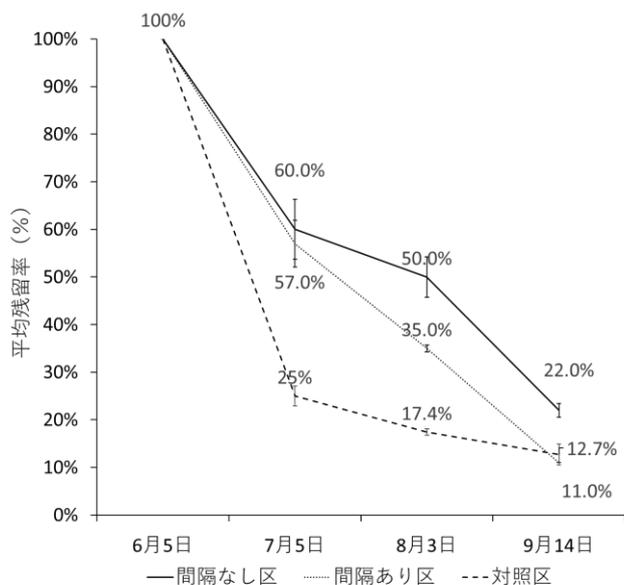


図6 夏季試験における平均残留率の推移

(2) 冬季試験

冬季試験における平均残留率の推移を図7に示した。なお、試験開始3ヶ月後には、波浪による施設の破損がみられたことから、試験開始2ヶ月後までの結果について記載した。

平均残留率は、対照区で試験開始2週間後に11%にまで急激に低下し、1ヶ月後で3.6%、2ヶ月後で7.2%と低水準で推移した。一方、試験区は試験開始2週間後で53%、1ヶ月後で18%、2ヶ月後で34%と、対照区よりも高い値を維持した。Tukey検定では、2ヶ月後の対照区と試験区間に有意差が確認された($p < 0.05$)

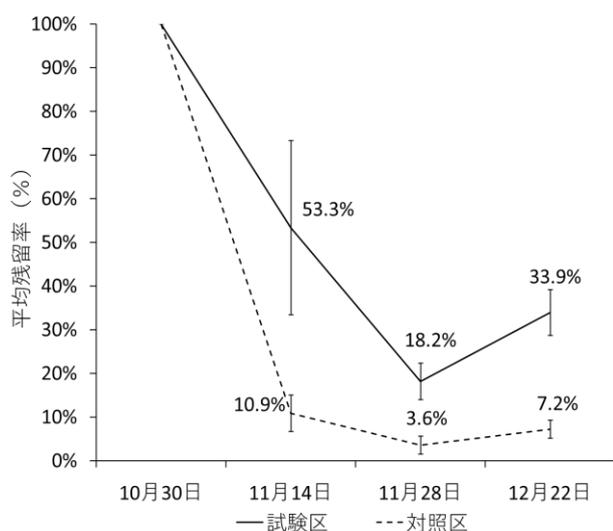


図7 冬季試験における平均残留率の推移

考 察

福岡県豊前海区では、これまでアサリの資源回復のための取り組みとして杭打ちや投石、被覆網等の対策が講じられ、一定の成果を上げてきた。しかし、豊前海区は北、東方向に開けた海域であるため波浪の影響を大きく受けやすく、いずれの取り組みも波浪による逸散や食害対策が課題となっている^{6, 7, 19)}。そこで本研究では、これまで天然採苗や稚貝の保護を目的として豊前海区の干潟に約6万袋設置されてきた網袋を、被覆網の代替手段として応用し、直下地盤のアサリを波浪や食害から保護できないか検討した。

まず、網袋の効果的な設置条件を明らかにするため、既存の網袋直下におけるアサリ生息密度を、底質の違う豊前海の主要3干潟において調べた結果、いずれの干潟においても網袋直下で対照区よりアサリの生息数が有意に多く、網袋の被覆効果が確認された。特に、主要3干潟の中でも、石原混じりもしくは石原地帯である沓尾干潟と吉富干潟において、それぞれ対照区の12.2倍、10.4倍と高い生息密度であり、砂泥干潟に比べ石原地帯の方が網袋の被覆効果が高いことが明らかとなった。

この理由としては、砂泥地帯は波浪や潮流により底砂が移動しやすく底質が安定しないため稚貝や成貝が逸散してしまうこと、魚類等の食害の影響を受けやすいことが考えられた。一方で、石原地帯は砂泥に大小様々な石が混じることで、底質が安定しやすく、さらに大型魚類が摂餌しにくいことから食害の影響も小さくなることが知られている²⁰⁾。また、木籾²¹⁾は砂地と転石帯の地盤に人工種苗を放流後に被覆網を敷設したところ、残留率は砂地で7ヶ月後に0%となったが、転石帯では1年後に47.6%を維持し、試験開始時10.5mmであった平均殻長が31.5mmまで成長しており、生残、成長ともに転石帯への被覆網設置が有効であることを報告している。

そこで今回、豊前海で石原地帯を最も広く有する吉富干潟において、網袋が被覆網の代替として効果が見込めるか試験を行った。試験地選定のために実施したアサリ生息密度調査では、調査地点3ヶ所中で最も生息密度が高かった、山国川河口に近いStn.3を減耗防止試験の適地として選定した。

続いて実施した減耗防止試験では、夏季試験の結果、対照区よりも試験区で概ね平均残留率が高い傾向がみられた。特に、6月から7月にかけて、対照区では25%まで急激に減少し、この間、強い波浪が発生するような荒天はみられず、赤潮の発生や極端な環境変動もみられて

いないことから、ナルトビエイ等による食害の可能性が考えられた。一方、試験区では約60%と高い水準で維持されたことから、網袋による被覆によって食害を軽減できた可能性が示唆された。また、設置方法については、間隔なし区の方が試験期間中を通して平均残留率が高く、間隔あり区よりも保護効果が高いことが明らかになった。

しかしながら、いずれの試験区も最終的な平均残留率は20%前後まで低下する結果となった。その原因としては、試験期間中の7月10日に、大分県中津市の観測点で1日合計降水量が180.0mm²³⁾の降雨があり、山国川からの河川水の流入によって海水が低塩分化したため、生残率が低下したことが考えられた。海水の低塩分化がアサリに及ぼす影響としては、塩分20psuの海水にアサリを72時間曝露すると、曝露中の生残率は99%であるが、曝露31日経過後には45%まで低下することが報告されている²²⁾。豊前海研究所で原則毎日観測を行っている宇島漁港（豊前市）における表層塩分は、7月10日から13日までの4日間20psu以下に低下した（図8）。今回試験を行った吉富干潟は宇島漁港と山国川河口の間に位置しているため、より強く河川水の影響を受けたと考えられ、8月及び9月の平均残留率低下につながった可能性がある。

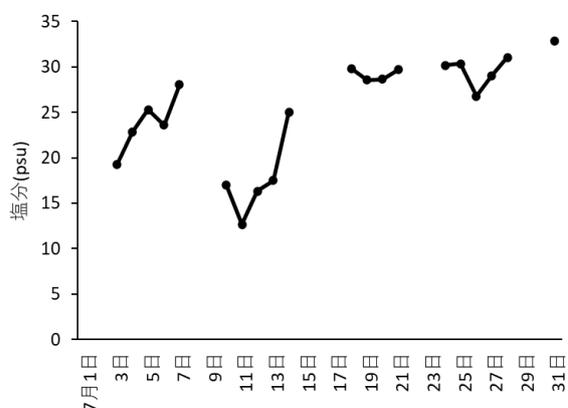


図8 2023年7月の宇島漁港における塩分

そこで、冬季試験は、河川水の影響を抑えるため、Stn.3から西へ約400m離れたStn.2付近で実施した。冬季試験では、設置2ヶ月後までの期間において、平均残留率は対照区に比べ試験区で高い傾向を示し、さらに設置2ヶ月後には、対照区に比べ試験区で有意に高い結果となった。このことから、冬季の主な減耗要因である波浪による逸散を、網袋による被覆で緩和でき、アサリの保護が一定程度可能であることが明らかになった。このことは、網袋の設置がこれまで知られているアサリの採苗及び育成効果に加え、被覆網の代替として干潟域の地盤

に天然発生したアサリを保護し、減耗を防ぐ手立てとして有効であることを示唆している。

また、網袋は、埋没や底質の悪化を防ぐために定期的な掘り起し等のメンテナンスを行う必要があり大きな労力が掛かるが、石原地帯では砂泥干潟に比べて埋没しにくく、作業性の面からも石原地帯への設置が効果的であると考えられる。冬季試験においては施設の破損がみられたものの、網袋の設置数を増やし、規模を大きくすることで、波浪の影響は緩和できると考えられた。

一方で、夏季及び冬季試験のいずれも、試験期間中にアサリ密度は徐々に減少し、新たな稚貝の加入による密度の増加はみられなかった。今後は、稚貝の新規加入の時期や条件も加味した網袋の設置時期等の検討を行い、より効果的な保護方法について検討したい。

文 献

- 1) 第 34 次福岡農林水産統計年報（水産編）．九州農政局福岡統計情報事務所，福岡．1987；262 - 263.
- 2) 第 69 次九州農林水産統計年報（水産の部）魚種別漁獲量（属人）．九州農政局統計部，熊本．2023
- 3) 第 70 次九州農林水産統計年報（水産の部）魚種別漁獲量（属人）．九州農政局統計部，熊本．2024
- 4) 松川康夫，張 成年，片山知史，神尾光一郎．我が国のアサリ漁獲量激減の要因について．日本水産学会誌 2008；74（2）：137 - 143.
- 5) 重田利拓，薄 浩則．魚類によるアサリ食害．水産技術 2012；5（1）：1 - 19
- 6) 長本篤，上妻智行，中川 清，佐藤利幸，江崎恭志．吉富地先における秋季のアサリ放流適地の選定．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2004；14：113 - 118.
- 7) 長本篤，上妻智行，江藤拓也，佐藤利幸．冬季におけるアサリの減耗要因と減耗防止効果．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2005；15：61 - 64.
- 8) 青木伸一ら．改善のための具体的対策手法．「干潟生産力改善のためのガイドライン」．水産庁，東京．2008.
- 9) 長谷川夏樹，日向野純也，井上誠章，藤岡義三，小林節夫，今井芳多賀，山口 恵．アサリ増殖基質としてのカキ殻加工固形物「ケアシエル」の利用．水産技術 2012；5（1）：97 - 105.
- 10) 国分秀樹，水野知己，羽生和弘．アサリ資源再生漁場モデル構築事業．平成 24 年度三重県水産研究所事業報告 2014；89 - 90.
- 11) 水野知己，日向野純也，藤岡義三，長谷川夏樹，石樋由香，浅尾大輔，光永吉久，山口 恵，南 勝人，森田和秀．地域特産化をめざした二枚貝垂下養殖システムの開発．平成 25 年度三重県水産研究所事業報告 2014；76 - 78.
- 12) 秋元清治，石井 洋．横須賀市走水海岸潮間帯におけるアサリの天然採苗試験．神奈川県水産技術センター研究報告 2014；7：9 - 15.
- 13) 内川純一，高日新也，栢原正久，川崎信司．有明海再生調査・技術開発事業 I（アサリ天然種苗採苗試験）．平成 25 年度熊本県水産研究センター事業報告書 2015；247 - 249.
- 14) 鳥羽光晴，小林 豊，石井 亮，林 俊裕，岡本隆．東京湾盤洲干潟において網袋と人工芝による 3 種の二枚貝稚貝の捕集速度に影響を与える要因．日本水産学会 2016；82（6）：899 - 910.
- 15) 長本 篤，的場達人，篠原直哉．有明海福岡県地先における砂利袋を用いたアサリ天然採苗の埋没対策とその効果．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2017；27：1 - 8.
- 16) 伊藤龍星，小川 浩．ネット被覆によるアサリ人工種苗の育成試験．大分県海洋水産研究センター調査研究報告 1999；2：23 - 30
- 17) 野副滉，大形拓路，俵積田貴彦，恵崎撰，黒川皓平．福岡県豊前海における網袋を用いたアサリの育成．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2019；29：9 - 15.
- 18) 野副滉，田中慎也，黒川皓平，後川龍男．海づくり退会を契機とした資源づくり事業（1）天然採苗によるアサリ資源回復の加速化．福岡県水産海洋技術センター事業報告 2020；301-303.
- 19) 中川浩一，長本 篤，江藤拓也，佐藤利幸．吉富干潟における杭打ち・投石によるアサリ稚貝減耗防止効果．福岡県水産海洋技術センター研究報告 2007；17：51 - 59.
- 20) 兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター水産増殖部．アサリが育つのは石混じりの干潟．兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター平成 25 年度研究成果・資料．<https://www.hyogo-suigi.jp/seika/>．2025 年 1 月 17 日閲覧
- 21) 木藪仁和．大分県海洋水産研究センター浅海研究所事業報告．1997～2000.
- 22) 松田正彦，平野慶二．アサリの低塩分曝露後の影響について．長崎県水産試験場研究報告 2019；44：
- 23) 国土交通省気象庁．過去の気象データ検索．<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view>

/daily_a1.php, 2023年10月17日閲覧

- 24) 水産庁. 有明海漁場造成技術開発事業「二枚貝漁場環境改善技術導入のためのガイドライン」. 2013;1-220

筑前海におけるアカモク養殖手法に関する研究

大形 拓路・梨木 大輔^a・坂田 匠
(水産海洋技術センター)

福岡県筑前海では各地先でアカモクの利用加工に取り組んでおり、加工された商品は直売所等で販売されている。磯根資源としてのアカモクの需要が高まる一方で、産地では資源の減少が懸念されている。そのため、母藻投入を基本とした増殖が進められ、アカモクが消失した漁場で群落が再生した事例など、一定の成果が確認されている。しかし、天然資源は年変動が大きいことから、本研究ではアカモクの収穫の安定化を図るために養殖手法の開発について検討した。その結果、糸島市野北地先における種苗の沖出しは、アイゴの食圧が低下する水温が16℃以下に達したら速やかに実施することが望ましく、概ね12月中下旬が適期であると考えられた。また、大型の種苗を選抜して養殖に使用することで、単位面積あたりの生産量が增大することが示された。

キーワード：アカモク、アカモク養殖、食害、種苗生産

アカモク *Sargassum horneri* は北海道東岸を除く日本列島のほか、朝鮮半島から香港まで広く分布する一年生の褐藻である^{1, 2)}。福岡県筑前海では、主に波浪の影響が少ない静穏域にアカモク群落が形成されており、魚介類の産卵場や育成場といった様々な機能を担っている。

アカモクは昔から食用海藻として各地で利用されている^{3, 4)}。本県では2005年頃から漁業者による利用加工が進められ、各地先で加工された商品が、主に直売所やスーパー等で販売されている。また、近年では健康食品や化粧品原料としても利用されている。

このように、アカモクは産業としての重要度が高まっている一方で、藻場の構成藻類でもあり、天然資源を乱獲すると他の水産資源の産卵場や育成場の減少に繋がること懸念される。そこで、梨木ら⁵⁾は母藻投入を基本としたアカモクの増殖手法について研究し、得られた知見については現場に普及を進めてきた。この取組により、アカモクが消失した漁場で群落が再生した事例や、新規に造成された漁場が確認されるなど、一定の成果が現れている。

しかし、天然アカモクの資源量は年変動が大きく⁶⁾、収穫の安定化が課題となっている。そこで、本研究では、梨木ら⁵⁾の増殖手法を基本として、天然資源に依存しないアカモク養殖について検討を行い、若干の知見を得たので報告する。

方 法

1. 種苗沖出し時期の検討

(1) 食害状況調査

1) 食害の有無の把握

アカモク種苗の食害の有無を把握するため、アカモク人工種苗を着生させたコンクリートブロックにタイムラプスカメラ（以下：カメラ）を設置し、食害生物の来遊状況を調査した。

本県筑前海で見られるアカモクは、主に早期成熟群（以下、早期群とする）と晚期成熟群（以下、晚期群）が生育しており、晚期群の方が増殖の成功率が高くなると考えられている^{5, 7)}。そこで、将来的に養殖で生産した母藻の一部は増殖用として使用する可能性を視野に入れ、本研究では晚期群の母藻を用いて種苗生産を行った。母藻は、2020年4月15日に宗像市大島地先で採取後（図1）、濾過海水をかけ流した陸上水槽に収容し、枯死するまで水槽底面に落下した幼胚を複数回採取した。採取した幼胚は、濾過海水を注水した密閉容器に収容し、吉田ら⁸⁾の方法を参考にアルミ箔で遮光して4℃で冷蔵保存した。冷蔵した幼胚は、陸上水槽に収容したコンクリートブロックに7月6日に散布し、12月18日まで飼育した。

アカモク種苗とカメラは、2020年10月22日および28日に糸島市野北地先の水深約2mの海底に設置した（図1）。設置方法については、漁港施設の基礎ブロックに付属していた金属製のリングにロープで固定した。追跡調査とカメラの回収は、前者は10月28日に、後者は11月6日に実施した。追跡調査は、アカモク種苗の食害状況の目視確認を行い、回収したカメラで食害生物の来遊状況を確認した。

^a 現所属：水産振興課

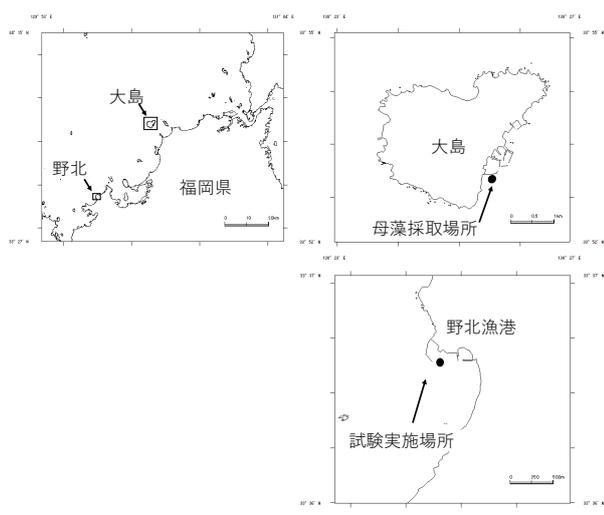


図1 母藻採取場所，試験の実施場所

2) 食害の時期の把握

アカモク種苗の食害の発生時期を把握するため、人工種苗を挟み込んだロープを異なる時期に設置し、追跡調査を行った。種苗は、前述の種苗生産で生産した個体をコンクリートブロックから剥離して使用した。

種苗は直径 5mm のロープに 30cm 間隔で 30 本を挟み込み、2020 年 11 月 6 日、17 日、12 月 2 日、18 日に 1 本ずつ、糸島市野北地先の水深約 2m の海底に設置した(図 1)。設置方法については、漁港施設の基礎ブロックに付属していた金属製のリングにロープで固定した。

追跡調査は、2020 年 11 月 17 日、12 月 2 日、18 日、2021 年 1 月 19 日に実施し、各ロープのアカモク種苗を「異常なし」、「一部に葉有り」、「主枝のみ」の 3 つに区分して計数した。

また、水温ロガー (Onset 社製、UA-002-64) を設置し、1 回/日の頻度で試験期間中の水温を測定した。

(2) 沖出し時期別の種苗の生長調査

アカモク種苗の沖出し適期を検討するため、異なる時期に沖出した人工種苗の生長を比較した。アカモク種苗は、前述した試験と同じ幼胚を使用し、京都府の立体攪拌培養技術⁹⁾により 2020 年 7 月 6 日から 2021 年 1 月 19 日まで飼育した個体を使用した。

種苗は直径 5mm のロープに 30cm 間隔で 60 本を挟み込み、2020 年 12 月 18 日 (以下、12 月設置区とする) 及び 2021 年 1 月 19 日 (同、1 月設置区とする) に 1 本ずつ糸島市野北地先の水深約 2m の海底に設置した (図 1)。設置方法については、漁港施設の基礎ブロックに付属していた金属製のリングにロープで固定した。なお、沖出し時の平均全長は 12 月設置区が 8.3 ± 1.3cm、1 月設置区が 11.4 ± 1.6cm であった。

追跡調査は月に 1~3 回の頻度で 2021 年 4 月 28 日まで

実施した。各区 10 本の種苗の全長を測定し、期間毎の 1 日あたりの生長量 (以下、日間生長量) を、それぞれ以下の式より算出した。

日間生長量 (cm/日) = (測定時の平均全長 - 前回測定時の平均全長) / (測定日 - 前回測定日)

また、同時に生殖器床の有無を確認し、生殖器床が確認された個体の割合を群成熟度とした。

2. 沖出し種苗サイズの検討

種苗生産時に生じるアカモク種苗のサイズの違いが、沖出し後の収穫量に影響するかを検討するため、沖出し時にサイズが異なる人工種苗の生長を比較した。

人工種苗生産に用いた母藻は、2023 年 4 月 13 日に宗像市大島地先で採取した。母藻は濾過海水をかけ流した陸上水槽に収容し、母藻が枯死するまで水槽底面に落下した幼胚を複数回採取した。採取した幼胚は冷蔵保存せず、京都府の立体攪拌培養技術⁹⁾により 2023 年 4 月 13 日から 2023 年 12 月 22 日まで飼育した。

生産した種苗は、2023 年 12 月 22 日に大型個体と小型個体 (以下、それぞれ大型区、小型区とする) を目視によって選別し、各区種苗の 30 本の全長を測定した。なお、沖出し時の平均全長は大型区が 12.3 ± 6.7cm、小型区が 7.3 ± 3.0cm であった。

各区の種苗は、9m × 1.6m のノリ網 2 枚を準備し、0.5 本/節の密度で 250 本をそれぞれ別のノリ網に挟み込んだ。種苗を挟み込んだノリ網は、12 月 22 日に糸島市野北地先の水深約 2m の海底に設置した (図 1)。設置方法については、漁港施設の基礎ブロックに付属していた金属製のリングにロープで固定した。

追跡調査は 2024 年 2 月 16 日、3 月 25 日及び試験終了時の 4 月 9 日に実施し、各試験区ともに 20 本の全長を測定した。また、4 月 9 日には各試験区ともに 20 個体の湿重量を測定した。このほか、種苗の生長のばらつきを評価するため、4 月 9 日の全長と湿重量については平均値と標準偏差から変動係数 (以下、CV) を求めた。

結 果

1. 種苗沖出し時期の検討

(1) 食害状況調査

1) 食害の有無の把握

10 月 22 日に設置した試験区の種苗は、10 月 28 日の追跡調査時に主枝のみとなっていたが (図 2)、カメラの映像では、食害生物の出現は確認されなかった。

10 月 28 日に設置した種苗は、11 月 6 日の追跡調査時に主枝のみや、部分的に葉や気泡が残っている状態で (図 3)、

カメラの映像では、アイゴ *Siganus fuscescens* の来遊が確認された (図 4)。



図 2 10月28日調査時のアカモク種苗 (10月22日設置分)



図 3 11月6日調査時のアカモク種苗 (10月28日設置分)



図 4 10月28日設置分で撮影されたアイゴの蝟集状況

2) 食害の時期の把握

各沖出し日におけるアカモク種苗の食害状況の割合を表 1 に示した。

11月6日沖出し区については、11月17日は「一部に葉あり」の種苗の割合が87%となり、12月2日以降は「主枝のみ」の種苗の割合が79~90%で推移した。なお、「異常なし」の種苗の割合は、11月17日は13%で、12月2日以降の調査時では確認されなかった。11月17日沖出し区については、12月2日は「主枝のみ」の種苗の割合が100%となり、12月18日以降も「主枝のみ」の種苗の割合が80%以上で推移した。12月2日沖出し区については、12月18日及び1月19日の調査時において「主枝のみ」が89%以上であった。一方、12月18日沖出し区については、試験区設置から約1ヶ月後となる1月19日の調査時において「異常なし」が100%であった。

試験期間中における水温の推移を図 5 に示した。水温は試験開始時に 20.5℃であり、その後は次第に低下して終了時には約 13℃であった。アカモク種苗の沖出し日の水温は、11月6日は20.5℃、11月17日は20.7℃、12月2日は18.5℃、12月18日は16.5℃であった。

表 1 各沖出し日の食害割合の推移

沖出し日	食害区分	追跡調査			
		11月17日	12月2日	12月18日	1月19日
11月6日	1	13%	0%	0%	0%
	2	87%	14%	21%	10%
	3	0%	86%	79%	90%
11月17日	1		0%	0%	0%
	2		0%	12%	17%
	3		100%	88%	83%
12月2日	1			0%	0%
	2			11%	10%
	3			89%	90%
12月18日	1				100%
	2				0%
	3				0%

食害区分 1:異常なし, 2:一部に葉あり, 3:主枝のみ

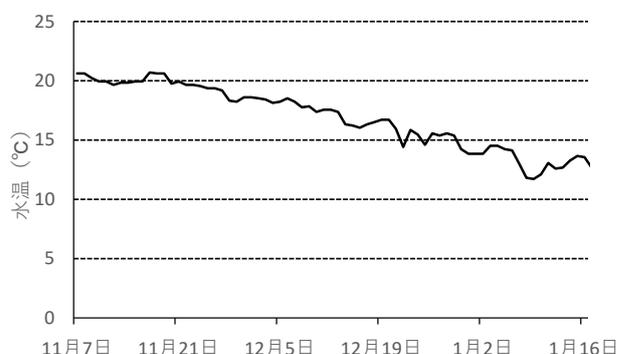


図 5 食害時期の把握試験における水温の推移

(2) 沖出し時期別の種苗の生長調査

各設置区におけるアカモク種苗の平均全長の推移を図6に、日間生長量の推移を図7に、群成熟度の推移を図8に示した。

12月設置区の平均全長は、1月19日には13.2±3.7cmとあまり生長していなかったが、2月26日には77.1±32.6cmと生長を始めた。その後、4月23日には243.0±22.6cmで最大値となった。1月設置区の平均全長は、調査期間を通じて12月設置区よりも低位で推移した。4月23日の平均全長は116.0±28.1cmと、12月設置区の方が有意に大きかった (t -test, $p < 0.05$)。

日間生長量は両試験区ともに徐々に増加した後、ピークを迎え、その後減少した。12月設置区のピークは3月12日の0.17cm/日、1月設置区のピークは3月26日の0.13cm/日であった。群成熟度は12月設置区が3月12日から上昇し、試験開始から98日後である3月26日には100%となった。1月設置区は3月26日から上昇し、試験開始から80日後である4月9日に100%となった。なお、両試

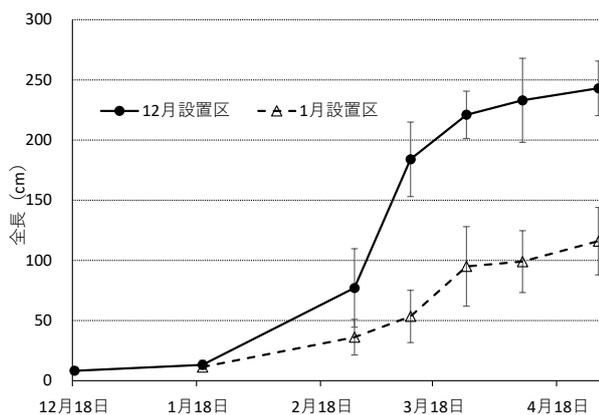


図6 12月設置区および1月設置区の平均全長の推移

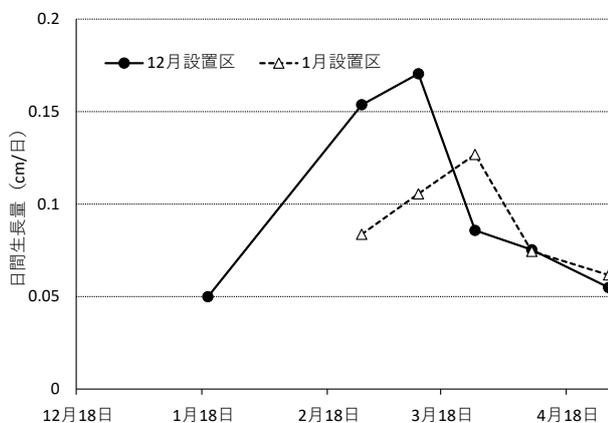


図7 12月設置区および1月設置区の日間生長量の推移

験区ともに食害は確認されなかった。

2. 沖出し種苗サイズの検討

各設置区におけるアカモク種苗の平均全長の推移を図9に、試験終了時の平均湿重量を図10に示した。

大型区の平均全長は、2月16日には36.7±9.8cm、3月25日には159.5±40.8cm、4月9日には209.5±31.5cmであった。小型区の平均全長は、2月16日には18.4±7.4cm、3月25日には88.5±28.0cm、4月9日には152.3±50.7cmであり、調査期間を通じて大型区よりも低位で推移した。試験終了時における平均全長は、大型区の方が小型区よりも有意に大きく (t -test, $p < 0.05$), CVは大型区が0.15, 小型区が0.33と、大型区の方が小型区よりも小さかった。

試験終了時における平均湿重量は、大型区が278.2±136.6g/本、小型区が207.0±117.8g/本であり、平均全長と同様に大型区が小型区よりも有意に重く (U -test, $p < 0.05$), CVは大型区が0.49, 小型区が0.57と、大型区の方が小型区よりも小さかった。

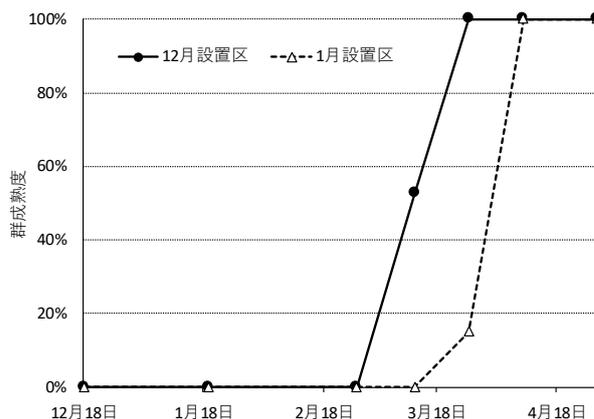


図8 12月設置区および1月設置区の群成熟度の推移

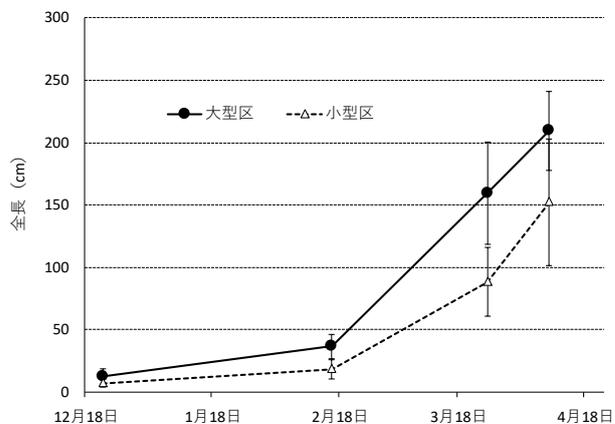


図9 大型区および小型区の平均全長の推移

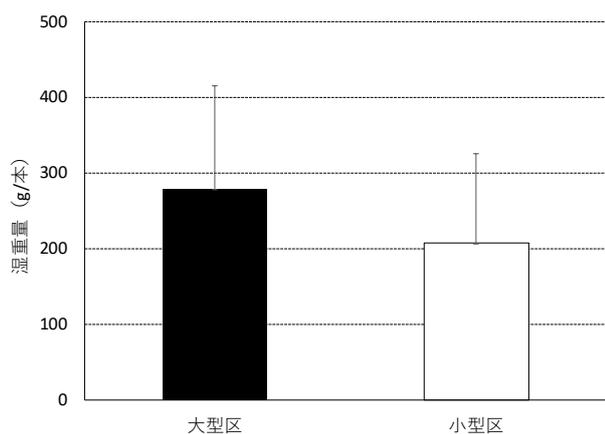


図 10 試験終了時における大型区および小型区の湿重量

考 察

筑前海における海藻類の食害生物は、主にガンガゼ類やムラサキウニ等のウニ類であるが¹⁰⁾、現場海域での試験では、植食性魚類による食害が確認されている¹¹⁾。

種苗の沖出し時期の検討試験のうち、食害の有無を把握するために設置したカメラにはアイゴの蛸集が確認され、設置したアカモク種苗はほとんどが食害を受けていた。本研究でのアカモク種苗の現場海域への設置方法については、過去の報告^{5, 6)}を参考に、はえ縄式または中層網方式で行った。施設は両方式ともに海底面から浮上していたことから、ガンガゼ類やウニ類は物理的にアカモク種苗に到達できず、これらは捕食できなかったと考えられる。食害の時期を把握するために行った試験については、設置時の水温が 16℃台に下降した 12 月 18 日沖出し区を除き、試験開始直後からすべての試験区で食害を受けていた。川俣、長谷川¹²⁾が行った昇降温条件下でのアイゴの摂食実験の結果では、降温時にアイゴが摂食停止状態となるのは 16℃と報告しており、今回の試験で食害が確認されなくなった沖出し時の水温と概ね一致する。これらのことから、今回の試験における食害種はアイゴであると推察される。

アカモクの生活ステージは、幼胚が発芽し、成長が緩やかな初期成長期、茎が急激に伸びる伸長期、生殖器床を形成する成熟期の 3 段階に分類され¹³⁾、成熟期に移行後は、成長は停滞すると報告されている^{13, 14)}。沖出し時期別の生長調査では、12 月設置区が 1 月設置区よりも良好な生長を示した。日間生長量は両試験区ともに 3 月に最大値となったが、このタイミングで群成熟度が 100%となった。また、12 月試験区と 1 月試験区の設置日には 32 日の日数差があったのに対し、日間生長量の最大値及び群成熟度が 100%となった日数差は 14 日と短縮していた。梨木ら⁵⁾は、アカモクの成熟時期は生育環境の影響を受けず、遺伝的特

性として固定していると示唆している。今回の結果を踏まえると、室内飼育から現場海域への沖出しによる環境変化により若干のずれはあるが、沖出し時期にかかわらず成熟期は固定されているものと推察される。つまりは、伸長期に現場海域で長期間育成させることが、その後のアカモク生産量の増大に繋がると考えられる。以上のことから、今回試験を行った野北地先における種苗の沖出しは、アイゴの食圧が低下する水温 16℃以下で、なるべく早期に沖出しすることが生産量の増加に繋がりが、概ね 12 月中下旬が適期であろう。また、種苗生産の観点からは、早めに沖出しすることで生産コストを低減することが可能となる。なお、本県筑前海沿岸のうち、食害種や水温の上下変動が野北地先と概ね一致する地先であれば、沖出し適期は同時期になると推察される。ただし、アカモクの生育は水温の他に、光環境⁵⁾や塩分¹⁵⁾等の多様な要因が影響するため、他の地先への展開にあたっては事前調査が必要となるであろう。

瀬田、倉島¹⁴⁾は、種苗生産時に生じるサイズの違いがアカモクの成長に及ぼす影響を大型平面水槽で試験したところ、種苗生産時に大型化した種苗ほど成長のばらつきが少なく、最終的に茎長も長くなる優良な種苗であると報告している。また、ワカメ *Undaria pinnatifida* の養殖においても垂下時の種苗のサイズが大きいほどその後の成長が良好であることが報告されている¹⁶⁾。沖出し種苗サイズの検討試験においては、前述の報告と同様の結果を示しており、養殖種苗は大型個体を選抜して使用することで単位面積あたりの生産量が增大すると考えられる。

今回は既存のアカモク増殖技術を応用し、本県筑前海における養殖手法の検討として、沖出し適期や沖出し種苗サイズの一定の知見を得ることができた。今後、アカモク養殖の実用化に向けては最適な設置方法や適性密度等の検討を行い、費用対効果が最も高い手法の確立を進めることが必要であろう。また、本研究の成果は母藻投入による増殖手法に応用することで、より効果的なアカモク群落造成に向けた取組につながることを期待される。

文 献

- 1) 吉田忠生. 新日本海藻誌日本産海藻類総覧 内田老鶴圃, 東京. 1998 ; 367-402.
- 2) 寺脇利信. 海藻類の生活史集成第 2 巻褐藻・紅藻類(堀輝三編) 内田老鶴圃, 東京. 1993 ; 160-161.
- 3) 池原宏二. 日本海における食用としてのホンダワラとアカモク. 藻類 1987 ; 35(3) : 233-235
- 4) 西垣友和, 篠原義昭, 道家章生. アカモク養殖における種苗沖出し水深, 時期および固定間隔の成長, 生残

- および生産量への影響. 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告 2016 ; 38 : 7-12 .
- 5) 梨木大輔, 後川龍男, 林田宜之, 日高研人. 筑前海におけるアカモク増殖手法に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2022 ; 32 : 1-6.
- 6) 秋本恒基, 松井繁明, 中本崇, 濱田弘之. アカモク *Sargassum horneri* の増殖試験. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2010 ; 20 : 67-72.
- 7) 秋本恒基, 後川龍男, 深川敦平. 宗像市大島地先のアカモクにおけるアカモクの生長と成熟. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; 19 : 103-107.
- 8) 吉田吾郎, 吉川浩二, 寺脇利信. 低温保存したアカモク幼胚の発芽率と成長. 日本水産学会誌 2000 ; 66 (4) : 739-740.
- 9) 京都府農林水産技術センター海洋センター. 季報第109号海藻アカモクの養殖技術 2016 ; 7-8.
- 10) 日高研人, 森慎也, 梨木大輔, 後川龍男, 内藤剛. 筑前海における藻場の現状および藻場造成に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2016 ; 26 : 47-55.
- 11) 森慎也, 日高研人, 後川龍男. 新たな海藻の採苗基質の検討. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2017 ; 27 : 19-26.
- 12) 川俣茂, 長谷川雅俊. アイゴによるアラメ・カジメ摂食に及ぼす波浪と水温の影響. 水産工学 2006 ; 43 (1) : 69-79.
- 13) 吉田吾郎, 吉川浩二, 内村真之, 寺脇利信. 一年生ホンダワラ類アカモク冷蔵種苗の成長と成熟. 藻類 2001 ; 49 : 177-184.
- 14) 瀬田智文, 倉島彰. 種苗生産時に生じるサイズの違いが養殖アカモクの成長に及ぼす影響. 藻類 2022 ; 70 : 191-198.
- 15) 西垣友和, 山本圭吾, 遠藤光, 竹野攻璽. 阿蘇海で養殖されたホンダワラ科褐藻アカモクの生長と生残. 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告 2010 ; 32 : 23-27 .
- 16) 四井敏雄. 有明海におけるワカメ種苗の垂下時期と成長について. 水産増殖 1967 ; 15 (3) : 47-53.

貧海藻域から採取される短期養殖に適したムラサキウニの選定条件

坂田 匠・梨木 大輔^a・神田 雄輝^a・佐野 満汰
(水産海洋技術センター)

福岡県筑前海区では、藻場の局所的な衰退が各地先で確認されており、漁業者は藻場の保全のため、植食性動物であるムラサキウニの除去に精力的に取り組んでいる。近年、県では除去されるムラサキウニの短期養殖を推進するため、各地で試験養殖に取り組んでいる。そこで本研究では短期養殖に適したムラサキウニの殻径及び採集場所の選定条件について、生殖腺の重量及び色調の回復の観点から検討を行った。その結果、ムラサキウニの殻径については、45 mm以上 55 mm未満が、採集場所については、藻場が局所的に衰退した地先の中でも、春季に比較的多く海藻種がみられ、現存量の多い地先から採集した個体が短期養殖に適していることが示された。

キーワード：藻場、ムラサキウニ、短期養殖、殻径、採集場所、生殖腺、色調

近年、福岡県筑前海区では、藻場の局所的な衰退が各地先で確認されており、その一因としてムラサキウニ *Anthocidaris crassispina* (以降、ウニと表記する) をはじめとした植食性動物による食害が挙げられている¹⁾。ウニ類は飢餓耐性があり、一時的に藻場が衰退した漁場(以降、貧海藻域と表記する)にも高密度で分布するが、それらは可食部である生殖腺が小さく、商品的価値がない。そのため、漁獲対象とならず、更にウニ類が増加して藻場の衰退が拡大していくという負の連鎖を招いている。

その対策として、現在、漁業者は、漁場保全のためにウニ類の除去に積極的に取り組んでいる。一方、可食部となる生殖腺が大きく、色調の良いウニは高級食材として商品的価値が高く、優良なウニ漁場では、小型個体の獲り控えなどの資源管理を行っている地先もある。このことから、生殖腺が小さく商品の価値の低いウニは給餌することで、生殖腺を増大できれば、商品としての利用が可能となる。そのため、県では筑前海の各地先において、貧海藻域で除去されたウニを短期養殖し、生殖腺の量や色調を回復させ、商品的価値を高めるための技術開発に取り組んでいる²⁾。ところが、短期養殖したウニは殻径や採集場所により、生殖腺の量や色調の回復にばらつきがみられている。

そこで本研究では、貧海藻域に生息するウニの特性を把握し、短期養殖に適したウニの選定条件として、殻径及び採集場所について、若干の知見を得たので報告する。

方 法

1. 貧海藻域のウニ生息状況調査

貧海藻域に生息するウニの特性を把握するため、図1に

示した遠賀郡岡垣町波津地先(以降、波津地先と表記する)及び糸島市福吉地先(以降、福吉地先と表記する)羽島において、スクーバ潜水により調査を行った。

2021年11月15日に波津地先において、1m×1mの枠を海底に15地点ランダムに設置し、その中に出現したウニを目視で可能な限りすべて採集した。採集したウニは殻径及び年齢を測定し、1m²あたりの分布密度や殻径組成、成長曲線を算出した。また、2021年12月16日に福吉地先羽島においても同様の調査を行った。なお、成長曲線を算出するにあたり、枠取りのみでは小型個体と大型個体が不足したため、同日に追加でそれらの個体を採集し、使用した。

年齢査定は、渡邊、田中³⁾の手法に準じ、口器中間骨を年齢形質とした。取り出した中間骨5本の内3本について、540℃で1~10分ほど加熱処理を行い、上生骨側の表面を軽く研磨した後、現れた輪紋の白色帯から暗色帯へ移行する境界部を計数した。3本の中間骨から得られた計数値の内、最も大きな値を年齢とした。なお、白色帯のみ(計数値0)の場合は、0.5歳とした。また、成長曲線は、各個体の年齢(t:年)と殻径(L:mm)を用い、年齢-殻径関係の von Bertalanffy 成長式を統計解析ソフト“R”(https://www.R-project.org/, ver.4.3.0)の nls 関数を用い非線形最小二乗法でパラメータを推定し、作成した。

年齢-殻径関係の von Bertalanffy 成長式

$$L = L_{\infty} (1 - \exp(-K(t - t_0)))$$

a 現所属：水産振興課

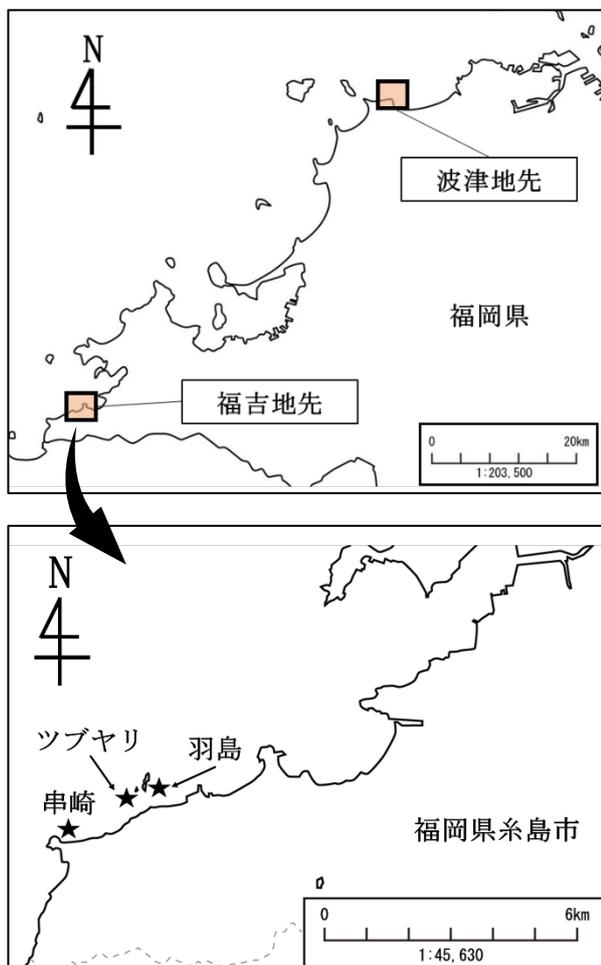


図1 試験の実施場所

2. 短期養殖に適したウニの検討

(1) 殻径別育成試験

短期養殖に適したウニの殻径を選定するため、殻径別にウニを陸上水槽にて育成し、2か月後の身質を比較した。また、育成したウニの身質を評価するために、波津地先の優良なウニ漁場から採集したウニの身質も測定し、比較対象とした。

育成試験に供したウニは、2021年12月16日に福吉地先羽島よりスクーバ潜水により採集した。採集したウニを殻径35mm以上45mm未満(以下、小型区)、45mm以上55mm未満(以下、中型区)、55mm以上(以下、大型区)の3つの試験区に分け、5mm目ネトロンネット製のカゴ(長さ×幅×深さ=1.0×0.5×0.5m、有効水深0.4m)に、それぞれ全重量で2kgずつ収容して当センター敷地内の陸上水槽で育成した。なお、収容個体数は、小型区で69個体、中型区で36個体、大型区で22個体であった。餌料は三陸産塩蔵ワカメ端材を飽食給餌することとし、週3回の頻度で与えた。育成期間は、2021年12月16日から2022年2月16日までの約2か月間とした。各試験区について、育成

前の30個体及び育成後の全てのウニの殻径、全重量、生殖腺の重量及び色調(L*値)を測定した。なお、生殖腺の色調については、分光測色計(CM-700d, KONICA MINOLTA Co. Ltd. Japan)のSCE方式を採用した。さらに、GSI(Gonado Somatic Index: 生殖腺の重量÷全重量×100)を算出した。

比較に供した優良な漁場のウニは、2023年3月30日に波津地先のウニ漁場より30個体採集した(波津地先のウニ漁は3~5月が最盛期)。採集したウニは、殻径、全重量、生殖腺の重量及び色調を測定し、GSIを算出した。その後、ウニから取り出した生殖腺を地元の漁業者に目視で確認してもらい、商品となりうる生殖腺を持つ個体を選別した。それらの選別された個体から得たGSI及び生殖腺の色調の下限値を指標値とし、育成したウニの身質を評価した。

(2) 採集場所別育成試験

短期養殖に適したウニを採集できる場所について検討するため、4つの貧海藻域から採集したウニを陸上水槽にて育成し、3か月後のGSIや生殖腺の色調を比較した。さらに、それら4つの貧海藻域における春季の海藻の分布状況について調査した。

育成試験に供したウニは、2022年12月10日及び2022年12月21日に、スクーバ潜水により採集した。採集地点は、波津地先から1地点、福吉地先から3地点(ツブヤリ、羽島、串崎)、計4地点とした(図1)。採集したウニは、採集地点ごとに各30個体程度、前述と同様のカゴに収容して当センター敷地内の陸上水槽で育成した。餌料は三陸産塩蔵ワカメ端材を飽食給餌することとし、週3回の頻度で与えた。育成期間は、2022年12月10日から2023年3月14日及び2022年12月21日から2023年3月25日までの約3か月間とした。各地点について、育成前の30個体及び育成後の全てのウニの殻径、全重量、生殖腺の重量及び色調を測定し、GSIを算出した。前述と同様に、育成したウニの身質は優良な漁場のものと比較した。

また、2023年3月8日及び3月30日に、スクーバ潜水により各地点の海藻の現存量及び出現海藻種を調査した。海藻の現存量は、50cm×50cmの枠を設置し、枠内に出現した海藻をすべて取り上げ、種同定後、湿重量を測定した。出現海藻種は、各地点の周囲をスクーバ潜水にて、目視で広く調査し、生育していた海藻及び周辺の海域から波浪等によって流出してきた海藻(以降、流れ藻と表記する)の種同定を行い、記録した。

結果

1. 貧海藻域のウニ生息状況調査

ウニの分布密度(個体数/m²)は、波津地先において18.5個体/m²、福吉地先羽島において12.3個体/m²であった(図

2)。

まず、両地先のウニの殻径組成を図3、4に示した。波津地先では、殻径35mm未満は30.7%、殻径35mm以上45mm未満(小型区)は46.9%、殻径45mm以上55mm未満(中型区)は16.6%、殻径55mm以上(大型区)は5.8%であった。福吉地先羽島では、殻径35mm未満は31.9%、殻径35mm以上45mm未満は38.1%、殻径45mm以上55mm未満は22.5%、殻径55mm以上は7.5%であった。両地先において、殻径35mm以上45mm未満の個体、次いで殻径45mm以上55mm未満の個体が多く生息していた。

次に、両地先のウニの成長曲線を図5、6に示した。成長曲線の関係式は、

波津地先

$$L = 100.8766 (1 - \exp(-0.0675 (t - 2.2201)))$$

福吉地先羽島

$$L = 65.5753 (1 - \exp(-0.2335 (t - 0.4861)))$$

であった(波津地先: $p < 0.01$, 福吉地先羽島: $p < 0.01$)。2地先の成長曲線には、有意な差があり、波津地先の方が福吉地先羽島より緩やかであった($F(1, 563), 64.58025, p < 0.01$)。また、2地先の各殻径別に見た平均年齢は、波津の小型区で 5.8 ± 1.4 歳、中型区で 7.2 ± 1.3 歳、大型区で 10.8 ± 1.9 歳、福吉の小型区で 3.5 ± 0.8 歳、中型区で 5.4 ± 1.2 歳、大型区で 6.7 ± 1.7 歳であった。

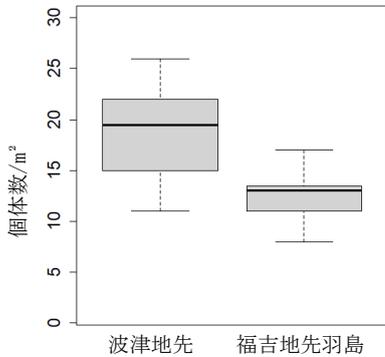


図2 各地先におけるウニの分布密度

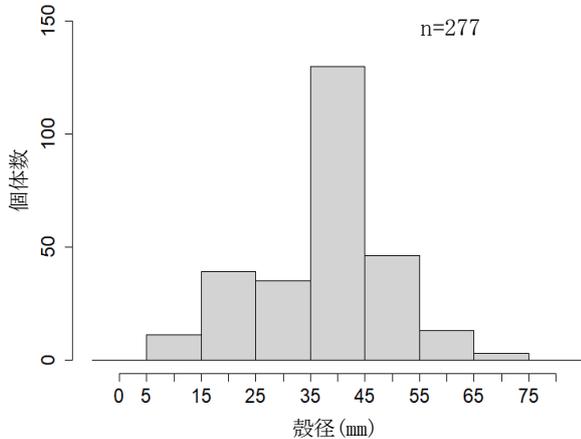


図3 波津地先におけるウニの殻径ごとの分布組成

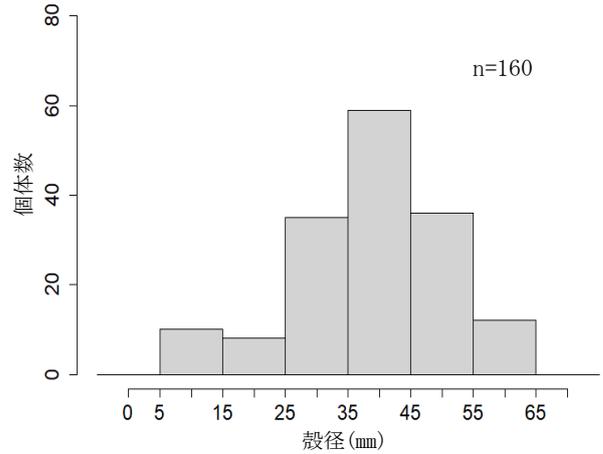


図4 福吉地先羽島におけるウニの殻径ごとの分布組成

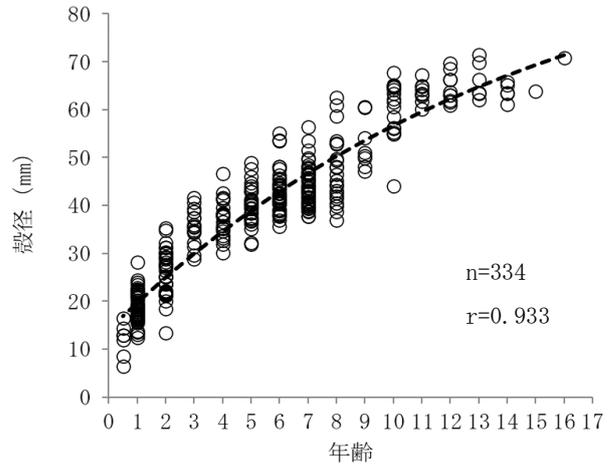


図5 波津地先におけるウニの成長曲線

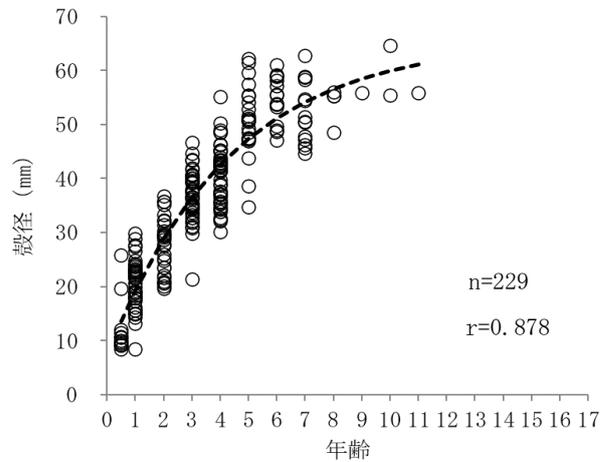


図6 福吉地先羽島におけるウニの成長曲線

2. 短期養殖に適したウニの検討

(1) 殻径別育成試験

育成期間中にへい死が確認された試験区は、中型区の2個体のみであった。

育成前後に、3試験区から得られた各項目及び、GSIと生殖腺の色調の指標値を超える個体の割合について表1に示した。なお、GSIと生殖腺の色調の指標値は、波津地先の優良な漁場のウニ(n=30)から得た生殖腺のうち、漁業者の目視により、商品として販売可能と判定された個体(n=25)から得た。それらの個体の測定結果と指標値を表2、3に示した。

まず、育成前後のGSIについて、育成後は、3試験区の全てで育成前よりも有意に高く($p < 0.01$)なった(図7)。また、3試験区のウニ(各総重量2kg)から得た生殖腺の重量は、小型区から順に106.5g, 108.5g, 93.8gであった。3試験区のウニから計100gの生殖腺を得ようとする、小型区から順に64.8個体, 33.2個体, 23.5個体が必要であった。

次に、育成前後の生殖腺の色調(L*値)について比較した(図8, 9)。なお、生殖腺がごく少量で色調が測定不可能であったものは欠測とした。その結果、L*値は、3試験区とも育成後に有意に増加した($p < 0.01$)。一方、L*値の指標値を満たす割合は、小型区と中型区では90%を超えていたが、大型区では50%を下回っていた(表1)。

表1 殻径別の測定結果及び指標値を超える割合

【育成前】			
項目	小型区(n=30)	中型区(n=30)	大型区(n=30)
殻径(mm)	40.4±2.5	49.9±3.1	57.6±1.7
全重(g)	30.5±8.1	53.9±9.6	82.7±5.7
生殖腺重量(g)	0.5±1.0	0.8±0.7	1.3±0.4
GSI	1.79±1.14 10.0%	1.56±1.31 6.7%	1.54±1.20 6.7%
L*値	37.42±4.74 13.3%	29.82±8.28 3.6%	30.04±7.79 7.4%
【育成後】			
項目	小型区(n=69)	中型区(n=34)	大型区(n=22)
殻径(mm)	39.2±2.9	49.7±2.9	58.6±2.4
全重(g)	29.2±6.31	56.3±8.8	90.1±9.25
生殖腺重量(g)	1.5±0.6	3.0±1.1	4.3±1.7
GSI	5.28±1.66 84.1%	5.36±1.81 77.8%	4.73±2.05 68.2%
L*値	50.25±4.67 92.8%	46.06±2.85 94.1%	40.88±6.68 45.5%

表2 商品と判定されたウニの測定結果 (n=25)

項目	平均値
殻径(mm)	49.16±3.11
全重(g)	56.73±11.34
生殖腺重量(g)	3.46±0.97
GSI	6.12±1.10
L*値	51.03±3.46

表3 商品と判定されたウニの指標値

	GSI	L*値
下限値	3.68	41.91

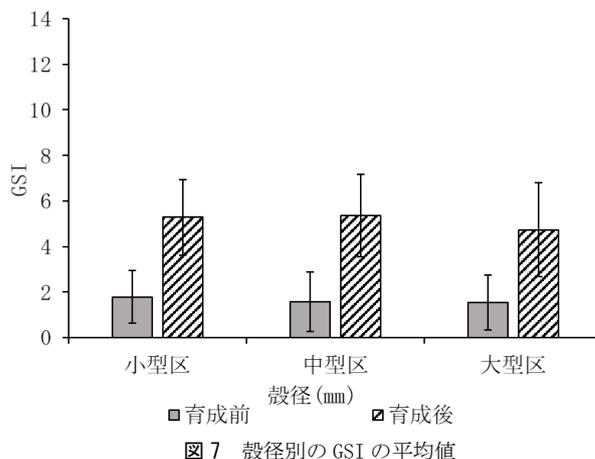


図7 殻径別のGSIの平均値

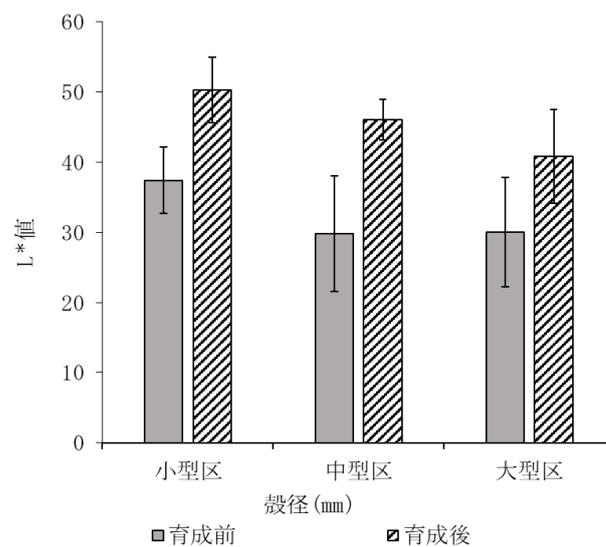


図8 殻径別の生殖腺色調(L*値)の平均値

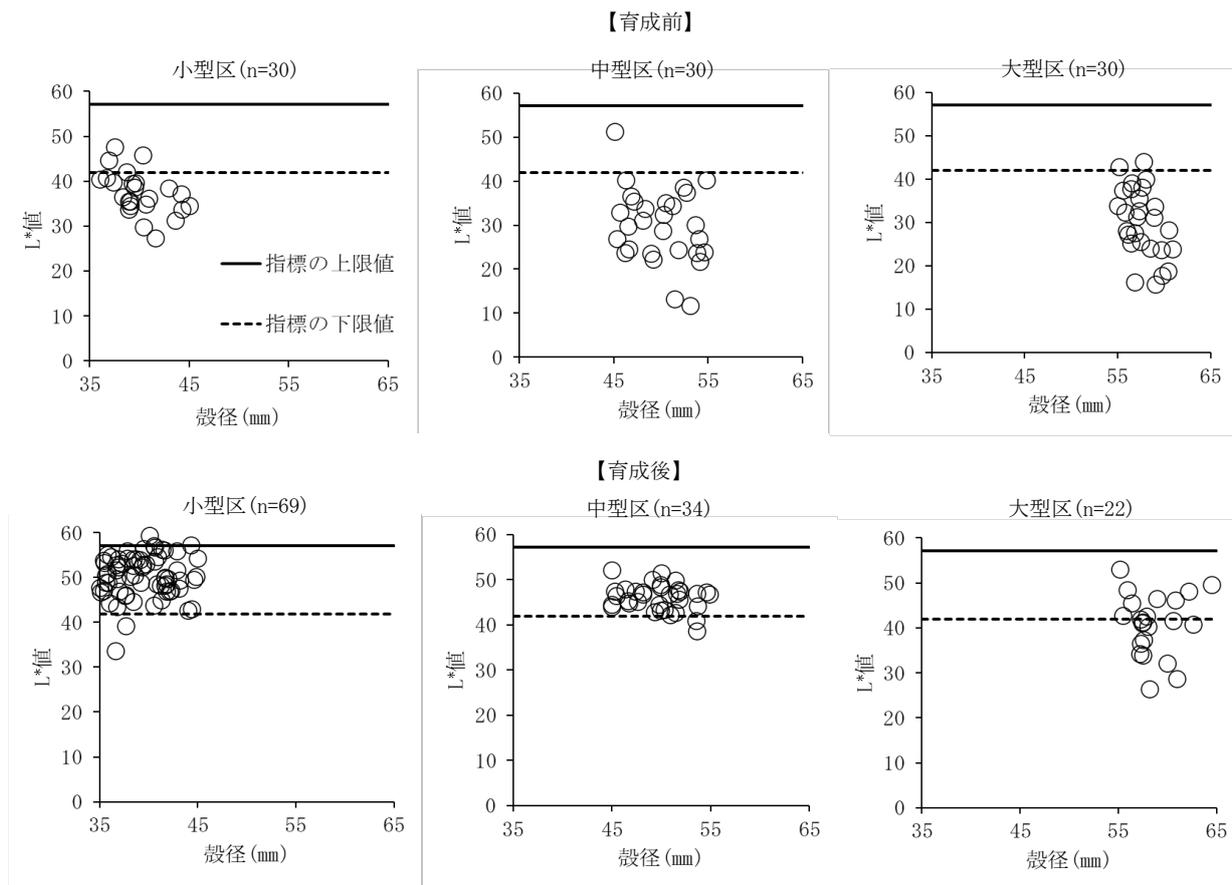


図9 殻径別の生殖腺色調 (L*値)

(2) 採集場所別育成試験

育成期間中にへい死が確認された試験区は、福吉地先(串崎)で1個体、波津地先で3個体であった。

育成前後に、4試験区から得られた測定結果及び、(1)殻径別育成試験で得たGSIと生殖腺の色調の指標値を超える個体の割合について表4に示した。

まず、GSIについて、育成前の4試験区は、全ての組み合わせで有意な差がみられた($p < 0.01$)。その上で、育成前後のGSIを4試験区ごとに比較すると、育成後にすべて有意に増加($p < 0.01$)した(図10)。

次に、生殖腺の色調(L*値)について、育成前後を比較した(図11, 12)。なお、生殖腺がごく少量で色調が測定不可能であったものは欠測とした。

育成前は、ツブヤリと波津、羽島と串崎の2つの組み合わせで有意な差がみられなかった($p > 0.05$)が、その他の組み合わせで有意な差がみられ($p < 0.01$)、羽島>ツブヤリ・波津、串崎>ツブヤリ・波津であった。

育成前後の値を比較すると、4試験区とも有意に増加した($p < 0.01$)。

最後に、4つの貧海藻域の海藻現存量及び出現海藻種を表5に示した。

ツブヤリは、採集地点で海藻を確認できなかったが、周

囲でフクロノリやワカメがごく一部確認され、海藻の被度は5%未満であった。

羽島は、採集地点で主にフクロノリやワカメが計360.8g/m²現存し、周囲でアミジグサや、流れ藻としてイソモク、ヤツタモクが確認され、海藻の被度は5%~25%程度であった。

串崎は、採集地点で主にワカメやフクロノリ、ホンダワラなどが計908.5g/m²現存し、周囲でヒジキやサンゴモ科などが確認され、海藻の被度は5%~25%程度であった。

波津は、採集地点で海藻を確認できなかったが、周囲でワカメがごく一部確認され、海藻の被度は5%未満であった。

表 4 採集場所別の測定結果及び指標値を超える割合

【育成前】				
項目	ツブヤリ (n=30)	羽島 (n=30)	串崎 (n=30)	波津 (n=30)
殻径 (mm)	48.7±1.7	49.3±2.6	49.7±2.1	48.1±2.3
全重量 (g)	56.9±8.3	56.7±11.0	62.1±8.7	50.0±6.7
生殖腺重量 (g)	1.2±0.5	1.8±0.6	2.6±1.1	0.6±0.3
GSI	2.22±0.93 10.0%	3.24±1.14 30.0%	4.18±1.68 63.3%	1.20±0.55 0.0%
L*値	31.76±5.57 3.3%	39.80±5.90 40.0%	41.62±3.93 53.3%	29.34±6.00 0.0%

【育成後】				
項目	ツブヤリ (n=45)	羽島 (n=35)	串崎 (n=33)	波津 (n=27)
殻径 (mm)	49.0±2.2	50.2±2.5	49.3±2.3	50.0±2.6
全重量 (g)	58.2±8.5	61.6±10.0	60.0±9.1	57.1±10.3
生殖腺重量 (g)	4.7±1.3	6.1±2.1	6.4±1.5	4.0±1.4
GSI	8.11±2.21 95.6%	9.96±2.76 97.1%	10.58±1.86 97.1%	6.94±1.97 80.0%
L*値	47.35±5.19 84.4%	49.31±6.39 91.4%	50.24±3.19 97.1%	45.79±5.34 66.7%

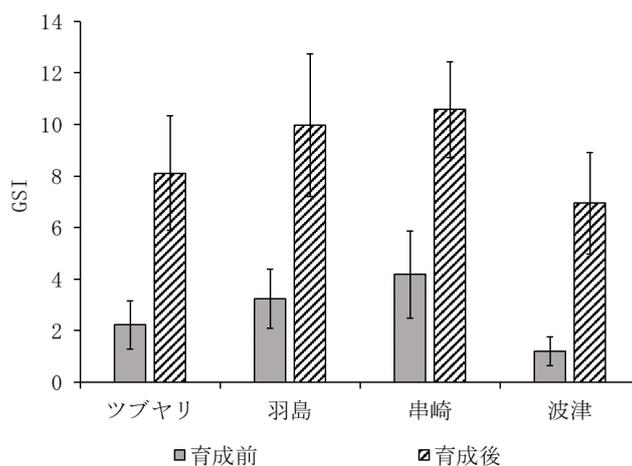


図 10 採集場所別の GSI の平均値

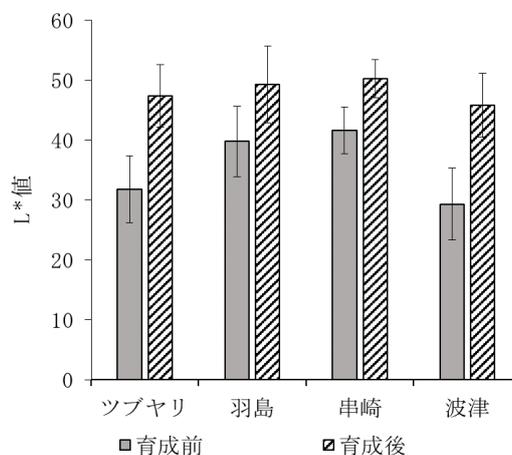


図 11 採集場所別の生殖腺色調 (L*値) の平均値

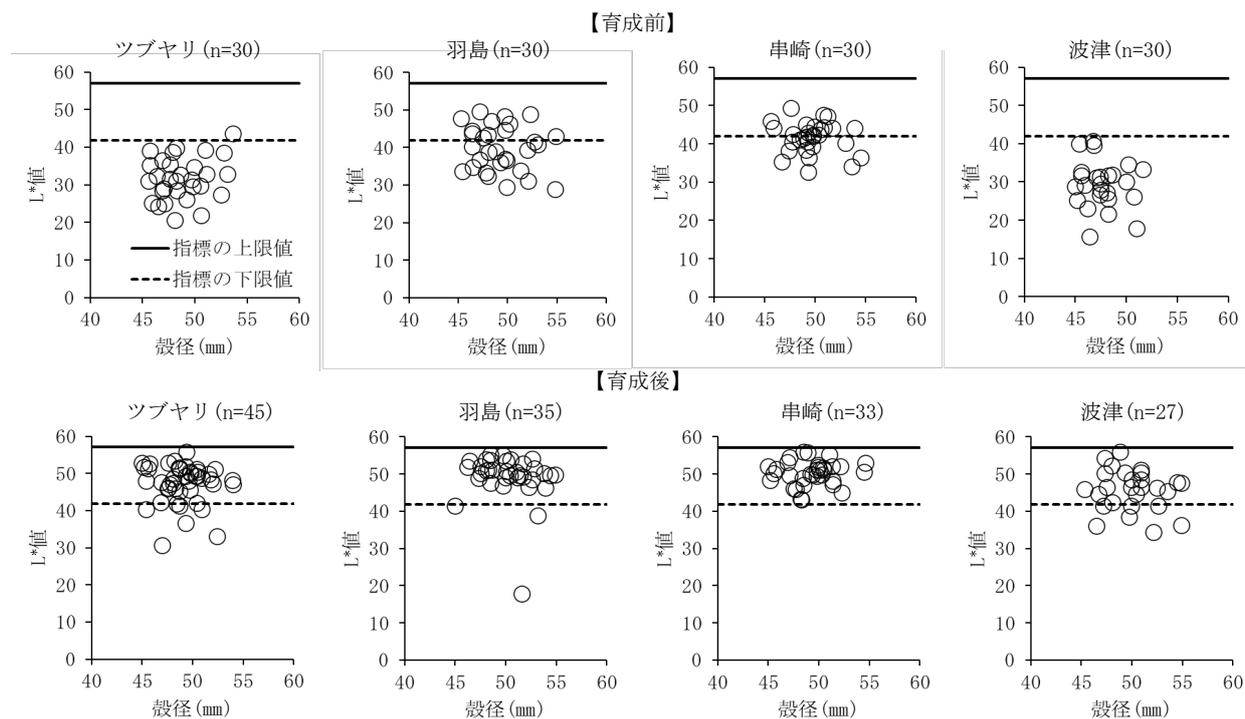


図 12 採集場所別の生殖腺色調 (L*値)

表 5 貧海藻域別の海藻現存量及び出現海藻種

R5年3月8日, 3月30日調査

採集場所	50×50cm 採取 (g)				出現海藻種			
	ツブヤリ	羽島	串崎	波津	ツブヤリ	羽島	串崎	波津
褐藻綱	アミジグサ目	アミジグサ科	アミジグサ			○	○	
	カヤモノリ目	カヤモノリ科	フクロノリ	71.0	95.8	○	○	
	コンブ目	チガイソ科	ワカメ	19.3	110.1	○	○	○
	ヒバマタ目	ホンダワラ科	ヒジキ					
			ホンダワラ		14.6		○	
			イソモク			△※	○	
			ヤツマタモク			△※		
紅藻綱	サンゴモ目	サンゴモ科	カニノテ属の一種					○
			サンゴモ属の一種		1.8			○
			モサズキ属の一種					○
	湿重量計 (g)			0	90.2	227.1	0	
	現存量 (g/m ²)			0	360.8	908.5	0	

※△は流れ藻

考 察

本研究では、藻場保全のために除去されるムラサキウニについて、貧海藻域のウニ生息状況調査を行った上で、育成試験により、短期養殖に適したウニの殻径や採集場所について検討した。

ウニの分布密度は、今回調査した波津及び福吉羽島の両地先とも 10 個体/m²以上と高密度な状況であり、藻場の保全活動が必要な海域であった。分布するウニの殻径組成は、35 mm 以上 45 mm 未満の個体が最も多く、次いで 45 mm 以上 55 mm 未満、逆に 55 mm 以上や 35 mm 未満の個体は少なかった。35 mm 未満の個体は転石などの裏側に多く分布しており、生息数が過小に評価されている可能性もあるが、分布

密度が低い 55 mm 以上や、35 mm 未満の小型のウニを短期養殖のために多数収集することは非効率であると考えられた。

波津地先と福吉地先羽島に分布するウニの成長曲線を見ると、両地先とも 5 歳から成長が停滞し始めており、福吉地先羽島に比べて波津地先の方が成長率は緩やかであった。一般的に、ウニ除去では大きな個体から除去され、除去を数年続けると高齢で大きな個体は減少していく。福吉地先羽島では、ウニ除去活動が継続的に実施されており、波津地先では未実施であるため、成長曲線に差が現れたものと考えられた。

殻径別育成試験において、小型区、中型区、大型区の 3 試験区とも GSI は顕著に増加した。本研究では、育成前の

ウニの総重量を2 kgに固定し、育成試験を行ったが、3試験区とも計100g前後の生殖腺が得られたため、育成するウニの総重量あたりから得られる生殖腺量は、ウニの総重量に比例することが示唆された。そのため、一定量の生殖腺を得るには、小型のウニほど1個体あたりの生殖腺の重量が少なく、生殖腺を殻から取り出す作業量が増えることとなる。実際に、約100gの生殖腺を得るために必要な個体数は、小型区から順に64.8個体、33.2個体、23.5個体であり、効率的に短期養殖するためには、より大型の個体を使用したほうが良いと考えられた。

生殖腺の色調(L*値)に影響を与える明度には、生殖腺へのリポフスチン蓄積が関与していると言われている^{4, 5)}。リポフスチンとは、細胞質内の不飽和脂肪酸の過酸化により形成される不溶性色素である。通常、リポフスチンは分解も除去もされないために細胞内に蓄積し、年齢とともに増加するため加齢色素とも呼ばれている⁶⁾。ウニにおいても、若い個体に比べて高齢の個体でリポフスチンの積分光学濃度は有意に高くなっている^{5, 7)}このことから、育成等による給餌に関わらず、高齢なウニほどリポフスチンの蓄積が増加して明度の低下が進むことは避けられないであろう。一方、干川らは、キタムラサキウニの生殖腺体積を増大させることで、結果としてリポフスチンの積算光学濃度又は面積比が下がり、生殖腺全体としての明度(L*値)が高くなる可能性もあると述べている⁸⁾。

これらのことから、ムラサキウニにおいても、大型区が小型区や中型区に比べ低いL*値を示したのは、加齢によるリポフスチンの蓄積が影響したものと考えられた。また、大型区も育成後は、有意にL*値が増加したことから、ムラサキウニにおいても生殖腺の体積を増大させることで、高齢な大型個体であってもL*値を高くすることは可能と推察された。しかし、約2か月の短期間での育成試験結果が示すとおり、大型区は商品としての基準を満たす個体が、小型区や中型区の半分以下となったことから、短期養殖で品質の揃った商品を得る場合に不適であると考えられた。

採集場所別試験において、育成後のGSIは、4試験区とも顕著に増加し、指標値を超える割合は多い順に、串崎、羽島、ツブヤリ、波津であった。育成前のGSIも同順にであったことから、短期養殖においては、育成前のGSIの値が育成後にも影響するものと考えられた。

また、生殖腺の色調(L*値)も同傾向を示し、串崎、羽島、ツブヤリ、波津の順であった。

さらに、本研究で検討した4つの貧海藻域の春季に出現する海藻量や種についても、表5に示すとおり差がみられた。これらの海域は、ウニ除去の実施状況にも差があり、波津地先及びツブヤリ、串崎は未実施であり、羽島は調査前の数年間実施されていた。

以上のことから、検討した貧海藻域のうち、効率的なウニの短期養殖に適する場所は、春季により多くの海藻種及び現存量があり、他よりも高いGSIの値を示す、串崎と羽島であると判断した。また、ウニ除去を実施している貧海藻域の方が、大型で高齢なウニが少なく、短期養殖に適したウニが採集できるものと考えられた。

したがって、藻場保全のために除去されるムラサキウニの効率的な短期養殖には、殻径が45 mm以上55 mm未満のウニを、貧海藻域の中でも、春季により多くの海藻種及び現存量がある場所から採集することが良いと考えられた。しかし、それらの殻径のウニのみを除去して短期養殖するだけでは、貧海藻域のウニ密度は2割ほどしか低下しない(図3, 4)。藻場保全のためには、できるだけウニの密度を下げるのが好ましいため、短期養殖に適した殻径以外の個体も積極的に除去していく必要がある。また、より品質の高いウニを短期養殖するためには、今回検討したウニのGSIや生殖腺の明度(L*値)だけでなく、生殖腺の色度(a*値, b*値)や呈味についても検討していく必要がある。

謝 辞

本研究の実施にあたりご協力を賜った、遠賀漁協波津本所、糸島漁協福吉支所の組合員及び組合職員の方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 日高研人, 森慎也, 梨木大輔, 後川龍男, 内藤剛. 筑前海における藻場の現状および藻場造成に関する研究. 福岡水産海洋技術センター研究報告 2016; 26: 47-51.
- 2) 神田雄輝, 梨木大輔. 筑前海におけるムラサキウニの養殖技術開発. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2023; 33: 11-15.
- 3) 渡邊庄一, 高田順司. ムラサキウニの口器中間骨による年齢査定. 長崎県水産試験場研究報告 2015; 41: 21-25.
- 4) Pearse JS, Cameron RA. Echinodermata: Echinoidea. In: Giese AC, Pearse JS, Pearse VB. eds, In: *Reproduction of Marine Invertebrates*, Vol.6. Echinoderms and Lophophorates. The Boxwood Press, Pacific Grove. 1991; 513-662.
- 5) Vaschenko MA, Zhadan PM, Aminin DL, Almyashova TN. Lipofuscin-like pigment in gonads of sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* as a potential biomarker of marine pollution: a

- field study. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2012 ; 62 : 599-613.
- 6) Porta ED. Pigments in Aging: An Overview. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2002 ; 959 : 57-60.
- 7) Du C, Anderson A, Lortie M, Parsons R, Bodnar A. Oxidative Damage and Cellular Defense Mechanisms in Sea Urchin Models of Aging. *Free Radical Biology Medicine.* 2013 ; 63 : 254-263.
- 8) 干川 裕, 菅原 玲, 奥村裕弥, 中島幹二, 鵜沼辰哉. 高齢ウニ (キタムラサキウニ) 生殖巣の大きさと色調の給餌育成による改善. 北海道水産試験場研究報告 2023 ; 104 : 1-11.

ノリ養殖に使用するカキ殻糸状体の恒温室培養技術の開発

加藤 将太・安河内 雄介^a・藤井 直幹
(有明海研究所)

本県のノリ養殖の採苗に利用されるカキ殻糸状体は、各漁家で培養されているが、近年、光環境や夏季と秋季の高気温が原因と考えられる胞子のうの障害が認められている。採苗を安定して行うためには、カキ殻糸状体の健全な育成が重要であり、適正な培養条件の把握と気候に左右されない培養環境の検討が必要である。そこで本研究では恒温室とLED光源を用いて、カキ殻糸状体の適正な培養条件として、糸状体伸長期は日長周期(10L14D, 12L12D, 14L10D)と光源(昼白色, 電球色), 水温(20℃, 25℃)を、胞子のう形成期は日長周期と光源について検討した。その結果、糸状体伸長期は水温20℃, 日長周期12L12Dで伸長が良く、胞子のう形成期は昼白色光源と日長周期10L14Dにおいて胞子のうの形成量が多かった。また恒温室を利用し、適切な培養環境を設定することで、従来の培養方法と比較して最大7か月間培養期間を短縮できると推察された。カキ殻糸状体の培養期間の短縮化は、労力削減, 光熱費等のコスト削減等の漁業者の負担軽減や病気のリスク削減につながり、安定した採苗と漁家経営につながると考えられる。

キーワード：福岡県有明海, ノリ養殖, スサビノリ, 糸状体, LED

本県海域で行われるノリ養殖の採苗は、野外採苗であり、海に広げたノリ網にカキ殻を基質としてノリ糸状体を穿孔させたカキ殻(以下、カキ殻糸状体)を吊り下げ、殻胞子を放出させてノリ網に付着させている。殻胞子付着数や付着時期によって、その後の管理や生産に影響が出る場合も考えられることから、採苗は漁期を通して重要な作業の1つである。したがって採苗に使用するカキ殻糸状体についても、健全なものを準備する必要がある。

福岡県のノリ養殖漁家の多くは、カキ殻糸状体を1月から10月まで自宅で培養している。1月から4月に並べたカキ殻にフリーリビング糸状体(以下、フリー糸状体)を散布し、その後、10月の採苗に向けた熟度の調整まで、適正な水温や光量等の培養環境に注意しながら培養を行っている。

大牟田市のアメダスのデータ¹⁾より、直近10年間の2014年~2023年と1977年~2013年の7月~10月の平均気温を比較した(図1)。いずれの月においても直近10年間の方が平均気温が高くなっており、近年の気象が変化していることが考えられる。また、漁家ごとに培養環境が異なっており、一部では、日照不足等の光環境や高気温等の影響によりカ

キ殻糸状体が障害を起こす場合も認められている(図2)。したがって、採苗を安定して行うために

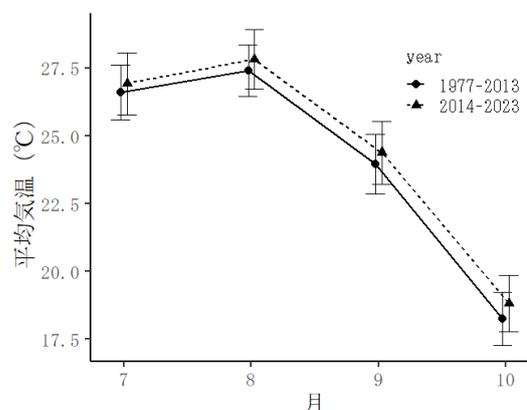


図1 大牟田市における月別(7月~10月)の平均気温(エラーバーはSD)

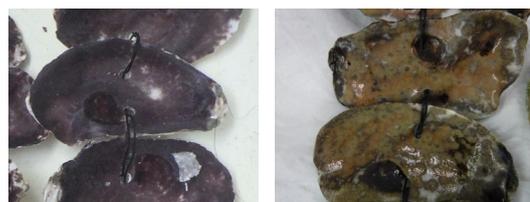


図2 カキ殻糸状体(左: 正常なカキ殻糸状体, 右: 高水温により黒色から黄褐色に変色したカキ殻糸状体)

^a現所属：水産振興課

は、カキ殻糸状体の安定した培養方法、培養技術の開発が非常に重要である。

ノリ糸状体の生育についての研究は、黒木、秋山²⁾や右田³⁾、黒木、佐藤⁴⁾で行われているが、現場への導入を目的とした実用的な研究の報告は少ない。したがって本研究は、生産現場へ導入が容易で、気象の影響を受けない培養手法を開発し、採苗の安定化を図ることを目的として、恒温室を使用したカキ殻糸状体の培養技術の開発を行った。

本試験において、気象の影響を受けない培養方法の開発のため、恒温室を利用し、光源には発光ダイオード（以下、LED）を使用した。LEDは低コスト、低エネルギーであることから、近年、陸上植物の栽培へ利用されている⁵⁾。また集魚灯⁶⁾や微細藻類の培養への応用⁷⁾など、水産業においても利用が進んでいる。

LEDを培養光源に用いることで、植物の生長に有効な波長の光だけを集中して照射することができ、植物に必要な波長の光を集中的かつバランスよく照射することが可能である⁵⁾。水産分野でも、ホシガレイへの緑色光照射による成長促進が確認されており⁸⁾、藻類ではスジアオノリ (*Ulva prolifera*)⁹⁾ やトサカノリ (*Meristotheca papulosa*)¹⁰⁾ において光質による生長の違いが報告されている。

カキ殻糸状体においても、適当なLED光源を利用することで、より効率的な培養につながり、現在よりも短期間の培養を可能にすることが考えられる。カキ殻糸状体の培養期間の短縮化は、漁業者の労力削減、光熱費等のコスト削減、病気のリスク削減につながると考えられる。

したがって、本試験ではカキ殻糸状体の効率的で安定した培養条件を検討するため、恒温室とLED光源を用いて、カキ殻糸状体の生育に影響すると考えられる、光条件（日長周期、光源）と水温について糸状体伸長期と胞子のう形成期の2つの期間について特性を把握し、カキ殻糸状体の最適な培養方法、培養スケジュールを検討した。

定が可能な恒温室を使用した。

培養にはスサビノリ (*Neopyropia yezoensis*) を使用した。糸状体を穿孔させる基質は、有明海のノリ漁業者において一般的に使用されるカキ殻を用いた。

光源にはLED光源 (LDL40S・N, パナソニックホールディングス) を使用し、光強度は光源と水槽からの高さを調整し、糸状体の伸長に適性とされている¹¹⁾ 500Luxに設定した。

培養海水は、塩分の変化が少ない安定した時期に有明海沖で採水した海水（塩分30±1）を用いた。

カキ殻の洗浄は試験開始から約1か月後に行い、付着珪藻によるカキ殻表面上の汚れ除去を目的として、スポンジで殻表面をこすり、水替えを行った。また、試験開始時および水替え時に市販のカキ殻糸状体培養用の栄養剤（株式会社ダイイチ、ノリシード）を適量添加した。

光源と水温、日長周期の試験条件について、表1に示した。LED光源は昼白色光源と電球色光源を使用した。それぞれの光源について、水面近くをライトアナライザー (LA-105, 日本医化器械製作所) で測定し、同様に測定した晴れの日の太陽光と光波長の分布を比較した (図3)。水温は20℃と25℃、明暗条件は10L14D (L:明期の時間, D:暗期の時間)、12L12D, 14L10Dを設定した。

光源と水温、日長周期を組み合わせた合計12試験区を設定し試験を行った。恒温室は2部屋あり、LED光源を部屋それぞれに設置し、部屋内に2つ水槽を設置した。部屋の空調機能と水槽用ヒーター (チタンヒーター100V/1KW, 東立電機) を用いて20℃と25℃試験区を設定した。日長周期は、自動で光源の0n/0ffが切り替わるように設定し、試験は日長周期ごとに3回に分けて試験を行った。

試験は糸状体伸長期、胞子のう形成期どちらにおいても、カキ殻を水槽内に平面に並べて培養した。試験に際して、フリー糸状体を約20秒間、概ね5mmになるようミキサーで細断し、カキ殻1cm²あたり、

表1 試験区分と培養条件

試験項目	試験区分		
光源	昼白色	電球色	
水温	20℃	25℃	
日長周期	10L14D	12L12D	14L10D

方 法

1. 糸状体伸長期の評価

試験場所は上述のとおり、16℃～31℃まで温度設

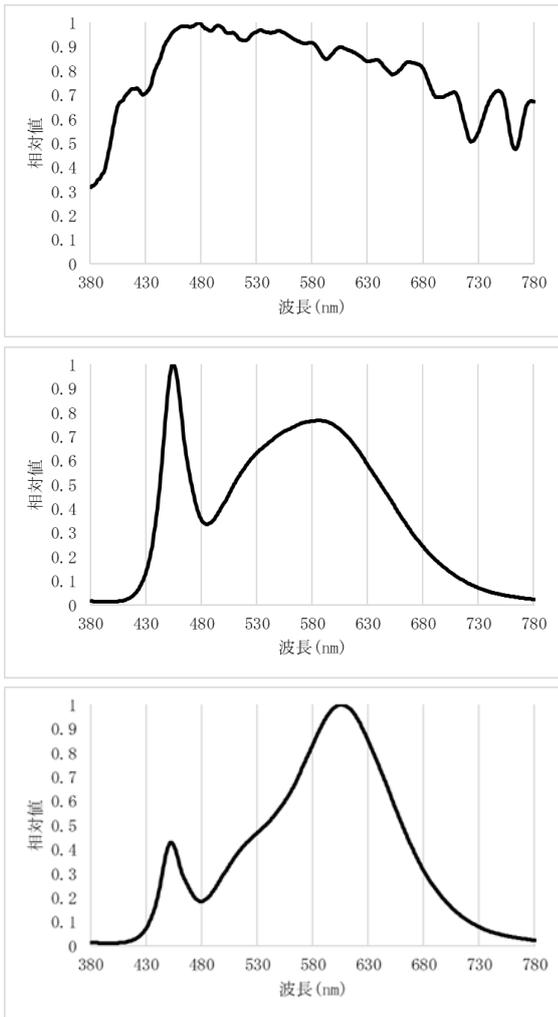


図3 試験に用いたLED光源の相対分光分布図（上が太陽光[2023/9/25]，中が昼白色光源，下が電球色光源）

20 個の密度になるように調整し、水槽内に並べたカキ殻上に散布した。

フリー糸状体はカキ殻上に着底すると、2 週間前後でカキ殻内部に穿孔し、枝のように胞子のう枝を広げる。この頃にはカキ殻上に黒い斑点として肉眼視が可能になる（図 4）。そこで糸状体の穿孔、伸長期の最適条件の評価の指標として、穿孔後約 30 日間の伸長を評価するため、散布 42 日後の斑点の直径を各試験区無作為に抽出した 50 個を計測した。

2. 胞子のう形成期の評価

胞子のう形成期の評価に用いるカキ殻糸状体は伸長期の評価に用いたものをそのまま利用し、培養条件は水温条件の一部以外変更せずに伸長期の評価試



図4 伸長し斑点として肉眼視可能になったカキ殻糸状体と拡大図（拡大図内の○は測定した斑点の例を示す。）

験から連続して行った。

殻胞子の放出の適水温は 15℃～20℃と知られており¹²⁾、水温 20℃試験区は、殻胞子放出の恐れがあることから、フリー糸状体散布 42 日後の伸長期の評価後、20℃試験区の水温を 25℃に変更し、試験を行った。

カキ殻糸状体内の胞子のう形成の評価は、フリー糸状体散布 77～79 日後に脱灰し、胞子のう数を計数し、比較した。顕微鏡（ECLIPSE50i、株式会社ニコン）と顕微鏡カメラ（FLOYD, WRAYMER）を用いて、各試験区 20 枚撮影し（図 5）、画像解析ソフト（WinROOF2018 Ver4.5.3、三谷商事株式会社）を用いて、胞子のう数を計数し、計数した面積を測定後、1 μm^2 あたりの胞子のう数を試験区ごとに比較した。

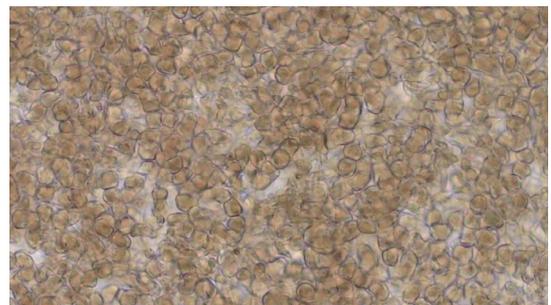


図5 計数に用いた脱灰後のカキ殻糸状体の画像（面積は818 μm^2 ）

3. 統計処理

統計処理には統計ソフト R（version4.0.5）を用

い、試験区ごとの比較解析は Tukey-HSD 法にて多重比較を行った。

結 果

1. 糸状体伸長期の評価

試験区ごとの穿孔糸状体の斑点の直径の平均値と標準偏差を表 2 に示し、最適な水温と光源について検討するため、日長周期の試験区ごとに比較した (図 6)。まず水温について、10L14D の昼白色と電球色試験区、12L12D の電球色試験区において、20℃試験区の方が 25℃試験区より有意に大きく ($p < 0.05$)、20℃が適していることが示唆された。光源について、10L14D 試験区は昼白色試験区が電球色試験区より有意に大きかったが ($p < 0.05$)、12L12D の 20℃試験区と 14L10D の 25℃試験区においては電球色試験区が有意に大きく ($p < 0.05$)、最適な光源を判断するには難しい結果となった。

続いて、最適な日長周期の検討のため、光源と水温の組み合わせごとに比較した (図 7)。日長周期について着目すると、12L12D がすべての光源と水温の組み合わせで有意に大きかった ($p < 0.05$)。10L14D と 14L10D を比較すると、昼白色・20℃の試

験区以外は 14L10D の方が有意に大きかった ($p < 0.05$)。

2. 胞子のう形成期の評価

12L12D・昼白色・20℃試験区についてはハンドリングミスによりデータが取得できなかった。

試験区ごとの胞子のう数の平均値と標準偏差を表 3 に示し、最適な光源について検討するため、日長周期の試験区ごとに比較した (図 8)。いずれの試験区においても昼白色試験区の方が電球色試験区より有意に多いことが確認された ($p < 0.05$)。

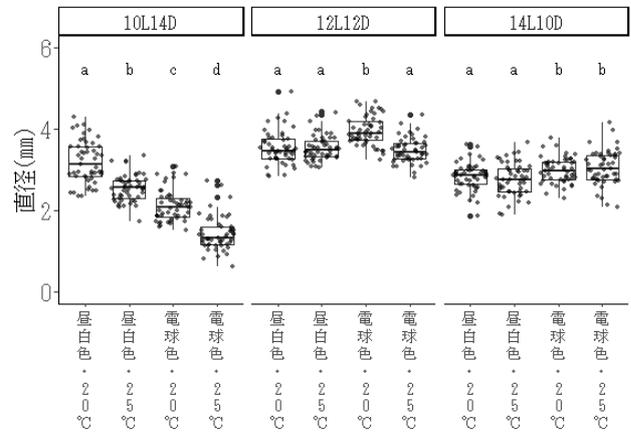


図6 日長周期ごとに比較した糸状体の斑点直径の箱ひげ図とプロット図. 日長周期の試験区ごとの異なるアルファベットはTukey-HSD法による多重比較において有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

表2 カキ殻糸状体の斑点の直径の平均値と標準偏差 [mm]

日長周期	光源	水温	糸状体直径の平均値 [mm] (±SD)
10L14D	昼白色	20℃	3.18 (±0.52)
10L14D	昼白色	25℃	2.54 (±0.33)
10L14D	電球色	20℃	2.10 (±0.39)
10L14D	電球色	25℃	1.42 (±0.42)
12L12D	昼白色	20℃	3.53 (±0.41)
12L12D	昼白色	25℃	3.53 (±0.31)
12L12D	電球色	20℃	3.94 (±0.36)
12L12D	電球色	25℃	3.46 (±0.31)
14L10D	昼白色	20℃	2.82 (±0.34)
14L10D	昼白色	25℃	2.75 (±0.40)
14L10D	電球色	20℃	2.98 (±0.31)
14L10D	電球色	25℃	3.04 (±0.42)

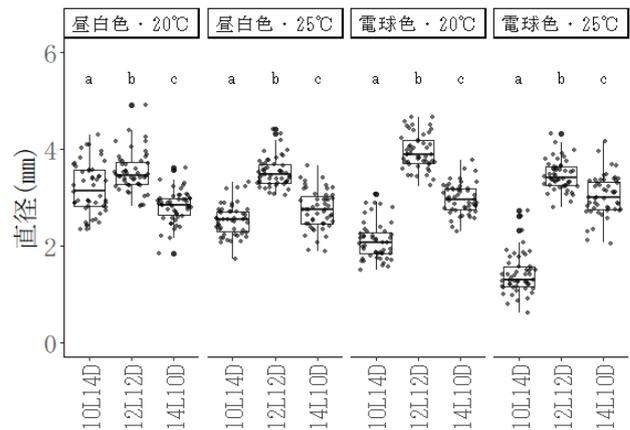


図7 光源・水温ごとに比較した糸状体の斑点直径の箱ひげ図とプロット図. 光源・水温の試験区ごとの異なるアルファベットはTukey-HSD法による多重比較において有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

続いて、最適な日長周期の検討のため、光源と水温の組み合わせごとに比較した（図 9）。光源に着目すると、昼白色光源、電球色光源いずれにおいても、10L14D 試験区が有意に多いことが確認された（ $p < 0.05$ ）。

考 察

1. 糸状体伸長期の評価

糸状体の伸長期の最適な水温については、20℃試験区で伸長が良く、黒木らのアマノリによる報告²⁾を支持する結果であった。スサビノリの葉状体が成熟する適水温は 10℃～20℃であることが知られており¹³⁾、天然環境ではその後、カキ殻等に穿孔し、伸長する。そのため、本研究において 20℃試験区の方が伸長が良かったのは、より従来の自然環境の水温に近かったためと考えられる。

最適な光源については、昼白色、電球色の違いが判断出来ない結果となった。今回の試験では局所的に異なる波長をもたない家庭で利用される LED 光源を用いたが、この場合、波長の違いは糸状体の伸長には大きく影響しないと推察される。

しかしながら、スサビノリと同じ紅藻であるトサカノリでは、LED の緑色光や白色光の照射で生長がよく、赤色光において低調であったこと¹⁰⁾、褐藻のワカメ (*Undaria pinnatifida*) 胞子体が赤色光により生長が抑制されることが報告されており¹⁴⁾、スサビノリにおいても、光質により生長の違いが起こることが考えられる。過去の報告によると、ノリ糸状体は葉状体と同じ光合成色素と吸収極大を持つこ

表3 胞子のうの平均個数と標準偏差

日長周期	光源	水温	胞子のうの平均個数[個] (±SD)
10L14D	昼白色	20℃	418.00 (±43.49)
10L14D	昼白色	25℃	439.00 (±72.88)
10L14D	電球色	20℃	366.25 (±52.96)
10L14D	電球色	25℃	300.45 (±68.07)
12L12D	昼白色	20℃	データなし
12L12D	昼白色	25℃	332.80 (±55.26)
12L12D	電球色	20℃	287.10 (±34.10)
12L12D	電球色	25℃	290.30 (±48.08)
14L10D	昼白色	20℃	331.20 (±44.92)
14L10D	昼白色	25℃	277.75 (±46.25)
14L10D	電球色	20℃	291.70 (±39.82)
14L10D	電球色	25℃	260.60 (±39.50)

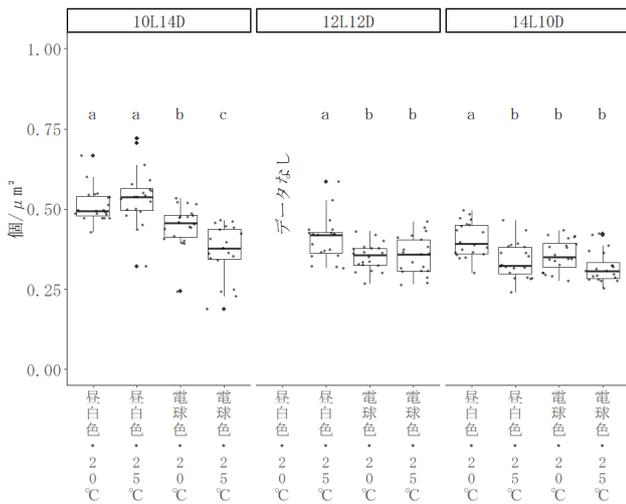


図8 日長周期ごとに比較した胞子のう数の箱ひげ図とプロット図. 日長周期の試験区ごとの異なるアルファベットはTukey-HSD法による多重比較において有意差 ($p < 0.05$)があることを示す.

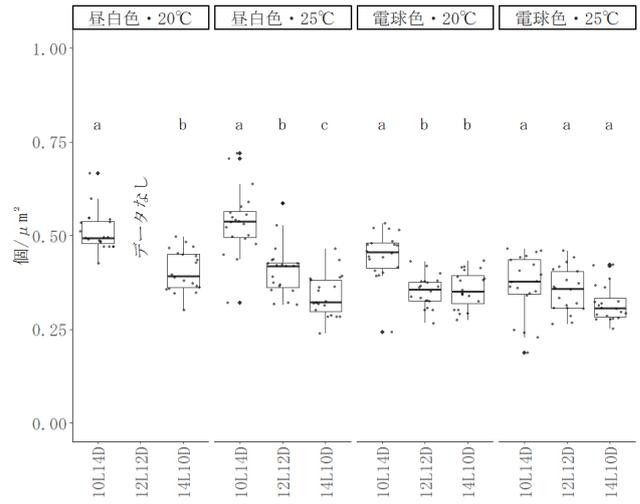


図9 光源・水温ごとに比較した胞子のう数の箱ひげ図とプロット図. 光源・水温の試験区ごとの異なるアルファベットはTukey-HSD法による多重比較において有意差 ($p < 0.05$)があることを示す.

とが知られている¹⁵⁾。今後さらに効率的にカキ殻糸状体を培養していくためには、緑、白、赤色光など局所的に異なる波長を用いて試験を実施し、糸状体伸長期の適正な光源についてさらに検討していく必要がある。

日長周期については、いずれの光源と水温の組み合わせにおいても12L12Dが最も生長がよかった。黒木、佐藤¹⁶⁾は、サンプル数が少なかったこともあり、暗期9時間以上ではスサビノリの糸状体の伸長に差異を見出すことができなかったが、本研究において、水温や光強度によって多少差異はあると思われる、スサビノリ糸状体の伸長においては暗期12時間が適正であることが示唆された。また、電球色光源の試験区において10L14Dよりも14L10Dの生長が良かったことから、スサビノリの糸状体は短日よりも長日条件において生長がよいと考えられる。

2. 胞子のう形成期の評価

光源については、いずれの試験区においても昼白色光源が電球色光源より胞子のうの形成に有効であることが分かった。

本試験で用いた、昼白色光源と電球色光源を比較すると、昼白色光源は430nm～480nmの低波長の範囲が広く、電球色光源は580nm～680nmの高波長の範囲が広がっている(図3)。他藻類では、褐藻のモズク(*Namacystus decipiens*)の単子のう¹⁷⁾とアラメ(*Eisenia bicyclis*)の配偶体¹⁸⁾において低波長の青色光による成熟促進が報告されている。また、團¹⁴⁾はワカメ配偶体の成熟が高波長の赤色光において阻害され、青色光が少しでも混ざると成熟が進むことを報告している。したがってこれらの報告のようにスサビノリにおいても、低波長の青色光の範囲が広く、高波長の赤色光の範囲が狭い昼白色光源が胞子のうの形成を促進したと考えられる。

続いて、日長周期についてはいずれの試験区においても、10L14D試験区の胞子のう形成数が多かった。黒木、佐藤¹⁶⁾はスサビノリ糸状体の胞子のう形成に適した暗期は16時間、14時間と同じかもしくはこれよりやや短い時間と報告しており、本研究の結果でも同様の傾向を示した。

3. 最適なカキ殻糸状体の培養スケジュール

本研究の結果をもとに効率のよいカキ殻糸状体の培養条件と培養スケジュールを作成した(図10)。

光源について、糸状体伸長期は電球色光源の伸長が良い試験区もあったが、昼白色試験区においても問題なく伸長し、また、胞子のう形成期は昼白色光源が有効であった。スサビノリの胞子のうの成熟について、川村ら¹⁹⁾は赤色光が成熟を能動的に抑制していることを報告しており、胞子のう形成後に採苗に向けて熟度を調整する場合は、電球色光源に比べて赤色光の波長範囲が狭い昼白色光源が適していると推察される。したがって光源の取り換えの手間と費用を考慮すると、光源は昼白色光源を用いることが有効と判断された。

一般的に漁業者はフリー糸状体の散布を12月～4月に行い、10月の採苗まで最大約10か月間をかけて、水温と光条件の管理、カキ殻表面の汚れの除去等の管理を行いながらカキ殻糸状体を培養する。本研究では、フリー糸状体散布から約3か月後にはカキ殻上を糸状体が全体を覆い、殻全体が黒くなるのを確認した。熟度の調整を考慮しても、フリー糸状体散布後から概ね100日前後で採苗に利用することができ、一般的な培養方法と比較すると、最大7か月短縮して培養可能である。

培養期間の短縮は、漁業者の作業量の削減のみならず、栄養剤や光熱費等の経費削減に伴う漁家経営への後押しや、病気の感染期間の減少に伴うリスク低減によって安定採苗へとつながられる。また、短縮化した糸状体の管理の時間を養殖資材の準備等に充てることが出来、作業の効率化にもつながる。

カキ殻糸状体の培養期間の短縮化に伴う、フリー糸状体の準備期間のずれについて、カキ殻糸状体を自家培養する場合、カキ殻糸状体に散布するフリー糸状体は自家で培養するか、業者から購入する必要があるが、フリー糸状体は散布前に熟度の調整等が必要ないため、散布の期間がずれても問題はなく、本研究の現場への導入に伴う問題点は少ないと考えられる。

	状態	光源	水温	日長周期	期間
①	フリー糸状体散布 ～糸状体伸長期	昼白色	20℃	12L12D	42日間培養
②	胞子のう形成期	昼白色	25℃	10L14D	35日間培養
③	採苗に向け熟度促進	昼白色	20℃	10L14D	14日
④	採苗				

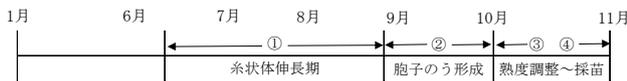


図10 本試験の結果を考慮した最適なカキ殻糸状体の培養条件と培養スケジュールの目安

文 献

- 1) 気象庁. 過去の気象データダウンロード.
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, 2024年10月31日閲覧
- 2) 黒木宗尚, 秋山和夫. 数種のアマノリの糸状体の生長・成熟と水温. 東北区水産研究報告 1966 ; 26, 77-89.
- 3) 右田清治. ノリ糸状体の生長に及ぼす環境条件と培養液のpH変化について. 長崎大学水産学部研究報告 1959 ; 8, 207-215.
- 4) 黒木宗尚, 佐藤誠一. アマノリ類の糸状体の生長・成熟と光条件 II アサクサノリの糸状体の生長・成熟と日長. 東北海区水産研究所研究報告 1962 ; 20, 127-137.
- 5) 渡邊博之. LEDの植物栽培利用. 応用物理 2008 ; 77 (11) , 1298-1302.
- 6) 岡本 保, 高橋邦夫, 大枝真一, 大澤 寛, 小林 智, 岡部憲幸, 吉屋重和, 原田 誠, 石井弘允. 高効率LED集魚灯の技術開発 2014. 照明学会誌, 98 (12) , 622-625.
- 7) 石川 卓, 磯和 潔. 白色発光ダイオード (LED) を用いた餌料用微細藻類の培養 2012. 水産技術 ; 4 (2) , 51-55.
- 8) 高橋明義, 清水大輔, 都留久美子, 木藪仁和, 水澤寛太. 緑色光照射によるホシガレイとヒラメの成長促進. アクアネット (別刷) 2019 ; 22 (4) , 44-49.
- 9) 高田順司, 村瀬 昇, 阿部真比古, 野田幹雄, 須田有輔. 光質が異なる LED 照射下での緑藻スジアオノリの生長と光合成. 水産増殖 2011 ; 59 (1) , 101-107.
- 10) 村瀬 昇, 高田順司, 阿部真比古, 野田幹雄, 須田有輔. 光質が異なる LED 照射下での紅藻トサカノリの生長と光合成. Algal Resource 2012 ; 5 (2) , 61-69.
- 11) 川村嘉応. 種のかくり方. 新・海苔ブック基礎編 のり産業情報センター出版, 福岡. 2017 ; 80-93.
- 12) 安部 昇. ノリの育種及び育種管理に関する研究. 福岡県有明水産試験場臨時研究報告 1986 ; 18-28.
- 13) 二羽恭介. ノリの生育・生長・成熟と環境条件. ノリの科学 朝倉書店出版, 東京. 2020 ; 64-68.
- 14) 團昭紀. 発光ダイオードを使った藻類の培養. 平成 15 年度徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所事業報告書 2005 ; 77-78.
- 15) 佐野 孝. ノリ糸状体の色素並びに酸素放出について. 東北海区水産研究所研究報告 1960 ; 17, 38-44.
- 16) 黒木宗尚, 佐藤誠一. アマノリ類の糸状体の生長・成熟と光条件 III種による日長作用の差異. 東北海区水産研究所研究報告 1962 ; 20, 138-156.
- 17) 山岸 大. モズク胞子体 (成体) の生長および光合成に及ぼすLED光照射の影響. 石川県水産総合センター研究報告 2019 ; 6, 23-27.
- 18) 村瀬昇, 阿部真比古, 野田幹雄, 須田有輔. 光質が異なる LED 照射下でのアラメの配偶体の生長と成熟. 水産大学校研究報告 2014 ; 62 (4) , 147-152.
- 19) 川村嘉応, 木村圭, 折田亮, 水谷雪乃, 小林元太. 光質が異なる LED 照射下におけるスサビノリ殻胞子嚢の成熟と殻胞子放出. 水産増殖 2022 ; 70 (1) , 47-54.

福岡県有明海のノリ養殖漁場におけるカモ類の来遊実態について

徳田 眞孝
(有明海研究所)

福岡県有明海のノリ養殖漁場ではカモ類の食害が発生し、効果的な対策が求められている。そこで、漁場でのカモ類の出現実態を継続的に把握し、その来遊行動の特徴を明らかにした。

昼間の観察では、羽数群別の来遊回数は群の羽数が増加するに従い減少するが、滞留時間は増加する傾向が見られた。時期別では11月下旬～12月下旬、及び1月中旬に増加し、月齢別では月齢7日及び月齢23日の小潮時をピークにした2つの山が見られた。夜間の観察では、カモ類の出現は0:00から1:30頃に最も多く、時期別では、12月初旬～下旬及び1月中旬に多く、月齢別では、昼間と同じく2つの山が見られるが不明瞭であった。また、カモ類が夜間に盛んにノリを採食する様子が捉えられ、夜間での食害の深刻さが示された。カモ類の来遊行動から、効果的な追い払い対策をするためには20羽以上の多数群を対象とし、11月下旬から12月にかけて、及び1月中旬前後の小潮時及び、夜半の満潮時に焦点を絞った対策が効果的と推測される。

キーワード：福岡県有明海，ノリ養殖，カモ類，行動，食害対策

福岡県有明海の岸に近いノリ養殖漁場（以下漁場）では、以前より収穫前のノリ葉状体 *Pyropia yezoensis* が突然消失する現象が発生しており、長くその原因は淡水の影響とされていた。¹⁾しかし、本県の近年の研究で、カモ類がノリを採食していることを確認し、カモ類の食害が主な原因であることを明らかにしている²⁾。食害対策として、銃器による駆除、爆音機や鳥類が捕食者に捕まったときに発する悲鳴とも聞こえる声であるディストレスコール³⁾発声機の設置、海上かかしの設置等の様々な対策が行われているが、鳥類は視覚・聴覚情報を上手く活用できる脳を持ち⁴⁾、学習して視覚や音声の刺激に慣れ^{5),6)}、対策の効果は一時的な場合が多いため⁷⁾、より効果的な防除方法が求められている。

そのため、食害がどのような条件で増加するかを把握すれば、そこに焦点を当てた対策をとることが可能になると考えられるが、それには継続的な観察が必要である。手塚らは愛媛県西条市の沖合漁場において、タイムラプスカメラで撮影した映像を解析し、カモ類個体数の経時的推移を求め、その変動要因を求めているが⁸⁾、有明海の漁場で継続的にカモ類の来遊行動を確認した記録はない。

そこで、本研究では、漁場におけるカモ類の出現実態を継続的に把握し、その特徴を得ることを目的に調査を行った。

なお、本報告では、ノリ漁場に他の場所から来る言葉として「来遊」という言葉を使った。本来ならばカモ類は鳥類であるから「飛来」という言葉が適当であるが、撮影された映像を見る限り、カモ類は「飛んで来る」ことはほとんど見られず、水上を遊泳して来ているので、あえて「来遊」という言葉を用いている。

方 法

1. 昼間におけるカモ類の行動

1) 調査場所及び調査期間

調査場所は、ノリ葉状体の消失が多い漁場のうち、カモ類の来遊が多いとの情報のある、農林水産大臣管轄区域区画漁業権漁場207号（以下農区207号）、福岡県有明海区域区画漁業権漁場4号、35号、36号、37号（以下有区4号、有区35号、有区36号、有区37号）の5か所で行った（図1）。調査期間は、2019年度から2022年度までの4年間にかけ

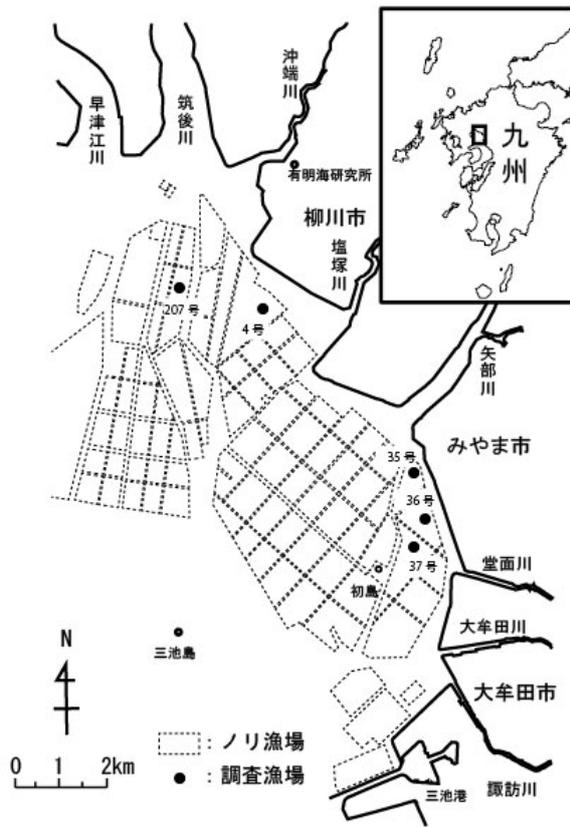


図1 調査実施場所

表1 調査実施期間

漁場名	調査期間
35号	2019年11月23日～2019年12月6日 2019年12月27日～2020年1月28日
36号	2021年1月12日～2021年3月1日
37号	2020年11月6日～2020年12月14日
207号	2020年11月17日～2020年12月22日 2021年1月18日～2021年3月12日
4号	2022年1月7日～2022年2月25日 2022年11月22日～2022年12月26日 2023年1月10日～2023年2月9日 2023年1月26日～2023年3月7日

て実施した(表1)。

2) 漁場でのカモ類の撮影

カモ類の来遊状況の把握は、タイムラプスカメラ TLC200Pro (Brinno 社製) を用い、漁場を継続的に撮影することで行った。撮影は15秒間隔とし、日出

から日没まで撮影した。カメラはノリ養殖区画の小間(区画内の縦36m, 横18mの養殖区画であり、ノリ網を2枚つなげたものを1列とし、最大5列を張り込むことができる)の端の支柱に、なるべく小間内が全部写るように画角を調節して固定した。撮影された画像は、avi形式のタイムラプス動画として記録されるが、Brinno Video Playerを用いて再生し、カモ類の小間内への侵入が確認された場合は、小間内のカモ類の数とその時刻を記録した。タイムラプスカメラの画像では、カメラの近くに映った個体以外はカモ類の種類の同定が困難であったため、全てをカモ類として一括して取り扱った。

3) 取得した画像の解析方法

撮影されたデータは、5漁場、4年間分であるが、それぞれの調査回次を詳細に見れば、カモ類の来遊の傾向は、場所や年によって若干異なると考えられる。ここでは、福岡県有明海の岸寄りの漁場における全体的なカモ類の行動の傾向を把握したいので、調査回次個々の比較は行わず、データを平準化するために、全てのデータを集合して集計した。

画像の解析にあたり、カモ類が小間内に侵入してから退出するまでの最大羽数をその侵入した群の羽数とし、侵入時刻から退出時刻までの時間をその群の滞留時間とした。なお、侵入から退出までの時間が短く、明らかにカモ類がこの漁場で採食せずに通過したと判断される場合は計数に含めなかった。滞留した群の羽数は、1～9羽、10～19羽、20～29羽、30～39羽、40～49羽、50羽以上の6階級に分け、階級別の出現頻度、滞留時間を求めた。

漁場でのカモ類はノリを常に採食しているわけではなく、休んでいる場合も多く見られるが、タイムラプスカメラの細切れの映像でこれを判別することは難しい。しかし、滞留時間に比例してノリの採食が行われていると推測できるので、延べ滞留時間(羽数×滞留時間)を食害強度の指標とした。この指標を用いて、出現時刻及び日別滞留時間を解析し、カモ類の来遊行動の特徴を把握した。出現時刻については、その群が最初に出現した時刻を「出現時刻」とし、1時間別に集計した。日別滞留時間については、それぞれの年次の調査期間が異なるため、各日の延べ滞留時間の総和を各日に該当する調査回次数で除して、1日当たりの平均延べ滞留時間にして集計した。また、有明海は干満差が大きく潮汐との関係が切り離せないため、潮汐と連動する月

齢別の延べ滞留時間も求めた。

2. 夜間におけるカモ類の行動

調査場所及び調査期間は昼間に実施した調査と同様である。撮影には、昼間の調査に用いたタイムラプスカメラでは光量不足となり使えないので、自ら赤外線を発光するトレイルカメラ RD1006AT（販売元サンコー株式会社）で撮影した。撮影された画像は、1枚ずつ jpeg 形式の静止画像として記録される。撮影は日没から翌日の日出まで行ったが、トレイルカメラでの赤外線発光による撮影は多くの電力を消耗し、撮影間隔を短くすると長期間の撮影が行えないので撮影間隔を5分間とした。また、赤外線発光による撮影範囲が20m（製品の仕様による）と限られ、昼間の撮影のような小間全体の様子は撮影できなかった。これらの制限から、夜間の観察では量的な解析は行わず、画像にカモ類が写っていれば、写った羽数を問わず、出現として記録した。

データの解析については、昼間の調査と同様、調査した4年間分の全てのデータを集合して集計し、時刻別の出現回数、日別の出現回数及び月齢別の出現回数を求めた。時刻別の出現回数については、撮影された画像にカモ類が映っていれば出現とし、撮影された時刻毎に（5分間隔）すべての調査期間における出現回数の総和を求めてグラフ化した。日別の出現回数については、昼間の調査と同様に、それぞれの年次の調査期間が様々なので、各日の出現回数の総和を各日に該当する調査回次数で除して、1日当たりの平均出現回数にして集計した。

結 果

1. 昼間におけるカモ類の行動

1) 群の羽数別の出現頻度と滞留時間

群の羽数別の出現回数を図2に示した。群の羽数が多いほど、出現回数は少なかった。最も出現回数が多かったのは1～9羽の群であり、全体の約80%を占め、群の多くは10羽未満の少数で来遊していた。一方、20羽以上の来遊回数は全体の約6%と非常に少なかった。

次に群の羽数別の平均滞留時間を図3に示した。平均滞留時間は来遊回数とは逆に、10羽未満の少数群の羽数が最も少なく、群の羽数が増えるに従い、多くなる傾向が見られた。そのため、食害の強度の指標とした延べ滞留時間は、1～9羽の少数群は、全

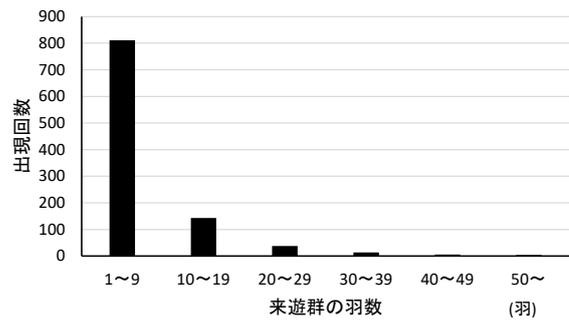


図2 群の羽数別出現回数

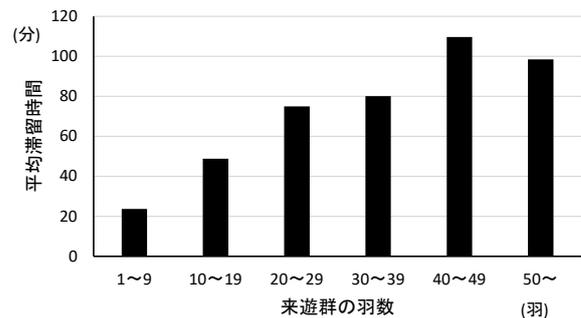


図3 群の羽数別平均滞留時間

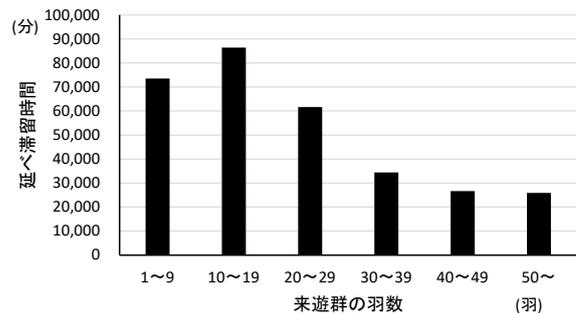


図4 群の羽数別延べ滞留時間

体の23%にとどまり、最も多かったのは10～19羽の群の28%であった。また、出現回数では、約6%に過ぎなかった20羽以上の群の延べ滞留時間は、全体の約50%に及んだ（図4）。

2) 出現時刻

昼間の出現時刻別の延べ滞留時間を図5に示した。なお、観測時間は日没までに限られるので、16時以降の出現群は除外して計数した。

カモ類は、早朝の6時と正午から14時にかけて多かったが、その他の時間帯にあまり差は見られなかった。群の羽数別では、1～9羽の群と10～19羽の群は、特に多くなる時間帯はなく、20羽以上の群は6時と12時が多かった。

3) 日別延べ滞留時間

昼間の日別延べ滞留時間を図 6 に示した。カモ類は、早くは11月初旬に確認された例はあるが、増加が始まるのは11月下旬からで、12月下旬まで多い状況が続き、1月初旬からは、3月初旬まで、周期的に増減しながら、ほぼ連続して出現していた。また、1日だけではあるが、日本での越冬の最終盤と

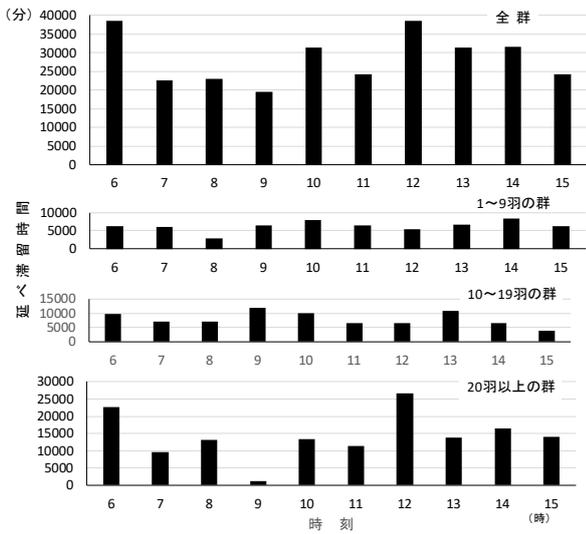


図5 出現時刻別延べ滞留時間

なる時期に多く集合する日があった。群の羽数別で、3月中旬まではほぼ連続して出現したが、特に増加した期間は見られなかった。これに対し、20羽以上の群は、11月下旬から12月にかけて、及び1月中旬に多くなる傾向が見られ、また、3月中旬に多数が集合していた。

4) 月齢別延べ滞留時間

昼間の月齢別延べ滞留時間を図 7 に示した。月齢別の延べ滞留時間は不規則な変動はあるものの、大きく見ると月齢7日と月齢23日をピークにした2つの山が見られた。群の羽数別では、1~9羽の群は、月齢による増減はあまり見られないが、10~19羽の群と20羽以上の群は、出現する期間に限られ、その期間のうち、突出して多く出現する期間があった。

2. 夜間におけるカモ類の行動

1) 出現時刻

夜間における時刻別出現回数を図 8 に示した。カモ類の時刻別出現回数は、日没後から18:30まで増加し、その後、18:30から0:00まではほぼ一定とな

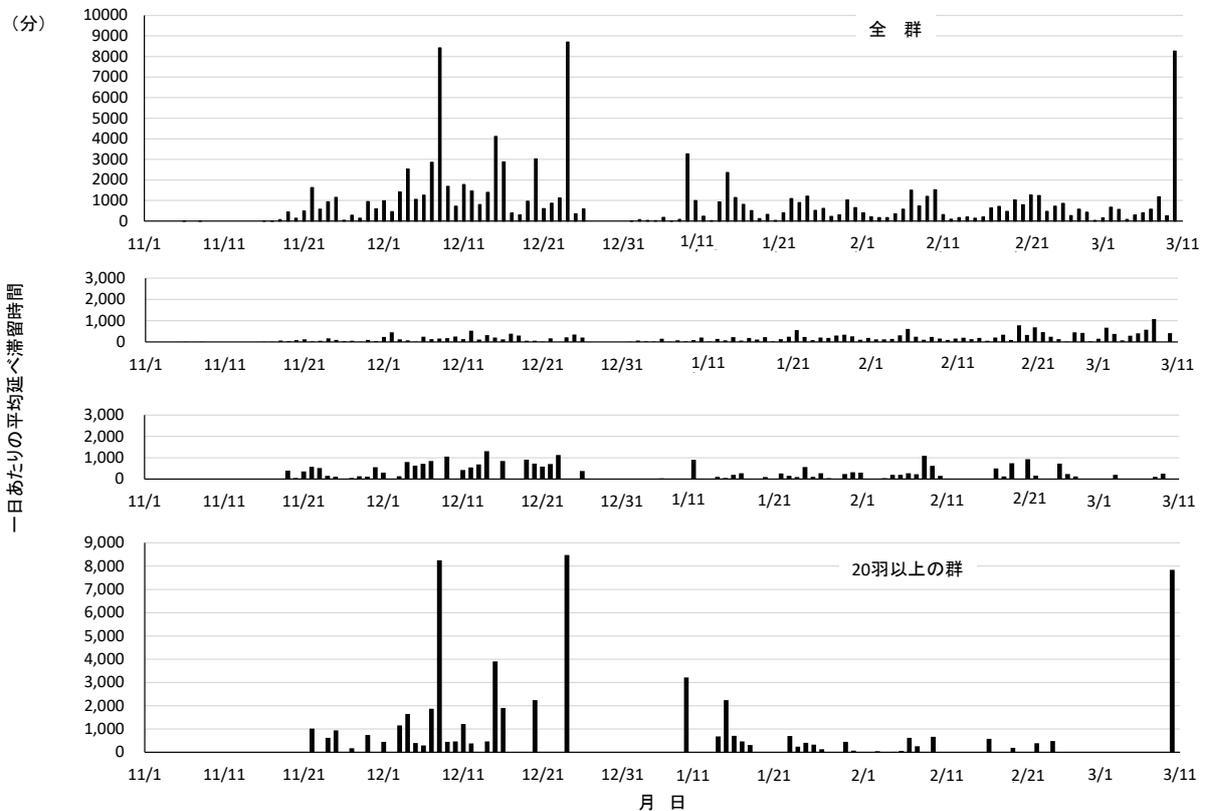


図6 日別延べ滞留時間

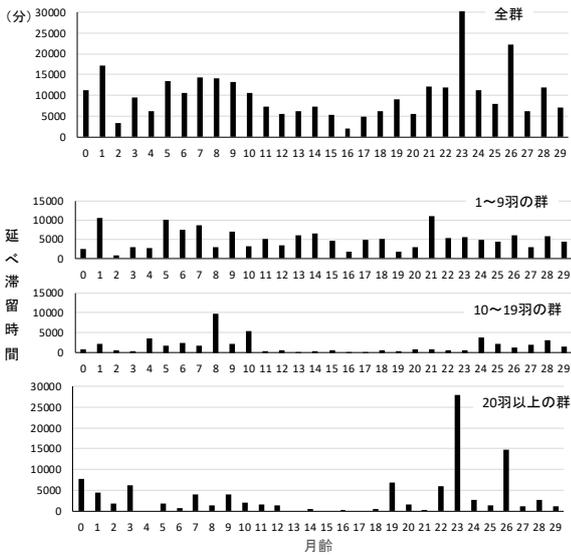


図7 月齢別延べ滞留時間

った。0:00 からは再び増加し 1:30 頃にピークとなった後は、4:00 まで減少した。4:00 から 6:00 までは、増減はあるものの、ピーク時の約半数のレベルで推移した。

2) 日別出現回数

夜間における日別平均出現回数を図 9 に示した。カモ類は、11 月下旬から 12 月下旬まで、1 月中旬から 3 月中旬まで出現していた。このうち、最も平均出現回数が多かった期間は、12 月初旬から下旬にかけて、及び 1 月中旬であった。なお、1 月中旬以降の平均出現回数は、昼間の観測と同様に周期的に増減を繰り返していた。

3) 月齢別出現回数

夜間における月齢別平均出現回数を図 10 に示した。月齢別の平均出現回数は、昼間とほぼ同じく、月齢 2~7 日と月齢 17~23 日をピークとした 2 つの山が見られるが、増減が激しく不明瞭であった。

考 察

食害によるノリ葉状体の消失は全国的問題となっているが、その原因種の多くは魚類であり^{9),10)}、防除網を設置する等の対策が取られ、効果を上げている例も見られる。¹¹⁾福岡県有明海域ではカモ類が主な原因種であり、カモ類に対しても防除網の設置が最も確実な防除方法と考えられ、兒玉らはノリ養殖

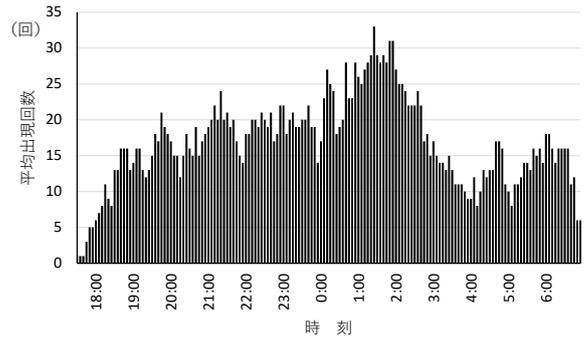


図8 時刻別平均出現回数 (夜間)

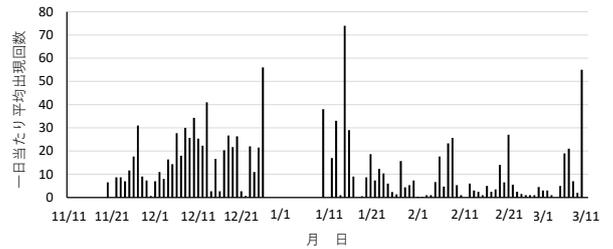


図9 日別平均出現回数 (夜間)

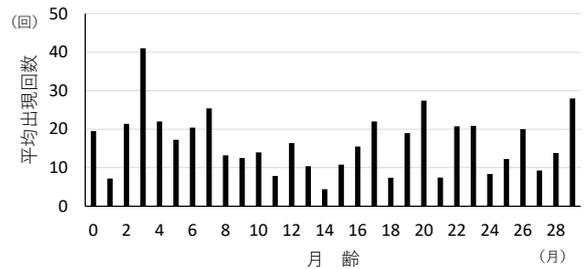


図10 月齢別平均出現回数 (夜間)

施設全体を囲う方法が有効であることを、漁場試験で実証している。²⁾しかし、福岡県有明海のノリ養殖は支柱式であり、干満差が大きいことから、地面から出ている支柱も 5~6m と長く、これを覆う防除網は規模が大きくなり、設置に多大な労力を要すると考えられ現実的でない。他の方法では、吹き流しの設置でヒドリガモのコムギへの食害が発生しなかったとの報告もあるが¹²⁾、鳥類は学習(慣れ)が生じ、持続的な効果を得ることは難しく⁶⁾、防除対策は困難を要する。そのため、ノリ漁場における確実なカモ類の防除対策は、現在のところ、地道に人の手(漁船)で追い払うしかはないが、カモ類の来遊は全期間にみられ、全てに対して追い払いを行うのは不可能である。そこで、食害の強度が高まる期間や時間帯、その対象群が把握できれば、効率的に追い払うことができると考えられる。

(1) 多数群への対応

本報告では、来遊群の羽数別による解析を行ったが、来遊回数については、群の羽数が多くなるに従い減少するが、滞留時間は増加する傾向が見られ、中でも来遊回数が全体の約6%にしか過ぎない20羽以上の多数群（以下多数群という）の延べ滞留時間は、全体の50%を占めた。これは、多数群は、ノリ漁場への出現が少ないにもかかわらず、食害の強度が高いと推察される。1~9羽の少数群（以下少数群という）も、それなりの食害の強度はあるが、来遊回数が多く、追い払いコストは多大となる。多数群を対象にすれば、追い払いの回数が少なく、かつ、多数のカモ類の追い払いが期待できる。

多数群の行動については、日別推移や月齢別推移において特徴的な出現動向が見られた。

日別推移では11月下旬~12月及び1月中旬に延べ滞留時間が多くなっていた。福岡県有明海のノリ養殖は、秋芽網生産、冷凍網生産の2期作体制でノリ養殖が行われている。カモ類の延べ滞留時間が多い11月下旬~12月は秋芽網生産期の初期、1月中旬は冷凍網生産期の初期にあたり、それぞれノリ葉状体が伸長し、初摘採が始まる頃である。この時期に採食されると、2回目摘採以降のノリ養殖が継続できなくなり、大きな被害を受けるので、対策を必要とする重要な期間と位置付けられる。

なお、12月末~1月初めは、全くカモ類が出現していない期間があるが、この期間は秋芽網期から冷凍網期に転換する際の休漁期間にあたり、ノリ網が張られていないためと考えられる。休漁期間明けの冷凍網期の初期に延べ滞留時間が増加するのは、休漁期間中は海上の餌場が少なかったのが、養殖が再開されてノリ葉状体が伸長し、カモ類にとって良質の餌場が出現したため、餌を求めて漁場に集中するからであろう。

また、秋芽網期の初期にも延べ滞留時間が増加しているが、この時期に出現するのは主にヒドリガモであった。Dokoらのヒドリガモの衛星追跡に基づく調査では、秋の渡りにおいて、終了日の日付の第1四分点が11月3日、第3四分点が12月5日であったことから¹³⁾、この時期は秋の渡りを終えるピークの頃で、ヒドリガモが多集団を形成するのは、渡りを終えた直後であることに関係すると思われる。

月齢別推移については、月齢7日と月齢23日の2つの山が出現しているが、これは小潮期にあたり、

正午ごろに満潮を迎え、ノリ網が海面に浮かんでいる時間が長く、また、潮の流れも緩いため、カモ類が行動しやすいのであろう。

以上から、11月下旬から12月かけて及び1月中旬前後の小潮時に集中して追い払いを行うことが効果的と推測された。

(2) 夜間の対応

今回、カモ類が夜間にノリを採食する様子が撮影された。ノリ網全面に着生していたノリ葉状体が7日間ではほとんど素網状態となる様子も捉えられ(図11)、夜間における食害の深刻さを示しており、対策の必要性が示唆される。

カモ類の活動時間の違いの要因は、採食の仕方によるものと指摘されており、それは「漉し取り採食」と「つまみ取り採食」に分けられる。夜行性の傾向が強いマガモやカルガモは「漉し取り採食」（くちばしを水面につけ、くちばしを少し開けては閉じることを繰り返し、水と一緒に食物を取り込み、板歯の間から水を出す）を行うが、くちばしの幅が狭まるにつれ、狙って食物をとる「つまみ取り採食」が得意となり、ヒドリガモのような「つまみ取り採食」のカモ類は、昼間の明るいうちでないと食物を視認できないとされている。しかし、水面採食性カモ類は、得手不得手はあっても採食方法を選択でき、採食場所の安全性、食物の視認度合いに応じて行動パターンを変えていることが指摘されている。¹⁴⁾ 今回、夜間に撮影されたのは主にヒドリガモと見られ、夜間のノリ漁場を安全な場所とみなし、行動パターンを変え採食したものと思われる。

夜間においては、出現時刻は0:00から1:30頃が特に多かった。これは、ノリの摘採は、乾ノリ製品の光沢度と黒みを上げるために夜間の摘採が行われているが¹⁵⁾、0:00頃には摘採作業を終えて帰港するため、海上が無人となることが原因と思われる。

夜間の出現回数の日別推移及び月齢別推移は、ほぼ昼間の調査結果と同様な傾向を示した。

日別推移において、夜間の出現が多くなる時期は、昼間での多数群が多く出現する時期と重なり、この時期は昼夜を通じて食害の危険にさらされているものと思われる。

月齢別推移においては、2つの山が観察されたが不明瞭であり、夜間のカモ類の行動は、月齢より他の因子の作用の方が大きいとも言える。ただし、カモ類が多く出現するのは夜半に満潮を迎える潮候で



図11 夜間のカモ類の採食によるノリ葉状体の消失状況

あった。逆に、月齢 11 日から 15 日までの出現は比較的少ないが、この期間は、カモ類の行動が活発になる 0:00~4:00 頃にノリ網が干出するため、食害が少なくなるものと思われる。

これらの結果から、夜間においては、12 月初旬から下旬まで、及び 1 月中旬の期間において、夜間に満潮を迎える潮時の 0:00~1:30 に集中して追い払いを行うことが効果的と推測された。

(3) 今後の課題

効果的な追い払いをするには、多数群を対象に、多く出現する時期、時刻、潮候に集中的に実施する方法を提案したが、養殖作業の忙しい時期に、人手で追い払いを行うのは難しく、しかも、夜間での食害は、真夜中に起こっていることもあり、実施するのは至難である。現在、食害対策として、海上かかしやテープ等の様々な防鳥機器が利用されているが、前述のように鳥類は慣れが生じやすく、防鳥機器に絶対的な忌避効果はない。ただし、一時的な効果はかなり実用性が高い⁷⁾と認められるので、初摘採前のノリ葉状体が短く、食害の影響が大きな時期の短期間対策として防鳥機器を、夜間の対策であればカモ類が不信と思うような光を発する機器を設置する等、使用機器とあわせて設置時期にも工夫が必要であろう。

他の追い払いに関する問題として、カワウでは繁殖抑制をしているコロニーで、不用意な銃器捕獲を行ってかく乱すると、他の場所に繁殖地が分散し、逆に個体数が増えるという現象がある。^{16,17)}ノリ養殖場のカモ類は、カワウのように繁殖地が増えるわけではないが、多数群を追い払うと少数群となり、被害地域が広範囲に分散する可能性はある。また、ニホンザルでは、自分たちの管理地を追い払うだけでは、被害が他に移るだけで、追い払いを効果的なものにするには、集団的な追い払いで、地域一帯が危険だと認識させなければならないとしている。¹⁸⁾

このように、効果が上がらないことも考えられるため、対策後の来遊状況を確認することが必要であろう。

謝 辞

本研究にあたり、漁場へのカメラの設置に協力していただいた大和漁業協同組合の西田 剛氏、大川市漁業協同組合の古賀八郎氏、沖端漁業協同組合の

古賀健一氏に心から感謝を申し上げます。

文 献

- 1) 坂本聡志. 筑後川河口域漁場におけるノリ芽流失の現状と対策. 私達の海苔研究 1993 ; 42 : 25-30.
- 2) 兒玉昂幸, 白石日出人, 淵上 哲. 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 2014 ; 24 : 13-23.
- 3) 松岡 茂. 鳥のディストレスコールの機能と鳥害防除への利用. 植物防疫 1990 ; 44 : 220-223.
- 4) 細川博昭. 鳥を識る なぜ鳥と人間は似ているのか 春秋社. 東京. 2016.
- 5) 中村和雄, 岡ノ谷一夫. 音声の利用による鳥害防除. 日本音響学会誌 1992 ; 48 : 577-585.
- 6) 山本由紀子. 音を用いた鳥獣防除の現状と課題. 白梅学園大学・白梅学園短期大学紀要 2023 ; 59 : 67-82 (2023)
- 7) 塚原直樹. ヒトとカラスの知恵比べ 生理・生態から考えたカラス対策マニュアル 化学同人. 京都. 2024.
- 8) 手塚尚明, 梶原直人, 小栗一将, 喜安宏能, 渡部祐志, 塩田浩二. 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 2023 ; 89(1) : 34-48.
- 9) 高倉良太, 谷田圭亮, 梶原慧太郎, 五利江重昭. 兵庫県のノリ養殖における食害実態. 水産増殖 2024 ; 72(2) : 139-149.
- 10) 松村貴晴, 村内嘉樹. バリカン症対策技術開発. 平成 27 年度愛知県水産試験場業務報告 2016 : 19-20.
- 11) 平野真一. クロダイ食害の最前線における闘いー防除ネット改良の軌跡ー. 私達の海苔研究 2023 ; 70 : 17-24.
- 12) 吉田 憂美. 野生鳥獣被害防止マニュアル改訂版 鳥類編 3 章 被害対策の取組事例 ムギのヒドリガモ対策について 農文協プロダクション. 東京. 2017.
- 13) Doko T, Chen W, Hijikata N, Yamaguchi N, Hiraoka E, Fujita M, Uchida K, Shimada T, Higuchi H. Migration Patterns and Characteristics of Eurasian Wigeons (*Mareca penelope*) Wintering in Southwestern Japan Based on Satellite Tracking. *Zoological Science* 2019 ; 36(6) : 490-503.
- 14) 嶋田哲郎. 知って楽しいカモ学講座ーカモ, ガン, ハクチョウのせかいー 緑書房. 東京. 2021.
- 15) 有明海における高呈味性ノリ製品の生産技術の検討. 半田亮司. 福岡県水産海洋技術センター研究報告. 1997 ; 7 : 37-43
- 16) カワウ対策DX 水産庁 令和 6 年 2 月発行. <https://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/attach/pdf/naisuimeninfo-17.pdf>, 2024 年 12 月 9 日閲覧
- 17) カワウの繁殖抑制対策等を用いた内水面の漁業資源保全に関する技術. 坪井 潤一. 日本水産学会誌 2024 ; 90(5) : 389-392.
- 18) 山端直人. 動物の行動から考える 決定版 農作物を守る鳥獣害対策 第 4 章 サルの対策効果が出る「集団ぐるみの追い払い」の行動様式と実例 誠文堂新光社. 東京. 2018.

筑前海におけるイサキの成熟と成長および漁獲物の年齢組成

松島 伸代・長倉 光佑・長本 篤^a・吉浦 藍
(水産海洋技術センター)

筑前海におけるイサキの成熟、年齢と成長の関係および漁獲物の年齢組成について調査を行った。その結果、イサキの生殖腺指数は雌雄ともに5~6月に盛期となり、1990年代の同海域よりも成熟時期が約1ヵ月早期化していた。また、耳石の不透明帯は6~7月に1本形成され、年齢はそれぞれ雄0~31歳、雌0~25歳と推定された。得られた成長曲線は、他の海域と比較して若齢魚の成長が遅く、漸近尾又長が大きい結果となった。さらに、得られたAge-Length Keyと市場調査の結果から年齢別漁獲尾数を算出した結果、漁獲開始年齢は2歳からであり、一本釣り、1そうごち網、刺し網漁業において10歳以上の漁獲割合が高い傾向が見られた。

キーワード：イサキ、年齢、成長、年齢別漁獲尾数、成熟、筑前海

イサキ *Parapristipoma trilineatum* は、新潟県~九州南岸の日本海・東シナ海沿岸、瀬戸内海、宮城県~九州南岸の太平洋沿岸、東シナ海大陸棚域、朝鮮半島南岸、中国南シナ海沿岸に分布する魚種で¹⁾、筑前海では主に一本釣り漁業で漁獲され、まき網、ごち網、さし網漁業などでも混獲されている。筑前海におけるイサキの研究は1990年代に行われており、漁業種類別の体長組成や、月別漁場別漁獲量の変化、生殖腺指数の経月変化が報告されている²⁾。また、イサキの年齢と成長に関する研究は、これまで鱗や耳石表面法による年齢査定方法で行われてきた³⁻⁷⁾。しかし、鱗による年齢査定では耳石表面法と比較して、輪紋が不明瞭な個体や偽輪の出現が多いため、耳石に比べ年齢形質として劣っていることが報告されている⁸⁾。一方、耳石表面法による年齢査定では特に高齢魚の年齢を過小に評価することが報告されているため⁹⁾、近年は耳石横断切片法を用いた年齢査定が行われている⁹⁻¹¹⁾。

漁業・養殖業生産統計年報によると、福岡県東シナ海区のイサキの漁獲量は2022年に310tであり、近年は2018年の644tを除き300t前後で推移している(図1)。このようにイサキは一定の漁獲があり、魚価も高いことから、筑前海の漁業者にとって重要魚種である。また、全国的な取り組みとして、2020年に施行された改正漁業法に基づき、イサキは2021年度に新たな資源評価対象魚種となっている。このため、福岡県も2021年度から資源評価に参画し、安定した資源を維持するための調査を行っている。資源評価において、成熟や成長などの生態的知見は不可欠な情報の一つであるが、筑前海における近年の成熟や、年齢と成長の関係などはいまだ報告されていない。そのため本研究では、近年のイサキの成熟時期について明らかにし、さらに耳石の横断切片法を用いた成長式・Age-Length Keyと、年齢別漁獲尾数の算出を行うことを目的とした。

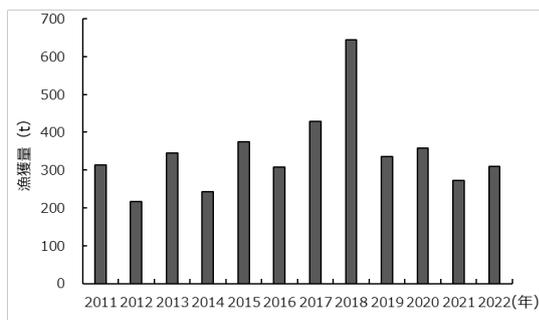


図1 筑前海におけるイサキ漁獲量

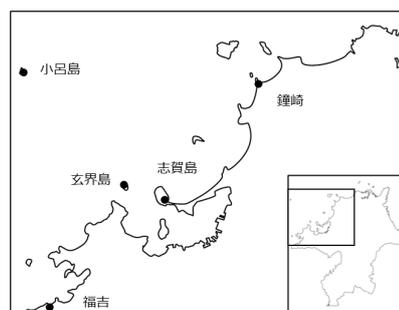


図2 調査海域

a 現所属：水産振興課

方 法

2021年4月から2024年8月にかけて、福岡市小呂島、志賀島、玄界島、糸島市福吉、および宗像市鐘崎の各漁港で水揚げされたイサキを3,278個体購入し、標本に用いた(図2)。標本は一本釣り、まき網、1そうごち網、2そうごち網、定置網、および刺し網漁業で漁獲されたものとした。購入した標本は氷蔵して持ち帰り、尾叉長(Fork Length: FL)と体重(Body Weight: BW)をそれぞれ1mm、0.1g単位で測定した後、次の項目に沿って処理を行った。

1. 成熟時期

標本から生殖腺を取り出し、肉眼で性の判別を行い、生殖腺重量(Gonad Weight: GW)を0.001g単位で秤量した。なお、生殖腺が未熟で肉眼による雌雄の判別が困難な場合は標本を10%中性ホルマリンで固定したのち、スライドグラスにはさみ、顕微鏡下で精細胞、卵細胞の有無を確認した。また、生殖腺熟度指数(Gonad Index: GI, 以下GIとする)を下記の式から計算した。

$$GI = GW/FL^3 \times 10^7$$

2. 耳石輪紋形成期の推定と年齢査定

年齢査定は雄350個体、雌433個体で行った。原則として左側の耳石を用い、中心部が破損している個体や輪紋が不明瞭な個体は右側を使用した。摘出した耳石は乾燥させ、エポキシ樹脂(三啓社製)に包埋し、マルチカッター(マルトー社製)で耳石中心部から短軸方向に約2mmの厚さに切断したのち、スライドグラスにサーモプラスチックセメント(BUEHLER社製)を用いて接着し、研磨機(マルトー社製)で厚さ約0.2mmになるまで両側から削った。

耳石は顕微鏡下で写真を撮影し、輪紋数を計数した。また、輪紋形成期を推定するため、輪紋数が1~5の個体については、画像処理ソフトImageJを用いて耳石中心から縁辺までの距離(R)と、中心から最外輪紋までの距離(r_n)、中心から最外輪紋の1つ前の輪紋までの距離(r_{n-1})をそれぞれ測定し、縁辺成長率(Marginal Growth Rate: MGR)を下記の式から求めた(図3)。

$$MGR = R - r_n / r_n - r_{n-1}$$

なお、イサキは1年に一度、産卵期に輪紋が1輪形成されることが報告されていることと⁹⁾、後述する本研究の縁辺成長率の結果から、6月1日を年齢起算日とし、既報に従った年齢割り振り法を用いて年齢査定を行った¹²⁾。

3. 成長式とAge-Length Key

得られた個体ごとの年齢と尾叉長から、MS-Excelのソルバー機能を用いて非線形最小二乗法により von Bertalanffyの成長式を求めた。また、雌雄および10歳以上を一つにまとめて、20mmごとの尾叉長階級におけるAge-Length Key(以下ALKとする)を作成した。

4. 漁獲物の年齢組成

2021年4月から2023年10月にかけて、福岡市中央卸売市場において月1~2回、市場調査を行った。測定の対象は、筑前海において一本釣り、1そうごち網、2そうごち網および刺し網漁業で漁獲されたものとした(表1)。市場調査では魚箱に並べられたイサキの尾叉長を、メジャーを用いて5mm単位で測定し、併せて、出荷されている全てのイサキの箱数と入り数を記録した。なお、魚体が重なり合って尾叉長を測定できない場合は、全体が目視できる魚体を抽出して測定した。次に、測定した尾叉長に入り数と箱数の結果を反映させて全体の組成を算出し、全体の組成結果とALKを用いて年齢別の測定尾数を算出した。この上で、後述する年齢と体重の成長式を用いて年齢別測定重量を算出したのち、漁協から提供された仕切りデータから得られた各漁業種類のイサキ漁獲量を反映させることで、漁業種類別の年齢別漁獲尾数を算出した。

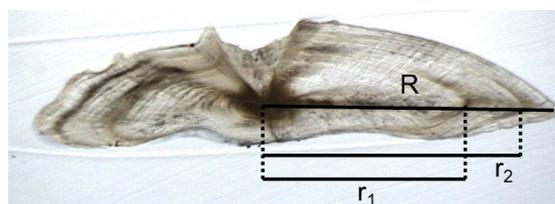


図3 輪紋数2の時の縁辺成長率測定箇所

表1 各漁業種類における漁期と測定月

漁業種類	漁期	測定月		
		2021年	2022年	2023年
一本釣り漁業	周年	4, 6, 8~11月	5~11月	4~10月
1そうごち網漁業	5~12月	5~6月	7~8月	5~6, 10月
2そうごち網漁業	4~12月	6~7, 9, 12月	5~7月	5, 7月
刺し網漁業	周年	5~7月	1~4月	4月

結 果

1. 成熟時期

未成熟の個体を除くため、雄の成熟開始年齢1歳と、雌の成熟開始年齢2歳¹³⁾の尾叉長を、後述する成長式から算出した上で、雄1歳 (FL 146mm 以上)、雌2歳 (FL 186 mm 以上) のGI について示した (図 4)。その結果、GI は雌雄ともに4月に上昇をはじめ、5、6月に極大となり、7月に減少した。1月はサンプルが得られなかったが、2~3月と8~12月は雄で2以下、雌で3以下と低い値を示した。

2. 耳石輪紋形成期の推定と年齢査定

縁辺成長率は輪紋数1で7月上旬に最も低く、8~9月にかけて上昇した。輪紋数2では6月に0.1以下の低い値を示す個体が集中して出現し、7月上旬には0.1以下の個体に加えて、0.2~0.4の個体も多く出現し、6月よりも縁辺の成長がみられた。輪紋数3~5でも輪紋数2と同様に、6月に縁辺成長率が最も低い個体が出現し、7月以降上昇傾向となった (図 5)。以上の結果から、本研究では年齢起算日を6月1日とした。

次に、各個体の採集月と輪紋数、縁辺成長率に応じて個体ごとに年齢の割り振りを行った。6~7月に採集された個体は年齢=輪紋数とし、8~9月に採集された個体は年齢=輪紋数+1/6、10~11月は年齢=輪紋数+2/6、12~1月は年齢=輪紋数+3/6、2~3月は年齢=輪紋数+4/6、4~5月は年齢=輪紋数+5/6とした。なお、例外として、4~5月に縁辺成長率が小さいものは輪紋形成直後と判断し、年齢=輪紋数+5/6-1とし、6~7月に縁辺成長率が高いものは輪紋形成直前と判断し、年齢=輪紋数+1とした。

年齢査定した標本の尾叉長範囲は雄 84~383mm、雌 87~398 mmであった。年齢は雄 0.33~31.83歳、雌 0.33~25歳と推定された。年齢査定を行った標本について、雌雄込みの小数点以下切り捨てとした各年齢における平均尾叉長と分散を示した (表 2)。

3. 成長式と Age-Length Key

年齢査定結果をもとに成長式を当てはめると、雌雄別に以下のように推定された (図 6)。

$$\text{雄: FLt} = 340 [1 - \exp\{-0.224(t+1.51)\}]$$

$$\text{雌: FLt} = 355 [1 - \exp\{-0.233(t+1.17)\}]$$

雌雄の成長式について、F検定によって残差平方和を

比較したところ有意な差はみられなかった (F=1.05, p=0.25)。次に、雌雄込みの成長式を求めた。

$$\text{雌雄: FLt} = 344 [1 - \exp\{-0.240(t+1.23)\}]$$

さらに、雌雄および10歳以上を一つにして20mmごとの尾叉長階級におけるALKを作成した (表 3)。

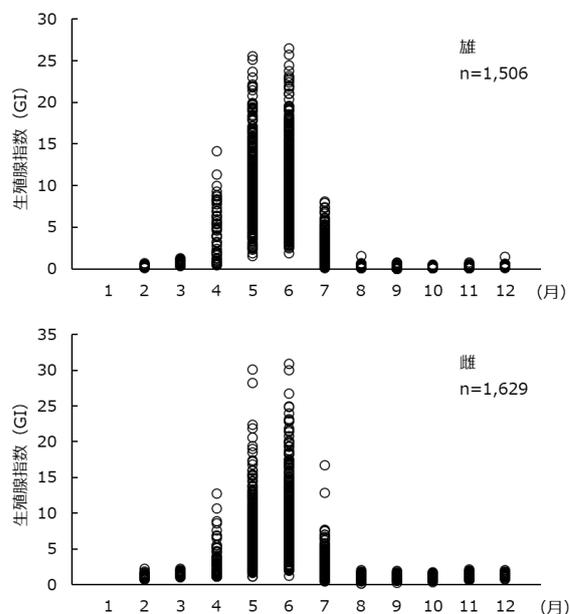


図 4 雌雄別のGIの経月変化

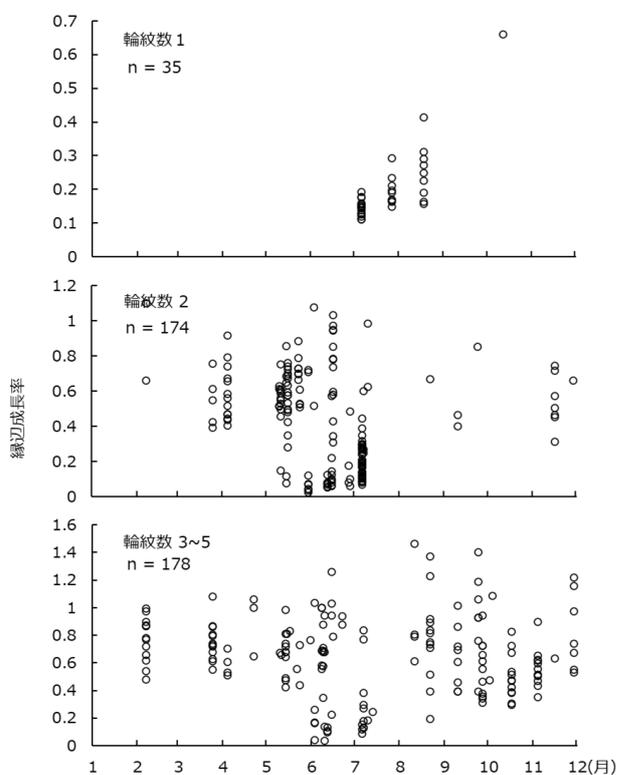


図 5 輪紋数別の縁辺成長率の経月変化

また、体重と尾叉長の関係式は、以下のように推定され、雌雄の違いはほとんどみられなかった(図7)。

雄: $BW = 1.0 \times 10^{-5} FL^{3.053}$ ($r^2 = 0.954$)

雌: $BW = 9.0 \times 10^{-6} FL^{3.095}$ ($r^2 = 0.954$)

雌雄: $BW = 1.0 \times 10^{-5} FL^{3.075}$ ($r^2 = 0.954$)

次に体重(BWt)の成長式を推定した。

雄: $BWt = 655 [1 - \exp\{-0.180(t+2.49)\}]^3$

雌: $BWt = 749 [1 - \exp\{-0.210(t+1.44)\}]^3$

雌雄: $BWt = 671 [1 - \exp\{-0.213(t+1.62)\}]^3$

雌雄の成長式を、F検定によって残差平方和を比較したところ有意な差はみられなかった(F=1.08, p=0.14)

表2 雌雄込みの年齢査定結果

年齢	平均尾叉長 (mm)	分散 (s ²)	個体数 (n)	年齢	平均尾叉長 (mm)	分散 (s ²)	個体数 (n)
0	98	54	25	15	335	389	11
1	151	386	49	16	348	430	8
2	199	411	154	17	336	342	16
3	235	356	114	18	351	435	8
4	259	350	36	19	350	775	11
5	278	663	34	20	348	260	4
6	281	547	116	21	355	694	5
7	294	461	55	22	358	286	4
8	306	695	49	23	372	406	3
9	315	598	15	24	372	0	1
10	323	906	15	25	367	342	2
11	342	725	11	26~28	-	-	0
12	339	521	10	29	369	72	2
13	324	341	8	30	-	-	0
14	327	641	15	31	348	49	2

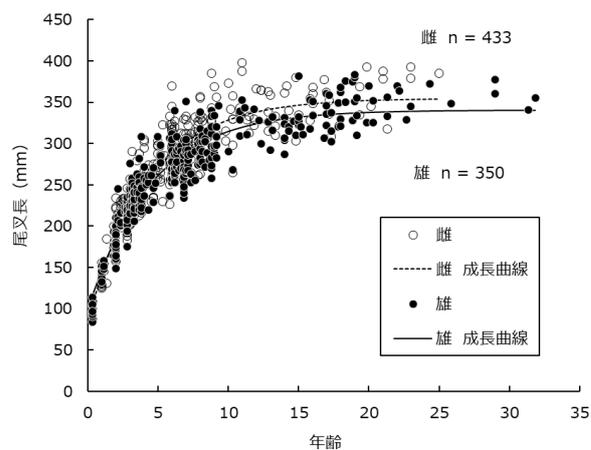


図6 雌雄別の成長曲線

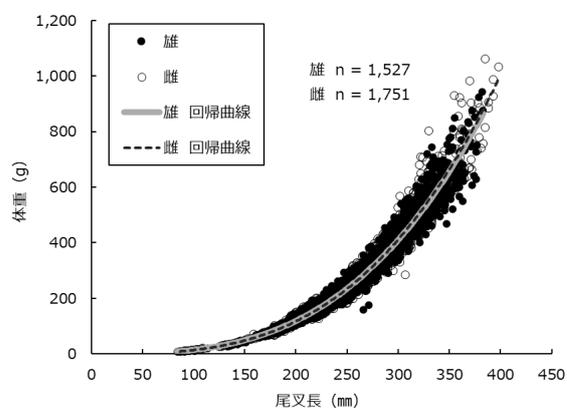


図7 雌雄別の尾叉長と体重

表3 雌雄込みのALK

尾叉長 (mm)	個体数 (n)	年齢												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10+		
<100	15	1.00												
101-120	10	1.00												
121-140	18		1.00											
141-160	22		0.86	0.14										
161-180	39		0.18	0.82										
181-200	53		0.09	0.91										
201-220	72			0.63	0.36	0.01								
221-240	83			0.29	0.57	0.07	0.05	0.02						
241-260	80			0.03	0.43	0.18	0.06	0.26	0.04	0.01				
261-280	93				0.03	0.13	0.11	0.49	0.12	0.10				0.02
281-300	80				0.04	0.01	0.11	0.31	0.28	0.13	0.06	0.06		
301-320	79				0.01	0.03	0.04	0.20	0.15	0.20	0.08	0.29		
321-340	67						0.04	0.06	0.09	0.13	0.01	0.66		
341-360	36							0.03	0.03	0.08	0.06	0.81		
361-380	27							0.04			0.04	0.93		
381-400	9									0.11		0.89		

4. 漁獲物の年齢組成

年齢組成を解析したところ、一本釣り漁業では、年や月による違いはあるものの0～1歳魚の漁獲はほとんどなく、2歳魚から漁獲されていた。また、2022年の6～7月は3歳魚および6歳魚の漁獲が多かったが、2023年の6月は10歳以上が多くなるなど、年によって傾向が異なる結果となった(図8)。一本釣り漁業の3年間の平均年齢別漁獲尾数に占める各年齢の割合は3歳が21%と最も高く、全漁獲尾数のうち3～6歳で約5割を占める結果となった。また、他の漁業種類でも一本釣り漁業と同様に2歳魚から漁獲が確認された。漁業種類別にみると、1そうごち網漁業では10歳以上の割合が23%と最も高く、2そうごち網漁業では3歳魚の割合が31%と最も高かった。また、刺し網漁業では6歳魚の割合が30%と最も高かった(表4)。

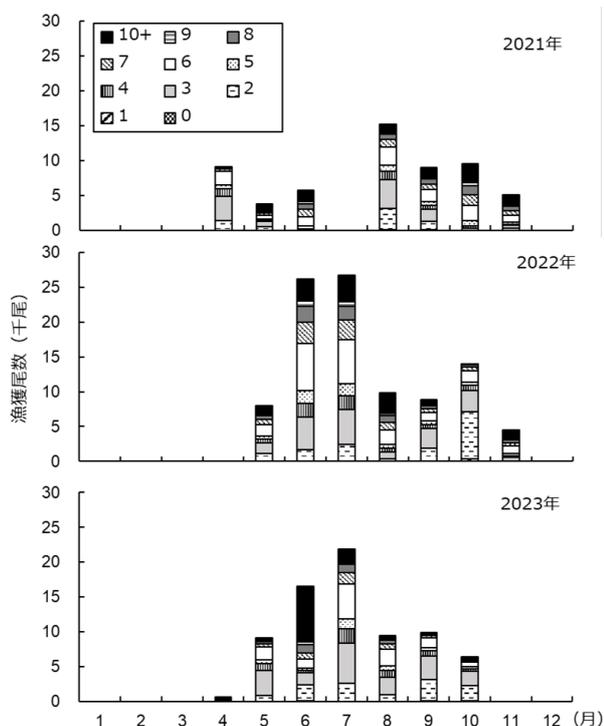


図8 一本釣り漁業における年齢別漁獲尾数

表4 漁業種類ごとの年齢別漁獲尾数割合

漁業種類	年齢										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10+
一本釣り	0%	0%	14%	21%	7%	6%	20%	8%	7%	2%	15%
1そうごち網	0%	0%	9%	17%	6%	6%	19%	10%	8%	3%	23%
2そうごち網	0%	0%	25%	31%	7%	5%	14%	5%	4%	1%	8%
刺し網	0%	0%	2%	12%	8%	8%	30%	13%	10%	3%	15%

考 察

1. 成熟時期

本研究では、GIは雌雄ともに4月から上昇し、5～6月に極大となり、7月に減少するという結果となった。1993～1995年に筑前海で行われた研究では、GIは5月から上昇し、6月～7月上旬にかけて極大となり、7月下旬に減少していた²⁾。また、1993～1994年に筑前海と隣接する山口県沿岸で行われた研究でも、GIは5月から上昇し、6～7月に高いことが報告されている⁶⁾。以上のことから、現在の筑前海沿岸では1990年代と比較して成熟時期が約1ヵ月早くなっていることが示された。イサキの成熟時期の早期化は他の海域でも報告されており、徳島県牟岐大島周辺では盛漁期の結果から、産卵期は1990～1993年に6～7月と推定されていたが、1994年から1997年にかけて、5月主体に4～6月へと変化しており、筆者は水温上昇の影響について考察している¹⁴⁾。また、熊野灘では1978～1979年にGIの結果から産卵期は6～8月としており¹⁵⁾、近接した紀伊半島南西岸では1998～2006年に、GIの結果から産卵期は4～7月としている¹⁶⁾。本海域でも、他海域での報告と同様に、成熟時期が早期化していることから、水温上昇などの環境変化に影響を受けている可能性が考えられる。

また、紀伊半島南西岸では、GIの結果から産卵期を4～7月としていたが¹⁶⁾、生殖腺組織学的観察の結果から排卵後濾胞が確認されたのは5～8月であり、実際の産卵期はGIに基づいて推定されたものよりも1ヵ月ほど遅いことが報告されている¹³⁾。耳石の不透明帯が産卵期に形成されること⁹⁾を考慮すると、本研究の結果からも筑前海におけるイサキの実際の産卵期がGIの盛期よりも1ヵ月ほど遅い可能性が考えられる。今後はより詳しく産卵期を調査するために生殖腺の組織学的観察を行う必要がある。

2. 耳石輪紋形成期の推定と年齢査定

前述のとおり本研究では、GIの盛期が5～6月で、耳石の縁辺成長率が低い個体の出現は6～7月に多かった。豊後水道西部海域においては、イサキのGIは6～7月に最も高くなったことと、耳石の不透明帯は主に7～9月に形成されていたことから、不透明帯はGIの盛期後半から数ヵ月間にかけて形成されると報告されている¹⁰⁾。GIの盛期と不透明帯の形成された時期は本研究の方が1ヵ月早いですが、GIの盛期後半から1

ヵ月後にかけて不透明帯が形成されたという点で既知の報告と同様の結果となった。

本研究では年齢査定の結果、雄 0~31 歳、雌 0~25 歳が確認された。耳石横断切片法で年齢査定を行った他海域の年齢と比較すると、紀伊半島南西岸では雄 0~21 歳、雌 0~16 歳⁹⁾、豊後水道西部海域では雄 0~23 歳、雌 0~17 歳¹⁰⁾、熊野灘では雌雄は不明であるが 1~24 歳が報告されている¹¹⁾。以上のように、本研究では雄雌ともに他海域よりも高齢魚が多く確認された。その要因の一つとして、既報では主に一本釣りや定置網漁業で漁獲された標本を用いていたが⁹⁻¹¹⁾、本研究では、一本釣りと定置網漁業のほかに、漁場がより沖合となるまき網、ごち網および刺し網漁業の標本を用いた。その結果、筑前海を網羅的に調査することができ、さらにそれぞれの漁業種類で用いる漁具の特性が異なることから、幅広い成長段階の標本が得られたと考えられる。

3. 成長式と Age-Length Key

本研究における雌雄別の成長特性については、雄の方が雌よりも高齢魚が確認され、雄より雌の方が漸近尾又長が大きいという傾向があった。紀伊半島南西岸では 8 歳以上及び尾又長 300 mm 以上の個体には雄が多く¹⁶⁾、豊後水道西部海域でも雄の方が高齢魚の割合が高く、雌の漸近体長の方が大きいことが報告されており¹⁰⁾、本研究と同様の結果となった。

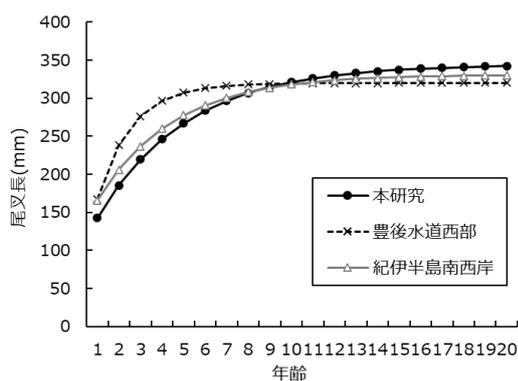


図 9 成長曲線の比較

表 5 成長式パラメータの比較

海域	年齢範囲	L_{∞}	K	t_0	文献
豊後水道西部	雄: 0~23 雌: 0~17	320	0.622	-0.193	山田ほか 2011
紀伊半島南西岸	雄: 0~21 雌: 0~15	331	0.283	-1.45	Doiuchi et al. 2007
筑前海	雄: 0~31 雌: 0~25	344	0.240	-1.23	本研究

また、紀伊半島南西岸ではイサキの雄は 1 歳以上で全個体が成熟し、雌の最小成熟年齢は 2 歳であることが報告されており、雌雄で成熟開始年齢や成熟率が異なる¹³⁾。これらのことから、雌雄で成熟の特性が異なることが成長の違いに関与している可能性が考えられる。

次に、年齢査定を耳石横断切片法で行った既報について、雌雄込みの 20 歳までの成長曲線と成長式について、本研究と比較を行った^{9, 10)} (図 9, 表 5)。本研究で得られた成長曲線は他の 2 つの海域と比較し成長が 8 歳以下では下回り、10 歳以降の高齢期では上回るという傾向がみられた。特に、8 歳以下では豊後水道西部海域との成長の差が大きく、紀伊半島南西岸と似た傾向となった。成長曲線が似た傾向を示した紀伊半島南西岸と筑前海はそれぞれ黒潮、対馬海流と強い暖流が近接しているのに対し、2 つの海域と異なる傾向を示した豊後水道西部海域では黒潮を起源とする暖流が流れ、沿岸域は複雑な地形である。このような海流や地形による違いや、水温や餌環境などの複合的な要因により、海域によって成長曲線に差異が生じたことが示唆される。

4. 漁獲物の年齢組成

本研究の結果から、調査したすべての漁業で、漁獲開始年齢は 2 歳であることと、一本釣り、1 そうごち網、刺し網漁業において、10 歳以上の漁獲割合が高い傾向がみられた。実際に、一本釣りの漁業者複数人に聞き取り調査を行ったところ、1 歳 (15 cm 前後) のイサキが釣れることは少なく、20 cm 前後から釣れ始めるという結果が得られた。このことから、漁具の性能上 1 歳以下は漁獲が困難であると考えられる。また、20 cm 以下のイサキは魚価が安いいため、釣れたとしても放流しているという漁業者もいた。さらに、まき網、ごち網および刺し網漁業においても、1 歳以下のイサキは網目をすり抜けられる大きさであることや、沖合の漁場に若齢魚が少ないため漁獲がほとんどなかったと考えられる。以上のことから、筑前海のイサキが雄で 1 歳、雌で 2 歳から成熟すると仮定すると¹³⁾、主に漁獲されている 2 歳以上のイサキは産卵・放精可能個体であり、未成魚の漁獲は少ないと考えられる。また、10 歳以上の個体も一定数確認されていることから、筑前海の資源は、現在は安定した状態である可能性が考えられるが、今後も適切な資源状態を維持するためには、資源評価のための継続した調査が必要である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、漁獲物調査および操業状況聞き取り調査にご協力いただいた漁業者の皆様、ならびに関係漁協の皆様へ深く感謝申し上げます。また、本研究に対し、ご助言をいただきました元福岡県水産海洋技術センター職員の金澤孝弘氏に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 島田和彦. イサキ科. 「日本産魚類検索 全種の同定 第三版」(中坊徹次編) 東海大学出版会, 神奈川. 2013 ; 940.
- 2) 大村浩一, 内田秀和. 筑前海におけるイサキの漁獲動向と分布特性. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 1998 ; 8 : 1-7.
- 3) 増沢 寿. イサキ資源に関する研究-I. 年齢と成長について. 日本水産学会誌 1967 ; 33 : 812-817.
- 4) 木村清志. 耳石を用いたイサキの年齢と成長. 日本水産学会誌 1984 ; 50 : 1843-1847.
- 5) 川口和宏, 山元宣征. 五島列島北部海域におけるイサキの年齢と成長. 長崎県水産試験場研究報告 1990 ; 16 : 1-6.
- 6) 河野光久. 山口県沿岸海域におけるイサキの資源管理のための研究. 山口外海水試研報 1997 ; 26 : 41-53.
- 7) 渡辺健一, 岡崎孝博. 徳島県沿岸のイサキの年齢と成長. 水産増殖 1999 ; 47 : 349-353.
- 8) 木村清志. イサキの資源生物学的研究. 三重大学水産学部研究報告 1987 ; 14 : 113-235.
- 9) Doiuchi R, Kokubo T, Ogawa M. Age and growth of threeline grunt *Parapristipoma trilineatum* along the south-western coast of Kii Peninsula, Japan. *Fisheries Science* 2007 ; 73 : 777-783.
- 10) 山田英俊, 片山知史, 高田淳史, 安楽康宏, 真田康広. 豊後水道西部海域におけるイサキの年齢と成長および漁獲物の年齢組成. 水産海洋研究 2011 ; 75 : 161-169.
- 11) 笹木大地, 木村清志. 熊野灘で漁獲されるイサキの年齢査定. *Ichthy, Natural History of Fishes of Japan* 2023 ; 29 : 34-38.
- 12) 増田育司, 酒匂貴文, 松下 剛, 白石哲朗, 切通淳一郎, 神村裕司, 小澤貴和. 鹿児島湾産アカカマスの年齢, 成長および年級群組成. 日本水産学会誌 2003 ; 69 : 709-716.
- 13) 土居内 龍, 吉本 洋. 生殖腺の組織学的観察による紀伊半島南西岸におけるイサキの成熟年齢, 産卵期, 産卵頻度の推定. 日本水産学会誌 2009 ; 75 : 819-827.
- 14) 渡辺健一, 岡崎孝博. 徳島県牟岐大島周辺におけるイサキの成熟および産卵期. 日本水産学会誌 2000 ; 66 : 631-638.
- 15) 木村清志, 鈴木 清. 熊野灘におけるイサキの成熟と産卵. 日本水産学会誌 1981 ; 47 : 9-16.
- 16) 土居内 龍, 小久保友義, 小川満也. 紀伊半島南西岸におけるイサキ, *Parapristipoma trilineatum* の成熟と性比. 水産増殖 2007 ; 55 : 529-534.

福岡県の日長に応じた光周期調節によるアユ成熟調整技術の開発

植田 ひまわり・中本 崇^a
(内水面研究所)

近年、福岡県のアユ遡上量は低位で推移している。アユの資源増大を図るためには資源管理に加えて、次年度の稚アユ遡上量の増加を図ることが有効であるが、過去、遡上量が多かった年の前年は、11月中旬以降の生残率が高い¹⁾ことが知られている。そこで、本研究は養殖用種苗生産現場などで研究されてきた光周期調節による成熟調整²⁾を応用し、11月以降に採卵できるように福岡県の日長に合わせ、LED照明を利用した光周期調節による成熟調整を施した。2021年から2023年の3カ年において、成熟調整試験の結果、採卵時期を25~43日間遅らせ、親魚の成長、採卵量、発眼率への影響はみられなかったことから11月以降の受精卵放流への利用が示唆された。

キーワード：アユ、光周期、日長、成熟調整、受精卵放流

近年、福岡県の天然アユの遡上量は減少し、低位で推移している。県内でアユの主漁場となっている河川は、矢部川水系と筑後川水系である。このうち、矢部川水系では多くの堰があるため、漁業協同組合はアユ資源を有効に利用できるよう、最下流の堰と魚道に遡上してきた稚アユを採捕し、同水系の上中流部に移植放流を行っている。

矢部川水系で、漁業協同組合が行っている稚アユの移植放流量（1997~2024年）を図1に示した。2006年以降、移植放流量は激減し、近年200kg以下で推移している。西日本では稚アユの遡上量について、遡上量が多い年の前年は、11月中旬以降の生残率が高いという報告¹⁾があり、アユ資源を増やす取り組みとして、11月以降に受精卵放流を行うなどの資源添加に向けた取り組みにより、稚アユの遡上量の増加を図ることが有効と考えられる。

アユは秋季になると、日長の変化に刺激されて成熟し、産卵する。日長の短日化が生殖腺の発達開始の刺激となるため、光周期を調整することで、成熟の促進及び抑制ができることが知られている²⁾。このような光周期による成熟の調整は養殖用種苗生産の現場で、主に食用目的として、50数年前から活用されている。

福岡県は河川でのアユ漁業は行われてきたが、アユ養殖業は少なく、光周期の調節による成熟調整技術は開発されていない。報告の多くは、東日本の栃木県などアユ養殖

が盛んな地域での事例であり²⁾、福岡県の日長環境に合わせた技術は開発されていない。福岡県は栃木県よりも日の出・日の入りの時刻が遅く、日長は短い。国内各地域で日の出・日の入りの時刻や日長が異なるので、光周期の設定により成熟調整をするためには、地域に対応した調節が必要である。そこで、本研究ではアユの成熟を人為的に抑制し、11月以降の受精卵確保を目的として、福岡県の日長に応じた光周期調節による成熟調整技術の開発を行った。

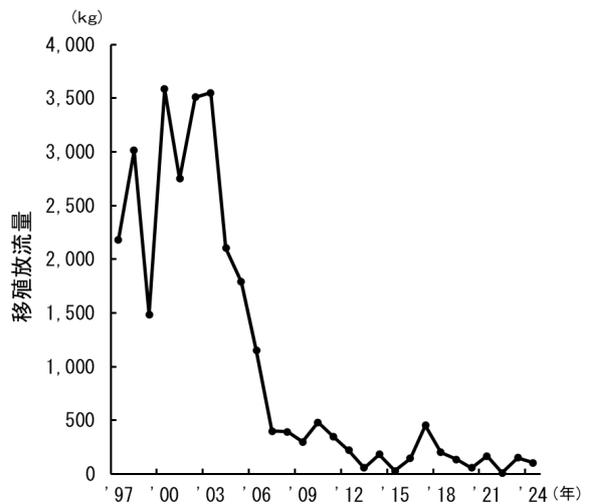


図1 矢部川天然アユ移植放流量の推移

a 現所属：水資源対策課

方 法

1. 長日処理による成熟抑制

試験に使用した水槽の大きさは、縦×横×深さ＝8.5×8.5×2.0m (80t)、縦×横×深さ＝2.4×1.4×1.0m (5t) である(図2)。明暗周期の調整は、30wのLEDライト(LEN-F30D-SL-50K, 日動工業)で行い、80t水槽には周囲に6.5m毎に計3個と中心に1個、5t水槽には1個設置し、夜間の水面照射により行った。照射時間は防雨型屋外用プログラムタイマー(PT-W1, ナカバヤシ)により調節した。飼育水は地下水を用い、配合飼料(あゆソフトEPC4号, 日本農産工業)を魚体重の5%量を与えた。水温は、水温計(SK-250WP II-K, 佐藤計量器製作所)で測定した。

試験期間は、2021年7月5日から11月8日(126日間)、2022年7月5日から11月28日(146日間)、2023年6月29日から12月1日(154日間)とした。試験は夏至の日を基準に、後15日経過するまでに開始した。試験区は図3に示すように、照射開始から41日間は14.5L:9.5Dの長日条件を維持し、その後66日目に14L:10D、103日目に13L:11Dの長日条件、143日目に11.5L:12.5Dの短日条件となるよう照射時間を調節した。明暗周期を調節した条件下で飼育したものを試験区、自然日照で飼育したものを対照区とした。供試魚は、公益財団法人ふくおか豊かな海づくり協会で生産したアユを用いた。2021年はふ化後263日経過した平均体長96mmのアユ6,689尾、2022年はふ化後287日経過した平均体長108mmのアユ6,589尾、2023年はふ化後274日経過した平均体長84mmのアユ4,764尾を用いた。各水槽の収容密度は36尾/m³に調整した。

2021、2022年は試験区と対照区でそれぞれ、80t水槽を用いて育成した。2023年の試験ではアユの尾数が少なかつたため、試験区は80t水槽、対照区は5t水槽で育成した。

各試験区で無作為に約2週間毎に計8回、60尾ずつサンプリングし、体長及び体重を測定した。体長は、吻端から下尾骨の後端までの長さを測定した³⁾。測定尾数は2021年1,620尾、2022年1,620尾、2023年1,080尾の計4,320尾であった。体長と体重の測定を行った後、全個体を開腹し、生殖腺重量を測定した。その後、生殖腺指数(Gonad Somatic Index; 以下「GSI」とする)を以下の式により算出し、成熟状況を確認した。

$$GSI = (\text{生殖腺重量 g} / \text{体重 g}) \times 100$$



図2 電照水槽(左:5t水槽,80t水槽)

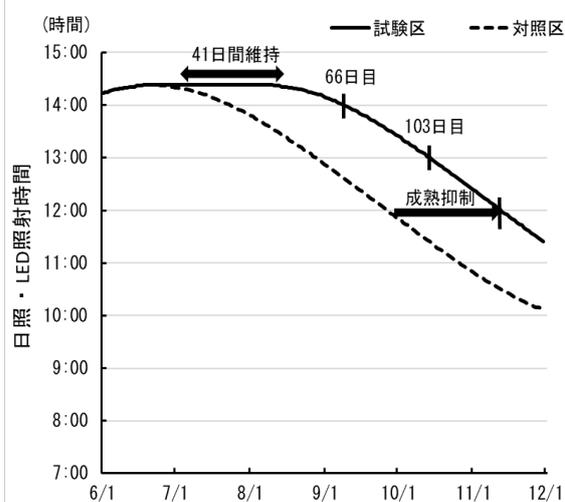


図3 光条件の模式図

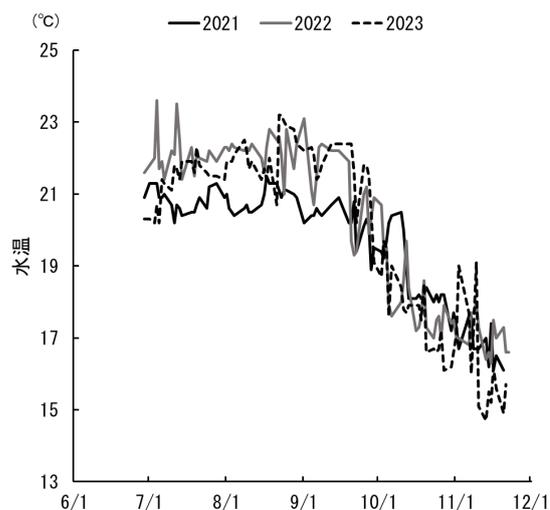


図4 飼育水温の推移(2021~2023年)

2. 採卵試験

採卵は供試魚を水槽ごとに雌雄選別し、採卵・採精に適した親魚を選別した。成熟度は触診により判断した。得られた卵と精子は同一の容器に收容し、採卵量を計量し、水鳥の羽を用いて混濁した。その後、直ちにガラス板に塗布して地下水で洗卵後、ふ化水槽に收容して受精24時間後から発眼卵になるまでの期間、洗卵・消毒を行い、発眼卵になるまで流水中に静置した。ガラス板の卵は発眼した時点で付着卵数に対する発眼卵数の割合で求め、発眼率を算出した。

結 果

1. 長日処理による成熟抑制

試験期間中の飼育水温を図4に示した。2021年度は8月中旬頃が最も水温が高く、20.4から21.5℃を推移した。その後、9月は20℃、10月は18℃前後を推移した。2022年度は7月中旬と8月下旬頃が最も水温が高く、21.6から23.5℃を推移した。その後、9月は21℃、10月は18℃前後を推移した。2023年度は8月下旬頃が最も水温が高く、20.7から23.2℃を推移した。その後、9月下旬まで22℃以上の高水温が続き、10月は17℃前後を推移した。3カ年の平均水温を比較したところ、2021年が最も低かった。この試験を実施した3か年間の飼育水温は14~25℃⁴⁾の適水温の範囲であった。

2021年における体長の推移を図5に示した。2021年の試験開始時の体長は、96mmであった。採卵直前の体長は、試験区は150mm、対照区は158mmであり、有意差は認められなかった(t検定：p<0.05)。

2022年における体長の推移を図6に示した。2022年の試験開始時の体長は、108mmであった。採卵直前の体長は、試験区は160mm、対照区は164mmであり、両区に差はなかった(t検定：p<0.05)。

2023年における体長の推移を図7に示した。2023年の試験開始時の体長は、84mmであった。採卵直前の体長は、試験区は162mm、対照区は165mmであり、両区に差はなかった(t検定：p<0.05)。

2021~2023年の各試験区におけるGSIの推移を図8~10に示した。採卵可能な目安は触診で確認し、GSIが雌20以上、雄10以上を成熟の指標とした⁵⁾。2021年10月1日の試験区のGSIは雌6.6、雄6.4と成熟が進んでいなかったが、対照区は雌20.1、雄11.6に達していた。その後25日遅れて試験区のGSIは対照区と同様、雌20以上、雄12以上に達した。

2022年10月7日の試験区のGSIは雌3.0、雄3.3と成熟が進んでいなかったが、対照区は雌17、雄11.1に達し

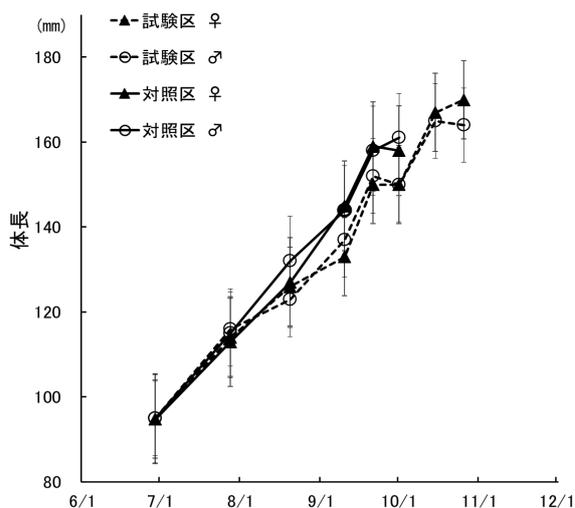


図5 試験区及び対照区の体長推移(2021年)

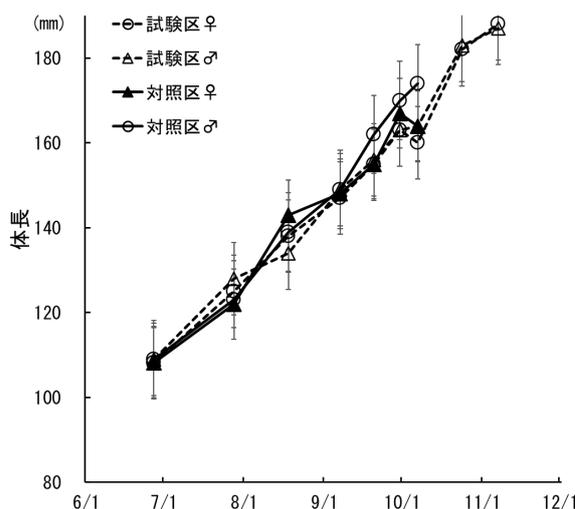


図6 試験区及び対照区の体長推移(2022年)

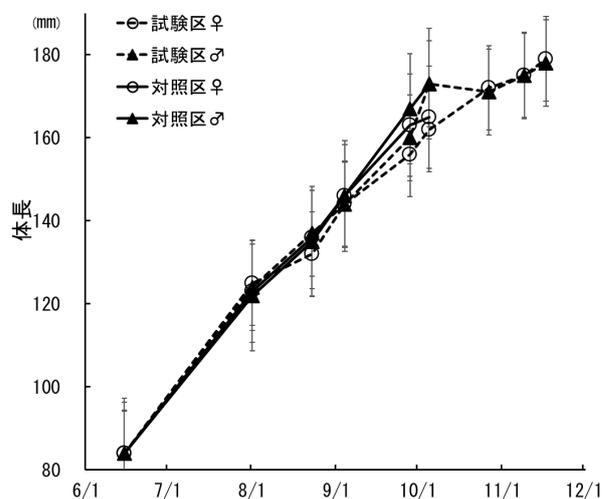


図7 試験区及び対照区の体長推移(2023年)

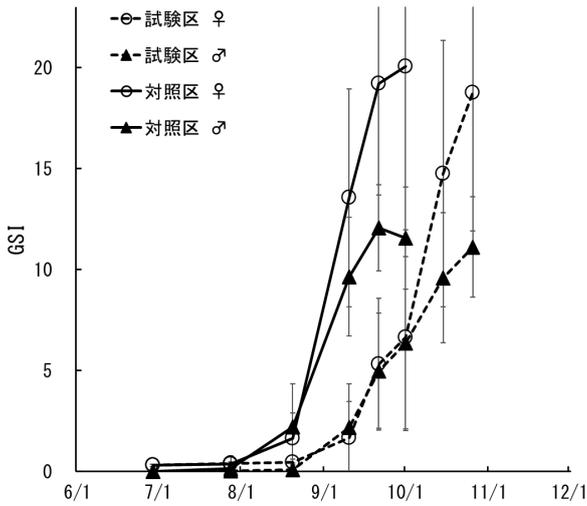


図8 試験区及び対照区のGSI推移(2021年)

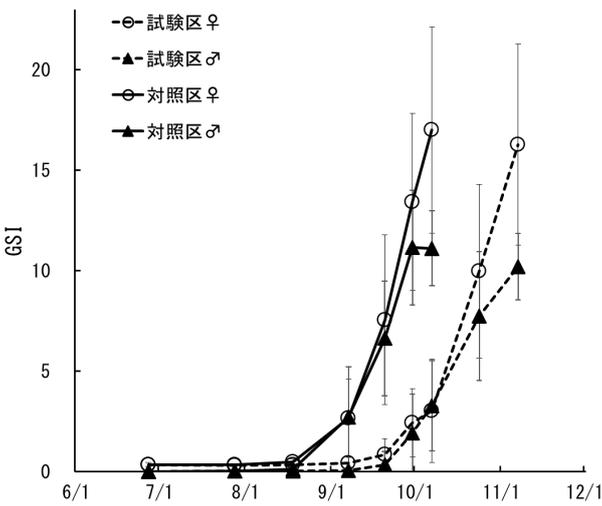


図9 試験区及び対照区のGSI推移(2022年)

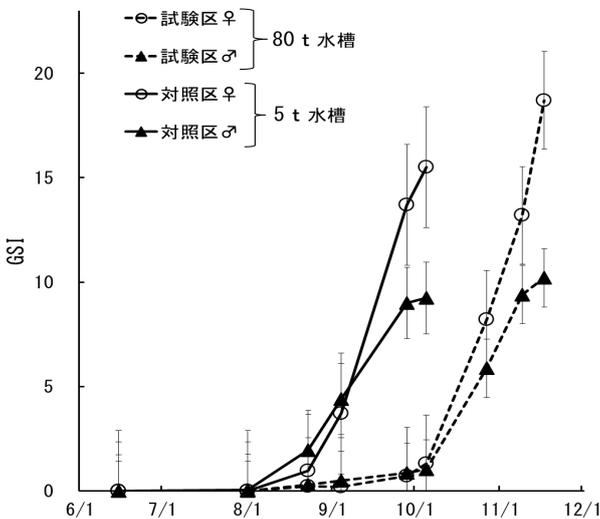


図10 試験区及び対照区のGSI推移(2023年)

ていた。その後31日遅れて試験区のGSIは対照区と同様、雌で20以上、雄で12以上に達した。

2022年10月7日の試験区のGSIは雌3.0、雄3.3と成熟が進んでいなかったが、対照区は雌17、雄11.1に達していた。その後31日遅れて試験区のGSIは対照区と同様、雌で20以上、雄で12以上に達した。

2023年10月5日の試験区のGSIは雌1.3、雄1.0と成熟が進んでいなかったが、対照区は雌15.5、雄9.2に達していた。その後43日遅れて試験区のGSIは対照区と同様、雌で20以上、雄で12以上に達した。各年で対照区(自然条件)の成熟に達する時期は異なっており、2021年は10月上旬、2022年は10月下旬、2023年は11月上旬であった。

2. 採卵試験

各試験区における採卵結果を表1に示した。2021年の採卵は、試験区が11月1、4、8日、対照区は10月5、8、12日に行った。2022年の試験区は、11月22、25、28日、11月27日、12月1日、対照区は、10月26日、11月1、8、13日に行った。

2021年の1尾当たりの採卵量は、試験区は14.1g、対照区は14.8gであったが、両区に差はなかった(t検定: $p < 0.05$)。2022年の1尾当たりの採卵量は、試験区は19.1g、対照区は16.0gであり試験区が多かったが、有意差は認められなかった(t検定: $p < 0.05$)。2023年の1尾当たりの採卵量は、試験区は12.6g、対照区は13.5gであったが、有意差は認められなかった(t検定: $p < 0.05$)。またガラス板で計数した平均発眼率は、2021年の試験区は49%、対照区は44%。2022年の試験区は43%、対照区は46%。2023年の試験区は48%、対照区は42%であり、有意差は認められなかった(t検定: $p < 0.05$)。

(時間)

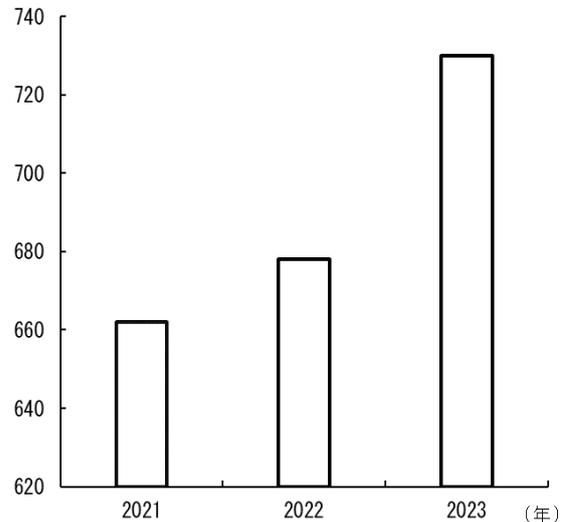


図11 福岡県朝倉市の積算日照時間(7~10月)

表1 各試験区の採卵結果

年	試験区分	採卵日	採卵時飼育尾数 (尾)	採卵尾数 (尾)	採卵量 (g)	1尾当たりの採卵量 (g)	平均発眼率 (%)
2021	試験区	11月1, 4, 8日	2,834	527	7,412	14.1	49
	対照区	10月5, 8, 12日	2,598	307	4,535	14.8	44
2022	試験区	11月22, 25, 28日	2,435	291	5,554	19.1	46
	対照区	10月14, 17, 21日	2,724	451	7,198	16.0	43
2023	試験区	11月27日, 12月1日	2,700	478	6,001	12.6	48
	対照区	10月26日, 11月1, 8, 13日	900	121	1,631	13.5	42

考 察

2021～2023年の3年間、福岡県の日長時間に合わせた光周期の調節により、アユの成熟を抑制することができた。試験区と対照区の間で体長、1尾当たりの採卵量、発眼率を比較したところ体長では、2021年は有意差は認められなかったが、2022、2023年は両区に差はなかった(t検定: $p < 0.05$)。また、1尾当たりの採卵量では2021年は両区に差がなかった(t検定: $p < 0.05$)。2022年は試験区の採卵量が多かったが有意差は認められず、2023年も有意差は認められなかった。発眼率は、3カ年とも有意差は認められなかった。伏木は、光周期の変化は成長に影響を与えない⁶⁾こと、また成熟促進魚と対照区で発眼率に差はない⁷⁾ことを報告しており、同様の結果であった。

一方、年によって対照区の成熟時期は異なっていた。これは、毎年気象条件の違いが影響しているものと思われる。福岡県朝倉市の積算日照時間を図11に示した。成熟時期が最も早かった2021年は、他の2年間に比べ夏季の水温が低く、アユの成熟が始まる7月から10月の積算日照時間は662時間と少なかった。一方、2023年は夏季の水温は最も高く、7月から10月の積算日照時間は730時間であり、最も多かった。野村⁸⁾は、ニジマス採卵時期と水温変動を比較し、8月から11月までの水温が低い年には採卵が早く始まり、高い年には遅い傾向を報告している。また、岡崎、大浜⁹⁾は天候不順や日照不足がアユの早期成熟に影響すると推察していることから、本研究でも同様に、これら気象条件の影響で成熟時期が前後したものと考えられた。本研究の結果、気象条件の影響により多少成熟時期のずれはあったものの、25～43日成熟を抑制することができた。このメリットは、その年によって成熟時期のズレが多少あったとしても、それに対応して25～43日成熟抑制できるため、確実に11月以降の受精卵放流に利用できることである。一方、デメリットは、気象条件により成熟時期

が極端に遅くなることである。成熟時期が12月中旬以降になってしまう場合、受精卵や孵化仔魚は12月の低水温等の環境に適応できるかという問題が生じる。本研究では、アユの成熟に関係する7月から10月の水温と積算日照時間を比較することで、水温が高めで推移し、積算日照時間が高くなる場合には採卵時期が遅れる傾向があることが判明し、採卵時期を予測できる可能性が示唆された。そこで、水温や日照量などから成熟時期を予測し、これに応じて照射時間を変更するなど、その時々気象条件に応じた照射方法についても今後検討していく必要がある。

本研究の活用により将来、県内の放流種育苗成機関である県内水面漁連での光周期の調節による成熟抑制や、11月以降の採卵及び受精卵放流が期待される。アユ資源の増大を図るため、県内水面漁連への技術移転について、今回の技術をより効率的に技術移転し、取り組みを実用化するために最適な方法を検討したい。

文 献

- 1) 坪井潤一, 酒井忠幸, 高木優也, 藤井亮吏, 大原健一, 福井克也, 石川徹, 占部敦史, 土井口裕, 宗達郎, 徳田幸憲, 永田恵里奈, 井口恵一朗. ボーズにならない! 釣れるアユ釣り場づくり. <https://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/attach/pdf/naisuimeninfo-22.pdf>, 2024年11月20日閲覧
- 2) 武田 維倫, 小堀 功男, 高木 優也. アユ種苗生産効率化技術の開発. 栃木県水産試験場研究報告 2015; 58, 27-28.
- 3) 益田一, 尼岡邦夫, 荒賀忠一, 上野輝彌, 吉野哲夫. 日本産魚類大図鑑 東海大学出版会. 1988.
- 4) 環境省. 参考資料1アユ・ワカサギに関する生態について. <https://www.env.go.jp/council/09water/y0910/ref01.pdf>, 2024年12月18日閲覧

- 5) 関伸吾, 谷口順彦, 村上幸二, 米田実. 湖産アユと海産アユの成長・成熟および行動の比較. 淡水魚 1984 ; 10 : 101-104.
- 6) 伏木省三. 電照によるアユの成熟促進技術について. 養殖 緑書房. 1997 ; 69-71.
- 7) 伏木省三. 魚介類の成熟・産卵の制御 (日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京. 1982 ; 104-114.
- 8) 野村稔. ニジマス的人工採卵に関する基礎研究-III. 光周期の変化による採卵の早期化 日水誌. 1962 ; 1070-1076.
- 9) 岡崎巧, 大浜秀規. 本栖湖で見られた陸封アユの早期採卵について. 山梨県水産技術センター事業報告 2000 ; 27, 20-25

福岡県水産海洋技術センター研究報告 第35号

編集委員

委員長	秋元 聡
委員	宮本 博和
	片山 幸恵
	的場 達人
	池浦 繁
	藤井 直幹
	瀧上 哲
	中川 清
	佐藤 利幸
	篠原 直哉

発行 2025年3月

発行者 福岡県水産海洋技術センター
所長 林 宗徳

福岡県水産海洋技術センター 〒819-0165 福岡市西区今津 1141-1
TEL 092-806-5251 FAX 092-806-5223

有明海研究所 〒832-0055 柳川市吉富町 728-5
TEL 0944-72-5338 FAX 0944-72-6170

豊前海研究所 〒828-0022 豊前市大字宇島 76-30
TEL 0979-82-2151 FAX 0979-82-5599

内水面研究所 〒838-1306 朝倉市山田 2449
TEL 0946-52-3218 FAX 0946-52-3324
