

【研究報告】

ヤイトハタの安定採卵に向けた技術開発
— 早期採卵安定化技術開発 —
(沖縄県産業振興重点研究推進事業)

松田誠司*, 鮫島翔太¹, 新垣優志朗

Advanced spawning of Malabar grouper, *Epinephelus malabaricus* by manipulation of breeding environment

Seiji MATSUDA*, Shota SAMEJIMA*¹ and Yushiro ARAKAKI*²

自然産卵用 (B群) と早期採卵用 (C群) としてヤイトハタの親魚を養成した。2022年12月から環境制御による産卵早期化を試みた。両群ともビニール被膜による水槽上部保温と長日処理を行い、砂濾過表層海水と地下浸透海水を用いて水温変動を生じさせ、早期採卵群にはさらに加温を行った。初回の産卵はB群が4月、早期採卵群が3月であり、昨年と比較して、B群は約1ヶ月、早期採卵群は約2ヶ月産卵が早まった。このことについて、環境制御期間中において、両群ともに水温変動の上下幅が昨年に比べて大きく、産卵開始時の飼育水温が両群で異なっていたことから、水温変動でヤイトハタの産卵が誘発された可能性が考えられ、水温変動の上下幅が産卵を誘発するための重要な点と考えられた。今後は、魚体への影響を考慮したうえで、飼育水温、水温変動の上下幅及び間隔について、より詳細な検討が必要である。

ヤイトハタは沖縄県の主要養殖対象種であり、養殖用種苗の全数を沖縄県が供給している。種苗生産用の受精卵は、主に陸上水槽内での自然産卵で確保されている。当所の陸上水槽飼育下において、本種の産卵行動は月齢に同調しており、主に4月下旬～6月の下弦から新月（以下、産卵周期）にかけて行われる（金城ほか, 1999）。しかし、通常の産卵時期から種苗生産を開始した場合、種苗配付が海水温の比較的高温になる時期（7～8月）と重なるため、養殖初期における疾病・寄生虫の発生や台風襲来等のリスクが現実化しやすく、これらに起因する養殖初期の減耗が問題となってきた。この問題は、種苗生産時期を早めることである程度改善できると考えられ、養殖初期の生残率改善の観点から、産卵時期を早期化（早期採卵）させる技術が必要とされてきた。

このような経緯から、沖縄県ではこれまでも早期採卵の技術開発を行い、2010年に環境制御を用いた3月の早期採卵に成功し（木村・岸本, 2011a）、2015年までは当方法による安定的な早期採卵を行ってきた（木村ほか, 2013; 今道ほか, 2015; 今道ほか, 2017; 今道・近藤 2017）。しかし、2016年以降は成功していない。

また、近年、本県の養殖用種苗の供給元である沖縄県栽培漁業センターでは、通常の産卵時期から開始した種苗生産において、ウイルス疾病等による生産不調が度々発生しており、種苗供給の不安定さが新たな問題となっている。この問題についても、種苗生産時期を早めることで、生残率向上や疾病の抑制による改善が見込めるため（木村・岸本, 2011b）、種苗の安定供給の観点からも、早期採卵の必要性が高まっている。

そこで、本事業ではヤイトハタの採卵および養殖の安定化に向け、環境制御による安定した早期採卵に関する技術開発・改良を行うこととした。

材料及び方法

(1) 親魚養成・採卵

自然産卵用の親魚群（以下、B群）と早期採卵群（以下、C群）を用いた。B群は、親魚の補充を繰り返しながら10年以上維持してきた群である。2013年からこれまで、2016年（成熟雄不在）を除く各年において、種苗生産に十分な量の浮上卵（良質な受精卵）を産卵している実績がある。一方で、C群は2018年に新たに編成された群である。これまでに水槽内で産卵は確認されているものの、産卵量が少なく、浮上卵の産卵実績はほとんどない。両群ともそのほとんどの個体が年齢不明である。

群組成は、両群とも最大収容数を雄1尾、雌12尾のハレム型とし、主に250kL屋外コンクリート水槽（八角形、深さ3m）でそれぞれ養成した。飼育形態は、砂濾過表層海水（以下、濾過海水）または地下浸透海水（以下、地下海水）の掛け流しとし、水槽替えと魚体測定を適宜行った。換水率は1回転以上/日を目安とし、所内の取水ポンプ稼働状況および後述の(2) - (3) 加温による水温操作に応じて0.51回転～3.01回転/日の範囲で適宜調整した。必要に応じて銅イオン

*E-mail : matsudsj@pref.okinawa.lg.jp, 石垣支所

¹ 沖縄県農林水産部水産課

発生装置を用いた寄生虫対策を講じ、飼育水中の銅イオン濃度を、30~50 $\mu\text{g/L}$ を目安に維持した。なお、産卵周期中は親魚や受精卵への銅イオンの影響を考慮し、銅イオン発生装置は撤去した。給餌は週2回を目安とし、水槽替え等に応じて適宜餌止めした。餌には冷凍魚（主にマサバ・ムロアジ）を用い、冷凍魚2尾あたりに栄養強化剤5~10gを投与して、飽食量与えた。栄養強化剤は、ヘルシーミックス2（ビタミン剤）、アクエイトPP、タウリン、アスタックTCAC1.5%（アスタキサンチン剤）、DHA-WP（DHA剤）、水道水を25:7:16:3:16:33の割合で混ぜて作成した。なお、産卵が収束した7月下旬から12月中旬までは、DHAは加えないものとした。

産卵確認は周年行い、両群とも可能な限り毎朝行った。本種は分離浮性卵を産卵するため、水槽上部の排水口からオーバーフローによる採卵を行い、採卵ネットの集卵状況から産卵の有無を判断した。採卵できた場合は、濾過海水を貯めて十分に曝気した卵分離槽（200Lまたは500Lアルテミアふ化槽）に全ての卵を收容し、止水無通気下で10分ほど静置した後、浮上卵または中層・沈下卵の湿重量をそれぞれ記録した。濾過海水温が飼育水温を下回る期間は、卵分離槽をヒーターで加温し、水温差が卵に与える影響を軽減した。

（2）環境制御による産卵早期化

2023年3月の産卵周期中（3月15日~3月22日）の産卵を目標に、2022年12月から環境制御による排卵誘導・産卵早期化を試みた。環境制御として、1）水槽上部保温、2）濾過海水と地下水を用いた水温変動、3）加温及び4）長日処理を実施した。なお、B群は、通常産卵期へ影響が及ぶ可能性と予算状況を考慮して3）は実施せず、なるべく簡易で経費のかからない手法を検討することとした。C群は1）~4）の全てを実施し、沖縄県がこれまで早期採卵を行ってきた中で3月の採卵量が最も多かった2010年（木村・岸本、2011a）の水温変動の傾向を再現することとした。

1）水槽上部保温

2022年12月下旬から実施し、2023年5月下旬まで継続した。屋外水槽飼育では、飼育水が外気温の影響を受けやすいことから、ビニール膜で水槽上部を保温することで、その影響を軽減した。一水槽あたり大判ビニール3枚（7×14m×2枚、2×14m×1枚）を用いて覆った。

2）濾過海水と地下水を用いた水温変動

当所で取水される地下水は、年間を通して水温がほぼ一定（24~25 $^{\circ}\text{C}$ ）であり、12月~4月頃までは濾過海水温を上回る（岸本・木村、2011）。この海水の水温差を利用し、2023年1月上旬から、飼育水に濾過海水または地下水を用い、それぞれの割合を変えることで意図的に水温変動を作り出した。両群とも各月の産卵周期中に水温のピークが来るように注水割合を変更し、B群は濾過海水と地下水の水温が同等になった2023年4月中旬まで継続し、C群は2023年5月上旬まで継続した。また、地下水の注水方法が親魚や産卵に影響している可能性があることから（松田、未発表）、ベ

ンチュリー管を用いて注水する方法から、1kLアルテミアふ化槽で曝気後に注水する方法へと変更した。

3）加温

2023年1月中旬から4月下旬にかけて、各月の産卵周期中に水温のピークが来るように加温を行った。加温は、水槽内に配管したチタン管内に簡易温水ボイラーで温めた水（約57 $^{\circ}\text{C}$ ）を通すことによる熱交換で行った。加温設定温度のピークは1月が25 $^{\circ}\text{C}$ 、2月が27 $^{\circ}\text{C}$ 、3、4月が27.4 $^{\circ}\text{C}$ とし、0.4 $^{\circ}\text{C}/\text{日}$ の範囲で段階的に上下させた。

4）長日処理

2023年1月上旬から実施し、2023年5月下旬まで継続した。自然光以外の光源として、白色LED灯を用い、1水槽あたり4基設置した。LED灯はプログラムタイマーを用いて朝晩に点灯させ（5:00~8:00、17:00~21:00）、自然光と合わせて明期を16時間とした。なお、長日処理開始時の明期は12時間とし、4日おきに1時間ずつ延長し、16日かけて段階的に16時間とした。また、親魚へのストレスを考慮して、LED灯の点灯および消灯は1基ずつ10分ずらして行い、明るさの急激な変化を軽減した。

結果及び考察

（1）親魚養成・採卵

2022年はB群で雌親魚2尾の斃死（原因不明）があり、C群でもホルモン投与試験の影響で、雌親魚3尾の斃死があった。群を維持するため、両群とも新たに3~4尾の雌親魚を導入した。

雄の魚体重はB群、C群それぞれ52.1kg、45.7kgであり、雌の平均魚体重はそれぞれ22.7kg、26.2kgであった。雌親魚は、B群がC群に比べてやや小型が多く、両群ともに35kg以上から10kg台まで大小様々であり（図1）、昨年よりやや小型化した。年間摂餌量は、B群が363.5kg、C群が328.4kgであった。月別摂餌量は、両群とも似た推移を示し、B群では11月に、C群では9月に最も多くなった（図2）。なお、両群の摂餌量の差が5月と11月で他月と比べて大きくなっているのは、試験や水槽替えに合わせて、C群に対して餌止めを行ったため生じたものと考えられた。2022年の採卵成績は、これまでと同様に、B群で浮上卵を大量に得られたのに対し、C群ではほとんど得られず、両群ともに昨年に比べて採卵回数と採卵量が減少した（表I）。両群の採卵量に大きな差が生じる原因は、昨年に引き続き不明であり、特に、C群で浮上卵が得られない原因を今後明らかにする必要がある。

（2）環境制御による産卵早期化

親魚群の飼育水温と注水の内訳を図3に示し、環境制御期間中の自然水温（濾過海水温）、親魚群の飼育水温及び採卵量を図4に示した。環境制御期間中の親魚群の採卵成績を表IIに示した。（1）の採卵成績からも判断できるように、そもそも両群の産卵能力には著しい差があるため、両群の採卵結果を比較することで、環境制御の効果を比較することは適切ではない。したがって、環境制御の効果については群ごとに考

察した。また、ヤイトハタの産卵早期化は、環境要因に加えて、個体特性が大きく影響している可能がある(松田, 未発表), 今回は環境制御のみの検討に留めた。

B群では、濾過海水と地下海水の割合を調整することで、産卵周期中に水温ピークが来るように水温変動を生じさせることができた(図3, 4)。1月上旬に雄の婚姻色が見られ、2月には膨満した雌を数尾確認したものの、3月の産卵は見られなかった。初回の産卵は4月の産卵周期中にあり、その後連続して産卵があった。5月の産卵周期でも引き続き連続した産卵があった。昨年は水槽上部保温と地下海水飼育を行い、連続した産卵が5月から見られたことから(松田, 未発表), 今回の環境制御により、昨年と比べて1ヶ月ほど産卵を早期化できたとと言える。このことから、濾過海水と地下海水を用いた水温変動と長日処理を組み合わせることでヤイトハタの産卵時期を早期化できる可能性が示唆された。浮上卵率は、4月は49.7%であるのに対して、5月は47.0%とほぼ同等であったことから、当手法によって産卵を早期化した場合でも、受精卵の質に大きな影響はないと考えられた。一方で、採卵回数及び総採卵量は、4月はそれぞれ9回、4,473gであるのに対して、5月は10回、22,991gであり、採卵回数はほぼ同等であるものの、採卵量に5倍以上の差があった(表II)。今後は、水温変動のタイミングや濾過海水と地下海水の注水割合の変更等を行い、産卵を早期化させようとして卵量を増加させる方法を検討する必要がある。併せて、3月の採卵が可能か再検討する必要がある。また、当手法で加温を行っていないことは注目すべき点である。近年、不安定な世界情勢等により燃料費が高騰し、世界的に脱炭素化も叫ばれていることから、化石燃料に依存しない加温なしの早期産卵は、持続可能性の観点からも実用化が期待される手法であり、今後の技術発展が求められる。

C群では、濾過海水と地下海水の割合を調整し、さらに加温を行うことで、2~3月にかけて2010年(木村・岸本, 2011a)の水温変動の傾向をおおよそ再現することができた。なお、4月の産卵周期については、C群で引き続き加温を継続したため、異なる水温変動となっている(図3, 4)。2月上旬に膨満した雌が2~3尾いることを確認し、3月の産卵周期に雄の婚姻色を確認した後に初回の産卵があった。3月は計3回産卵があり、その後、4~5月の産卵周期に連続した産卵があった。昨年は、今回と同様に水槽上部保温、加温及び長日処理は行っていたものの、初回の産卵は5月であり、今回と異なる点として、環境制御期間中に濾過海水は用いず、水温がピークに達する前の下限が24.7~24.8°Cであったことが挙げられる(松田, 未発表)。一方で、今回の環境制御では、濾過海水と地下海水を用いたことで、その下限が22.9~23.8°Cとなり、昨年に比べて環境制御期間中の水温変動の上下幅が大きくなっていった。このことから、水温変動の上下幅を大きくしたことが、2ヶ月ほど産卵を早期化できた一因と考えられた。また、この結果から木村・岸本(2011a)の産卵早期化の手法に一定の再現性があることが改めて示された。

浮上卵率は、3月が0.0%、4月が2.5%、5月が1.2%といずれも低く、これまでの採卵成績と同様に浮上卵はほとんど得られなかった。総採卵量は、3月が204g、4月が849g、5月が1,612gであり、通常産卵時期に近づくにつれて増加した。この傾向はB群や2010年(木村・岸本, 2011a)にも共通して見られた。

本取組で、環境制御によってヤイトハタの産卵を早期化できることを改めて示すことができた。さらに、ヤイトハタの産卵や成熟に水温変動が影響している可能性は、濱本ほか(1986)でも推察されており、本取組は水温変動でヤイトハタの産卵が誘発される可能性を示す一例となったと言える。また、両群で産卵開始時の飼育水温が異なっていることから、産卵の誘発は絶対的な水温で制御されているわけではなく、水温変動の上下幅が産卵を誘発するための重要なポイントと考えられた。ただし、一般的に、極端な水温変化は魚体にとってストレスになると考えられるため、魚体への影響をなるべく小さくしたうえで、産卵誘発効果を最大化することが求められる。したがって、今後は飼育水温、水温変動の上下幅及び間隔について、より詳細な検討が必要である。

文献

- 濱本俊策, 眞鍋三郎, 春日公, 野坂克己, 1986: ヤイトハタ *Epinephelus salmonoides* (LACÉPÈDE) の水槽内産卵と生活史, 栽培技研, 15(2), 143-155
- 今道智也, 岸本和雄, 山内岬, 仲本光男, 2015: ヤイトハタ 種苗生産事業(ヤイトハタの採卵・卵輸送), 沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 75, 20.
- 今道智也, 南洋一, 山内岬, 2017: 栽培漁業センター生産事業(2014年度のヤイトハタ早期採卵と卵輸送), 沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 76, 11.
- 今道智也, 近藤忍, 2017: 沖縄県栽培漁業センター生産事業(2015年度のヤイトハタ早期採卵), 沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 77, 13.
- 金城清昭, 中村博幸, 大嶋洋行, 仲本光男, 1999: ヤイトハタの親魚養成と採卵, 平成9年度沖縄県水産試験場事業報告書, 135-138.
- 木村基文, 岸本和雄, 2011a: 飼育環境制御によるヤイトハタ産卵開始時期の早期化, 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 72, 48-52.
- 木村基文, 岸本和雄, 2011b: ヤイトハタの早期種苗生産技術の開発, 平成23年度沖縄県農林水産部 普及に移す技術.
- 木村基文, 岸本和雄, 山内岬, 2013: 大型ハタ類の採卵・種苗生産技術開発・ヤイトハタ種苗生産事業(ヤイトハタの早期採卵・循環式種苗生産・タマカイの人工授精・種苗生産・養殖試験), 沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 74, 30.
- 岸本和雄, 木村基文, 2011: 沖縄県水産海洋研究センター石垣支所敷地内で取水された地下浸透海水の性状, 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 72, 78-81.

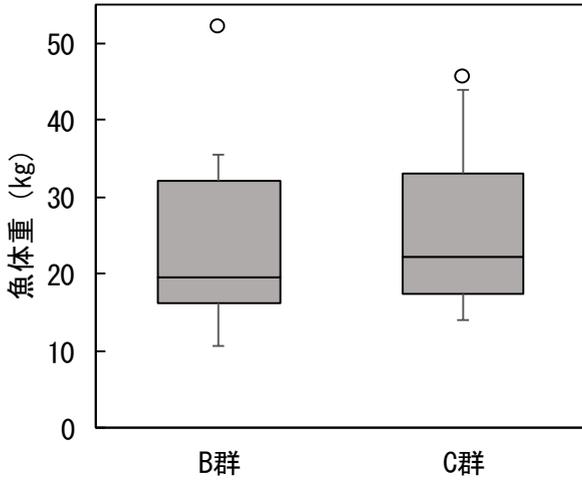


図1 ヤイトハタ親魚群の魚体重組成。箱ひげは雌の四分位数、白点は雄を示す。B群は2022年10月25日または11月9日に、C群は2022年10月17日または11月9日に測定した。

表I 2022年のヤイトハタ親魚群の採卵成績（自然産卵）。

	採卵回数	浮上卵量 (g)	中層・沈下卵量 (g)	浮上卵率 (%)
B群	21	14,473	17,763	44.9
C群	3	0	86	0.0

表II 環境制御期間中（2022年12月～2023年5月）のヤイトハタ親魚群の採卵成績。

	採卵回数	総採卵量 (g)	浮上卵 (g)	中層・沈下卵 (g)	浮上卵率 (%)	
B群	3月	0	0	0	-	
	4月	9	4,473	2,221	2,252	49.7
	5月	10	22,991	10,798	12,193	47.0
C群	3月	3	204	0	204	0.0
	4月	8	849	21	828	2.5
	5月	5	1,612	19	1,593	1.2

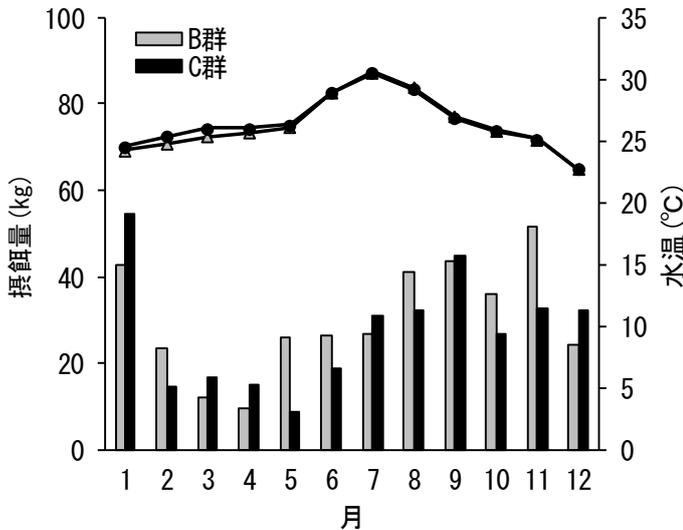


図2 2022年におけるヤイトハタ親魚群の月別摂餌量及び月別平均飼育水温。棒グラフは摂餌量、折線は水温を示す。

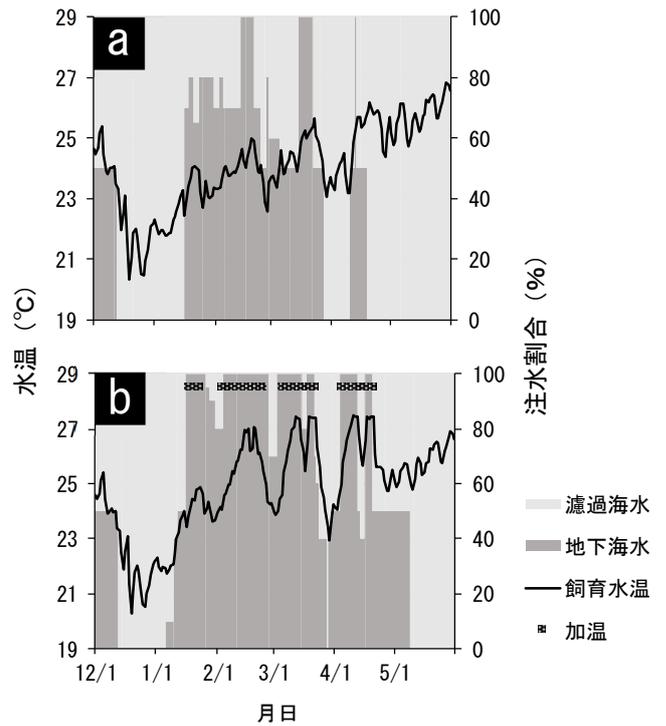


図3 環境制御期間中（2022年12月～2023年5月）のヤイトハタ親魚群の飼育水温と注水の内訳。a：B群，b：C群。折れ線は水温、棒グラフは注水の内訳を示す。加温は期間を示す。

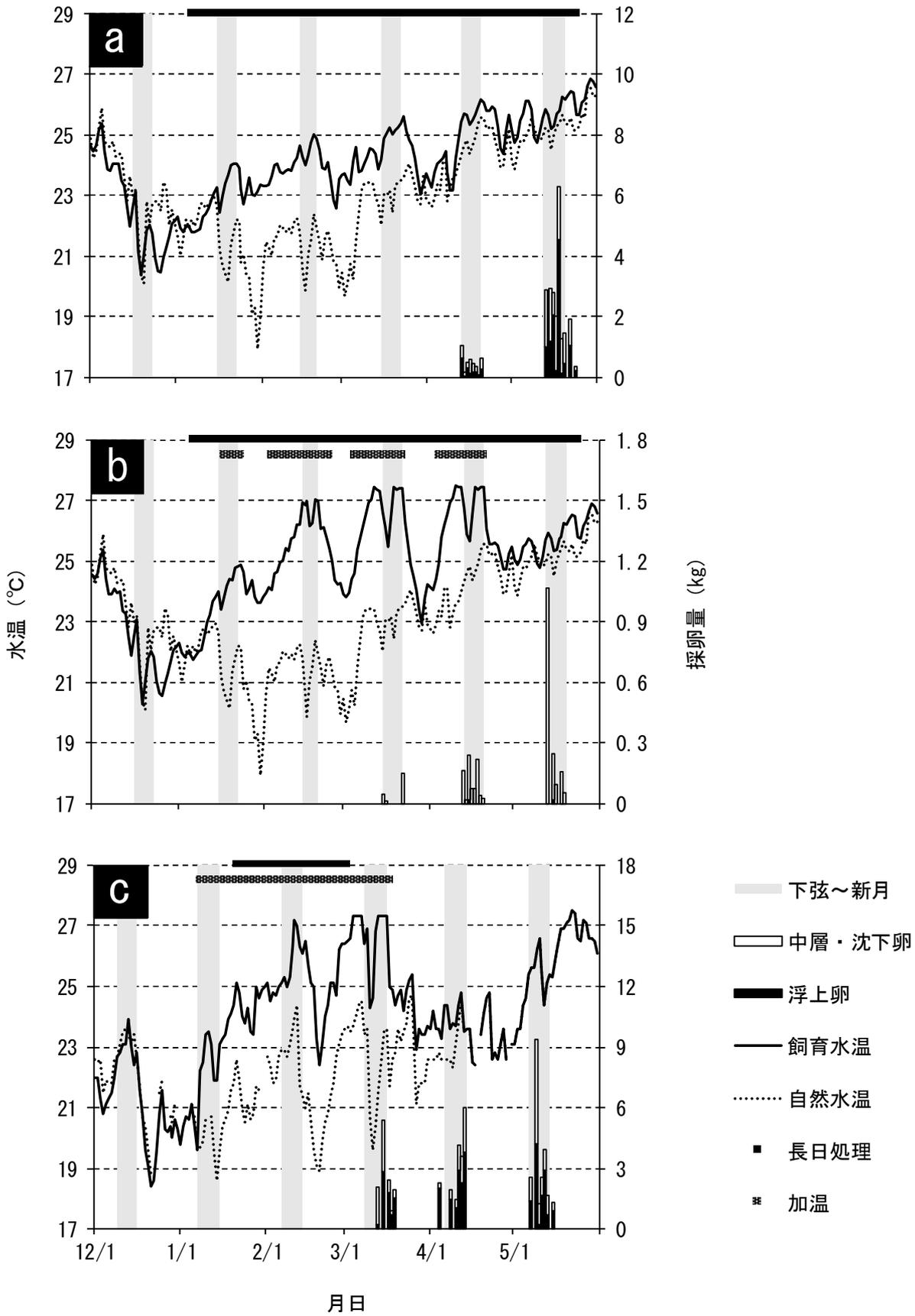


図4 環境制御期間中の自然水温（濾過海水温）とヤイトハタ親魚群の飼育水温及び採卵量。a：B群，b：C群。C：木村・岸本（2011），a，bは2022年12月～2023年5月，cは2009年12月～2010年5月，折れ線は水温，棒グラフは採卵量を示す。下弦～新月，長日処理及び加温は期間を示す。

付録

表 ヤイトハタ親魚群の個体一覧

群	個体ID	測定日	性別	全長 (mm)	体重 (kg)	肥満度	備考
B群	412D0C4451	2022/10/25	♂	1218	52.1	28.8	
B群	412D052917	2022/10/25	♀	1076	35.5	28.5	
B群	257C66BBFC	2022/10/25	♀	1048	34.7	30.1	
B群	1C2CE9EBF6	2022/10/25	♀	1088	32.9	25.5	
B群	501F3A3C6C	2022/10/25	♀	1029	32.0	29.4	
B群	452C282302	2022/10/25	♀	1060	24.3	20.4	
B群	0A181E0556	2022/10/25	♀	904	21.8	29.5	
B群	81E055D	2022/11/9	♀	961	17.6	19.8	2022/11/29導入
B群	0A181E057A	2022/10/25	♀	893	16.6	23.3	
B群	2467606	2022/11/9	♀	920	16.5	21.2	2022/11/22導入
B群	81E0557	2022/11/9	♀	935	15.5	18.9	2022/11/29導入
B群	1BF1BC4D80	2022/10/25	♀	868	14.3	21.9	
B群	0A181E054D	2022/10/25	♀	780	10.6	22.3	
C群	452851063D	2022/10/17	♂	1184	45.7	27.5	
C群	257C660CDC	2022/10/17	♀	1236	44.0	23.3	
C群	003BB92DF9	2022/10/17	♀	1203	41.2	23.7	
C群	257C65CF58	2022/10/17	♀	1137	33.5	22.8	
C群	3BB92DAD	2022/10/17	♀	1043	33.1	29.2	
C群	257C66BF34	2022/10/17	♀	1040	32.7	29.1	
C群	003BC910FE	2022/10/17	♀	1002	23.1	23.0	
C群	2366C48	2022/10/17	♀	916	21.3	27.7	
C群	C0A079C	2022/11/9	♀	978	21.3	22.7	2022/11/29導入
C群	BB92DFC	2022/11/9	♀	960	17.8	20.1	2022/11/29導入
C群	C0A078A	2022/11/9	♀	936	16.7	20.3	2022/11/22導入
C群	81E061F	2022/11/9	♀	890	15.3	21.8	2022/11/22導入
C群	0A181E0564	2022/10/17	♀	868	14.0	21.4	

*肥満度=体重 (g) / 全長³ (cm) ×1000