

生物生産教育研究センター
Education and Research Center for Organisms Production

活動報告

第 1 号

岡山理科大学

2022年3月

Okayama University of Science

Okayama, Japan

March, 2022

Contents

1. はじめに	
1. 1. 生物生産教育研究センターについて	1
1. 2. 沿革	1
2. 構成員	2
3. 岡山理科大学生物生産教育研究センター規程	3
4. 研究報告	
4. 1. 共同研究テーマ	4
4. 2. 研究	
岡山県瀬戸内海沿岸におけるトゲノコギリガザミの分布と生息環境	
..... 山本俊政, 石坂隆宗, 藤田昌紀	5
<i>Epinephelus akaara</i> ふ化仔魚の成長にともなう体密度変化	
..... 山口太一	13
モンゴル国における好適環境水を用いた陸上養殖	
..... 藤田昌紀	23
貝殻基質の隠れ場機能の検証試験	
..... 富澤直人	33
5. 生産報告	
タイガー ジャイアント グルーパー	38
ニホンウナギ	41
クロマグロ	48
6. 2021年度卒業研究指導	49
7. 講演・講座, 広報, 見学, 受賞	51

1. はじめに

1.1 生物生産教育研究センターについて

生物生産教育研究センターは、2010年3月に閉鎖循環型陸上養殖の研究拠点として加計学園に設立された、生命動物教育センターに始まります。当初より、当時のセンター長である福原実教授のもと、本センターの特色である「好適環境水」を使用した閉鎖循環型陸上養殖に関して、研究をはじめ教育や社会連携活動に取り組んできました。その後、岡山理科大学内の各センターと学部・学科が2021年4月に統合・再編され、生物生産教育研究センターの発足に至りました。またこの度、本センターへ新たに専任教員を配置し、さらなる研究の加速・深化を通じた、より実践的な学生教育や研究成果の発信・社会還元を目的としたセンターとして一新することとなりました。

一方、海に四方を囲まれた日本では、“魚”は身近な食材として浸透しています。ところが、昨今の気候変動や海洋環境の破壊に加え、魚類の自然再生能力を大幅に超えた世界的な乱獲・過剰消費により、水産資源の枯渇化が加速し、漁獲量の減少に歯止めがかからない状況にあります。本センターでは、このような問題に、いち早く着目し、好適環境水を活用した閉鎖循環型陸上養殖の基礎研究と社会実装に取り組んできました。好適環境水を養殖基盤技術に活用しつつ、次世代養殖技術の教育・研究・生産を一貫して行う施設は、国内外でも本センター以外に見当たりません。

最近では、研究成果の社会還元としてニホンウナギ、ハタ、ベニザケなど岡山理科大学産の生産魚が関東一圓、岡山県下の販売店を通じて市場へも流通し、好評を博しています。また、国内企業との販売を目的とした試験養殖や日本から遠く離れたモンゴルの街中での養殖など、好適環境水を利用した閉鎖循環型陸上養殖の社会実装が進みつつあります。

1.2 沿革

2010年	生命動物教育センター設立(3月) 福原実教授を初代センター長として、生命動物教育センターの設立を申請。好適環境水を使用した閉鎖循環型陸上養殖の研究および、地域貢献、またこれに関する教育に資することを目的に加計学園組織下に設立された。
2011年	財団法人 黒潮生物研究財団とのマリンワーカー事業で「オニヒトデ駆除マニュアル」発刊
2012年	第2代センター長 大塚崇隆尚教授
2014年	独立行政法人 国際協力機構 (JICA) とのプロジェクトで、カンボジアにおける好適環境水による高付加価値淡水養殖に着手
2016年	第3代センター長 福原実教授 Walailak University (タイ国) と Memory of Understand 協定を締結し、好適環境水を用いたブラックタイガーの閉鎖循環陸上養殖試験に着手 「エビやカニ、シャコ等の甲殻類の種苗養殖水とこれを用いた種苗の養殖方法」として甲殻類用の好適環境水を特許へ登録 (6056949号; 12月16日)。
2017年	山本俊政 WIRED Audi INNOVATION AWARD 2017 #27 受賞 山本俊政 一般社団法人ワンダーシップ2017 受賞
2020年	第4代センター長 折田明浩教授
2021年	岡山理科大学に帰属し、「生物生産教育研究センター」へ改名。

2. 構成員

折田明浩 (生物生産教育研究センター センター長)
山本俊政 (工学部 バイオ・応用化学科 兼務研究員)
山口太一 (生物生産教育研究センター 専任教員)
津村誠一 (生物生産教育研究センター 客員研究員)

石坂隆宗 (株式会社SID 創研 委託研究員)
山内啓誠 (株式会社SID 創研 委託研究員)
藤田昌紀 (株式会社SID 創研 委託研究員)

3. 岡山理科大学生物生産教育研究センター規程

(趣旨)

第1条 岡山理科大学生物生産教育研究センター規程（以下、「本規程」という。）は、岡山理科大学研究・社会連携機構規程第5条第2項に基づき、岡山理科大学生物生産教育研究センター（以下、「本センター」という。）に関して必要な事項を定めるものとする。

(目的)

第2条 本センターは、加計学園生命動物教育センターと連携し、魚類、甲殻類などを対象とする養殖漁業についての教育研究活動を推進するとともに、研究成果の還元による地域の関連産業の活性化を通じて社会に貢献することを目的とする。

(構成員)

第3条 本センターに、センター長を置く。

- 2 センター長を補佐する目的で、次長を置くことができる。
- 3 センター長及び次長の任期は、岡山理科大学教育職員役職者の任命についての細則の定めによる。
- 4 必要に応じて、専任教員を置くことができる。

(研究員)

第4条 本センターは、次の各号に定める研究員を受け入れることができる。

- (1) 本センターに所属しない岡山理科大学教員（以下、「兼務研究員」という。）
 - (2) 岡山理科大学研究員規程に定める研究員
 - (3) 岡山理科大学客員研究員規程に定める客員研究員
- 2 兼務研究員の任期は1年とし、再任を妨げない。
 - 3 兼務研究員は、年度当初の研究・社会連携機構会議にて承認を得なければならない。

(重要事項の審議)

第5条 本センターの管理及び運営に関する重要事項は、研究・社会連携機構会議及び大学協議会の審議を経て、学長が決定する。

(センター会議)

第6条 本センターの管理及び運営、研究の施策及び施行に関する事項を協議するために、センター会議を置く。

- 2 センター会議の運営については、別に定める。

(利用・共同研究)

第7条 本センターの利用及び共同研究については、別に定める。

(研究成果の公表)

第8条 本センターは、研究成果を定期的に公表する。

(事務)

第9条 本センターの事務は、岡山理科大学事務組織規程に基づき研究・社会連携部が担当する。

(改廃)

第10条 本規程の改廃は、研究・社会連携機構会議及び大学協議会の審議を経て、学長が決定する。

附 則（令和3年3月24日 第12回大学協議会）

この規程は、令和3年4月1日から施行する。

4. 研究報告

4.1. 共同研究テーマ

KITAGAWA 株式会社, 岡山理科大学「モンゴル国における好適環境水を用いた海産魚等の
 養殖試験」

・期間 平成30年12月1日 ～ 令和3年11月30日

NTT 東日本, 株式会社いちい, 岡山理科大学「好適環境水を用いたベニザケの陸上養殖」

・期間 令和3年10月18日 ～ 令和5年10月17日

・プレスリリース 令和4年1月20日

株式会社トーケミ, 岡山理科大学「新しい閉鎖循環式ろ過システムの試験研究」

・期間 令和2年12月1日 ～ 令和5年3月31日

表. センター発足時から提携したこれまでの共同研究

西暦	対象種	共同研究先	プロジェクト名	研究題目
2010-2011年	オニヒトデ	黒潮生物研究所環境省	マリンワーカー事業	酢酸賦注によるオニヒトデの駆除実験(オニヒトデ駆除マニュアル発刊)
2011 - 2012年	バナメイエビ	株式会社かとう製菓		好適環境水によるバナメイエビの養殖
2012 - 2013年	クルマエビ	株式会社かとう製菓		クルマエビの好適環境水
2012年	サルエビ バナメイエビ	エビせんべいの里		好適環境水を利用したサルエビ(バナメイエビ)の陸上養殖試験
2013 - 2014年	オニテナガエビ	独立行政法人 国際協力機構 (JICA)	JICAプロジェクト	カンボジアにおける好適環境水による高付加価値淡水養殖
2013 - 2014年	クルマエビ	株式会社かとう製菓		クルマエビの養殖に必要な成分の特定
2014 - 2015年	アンギラビカーラ	ドルフィン株式会社		好適環境水利用によるアンギラビカーラ養殖技術の開発
2015 - 2016年	ノコギリガザミ	種子島中種子町 株式会社タカラニコー		ノコギリガザミの粗放的養殖
2016 - 2017年	ブラックタイガー	ワライラック大学(タイ)	Memory Of Understand協定	好適環境水を用いたブラックタイガーの閉鎖循環陸上養殖試験
2016 - 2017年	ヒメマス(ベニザケ) シロサケ	安芸太田町		好適環境水を利用したサケ・マス類の陸上養殖試験
2017 - 2018年	サルエビ	株式会社えびせんべいの里		好適環境水を利用したサルエビ等甲殻類の陸上養殖試験
2017 - 2018年	ヒメマス(ベニザケ)	安芸太田町		好適環境水を利用したサケ・マス類の陸上養殖試験
2018 - 2019年	バナメイエビ サルエビ(ほか7種)	株式会社えびせんべいの里		バナメイエビのせんべい利用の検討
2018 - 2021年	ハイブリットハタ	株式会社KITAGAWA		モンゴル国における好適環境水を用いた海産魚等の養殖試験
2020 - 2021年	-	三菱ケミカル株式会社		生分解性プラスチック (PPSA) を用いた脱窒試験

岡山県瀬戸内海沿岸におけるトゲノコギリガザミの 分布と生息環境

山本 俊政¹, 石坂 隆宗², 藤田 昌紀²

2009年から2020年までの12年間におよび岡山県瀬戸内海域にてノコギリガザミ属の現地調査を行った。7か所の産地から12個体のトゲノコギリガザミ *Scylla paramamosain* が見つかり、本種として複数の発見例となった。海水温が高い7月から10月にかけて成体を捕獲したが、本調査において幼個体は発見されなかった。トゲノコギリガザミは、岡山県の3大河川、高梁川、旭川、吉井川の河口で発見された。

Geographical distribution of *Scylla paramamosain* from the Seto Inland Sea area of Okayama Prefecture and their habitat

Toshimasa YAMAMOTO¹, Takahiro ISHIZAKA², Masaki FUJITA²

We conducted a field survey of the genus *Scylla* in the Setouchi area of Okayama prefecture for 12 years from 2009 to 2020. 12 individuals of *Scylla paramamosain* were found from 7 production areas, and as this species. There were multiple cases of discovery. Adults were captured from July to October when the seawater temperature was high, but no juveniles were found in this survey. *Scylla paramamosain* was found in the estuaries of the three major rivers of Okayama Prefecture, Takahashi River, Asahi River and Yoshi River.

1. 緒言

ノコギリガザミ属は、ワタリガニ科ノコギリガザミ属 *Scylla* に分類される大型甲殻類である。本種は世界で4種が知られ (Quinitio 2008)、ハワイ、東南アジア、インド、オーストラリアなど世界の熱帯・亜熱帯で汽水域に広く分布すると報告されている (Sakai 1976, Cowan 1984)。国内におけるノコギリガザミ属の主要な生息地は静岡県浜名湖、高知県浦戸湾、南西諸島 (鹿児島県・沖縄県) であり、トゲノコギリガザミ *S. paramamosain*、アカテノコギリガザミ *S. olivacea*、

アミメノコギリガザミ *S. serrata* の3種の生息が確認されている (今井 1999, 2006)。

一方、岡山県内で伝承されるノコギリガザミ属はかつてドテキリと呼ばれ江戸期から開始された児島湖干拓事業の進展と児島湖締め切り堤防の完成 (1958年2月) にともなう湖内淡水化により、有力な生息場所と思われた児島湾から姿を消し、高齢の漁業関係者以外その名を知らない。現在に至っては本属に関する報告例は少なく、瀬戸内市で沖採集されたトゲノコギリガザミの産出例

連絡先

山本 俊政

岡山理科大学工学部バイオ・応用化学科

〒700-0005 岡山市北区理大町 1-1

Tel. 086-228-4303

e-mail : yamamoto@pub.ous.ac.jp

1) 岡山理科大学工学部バイオ・応用化学科

Faculty of Engineering Department of Applied Chemistry and Biotechnology

2) 株式会社SID 創研 閉鎖循環式養殖技術開発 技術員

GROUP OF KAKE EDUCATIONAL INSTITUTION SIDsoken CO., LTD. Engineer for closed recirculating aquaculture system

(菅野2009, 岡山県版レッドデータブック 2020) にとどまっており、現状を評価する上で十分な情報が得られておらず詳しい調査が必要とされていた筆者らは2009年から2020年にかけて、岡山県で捕獲された12例のノコギリガザミ属の種の同定を行い、これらの生息環境と岡山県内における捕獲場所 (図1) について記録した。

2. 方法

本種における一般的な種の同定方法は前額突起形状、鋏脚の腕節外縁にある棘、甲殻の色彩、第4歩脚模様等の分類形質方法で行うが、予備調査として捕獲した岡山県産個体には甲殻の色彩変化が見られることや、腕節棘数は同種間の闘争による脱落、あるいは高齢個体に見られる摩耗の可能性が認められるため、主に前額突起形状と第4歩脚模様を参考とした。同定の比較対照検体として、地域個体群を考慮して高知県産トゲノコギリガザミ (図2-L) 1個体、タイ国産トゲノコギリガザミ 1個体及びタイ国産アカテノコギリガザミ (図3-N) 1個体、バングラデシュ国産アカテノコギリガザミ 3個体 (図3-O, 図3-P, 図3-Q)、スリランカ国産アミメノコギリガザミ (図4-R) 1個体・高知県産アミメノコギリガザミ (図4-S) 1個体を使用し、Keenan et al (1998) が示している形態的違いに基づき同定を行った。なお海外産ノコギリガザミの調査にあたっては、タイ王立ワライラック大学研究者から紹介を頂いた養殖施設及びノコギリガザミ輸入マーケットにおいてサンプル個体データとして甲幅・甲高の計測後、写真撮影を行った。よって写真データのみを持ち帰り国内産個体との写真判定による比較照合を行った。

3. 結果

岡山県産ノコギリガザミ属 12 個体 (表 1. 個体記号, 個体情報を記す) について、分類形質方法による同定を行った。岡山県産ノコギリガザミ属 (図 2-A, 図 2-B, 図 2-C, 図 2-D, 図 2-K の 5 個体のみ記載し、プレート中のアルファベットは表 1 の個体記号を示す) と高知県産トゲノコギリガザミ (図 2-L) 1 個体、タイ国産トゲノコギリガザミ 1 個体を用い観察した結果、岡山県で捕獲された 12 個体 (図 5-A, 図 5-B, 図 5-K の 3 個体のみ記載) のすべてが、前額突起の先端が極めて鋭利であることが認められ、高知県産 (図 5-L)、タイ国産トゲノコギリガザミ (図 5-M) と類似したトゲノコギリガザミの特徴を有していた。一方、アカテノコギリガザミ (図 5-O) については、ほとんど前額突起が見られず形状は鈍角であった。またアミメノコギリガザミ (図 5-R) の前額突起高は大きいものの先端部の形状は丸くトゲノコギリガザミと比較した場合、形状の相違が見られた。さらに、岡山県産 (図 6-B, 図 6-K)、高知県産トゲメコギリガザミ (図 6-L)、バングラデシュ国産アカテノコギリガザミ (図 6-O) スリランカ国産アミメノコギリガザミ (図 6-R)、高知県産アミメノコギリガザミ (図 6-S) の第4歩脚の模様を比較したところ、岡山県あるいは高知県で捕獲されたトゲノコギリガザミはすべて不明瞭な斑模様であり、アカテノコギリガザミ (図 5-O) にはその特徴は見られなかった。さらにアミメノコギリガザミでは、明瞭な網目模様が見られることから、トゲノコギリガザミの特徴と異なるものであった。また *Sylla* 属の中で分布域が異なるミナミノコギリガザミ (*S. tranquebarica*) は、国内未発見 (大城, 今井 2003) であることから岡山県産の種はトゲノコギリガザミと同定した。

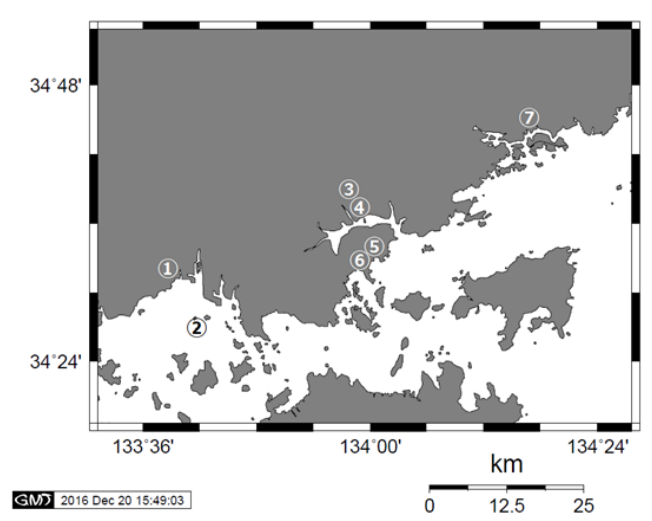


Fig.1 This map shows the captured mad crab in the Okayama in 2009.

- ①Kurosakishinmachi, Kurashiki-shi, ♂ and ♀ ②Osyaku island, Kurashiki-shi, ♂
 ③Asahi river, Okayama-shi, ♀ ④Sumiyoshigu, Okayama-shi, ♂
 ⑤Muneage, Tamano-shi, ♀ ⑥Higashinozaki, Tamano-shi, ♂ ⑦Hinase, Bizen-shi, ♂

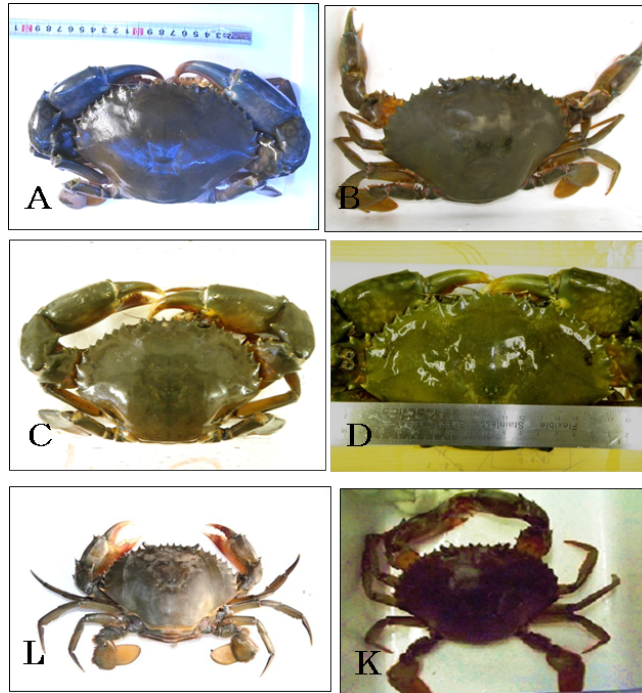


Fig. 2 Individuals were used to identify (Alphabet in the plate indicates the individual symbol in Table 1, and photos of A – K is show the 5 individual captured in Okayama).
 A : Shioiri river, Tamano-shi, (♂), Carapace Wide(CW) 144 mm, Carapace Length (CL) 93 mm. B : Asahi river, Okayama-shi, (♀), CW 150 mm, CL 102 mm. C : Shimotui Kurashiki-shi, (♂), CW 127 mm, CL 90 mm. D : Hinase, Bizen-shi, (♂), CW 149 mm, CL 123 mm. K : Kogushi, Okayama-shi, (♀), CW 165 mm, CL 123 mm. L : Urado, Kochi-shi (♀), CW 135 mm, CL 95 mm.

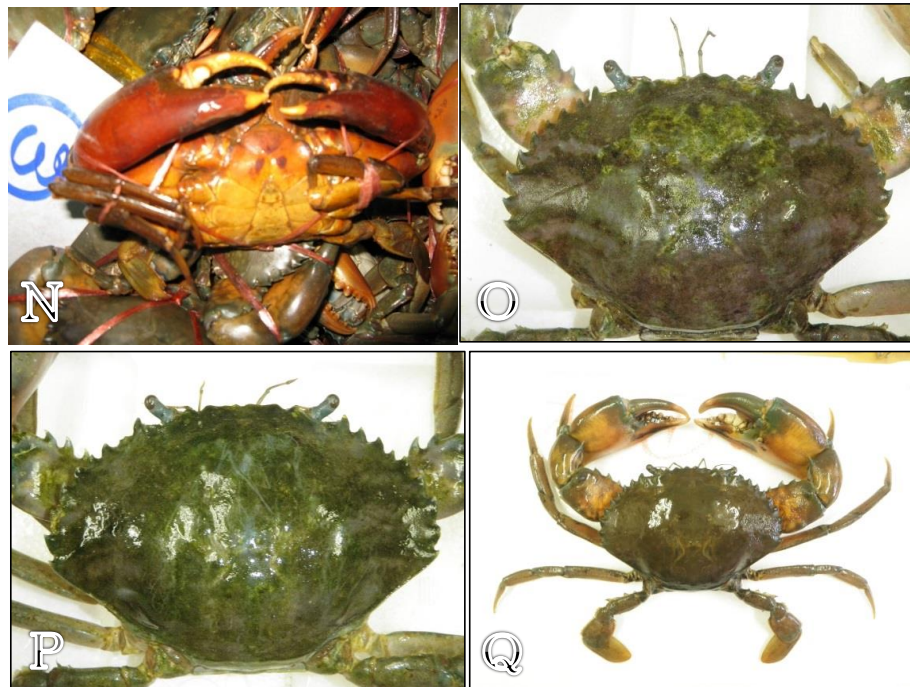


Fig. 3 *Solivacea* was used for identification (Alphabet in the plate indicates the individual symbol in Table 1).

N : Thailand, (♂), Carapace Wide (CW) 130 mm, Carapace Length (CL) 95 mm. P : Bangladesh, (♂), CW 110 mm, CL 81 mm. Q : Bangladesh, (♂), CW 120 mm, CL 89 mm.

Table 1 Information of to have been captured in the Okayama *S. paramamosain* (n=12) and other area individual used for the identification

Individual symbol	Captured areas	Captured day	Soil property	Classification	Sex	Carapace wide (mm)	Carapace length (mm)
A	Shioiri river, Higashinozaki, Tmano-shi	09-Aug-09	Sand mud	<i>Scylla paramamosain</i>	♂	144	93
B	Asahikawaohasi, Okayama-shi	28-Sep-09	"	"	♀	150	102
C	Taisyaku island, Shimotui, Kurashiki-shi	04-Oct-09	"	"	♂	127	90
D	Hinase, Bizen-shi	02-Sep-09	"	"	♂	149	90
E	Asahi river, Sumiyosigu, Okayama-shi	21-Aug-09	"	"	♂	-	-
F	Shioiri river, Higashinozaki, Tmano-shi	28-Sep-09	"	"	♀	-	-
G	Muneage, Tmano-shi	28-Sep-09	"	"	♀	140	89
H	Kurosakishimaci, Kurashiki-shi	21-Jul-10	"	"	♂	-	-
I	Kurosakishimaci, Kurashiki-shi	05-Oct-10	"	"	♀	154	92
J	Muneage (Hokko chemical off the coast), Tmano-shi,	13-Sep-13	"	"	♂	140	105
K	Kogushiyonezaki off the coast, Minami-ku, Okayama-shi	24-Sep-13	"	"	♀	165	123
L	Nonohama port, tai, Tmano-shi	01-Aug-20	"	"	♀	91	65
M	Urado bay, Kochi-shi,	02-Feb-13	Sund mud	<i>Scylla paramamosain</i>	♀	135	95
N	Phuket, Thailand	12-Dec-09	"	"	♂	125	87
O	Nakhon Sawan, Thailand	31-May-09	Sund mud	<i>Scylla olivacea</i>	♂	130	95
P	Bangladesh	12-Aug-09	"	"	♂	115	86
Q	"	12-Aug-09	"	"	♂	110	81
R	"	03-Sep-09	"	"	♂	120	89
S	Sri Lanka	29-May-09	Sund mud	<i>Scylla serrata</i>	♂	192	135
T	Urado bay, Kochi	02-Feb-13	"	"	♀	125	88

- : unknown



Fig. 4 *S. serrata* was used for identification (Alphabet in the plate indicates the individual symbol in Table 1).

R : Sri Lanka, (♂), Carapace Wide (CW) 192 mm, Carapace length (CL) 135 mm. S : Urado, Kochi-shi, (♀), CW 125 mm, CL 88 mm.

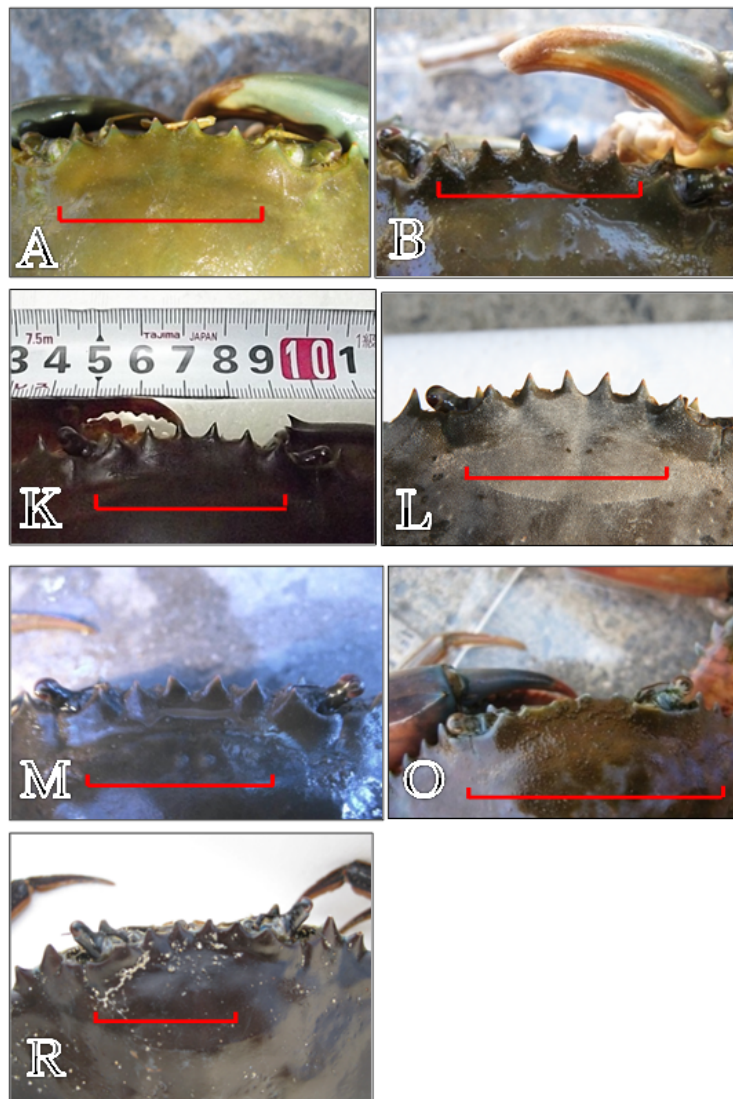


Fig. 5 Lobes between the eyes of *Scylla* spp. (Alphabet in the plate indicates the individual symbol in Table 1). The shape of the lobes of the A, B, K, L and M tip is pointed to a very shape, but O is not observed almost protrusion, the shape is an obtuse angle. Although also the lobe of R is a large, the tip is round, not sharp. (Bar is 50 mm in Fig. 5)

捕獲時期はいずれも7月から10月までの高水温期に集中していた。全ての個体年齢は1年2年と推定され、幼個体は発見されなかった。またほとんどの捕獲個体は、岡山県三大一級河川である高梁川、旭川、吉井川の河口域に集中していた。

さらに捕獲地域である生息環境の特徴は、河川から淡水が流入する汽水域で、底質状態は1mm程度の砂泥土に限られ、大きな礫が存在する地域には見られなかった。その結果は表1に示す。

4. 考察

これまでに、岡山県瀬戸内海沿岸におけるノコギリガザミ属の詳細な分布域と種の同定に関する文献はほとんど見られなかった。今回の調査で捕獲された岡山県産ノコギリガザミ属のすべてが、トゲノコギリガザミであることが明らかになった。しかし供試個体は12年間でわずか12個体にとどまったことから、生息数は極めて少なく絶滅寸前の状況と思われる。なお、本州における生息情報

は少なく本州北限と見られる静岡県浜名湖、千葉県房総半島では、トゲノコギリガザミ以外の種類は発見されていない。このことから、厳冬期の水温低下が著しい瀬戸内海産ノコギリガザミ属は、静岡県浜名湖・千葉県房総半島地域と同様の単一種の構成と考えられるが、今後、瀬戸内海全域での詳細な検討が必要である。

一方、生息数減少の一因は急激な生息環境の悪化が考えられる。現在、岡山県南部地域では干潟、塩田跡地埋め立ての進展と河口域では東南海、南海地震に対する防災上の観点からコンクリート化による護岸改良工事が行われており、生息域の減少が憂慮されている。さらには、本種が好む汽水干潟の存在と細かい砂泥土による底質、さらには営巣が可能な草原帯が生息条件に挙げられるため、本種に対する保護は容易ではない。これら陸水の影響下にある干潟・潮間帯に生息する希少な甲殻類、貝類等を保全する場合、総合的な環境評価に基づく保全対策が重要と考えられる。

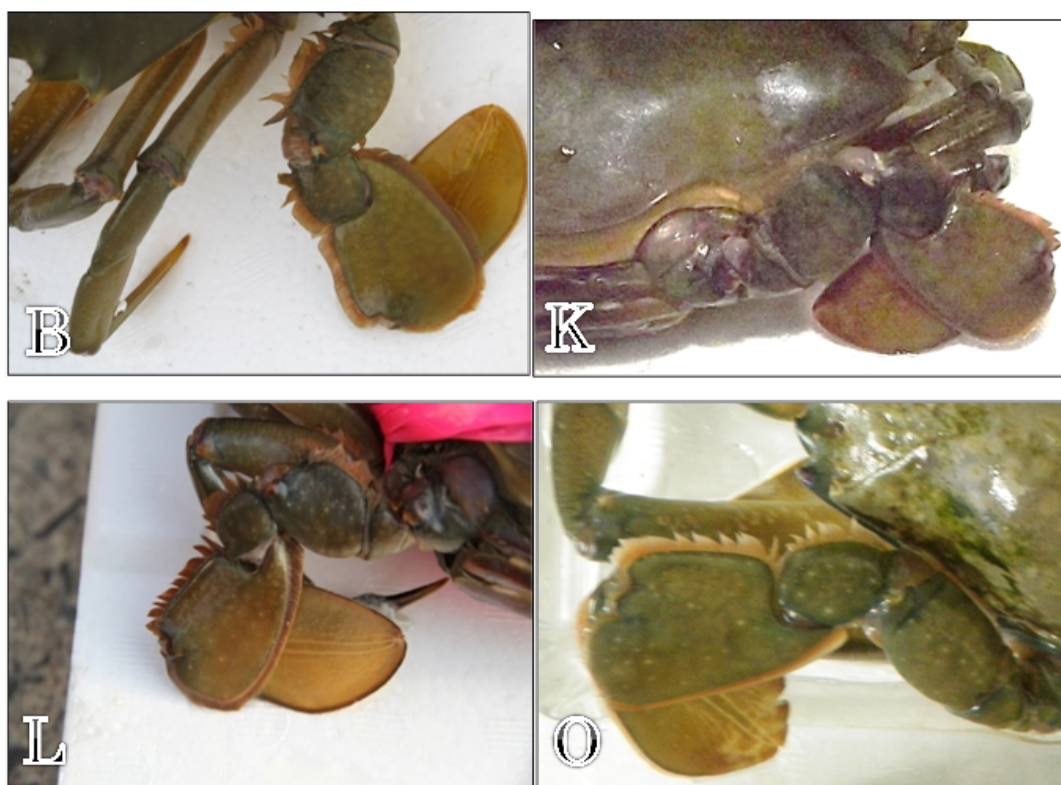


Fig. 6 Pattern of leg of the *Scylla* spp. (Alphabet in the plate indicates the individual symbol in Table 1).

Pattern of leg of the B, K and L are obscure mottled, but O is not seen mottled. In addition swimming leg of R and S is saw clear tracery.

5. 謝辞

本調査の実施にあたり、生体をご提供頂いた、岡山市柚木様、玉野市胸上漁業奥野氏、倉敷市下津井小島漁業組合員、備前市日生漁業組合員、倉敷市玉島乙島漁協組合員の皆様、また、調査の一部にご協力を頂いた本学とのMOU締結大学であるWalailak University Asst.Prof.Dr.Sataporn Direkbusarakom, Suwit Asst.Prof Dr.Wuthisuthimethave, 「玉野市商工会議所どてきり復活」研究会会長吉本誠に、深謝申し上げます。

6. 引用文献

- Cowan.L. (1984) Crab farming in Japan, Taiwan and the Philippines. Series Q184009. Queensland Department of Primary Industries : 85.
- De Haan (1833) A revision of the genus Scylla. The Raffles Bulletin of Zoology.46 : 217-245.
- 今井秀行 (2006) 美ら海自然史琉球大学21世紀COEプログラム編集委員会編:35-47.
- 今井秀行 (1999) ノコギリガザミ3種とガザミの分子の変異,これを遺伝的標識とした種苗放流の研究.東海大学博士学位論文:120.
- 菅野 (2009) 菅野 2009. 最近水産試験場に持ち込まれた珍しい魚たち. 岡山県水産試験場だより, 平成21(2009)年12月1日号:1-2.
- Keenan,C.P.,Davie,P,and Mann,D.,(1998)
- 大城信弘・今井秀行 (2003) ワタリガニ科.西田睦・鹿谷法一・諸喜田茂充編.琉球列島の陸水生物:262-265.岡山県版レッドデータブック 2020:731
- Quinitio E.T and Parado Estepa F.D. (2008) Biology and Hatchery of Mud Crabs Scylla spp.Aquaculture extension manuals.34 : 4-5.
- Sakai,T. (1976) Crabs of Japan and the adjacent seas.Kodansha Tokyo:335-336.

Epinephelus akaara ふ化仔魚の成長にともなう 体密度変化

山口 太一¹⁾

この研究は、キジハタ仔魚の沈降による死亡について検討したものである。沈降は飼育水と個体の密度差によって生じるため、仔魚の体密度を経時的に計測した。ふ化後の仔魚は2日齢12時 [DAH2 (12 h)] に飼育水密度と同程度である $1.023 \pm 1.387 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ (Ave. \pm SD) の値を示した。その後、全長の収縮が起こったことから、仔魚の沈降は、体積の減少により起こることが明らかとなり、この期間より対策を講じる必要があることが示唆された。

Changes in body density attendant on the growth of larvae *Epinephelus akaara* Taichi YAMAGUCHI

This study considered on the cause to the settle death of larvae *E. akaara*. The settle death stems from difference the density with individual in the breeding water. For it reason, we measured at time-series changes in body density of larvae after hatch out. Larvae of after hatch out showed the value of $1.023 \pm 1.387 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ the same breeding water at age in 2 days and 12 o'clock. Also, we calculate the internal nutrition volume of larvae at time series. As a result, it exhausted for the most part, after opening of the anus at age in 1 days and 12 hours. Afterwards, cause the contraction of total length until the age in 3 days and 20 o'clock. It was found from the result that an increase the body density of the time period result from a decrease the volume of larvae.

キーワード: *Epinephelus akaara*, キジハタ, 初期減耗, 仔魚, 体密度, 沈降死亡

1. 緒言

キジハタ *Epinephelus akaara* はハタ科マハタ属に属し,¹⁾ 平均全長が約60 cmに成長する。²⁾ 本種は暖海性の磯魚で青森県以南から朝鮮半島, 中国, 台湾, インドに分布し, ハタ類の中でも極めて美味であること, 市場性が高いことなどがある。しかし近年では, 分布域

における資源量の減少が著しく報告されているため, 1960年後半から, 増養殖の対象魚として, 種苗生産技術の確立に向けて研究開発が進められている。^{1,3)} ハタ科魚類における研究は, これまでにマハタ *Epinephelus septemfasciatus* やクエ *Epinephelus bruneus* などの種苗生産に関する報告がなされており, 近年技術の進展により, 種苗の量産が可能になりつつある。しかし卵の収容数から稚魚期まで生育させたときの生残数の減少, すなわち歩留まりの悪さなど, まだ数多くの早期解決すべき問題が残っているのが現状である。⁴⁾ 種苗生産における魚類の大量への死 (初期減耗) の原因は, 親魚自身もしくはそれらの産卵環境により不良質な卵が産卵されることによる, ふ化仔魚の活力低下や, 仔魚の口径に見合うプランクトンの供給不足などが上げられる。⁵⁾ 他にも, キジハタ仔魚の育成における最適な飼育環境 (水温や塩分, 光量) についても未だ明らかとなっておらず, それらの要因を否定することは出来ない。さらに, 仔魚期における育成は無換水でおこなわれる事が多いため, 水質の悪化が原

連絡先

山口 太一

岡山理科大学研究社会連携機構生物生産教育研究センター

〒700-0005 岡山市北区理大町1-1

Tel. 086-228-4303

e-mail : t-yamaguchi@pub.ous.ac.jp

1) 岡山理科大学研究社会連携機構生物生産教育研究センター

Organization for Research Development and Outreach Education and
Research Center for Organisms Production Okayama University of Science

因で病原生物が増殖し、へい死のリスクが高まることや、通気による気泡と仔魚との物理的接触、および仔魚に対する過度な流速が原因で発生する胚胎の折損など、様々な要因が影響をおよぼすものと考えられている。

中でも初期減耗の大きな原因は、浮上死亡と沈降死亡に大別されている。^{4,6)} 浮上死亡とは、ふ化仔魚の遊泳が乏しい仔魚期に、飼育水槽中の通気や日照による照度の上昇をとまなうことでおこる仔魚のプランクトンとしての習性、すなわち集光性による水面への浮上が発生する。これは水面での粘液の分泌、および表面張力と個体の持つ遊泳力との差により、不可逆的な状況となることで死亡する現象であるとされる。⁴⁾ 一般にこの対策として、水面の照度を低くすることや、飼育水へフィードオイルを添加することで、表面張力差を低下させ、個体の空気中への暴露を防ぐことなどの手法を用いている。^{1,4)}

一方、沈降死亡とは、仔魚の遊泳力が乏しい時期に魚体密度が飼育水密度を上回る事によって重力沈降を起こし死亡することである。仔魚の水槽底部への沈降による死亡のメカニズムは解明されていないが、水槽底部での接触による外傷を原因とする、細菌感染や流動速度の低い環境でのガス交換効率の低下などが考えられている。^{4,7-10)} この対策として、通気の流量を常時操作し、飼育水中の全体的な仔魚の鉛直分布を調節している。また、沈降死に関する仔魚の成長にともなう体密度の推移は、マツカワ *Verasper moseri*⁸⁾ やカンパチ *Seriola dumerili*⁹⁾ マハタおよびクエ⁴⁾ などでは報告されているが、キジハタでは未だ明らかになっていない。そこで、本研究では、仔魚期に発生する、沈降による死亡が起きる日齢、および仔魚の沈降の原因を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2-1. 親魚と採卵 本実験の卵の収容には天然海水を使用し、1 kL のアルテミアふ化水槽 (ふ化槽) 3 槽へ 900 L ずつ注水した。供試個体の入手行程について、独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所で養成した天然の親魚より、自然産卵で得られた受精卵を、二重のビニル袋へ天然海水 20 L とともに約 50,000 粒を収容した後、純酸素を海水に飽和させた。その後、30 L 容量の発泡スチロール箱 (実水量 20 L) に梱包し、岡山理科大学生物生産教育研究センター (以下センター、旧岡山理科大学生命動物教育センター) まで輸送した。到着後、沈卵を除去し、ふ化水槽 3 槽へ容積法にてそれぞれ 10,000 粒 kL^{-1} で収容した。

2-2. 飼育条件 仔魚を収容するふ化槽内の設定水温は、27.5°C となるよう、それぞれ 3 槽に 1 kW ヒーターを要して管理した。それぞれのふ化槽内の pH は、試験期間中に大きく変動することが考慮されないと判断し、特に調整しなかった。酸素の供給とふ化槽内へ対流を発生させることを目的に、それぞれ水槽底面中央に設置したセラミック製のエアーストーン (25φ 丸#100, いぶき社製) 2 個を用いて $550 \pm 50 \text{ mL min}^{-1}$ でおこなった。飼育水の密度は、飼育水の蒸発によって上昇することが考えられるため、脱塩素処理および温度を調整した水道水によって、終了時まで $1.023 \pm 5 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ で管理した。さらに、仔魚の光刺激による浮上死亡を軽減させるため、ふ化後蛍光灯 2 基 (FL32SEX-D-HG, 32 W) を水槽上部に設置し、24 時間恒明条件 (水面 0 cm, 1,000 Lux) とした。仔魚への餌料として、アルテミアふ化水槽内へ収容したシオミズボウムシ SS 型 *Brachionus rotundiformis* (以下ワムシ) を供給した。

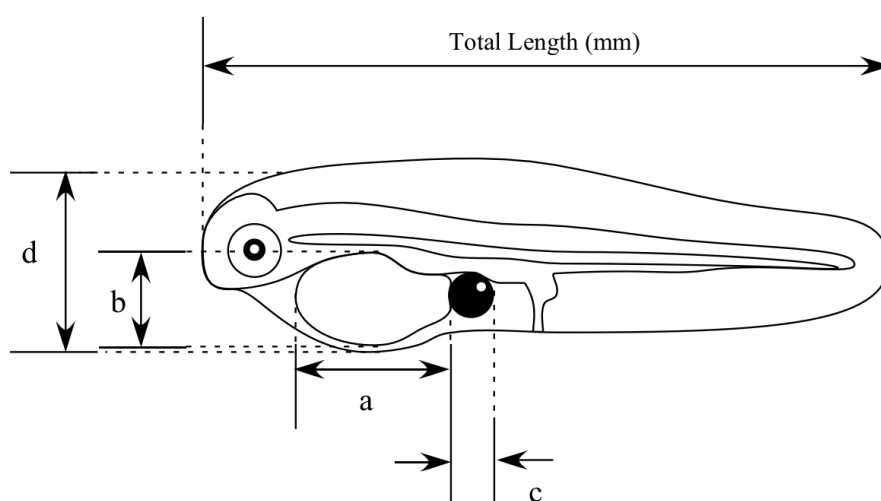


Fig. 1 Each organ of the larvae is measured in millimeters. The horizontal length of the yolk is displayed as "a", the vertical length of the yolk is "b", the oil sphere is displayed as "c", and the body width of larvae is displayed as "d".

また、ワムシの個体数の管理は、各試験日における0時に、1 mL中に存在する個体数を毎日計数し、摂餌によって10個体 mL⁻¹に不足した分量を、あらかじめ培養した水槽より添加した。飼育期間中、仔魚へワムシ幼生を摂餌させることを目的として、卵収容時からDHAとEPAを生体濃縮した淡水クロレラ(英名: *Chlorella*, スーパー生クロレラV12, クロレラ工業)を1日2回(9, 17時), 105 cells mL⁻¹となるように添加した。

2-3. 体密度の測定 キジハタのふ化率が約50%に達した時点から体密度の測定を開始した。ふ化仔魚のサンプリングは1日3回(4, 12, 20時), 1回に12尾を使用した。試験期間は沈降死亡のもっとも早期に発生する場合を捉えるため、日齢4までの5日間継続した。

Figure 1に示すように、成長の測定を全長(TL)によって、および卵黄の体積(YSV)を長径(a)と短径(b)から次式(1)より、油球の体積(OGV)を直径(c)を用い次式(2)よりそれぞれ算出した。

$$YSV(mm^3) = \frac{4\pi \times (b/2)^2}{3} \times 10^{-9} \dots (1)$$

$$OGV(mm^3) = \frac{4\pi (c/2)^3}{3} \times 10^{-9} \dots (2)$$

Figure 2に体密度の測定に用いた実験装置の模式図を示した。体密度の測定方法はJIS K 7112(プラスチック-非発泡プラスチックの密度及び比重の測定方法 D法¹¹⁾)を応用した。管内温度が一定となるよう、二重管の外管に28.0°Cの水道水を循環させた。また、二重管構造となっている無色透明アクリルパイプ(以下: 密度勾配管)の内管に、28°C 帯標準ガラスフロート7個(1.015, 1.020, 1.025, 1.030, 1.035, 1.040, 1.045 g cm⁻³, 株式会社 柴山科学器械製作所製)を投入した。そこへ、飽和状態の人工海水(以下: 高濃度溶液)を1 L, 脱塩素処理をおこなった水道水(以下: 低濃度溶液)1 Lをそれぞれ別の異なる三角フラスコへ入れ、マグネティックスターラーにて攪拌した。高濃度溶液側のフラスコには、1本のガラス管をさしたゴム栓にて蓋をした。また、低濃度溶液側のフラスコには2本のガラス管を刺し、1本を高濃度溶液側とエアチューブで繋ぎ、もう片方を密度勾配管の内管の底面から外側へ出ているガラス管へエアチューブによって繋げた。その後、サイフォンの原理を用いて内管に流入させた。流入させた密度勾配溶液によって、内管内の標準ガラスフロート間の各距離が等間隔となるようにした。仔魚個体密度の測定にあたり、仔魚の反射的な遊泳にともなう密度勾配溶液の混合が考えられたため、測定直前に、*m*-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネートにより麻酔処理を施し、管内における仔魚の固定をおこなった。その後、仔魚を内管へ投入し据え付けたスケールの目盛りを読み取った。

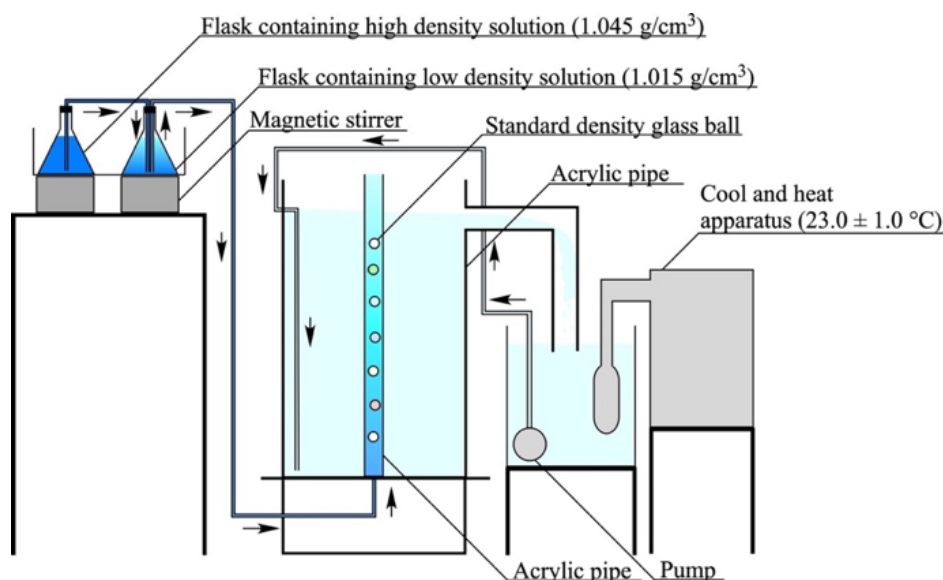


Fig. 2 Density gradient tube schematic diagram. Arrows indicate the flow of water. By applying the insular pressure of the density gradient tube to the negative pressure, a low concentration solution in the flask is attracted and flows into the inner tube. This also induces a high concentration solution and causes the concentration to gradually increase when it is mixed in a flask containing a low concentration solution. These occur continuously by the principle of siphon, and a density gradient solution by artificial seawater is created in the inner tube of the density gradient tube.

実験によって得られた各値の体密度への換算については次式 (3) を使用して算出した。なお、事前の実験によって仔魚の沈降が停止しない現象が起こったため、1分毎に沈降する仔魚の鉛直的な位置を記録し、密度差による沈降と加速度が一定の沈降による沈降の二つの回帰式から、その交点を体密度として決定した。試験に用いた仔魚は測定後、高塩濃度溶液を追加することで内管液を溢れさせ、表層部が上がってきたことを確認しピペットで回収後、式 (1) と同様、全長測定と油球径および卵黄径の長さから体積を算出した。

$$\rho_{s,x} = \rho_{F1} + \frac{(x-y)(\rho_{F2} - \rho_{F1})}{z-y} \dots (3)$$

ρ_{F1}, ρ_{F2} : 仔魚を挟む上下2個の標準ガラスフロートの指示密度 (g cm^{-3})

x : 任意の位置から測定した仔魚までの距離 (mm)

y, z : 同じ任意の位置から測定した2個の標準ガラスフロートまでの距離 (mm)

得られた各日齢における体密度の値から、仔魚を球形と近似し、fig.1, d に定める体高長などからストークスの式を用い、沈降する際の終端速度を近似的に算出した。

$$v = \frac{d^2 (\rho_L - \rho_S) 1000 g}{18\eta} \dots (4)$$

v : 終端速度 (mm s^{-1})

d : 仔魚体高長 (mm)

ρ_L : 仔魚密度 (g cm^{-3})

ρ_S : 海水密度 (g cm^{-3})

g : 重力加速度 (9.8 cm s^{-2})

η : 海水の粘度 ($1.075 \times 10^{-3} \text{ pa s}, 20^\circ\text{C}^{12}$)

Table1 The measurement value of water quality in rearing tanks of the larvae.

DAH	Tank No.1				Tank No.2				Tank No.3			
	Temperature	pH	DO	Density	Temperature	pH	DO	Density	Temperature	pH	DO	Density
date	°C	-	mg L ⁻¹	g cm ⁻³	°C	-	mg L ⁻¹	g cm ⁻³	°C	-	mg L ⁻¹	g cm ⁻³
0	27.1	8.190	8.110	1.023	27.6	8.191	8.000	1.023	27.8	8.205	7.940	1.023
1	27.8	8.160	7.950	1.023	27.8	8.111	7.920	1.023	27.6	8.163	7.890	1.023
2	27.2	8.132	8.040	1.023	27.4	8.124	8.100	1.023	27.3	8.126	7.980	1.023
3	27.4	8.139	7.980	1.024	27.6	8.157	7.910	1.024	27.4	8.150	7.880	1.023
4	27.6	8.121	7.720	1.023	27.5	8.102	7.730	1.023	27.5	8.088	7.760	1.024
Average	27.4	8.148	7.960	1.023	27.6	8.137	7.932	1.023	27.5	8.146	7.890	1.023
Standard Deviation	2.86E-01	2.726E-02	1.47E-01	4.472E-04	1.48E-01	3.669E-02	1.36E-01	4.472E-04	1.92E-01	4.344E-02	8.31E-02	4.472E-04

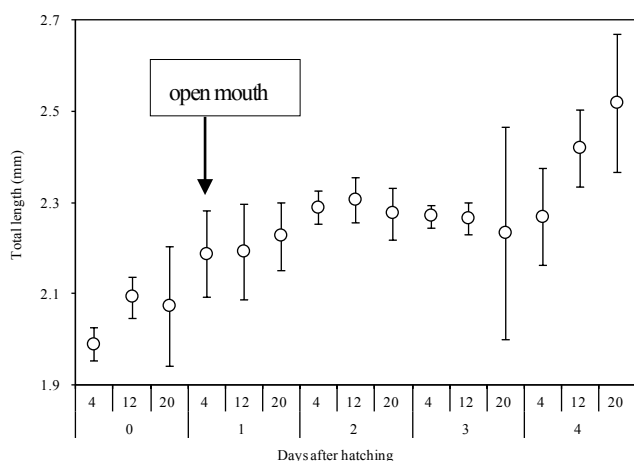


Fig. 3 Time-series average total length transitions of *E. akaera* larvae (n = 12, Bars: ± Standard Deviation). The upper row of the horizontal axis indicates the time of the day of age, and the lower row indicates the age of the day, respectively.

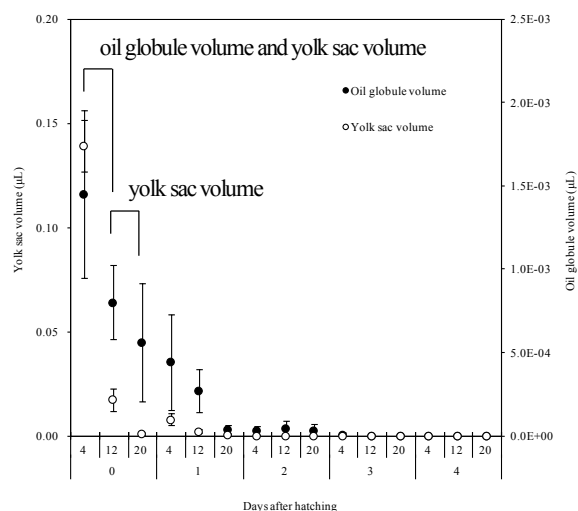


Fig. 4 Temporal changes in the oil globule volumes and the yolk sac volumes average of *E. akaera* larvae (n=12, Bars: ±Standard Deviation, *: one-way ANOVA, Scheffé's test, $\alpha=0.05$). The upper row of the horizontal axis indicates the time of the day of age, and the lower row

2-3 統計処理 統計解析には、Microsoft Excel version 15.21.1 を使用し一元配置分散分析 (Scheffé's TEST) をおこなった。群の組み合わせは、試験期間中の、全長、体密度、油球体積、卵黄体積について、測定点の変化量 (14 組) と、全長の収縮が認められた 1 つ前の測定点と、再度成長を示す 1 つ前の測定点までの各変化量 (6 組) を合わせた 20 組を 1 つのファミリーとして、それぞれの組み合わせについて統計的有意差の解析をおこなった。また試験における仔魚の体密度 (g cm^{-3}) と全長 (mm)、卵黄体積 (mm^3) と全長、油球体積 (mm^3) と全長、卵黄体積と体密度、油球体積と体密度の相互関係について、それぞれピアソンの積率相関係数 (Correlation coefficient: 以下 r_{sp})、およびデータのばらつきにおける信頼区間である 95% 信頼限界の範囲を、統計解析ソフトウェア R version 4.1.0 を使用し、算出した。

3. 結果

3-1 キジハタ仔魚の内部栄養吸収と発育過程 試験期間中のふ化水槽 (No.1, 2, 3) 内の各、水温 ($^{\circ}\text{C}$)、pH (-)、溶存酸素濃度 (DO; mg L^{-1})、飼育水密度 (g cm^{-3}) を Table 1 に示した。仔魚の体密度を計測するために要した 3 槽のふ化水槽内における飼育水の水温、pH、DO、密度は、それぞれにおいてほぼ一定の環境であった。

今回用いた受精卵 ($n=30$) の平均直径 (Ave. \pm SD) は $7.66 \times 10^1 \pm 5.57 \times 10^2 \text{mm}$ であった。また、ふ化率は約 100% であった。ふ化後日齢 (DAH: Days after hatching) 0 日の 4 時 [DAH0 (4h)] の仔魚 ($n=10$) の平均全長 (Ave. \pm SD) は $1.99 \pm 3.56 \times 10^2 \text{mm}$ 、卵黄と油球の平均体積はそれぞれ $1.39 \times 10^1 \pm 1.24 \times 10^2 \text{mm}^3$ と $1.45 \times 10^3 \pm 5.03 \times 10^4 \text{mm}^3$ であった。さらに、ふ化仔魚は体腔の大部分を卵黄が占めており、卵 1 個に対しそれぞれ 1 個ずつの油球および卵黄を確認した。加えて、ふ化直後は口腔および肛門は未開通であった。

Figures 3, 4 に今回測定したキジハタの全長と、卵黄および油球体積の時系列的な変化をそれぞれ示した。仔魚のふ化は、4 時 37 分頃に初めて観測され、その直後から内部栄養である油球および卵黄の一部を消費し、全長の伸長および内臓の形成をともないながら成長した。DAH1 (4h) の時点における卵黄および油球体積はそれぞれ $7.60 \times 10^3 \pm 2.82 \times 10^3 \text{mm}^3$ と $4.39 \times 10^4 \pm 2.85 \times 10^4 \text{mm}^3$ となり、DAH0 (4h) からそれぞれ 94.5%、69.6% を吸収した。また、観察をおこなった仔魚 5 個体のうち、それら全てにおいて開口があったことを確認した。さらに、DAH1 (12h) 以降では、大部分の仔魚の眼球に黒色素胞が見られ、肛門の開通も確認された。DAH1 (20h) では、

観察を行った 5 個体の仔魚のうちの全てに初回摂餌を確認し、平均で 2.6 ± 1.4 個のワムシを捕食していた。なお、仔魚の摂餌個体数は、仔魚の顕微鏡による観察後に、スライドガラス上の仔魚をカバーガラスによって押しつぶし、胃内におけるワムシの咀嚼器の数を対として計測した。DAH2 (4h) での卵黄および油球体積の体積は、それぞれ $5.54 \times 10^5 \pm 8.94 \times 10^5 \text{mm}^3$ と $2.75 \times 10^5 \pm 3.04 \times 10^5 \text{mm}^3$ で、中には消失する個体も確認した。また、ふ化から DAH2 (12h) までの卵黄と油球体積の減少率はそれぞれ 100%、98.1% で、油球を完全に消費する個体も確認された。さらに、測定した大半の仔魚において、腹部の黒色素の範囲が広がったことを確認し、眼球においても黒色素胞の定着を確認した。Figure 3 に示した全長の推移を確認すると、DAH2 (12h) までは全長の値は緩やかに大きくなったが、これ以降、DAH3 (20h) の期間で $7.26 \times 10^2 \text{mm}$ の減少が見られた。DAH3 (4h) では、全長が $2.27 \pm 2.59 \times 10^2 \text{mm}$ となり、DAH3 (12h) においてサンプリングした群には油球を有している個体は見られなかった。その後 DAH3 (12h) では、仔魚の体表の腹腔から脊索にかけて色素の割合が大きく占め、これにともなって腸管内の観察は困難となった。さらに、背側の膜鱗の一部がかん入し、脊索からはスパインの始まりと思われる突出が現れる個体も確認された。

Figures 5 (a) および (b) には、卵黄体積と全長、油球体積と全長について関連性を示した。卵黄体積は全長の増加ともない緩やかに減少し、卵黄体積が 0mm^3 となる時の全長は、回帰曲線より 2.36 mm となった。また、卵黄体積と全長の関連性を示すピアソンの積立相関係数は、-0.373 となり、弱い負の相関が得られた。同様に油球体積では、全長の増加ともない緩やかに減少したが、油球体積が 0mm^3 を示す際の全長の値は 2.31 mm と卵黄体積に比べて低い値を示した。また、相関係数は 0.725 を示し、強い負の相関関係にあることがわかった。

3-2. 体密度の測定 密度勾配溶液へ仔魚を收容すると、大半の仔魚が尾部を上に向け頭部を下に向けた状態で沈降した。キジハタ仔魚の時系列的な体密度の変化を fig. 6 に示す。DAH0 (4h) での密度は $1.0193 \pm 5.338 \times 10^4 \text{g cm}^{-3}$ を示し、DAH0 (12h) では $1.0197 \pm 4.225 \times 10^4 \text{g cm}^{-3}$ と $4.0814 \times 10^4 \text{g cm}^{-3}$ 上昇した。その後、DAH0 (20h) では $1.0207 \pm 7.384 \times 10^4 \text{g cm}^{-3}$ と $1.0431 \pm 5.338 \times 10^3 \text{g cm}^{-3}$ 上昇したが、翌日 DAH1 (4h) には $1.0195 \pm 1.457 \times 10^4 \text{g cm}^{-3}$ と $-1.2867 \times 10^3 \text{g cm}^{-3}$ の低下が見られた。DAH1 (12h) では $1.0204 \pm 1.475 \times 10^3 \text{g cm}^{-3}$ を示し、 $9.0915 \times 10^3 \text{g cm}^{-3}$ の上昇が確認された。また、DAH1 (20h) では $1.0207 \pm 1.470 \times 10^3 \text{g cm}^{-3}$ と $3.1617 \times 10^4 \text{g cm}^{-3}$ の上昇が

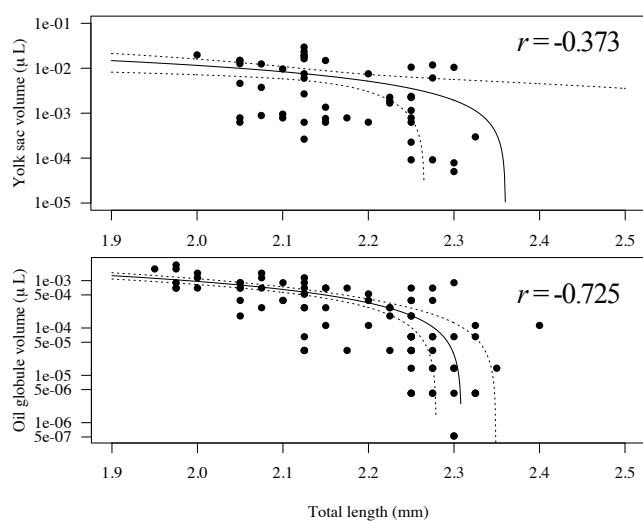


Fig. 5 The correlation between the total length and the yolk sac volumes ($n = 49$, a). The correlation between the oil globule volumes and the total lengths ($n = 88$, b). The vertical axis represents respective the yolk sac volume (a) and oil globule volume (b) in logarithms. The solid line shows logarithmic trend

見られた。翌日に当たる DAH2 (4 h) では、 $1.0223 \pm 7.7989 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ で $1.6232 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ の上昇が見られた。その後、DAH2 (12 h) では、 $1.0231 \pm 1.387 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ を示し、飼育水である海水の密度を上回った。また、DAH2 (4 h) から $7.8144 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ 上昇した。さらに、DAH2 (20 h) では、 $1.0228 \pm 1.177 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ となり、飼育水の密度を下回り、DAH2 (12 h) に比べ、 $-3.1861 \pm 1.470 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ の低下を示した。この低下を示した値は DAH1 (4 h) で見られた低下量より 2 倍以上大きくなった。DAH3 (4 h) では、 $1.0236 \pm 6.453 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ を示し、 $8.1322 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ の上昇が認められた。DAH3 (12 h) においては、 $1.0247 \pm 1.654 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ を示し、 $1.1266 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ の上昇が見られた。その後、DAH3 (20 h) では、 $1.0260 \pm 1.3116 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ で、 $1.3116 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ の上昇が見られた。さらに、DAH2 (20 h) との比較において、DAH3 (20 h) が有意に高くなった (table2, $p < 0.05$)。翌日 DAH4 (4 h) では、 $1.0268 \pm 3.448 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ となり、 $8.0238 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ 上昇した。DAH4 (12 h) では、 $1.0265 \pm 1.334 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ となり、 $-2.973 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ の低下が見られた。DAH4 (20 h) では、 $1.0283 \pm 1.737 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ を示し、 $1.7619 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ の上昇が見られ、本実験において、その上昇量は最大値を示した。

Table2 Combination of the comparison group by set at the one-way ANOVA, Scheffe's test

Family	Body Density		Total Length		Yolk Sac Volume		Oil Globule Volume	
	two side test ($\alpha = 0.05$)		two side test ($\alpha = 0.05$)		one side test ($\alpha = 0.05$)		one side test ($\alpha = 0.05$)	
	F value	signal	F value	signal	F value	signal	F value	signal
H _{DAH0 (4 h), DAH0 (12 h)}	2.602E-02	n.s.	7.532E-03	n.s.	1.789E+02	*	3.074E+00	*
H _{DAH0 (12 h), DAH0 (20 h)}	1.700E-01	n.s.	2.507E-04	n.s.	3.225E+00	*	4.305E-01	n.s.
H _{DAH0 (20 h), DAH1 (4 h)}	2.586E-01	n.s.	9.136E-03	n.s.	5.430E-01	n.s.	1.003E-01	n.s.
H _{DAH1 (4 h), DAH1 (12 h)}	1.291E-01	n.s.	1.641E-05	n.s.	3.741E-01	n.s.	2.189E-01	n.s.
H _{DAH1 (12 h), DAH1 (20 h)}	1.562E-02	n.s.	8.287E-04	n.s.	3.349E-02	n.s.	3.968E-01	n.s.
H _{DAH1 (20 h), DAH2 (4 h)}	4.116E-01	n.s.	2.910E-03	n.s.	1.219E-03	n.s.	3.020E-04	n.s.
H _{DAH2 (4 h), DAH2 (12 h)}	9.539E-02	n.s.	1.851E-04	n.s.	-	-	1.407E-03	n.s.
H _{DAH2 (12 h), DAH2 (20 h)}	1.586E-02	n.s.	6.417E-04	n.s.	-	-	1.185E-03	n.s.
H _{DAH2 (20 h), DAH3 (4 h)}	1.033E-01	n.s.	2.785E-05	n.s.	-	-	3.544E-03	n.s.
H _{DAH3 (4 h), DAH3 (12 h)}	1.983E-01	n.s.	1.238E-05	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH3 (12 h), DAH3 (20 h)}	2.687E-01	n.s.	6.394E-07	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH3 (20 h), DAH4 (4 h)}	1.006E-01	n.s.	3.890E-03	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH4 (4 h), DAH4 (12 h)}	1.348E-02	n.s.	4.641E-03	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH4 (12 h), DAH4 (20 h)}	4.850E-01	n.s.	7.033E-03	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH2 (12 h), DAH3 (4 h)}	3.822E-02	n.s.	9.370E-04	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH2 (12 h), DAH3 (12 h)}	4.106E-01	n.s.	1.165E-03	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH2 (12 h), DAH3 (20 h)}	1.344E+00	n.s.	1.220E-03	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH2 (12 h), DAH3 (12 h)}	5.879E-01	n.s.	7.737E-05	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH2 (20 h), DAH3 (20 h)}	1.652E+00	*	9.207E-05	n.s.	-	-	-	-
H _{DAH3 (4 h), DAH3 (20 h)}	9.287E-01	n.s.	1.865E-05	n.s.	-	-	-	-

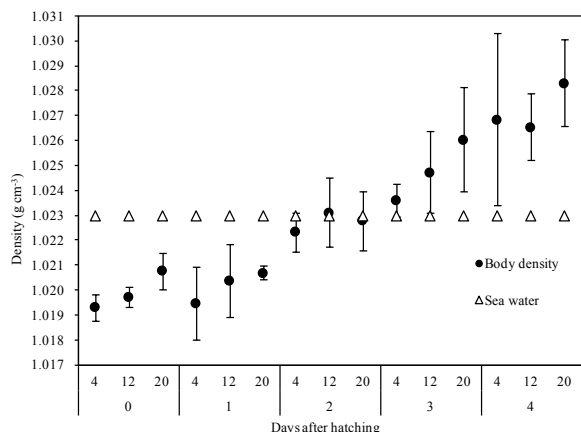


Fig. 6 Temporal changes in body densities of *E. akaara* larvae (n=12, Bars: ±Standard Deviation). The vertical axis shows density (g cm^{-3}). The over at horizontal axis is indicative of time at age in days and the under at horizontal axis is indicative of age in days. It had been occurred that at 16

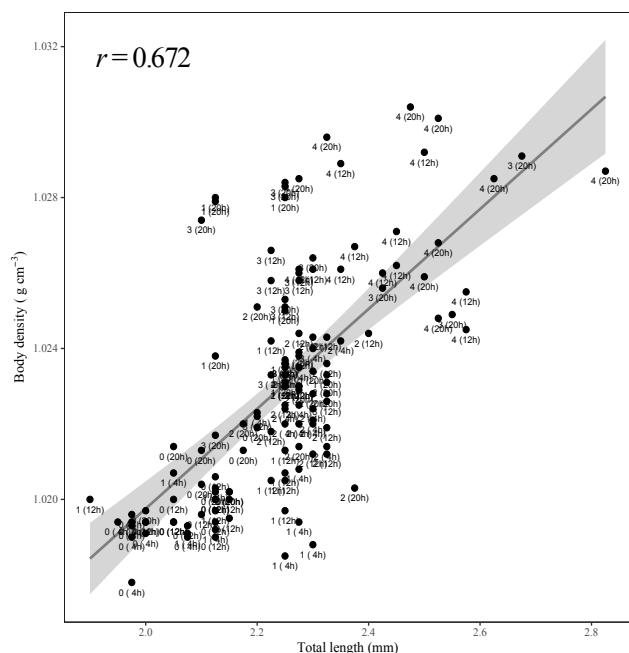


Fig. 7 The correlation between body densities and total length of *E. akaara* (n = 134). The solid line shows regression line between total length and body density, and the area on both sides of solid line shows the 95% confidence interval for data scattering. The legends under each plots shows DAH and those time. Moreover, the correlation coefficient indicated at 0.672 and the middling positive correlation.

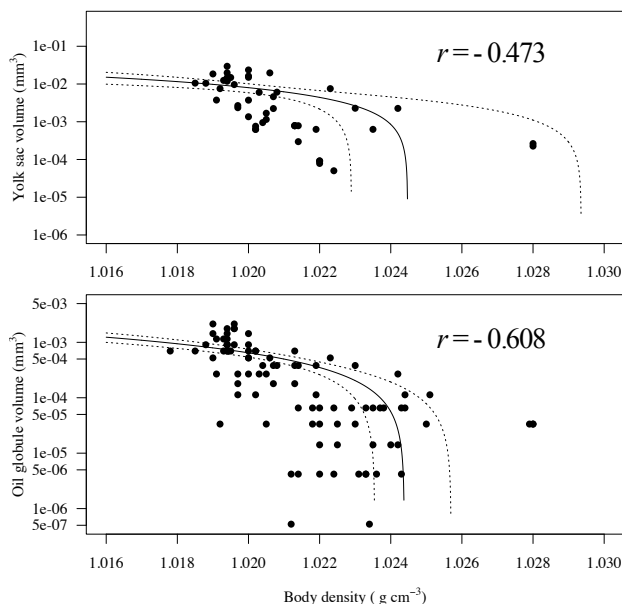


Fig. 8 The correlation between yolk sac volumes and body densities (n=47, a). The correlation between oil globule volumes and body densities (n = 90, b). The solid line shows logarithmic trend line and, the dotted lines on both sides of solid line shows the 95% confidence interval for data scattering. The correlation coefficient indicated at - 0.473 and the weak negative correlation (a). The correlation coefficient indicated at - 0.608 and the middling negative correlation. The absolute disappearance of the yolk sacs occurred the body density at around 1.024 g cm^{-3} (a) and, the oil globules occurred the body density at around 1.024 g cm^{-3} (b).

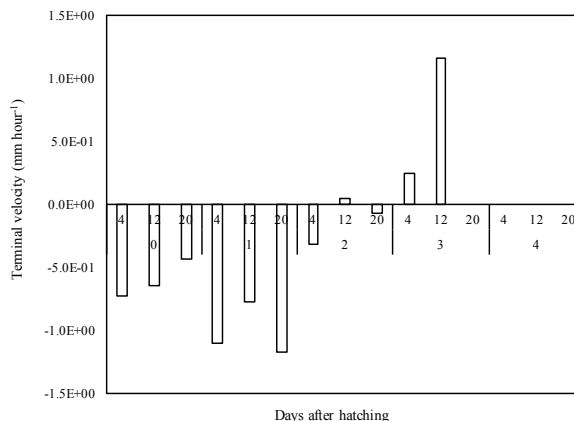


Fig. 9 The terminal velocity calculated based on the averages of body densities of the larvae. The upper row of the horizontal axis indicates the time of the day of age, and the lower row indicates the age of the day, respectively.

4. 考察

4-1. キジハタの仔魚における生理機能 キジハタの仔魚は、ふ化後卵黄と油球を消費し、成長した。孵化後日齢DAH2(4h)には卵黄と油球を全て消失した個体も確認され、その後、DAH2(20h)には卵黄体積の100%、油球体積の98.1%を消費した。内部栄養を完全に消失するまでの時刻は、fig. 5aおよびbの、全長と卵黄、全長と油球の関係から得られた回帰曲線 ($y = -3.213 \times 10^2 x + 7.583 \times 10^2$, $y = -3.118 \times 10^3 x + 7.199 \times 10^3$) より、卵黄の完全な消費が起こる時点の全長は2.36 mmであり、油球のそれでは2.30 mmとなった。また、全長が2.30~2.36 mm付近となる時の日齢は、fig. 3よりDAH2(12h)であり、それ以降4回の計測について連続して平均全長の収縮が認められた。この平均全長の収縮は、DAH2(12h)とDAH3(12)の比較において優位に収縮していた ($\alpha = 0.05$)。この間に、仔魚は 1.2 ± 1.1 個体のワムシを摂餌していたにも関わらず、全長が収縮した理由として、摂餌したワムシの栄養素は、全長の伸長よりもそのほかの、例えば消化器系の形成をするためとして消費されたことが考えられる。この全長が収縮し始める時間は、油球を完全に消費した個体が認められた日齢DAH2(12h)と一致しており、これは、回復可能な絶食耐性時間の転換期として既報されている。^{1,13)} 加えて、本実験では、この回復可能な絶食耐性時間の転換期に至る時間は、ふ化後の連続的な経過時間として60時間となった。しかし、世興田ら(2006)の報告では、キジハタにおいて89時間とされ、約29時間早い時間におとずれた。これは、本実験に際した水温27.5°Cが、世興田ら(2006)で実施された水温 $25 \pm 0.9^\circ\text{C}$ より高いことで、仔魚の代謝が促進されたことによるものと考えられる。また、本試験において全長の収縮はDAH2(12h)より見られたことから、これ以降により多くの摂餌をおこなえた個体が生存でき、内部栄養の消費後に初回摂餌開始時期が早いほど、生残率の向上に繋がると考えられる。さらに、卵黄および油球の体積をより多く有するほど、内臓の形成や代謝にかかるエネルギーを細胞から補うことが少なくなるため、全長の収縮期間も短くなる。これらのことから、ふ化後の飢餓期間を左右する卵黄径は、受精卵の卵径に依存すると考えられるが、本試験に用いた受精卵の卵径は、萱野ら(1998)のキジハタ卵径³⁾と比べると約0.90倍であったことや、水温の影響によって内部栄養の吸収が促されたことによって、本試験ではこの飢餓期間が比較的早い時期に現れたと推察された。

4-2. 体密度の変化 測定を開始したDAH0(4h)での仔魚の体密度(Ave. \pm SD)は $1.019 \pm 5.338 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ で、その後仔魚の体密度はDAH0(20h)の $1.021 \pm 7.384 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ にかけて緩やかに高くなり、DAH1(4h)には体密度が $1.019 \pm 1.475 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ と一度低下を示した。その後再び増加し、DAH2(12h)には海水密度と同程度の $1.023 \pm 1.387 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ の値を示したが、同様にDAH2(20h)

の $1.023 \pm 1.177 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$ と減少するような傾向が発生した。これはDAH4(12h)にも見られ、その周期は本実験では16時間ごとに発生した。これら一連の現象は、生体的な周期性を示す概日リズム⁹⁾であると考えられる。

Figure 7で示した体密度と全長の関係では、仔魚の成長にともない体密度の増加が見られた。これに関して、全長2.3 mm付近では、DAH1(4h)からDAH4(20h)までの仔魚を観測した。また、全長2.3 mmおよび、密度 1.020 g cm^{-3} 付近の仔魚の日齢 [DAH1(4h)-DAH2(20h)]は、fig. 4より、卵黄と油球の大部分を消失 [DAH2(20h)での消費割合: 卵黄で100%、油球で98.1%]するまでの期間であり、同様にfig. 3では全長の収縮が始まるまでの日齢 [DAH2(20h)]を示している。さらに、この全長約2.3 mmの、密度 1.020 g cm^{-3} 付近における仔魚群は、日齢が小さいものほど小さく、日齢が大きいものほど高い密度であることが認められた。これらの現象について、特に海産魚類の仔魚を対象に、卵黄を構成するタンパク質は、流動性を持つ遊離アミノ酸群¹⁴⁾であるとされ、主として細胞増殖の栄養源として用いられる。¹⁵⁾ 通常、遊離アミノ酸は、アミノ酸単分子で可動的であるため、その体積は比較的大きくなる。しかし、筋組織や臓器などの形成にともない、互いにペプチド結合やジスルフィド結合をとまうと、高分子化し可動範囲が小さくなるため、同じモル数での体積は小さくなる。すなわち、卵黄内のアミノ酸は、筋肉の形成や消化系の基本構造の確立¹⁵⁾のために高密度化が起こるほか、低密度な遊離アミノ酸の代謝エネルギー¹⁶⁾としての消費によって、仔魚個体全体の密度の上昇に関わったと推察される。加えて、沈降卵を除去する過程で静置させた卵は、その全てが油球を上部に向けて静止した。油球を構成する脂肪酸は、そのほとんどが不飽和脂肪酸³⁾であり、またそれらの密度は、25°Cにおいて 1.000 g cm^{-3} を下回る。このことから、卵の内部において油球は、比較的低密度であることが推察され、ふ化後における卵黄のエネルギー代謝と同様、油球においても代謝エネルギーとしての消費¹⁵⁾によって密度の上昇が起こったと考えられる。これら内部栄養の減少にともなう体密度の上昇は、ピアソンの積率相関係数によって、それぞれ卵黄体積との関係では-0.473、油球体積との関係では-0.608となり、中程度の負の相関関係として説明される [figs. 8(a), (b)].

Figure 7における全長2.3 mm付近を示す密度 1.023 g cm^{-3} 付近の比較的密集した仔魚群は、fig. 6において日齢がDAH2(4h)-DAH4(4h)の仔魚であることを示していることがわかる。また、日齢DAH2(4h)-DAH4(4h)の仔魚は、fig. 3において、全長の収縮が起こった日齢であることが確認できる。硬骨魚類の浮遊機構では、体の表面積が相対的に大きいことが挙げられており、¹⁷⁾これは、逆に沈降する(高密度となる)には体の表面積が小さくなることと同義であると捉えることができる。また、仔魚の全長の縮小が、体を

構成する細胞へ供給された内部栄養もしくは摂餌由来のエネルギーを再吸収した¹⁵⁾ ことによることから、仔魚の体積の減少、およびこれにともなう表面積の減少を引き起こしたものと示唆される。したがって、仔魚の全長の収縮は、長さ方向にのみでなく、仔魚の幅や高さ方向についても起こることが考えられ、同時に、表面積と体積の減少量が、重量の減少量よりも大きくなることによって高密度化が発生していると考えられる。

Figure 9 には、ストークスの式を用い、仔魚が沈降する際の終端速度を算出した。ふ化後 DAH1 (20h) までは、比較的大きな負の値を示したことから、水槽内では、浮上の様子が観測できることが推察され、それ以降値の上昇にともないその傾向は小さくなると考えられる。また、DAH2 (12h) には、初めて正の値を示したことから、おおよそ水槽内では中性浮力を示すことがわかる。これに関して、DAH2 (12h) の仔魚は内部栄養のほとんどを吸収 [DAH2 (12h) の消費割合: 卵黄で 100%, 油球で 97.14%] する際に中性浮力を示す結果は、今回のキジハタのみに限らず、マダイ *Pagrus major*¹⁸⁾ やクロダイ *Acanthiopagrus schlegelii*¹⁹⁾ ヒラメ *Paralichthys olivaceus*²⁰⁾ でも観測され、この時期では、水槽内において、広く拡散すると考えられる。また、マハタ仔魚では、3 日齢の昼間に全長 2.7 mm、体密度 1.029 g cm⁻³ を示した²¹⁾ と報告されているが、本実験で供したキジハタでは、DAH3 (12h) における密度は 1.0247 g cm⁻³ と低くなる傾向がみられた。これは、マハタとキジハタの種差に加え、3 日齢までにおける水温の 26. C より 1 日あたり 1. C 上昇させる飼育方法との違いが考えられ、本実験での 27.5. C による飼育によって生じたものと考えられる。その後、DAH2 (20h) には一旦負の値を示したが、DAH3 (4h) 以降生の値が大きくなり、DAH3 (12h) には最大の 1.17 mm hour⁻¹ を示した。したがって、キジハタ仔魚期における沈降がもたらす初期減耗は、27.5. C 飼育において少なくとも 3 日齢より対策を講じる必要があると考えられる。

本試験では仔魚個体の体密度を測定した結果、また遊泳力の乏しい DAH2 (12h) には海水密度とほぼ等しくなり中性浮力を示す。この直後から沈降死亡は徐々に発生すると推測され、本研究でも DAH3 の早朝に沈降死亡による大量減耗が確認された。これにより一般におこなわれている飼育水槽内の通気がもたらす、対流による仔魚の鉛直分布の調整やそのほかの対策は、DAH2 (12h) 辺りより始める必要があると考えられる。

謝辞

本研究をおこなうにあたって、キジハタ卵を提供して下さった水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所御中へ、衷心よりお礼申し上げます。また研究をおこなう上で有益な助言をいただいた岡山理科大学の山本俊政准教授、SID 倉研平本大祐様、丹羽信介

様、東村雅志様へ深謝する。

参考文献

- 1) 興世田兼三, 照屋和久, 菅谷琢磨, 関谷幸生. 初回摂餌の遅れがキジハタ *Epinephelus akaara* 仔魚の摂餌, 成長, および生残に及ぼす影響. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2006; 72 (4), 702-709.
- 2) 萱野泰久, 何 玉環. キジハタ仔魚の初期摂餌と成長. *水産増殖* 1997; 45 213-218.
- 3) 萱野泰久, 何玉環, 原隆, 福永丈人. 年齢組成の異なるキジハタ親魚群の自然産出卵の卵質. *水産増殖* 1998; 46 (2), 213-218.
- 4) 平田喜郎, 浜崎活幸, 照屋和久, 虫明敬. マハタおよびクエ仔魚の成長に伴う体密度の変化. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2009; 75 (4), 652-660.
- 5) 田中克, 田川正朋, 中山耕至. 食べる (摂食). 「稚魚 生残と変態の生理生態学」 京都大学学術出版会. 京都市左京区吉田河原町 15-9. 2009; 144-147
- 6) 平田喜郎, 浜崎活幸, 今井彰彦, 照屋和久, 岩崎隆志, 浜田和久, 虫明敬一. カンパチ仔魚の生残, 成長, 摂餌および鰾の開空に及ぼす光周期と水温の影響. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 2009; 75 (6), 995-1003.
- 7) 坂本亘, 岡本杏子, 上土生起典, 家戸敬太郎, 村田修. クロマグロ仔魚の成長に伴う比重変化. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2005; 71 (1), 80-82.
- 8) 萱場隆昭, 杉本卓, 松田泰平. マツカワ種苗生産における仔魚の大量沈下減耗. *SUISANZOUSYOKU* 2003; 51 (4), 443-450.
- 9) 照屋和久, 浜崎活幸, 橋本博, 片山俊之, 平田喜郎, 鶴岡廣哉, 林知宏, 虫明敬一. カンパチ仔魚の成長にともなう体密度と水槽内鉛直分布の変化. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2009; 75 (1), 54-63.
- 10) 田中由香里, 坂倉良孝, 中田久, 萩原篤志, 安元進. マハタ仔魚のワムシサイズに対する摂餌選択性. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2005; 71 (6), 911-916.
- 11) (財)日本規格協会. プラスチック-非発泡プラスチックの密度及び比重の測定方法. *JIS K 7112*, 1999; 5-10
- 12) 鈴木博, 長島昭. 高圧力下における海水の粘性係数. *日本機械学会論文集 B 編* (1980); 24 (408), 1574-1582
- 13) 興世田兼三, 照屋和久, 山本和久, 浅見公雄. 異なる水温と初回摂餌の遅れがスジアラ 仔魚の摂餌, 成長, および生残に及ぼす影響. *水産増殖* (2006); 54 (1), 43-50
- 14) 原彰彦. 魚類の卵形成タンパク質に関する免疫生化学的研究. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2013; 79 (3), 300-313
- 15) 田中克. 仔魚の消化系の構造と機能に関する研究-IV. 摂餌にともなう腸前部および中部上皮層の変化と脂肪の吸収. *Japanese*

Journal of Ichthyology 1972; 19 (1) 15-2516) 平松尚志. 魚類の卵形成に関与する卵黄前駆物質およびその受容体に関する研究. Nippon

Suisan Gakkaishi 2010; 76 (4), 613-616.

17) 内田恵太郎. 魚類の浮游幼期に見られる浮遊機構に就いて(I). 科学 1937; 7: 540-546.

18) Kitajima C, Yamane Y, Mataui S, Kihara Y, Furuichi M. Ontogenetic change in buoyancy in the early stage of red sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi 1993; 89:209-216.

19) 北島力, 山根康幸, 松井誠一. クロダイ仔稚魚の発育に伴う比重の変化. 日水試 1994; 60: 755-762.

20) 北島力, 山根康幸, 松井誠一. ヒラメ仔稚魚の発育に伴う比重の変化. 日水試 1994; 60: 617-623.

21) 平田喜郎, 浜崎活幸, 照屋和久, 虫明敬. マハタおよびクエ仔稚魚の成長に伴う体密度の変化. Nippon Suisan Gakkaishi 2009; 75 (4), 652-660.

モンゴル国における好適環境水を用いた陸上養殖

セントラルヒーティングを利用したタイガーGG. *Epinephelus lanceolatus* × *Epinephelus fuscoguttatus* の循環式陸上養殖試験

藤田 昌紀¹⁾

モンゴル国ウランバートル市にて、セントラルヒーティングを用いたタイガーGG. の陸上養殖試験を行ったところ、冬場の水槽温度を一定に保つことができた。このことから、モンゴル国では通常のヒーターを用いた加温よりもセントラルヒーティングを使用することで養殖にかかるコストを減らすことができると結論付けられた。また、2年間飼育試験を行った結果、平均重量が 3kg を超えた。このことから、成長が早く陸上養殖に適した魚であることが分かった。

キーワード: 循環式陸上養殖, セントラルヒーティングシステム, *Epinephelus lanceolatus* × *Epinephelus fuscoguttatus*

1. 緒言

岡山理科大学生物生産教育研究センターでは2010年より好適環境水を用いた循環式陸上養殖について研究を行ってきた。好適環境水とは、真水に魚類が生息する上で最低限必要な Na, K, Ca 等の電解質を添加した養殖飼育水である。特徴として、人工海水よりも安価に作成できることから、海水魚養殖における循環式陸上養殖のコスト削減につながると期待されている。

循環式陸上養殖のメリットの1つとして、季節による飼育水温への影響を受けず、養殖魚が最も成長する水温を維持することが可能であることが挙げられる。これにより、養殖期間の短縮が可能となり、生産性の向上に寄与できる。しかし、水温を維持するために使用するヒーターや冷凍機の設置にかかるインシヤルコストに加え、電気代のランニングコストが高額になることが課題であった。このことから、インシヤルコストの削減や電力の使用を抑える新たな加温・保温技術の検討が求められている。そこで、モンゴル国の首都ウランバートル市で使用されているセ

ントラルヒーティング (fig. 1) に着目した。このシステムはウランバートル市内の公共施設やマンションなど多くの建物に備え付けられており、火力発電所で使用されたボイラー冷却水の蒸気を各家庭に送ることで、室内暖房として利用されている。また、稼働期間は概ね9月初旬から翌年の5月初旬までである。本試験では、このセントラルヒーティングを用いることで室内の温度を一定に保ち、水槽内の水温維持に効果が見られるかどうか、約2年に渡り調査を行った。

次に、供試生物を選定するにあたって、ウランバートル市はステップ気候に属し、夏場の平均気温が 30°C 程度であることから水槽の冷凍機を必要としない飼育水温 30°C 付近で成長する熱帯・亜熱帯性の魚類を用いることにより、コストを抑えることが可能であると考えられた。さらに、循環式陸上養殖の社会実装を目指すためには、短期間で大きくなり、1尾当たりの単価の高いものが望まれる。このため、本試験ではアカマダラハタ *Epinephelus fuscoguttatus* の雌とタマカイ *Epinephelus lanceolatus* の雄との交雑種であり、成長の速さと嗜好性の良さから中国や

連絡先

藤田 昌紀

株式会社SID 創研 生物生産部門

〒700-0005 岡山市北区理大町 1-1

Tel. 086-228-4303

e-mail : kouteki@wine.ocn.ne.jp

1) 株式会社SID 創研 閉鎖循環式養殖技術開発 技術員

GROUP OF KAKE EDUCATIONAL INSTITUTION SIDsoken CO.,

LTD. Engineer for closed recirculating aquaculture system



Fig. 1 セントラルヒーティング (左：放熱器，右：蒸気の流量調節バルブ)

台湾などで多く消費されている、タイガーGG (fig. 2) を供試生物とし、好適環境水を用いた陸上養殖におけるタイガーGG. の生産性について調査した。さらに、飼育したタイガーGG. の試験的出荷やウランバートル市内の市場 (Mercury Food Market) の実地調査を行うことでタイガーGG. の市場価値について検討を行った。

本試験は学校法人加計学園岡山理科大学と KITAGAWA 株式会社 (旧北川工業株式会社) との共同研究として行われた。

2. 試験方法

タイガーGG. 飼育試験

水槽システムの模式図を fig. 3 に、水槽の写真を fig. 4 に示す。飼育水槽は大水槽 (約9,000L) 2槽と小水槽 (約1,000L) 4槽の計6槽を使用した。ろ過槽 (約4,500L) は2槽あり、ろ過槽1槽に対して大水槽1槽と小水槽2槽の水が循環するように設置した (ポンプ流量20L/min)。循環するそれぞれの系をRw.A水槽、Rw.B水槽と呼称した。また、2槽の大水槽には酸素発生器 (純度90±3%) が1機ずつ取り付けられており、各水槽の溶存酸素量 (DO) は6.5mg/L以上を保つように調整した。アンモニアとアンモニウムイオン (NH₃+NH₄⁺) の濃度は0.2mg/L以下、亜硝酸イオン (NO₂) の濃度は0.2mg/L以下の状態を維持した。NH₃+NH₄⁺ 及び NO₂⁻ の除去方法として、焼成セラミックス (約1,000kg) と発泡ポリエチレン (約600kg) をろ材とした生物ろ過を行った。また、各大水槽に泡沫分離装置を設置し、水中の残留有機物の除去を行った。飼育水中のpHが6.5を下回った場合、炭酸水素ナトリウムを600g添加した。さらに、試験開始62日目からおおよそ1週間おきに、簡易テストキット (Red Sea 硝



Fig. 2 タイガーGG.

酸塩/亜硝酸塩マリンテストキット) を用いて飼育水中の硝酸イオン (NO₃⁻) の濃度を測定した。

供試生物としてタイガーGG. を使用し、全数495尾飼育した。本試験では、初期飼育の共食い抑制を目的として、飼育魚を試験開始から122日間、4槽の小水槽を使用して過密飼育を行った。その後、成長に応じて2槽の大水槽に半数ずつつけて飼育した。飼育水として好適環境水を用いた。水温を28°Cに設定し、気温が下がる冬場はセントラルヒーティングを用いて水温の維持を図った。また、大型水槽用の電気式チタン製ヒーター (3,000W) をろ過槽1槽あたりに2本設置し、セントラルヒーティングが使用できない5月から9月までの期間の加温に使用した。夏場の水温維持は、養殖場内の窓の1部開放のみを行った。飼料として株式会社ヒガシマルのひめ桜を魚体サイズに合わせて給餌した。給餌量は摂餌状況及び水槽内の水質状況を観察しながら、魚体重の0.2-5%に適宜調整した。次に、施設内の室温と水温を毎日測定し、1ヶ月ごとに換水 (各6t) 及び重量測定を行った。式 (1) よりタイガーGG. の増肉係数を求めた。試験期間は2019年9月23日から2021年9月23日の731日間とした。

$$\text{増肉係数} = \frac{R}{G} \dots\dots\dots (1)$$

G : 総重量

R : 摂餌量

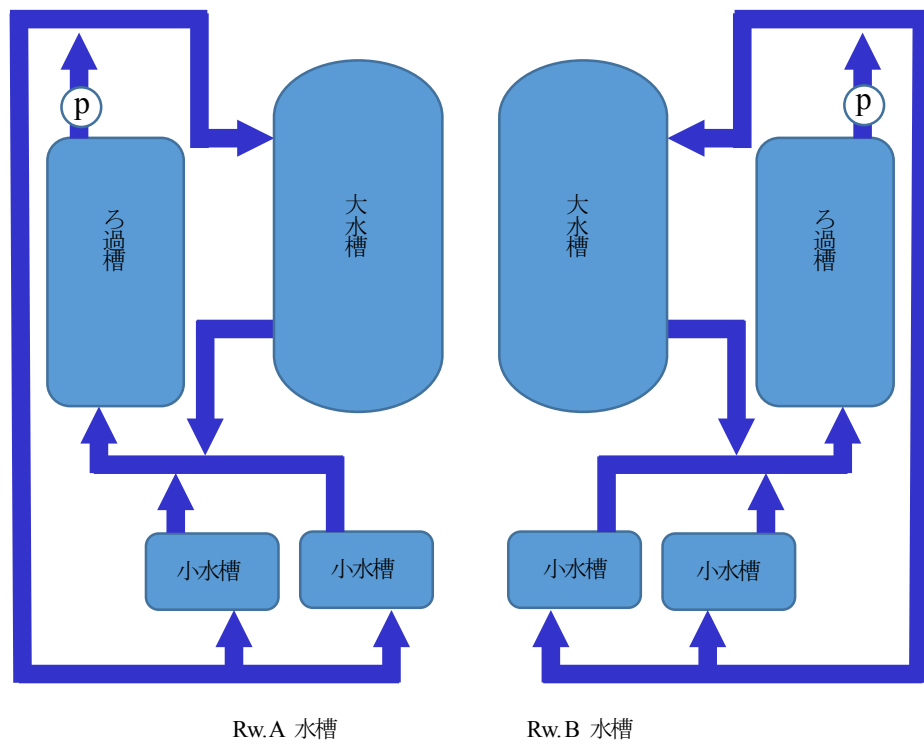


Fig.3 水槽システム模式図



Fig.4 水槽写真 (左上:Rw.A 水槽 , 右上:Rw.B 水槽, 左下: 大水槽, 右下: 小水槽)

3-1. 水温管理について 気象庁が公表しているウランバートル市内の日平均気温¹⁾と本試験で測定した養殖場の室温, Rw. A 水槽の水温, Rw. B 水槽の水温を fig. 5 に示す. また, 平均温度, 標準偏差, 最高温度, 最低温度を table1 に記述する. 試験結果より, 気温が-25℃を下回る冬場において水温の大きな変動は確認できなかった. このことから, セントラルヒーティングを用いることで水温の維持が可能であることが分かった. また, 研究開始当初は, 夏季の水槽内温度の上昇が危惧されていたが, 窓の一部開放と室内換気を行った結果, Rw. A 水槽, Rw. B 水槽とも水槽内の設定水温が28℃に対し, 養殖場内の平均室温は25.8℃, 平均飼育水温は28.5℃を維持することが実証できた. このことから, 冷凍機による飼育水への冷却は不要であることがわかった. 以上の結果より, モンゴル国での将来的な陸上養殖の増産施設を考慮した場合, 電気ヒーターやボイラー, 冷凍機を用いた直接的な飼育水の温調が不要であり, 複雑な温度制御装置の簡素化と設備導入によるインシヤルコスト及びランニングコストの大幅な圧縮が図れるものと期待された.

本試験の改善点として, 試験場の温度調節をする際, 取り付けられているセントラルヒーティングは蒸気調整弁の調節が手動であったため, 冬場の室温管理では細心の注意が必要であった. この対策として, 室内温度と蒸気調整弁に対する温度制御の自動化を行うことで, より安定した水温管理が可能であると考えられた.

Table1 平均温度, 標準偏差, 最高温度, 最低温度の結果

	平均温度 (°C)	標準偏差	最高温度 (°C)	最低温度 (°C)
ウランバートル 市の日平均気温	-	-	25.7	-30.0
養殖場の室温	25.8	0.637	29.0	22.0
Rw. A 水槽の水温	28.5	0.738	31.2	26.8
Rw. B 水槽の水温	28.5	0.697	30.3	26.5

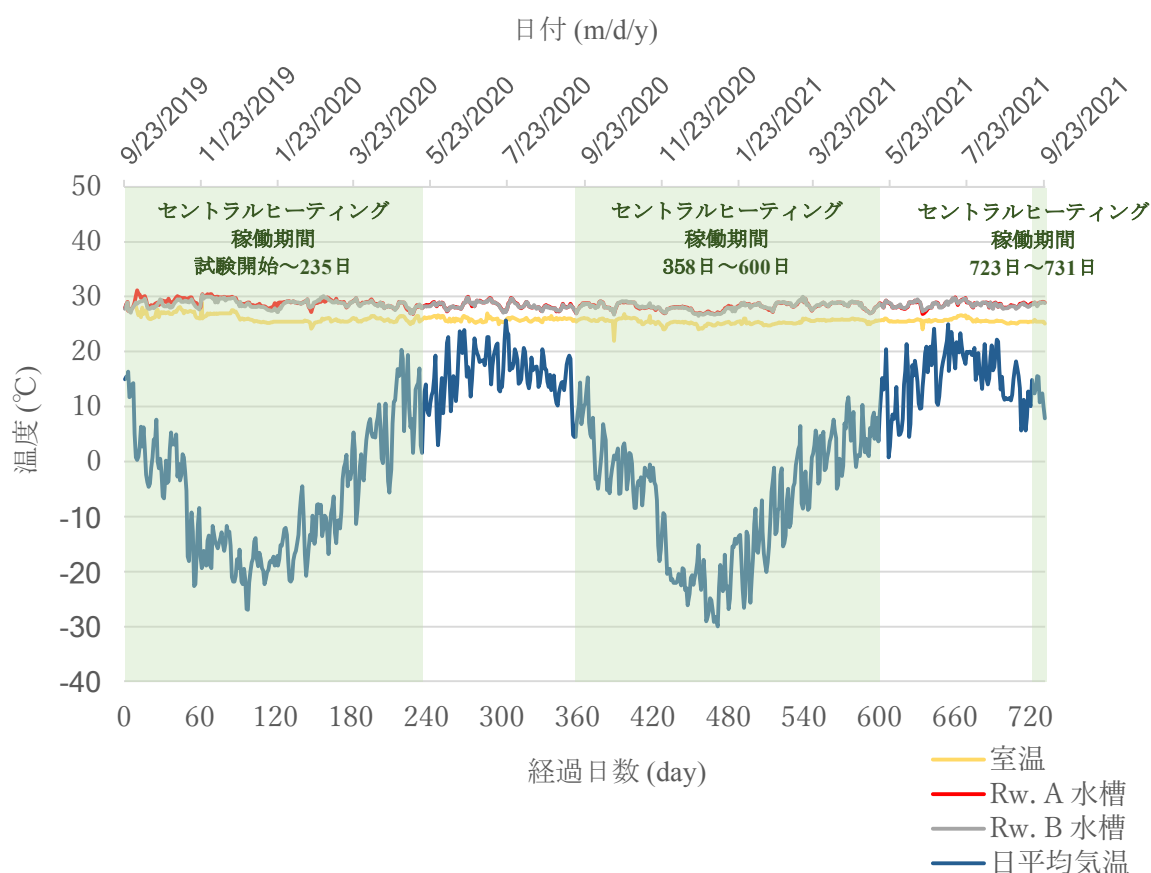


Fig. 5 ウランバートル市の温度と養殖場内温度の比較

3-2. 成長記録について Rw.A 水槽と Rw.B 水槽の NO₃⁻ の濃度及び1ヶ月の合計給餌量を fig. 6 に示す。2021年1月28日から同年2月28日及び2021年8月16日から同年10月19日の期間中、モンゴル国への餌の輸送に遅れが生じたため、1日に与える餌の給餌量を削減した。Rw.A 水槽と Rw.B 水槽の1日あたりの給餌量がそれぞれ2960g(給餌率2%;試験日数203日)に到達後、飼育水中の NO₃⁻ 濃度は500 mg/L を超えるようになった。これまでの研究において 同じハタ科のクエも NO₃⁻ が 500 mg/L 付近になると徐々に摂餌不良が見られたことから、タイガーGG. も同様に NO₃⁻ 濃度が500 mg/L を超えた場合、メトヘモグロビン血漿を引き起こし、重度の貧血と腎機能、肝機能障害の危険性があると判断したため、1日の給餌量を最大3,300g に制限した。試験終了時の結果を table2 に示す。生残率は 83.03% と高い結果となり、試験開始時に稚魚の過密飼育を行ったことによる共食いを抑制できたためと考えられた。次に、タイガーGG. の平均重量の推移を fig. 7 に、1ヶ月ごとの平均給餌率及び増肉係数の推移を fig. 8 に示す。平均重量については、試験開始から10ヶ月で1,051g となり、1年経過時点では1,313g、試験終了時には3,035g となった。また、増肉係数は試験終了時1.48であった。過去の岡山理科大学生物生産教育研究センターで行ってき

た魚類 (トラフグ *Takifugu rubripes*, ニホンウナギ *Anguilla japonica*, ヒメマス *Oncorhynchus nerka*) と本試験 (タイガーGG.) の平均重量の推移を fig. 9 に、飼育日数、増重量、増肉係数を table3 に示した。水温や餌の種類などが異なるため単純に比べることは難しいが、他の魚とタイガーGG. を比較した場合、タイガーGG. は最も成長が早く、短期間で出荷できることが分かった。また、増肉係数についてもタイガーGG. が最も良い結果となり、生産効率も優れていることが判明した。以上のことから、タイガーGG. は好適環境水を用いた陸上養殖に適した魚種であることが示された。本試験の課題として fig. 8 より、1年経過時点での増肉係数は1.26であったが、試験終了時の増肉係数は1.48となっていた。これは前述の通り、成長に伴う水質への負荷を懸念し、給餌量を制限したためと推察された。このことから、長期間飼育する場合は NO₃⁻ 除去を行う必要性が挙げられた。

Table2 試験終了時 (2021年9月23日時点) のタイガーGG. b

生残率 (%)	平均重量 (g)	増肉係数	生産された全重量 (kg)※
83.03	3035	1.48	116703

※飲食店などへ提供した魚の重量を含む

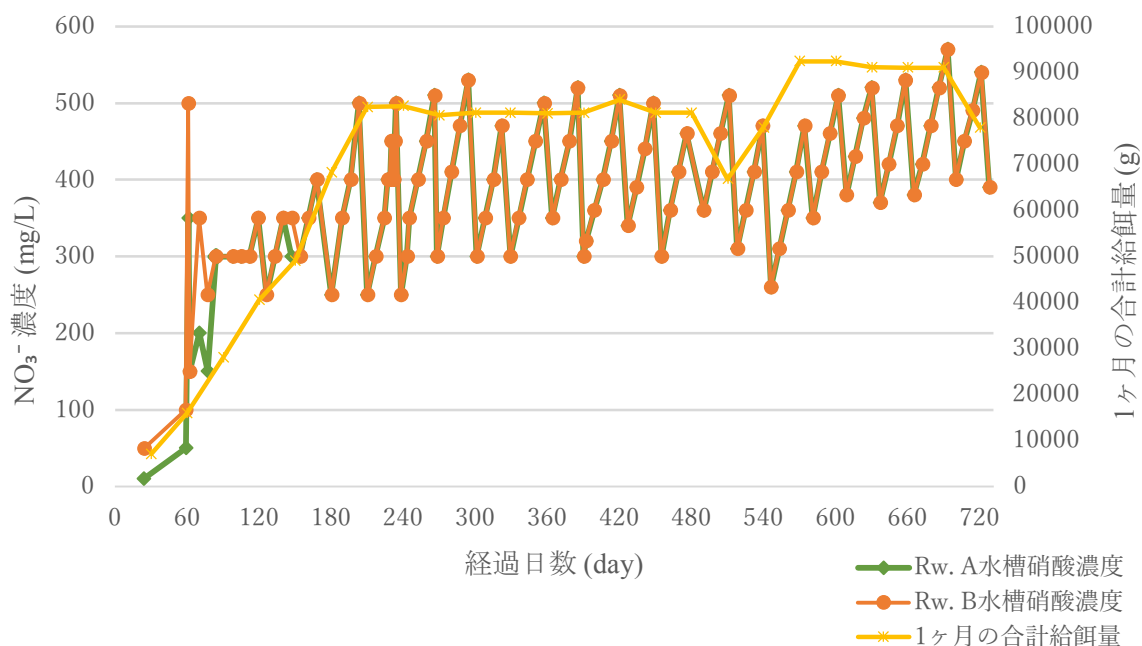


Fig. 6 Rw.A 水槽と Rw.B 水槽の硝酸イオンの濃度及び1ヶ月の合計給餌量

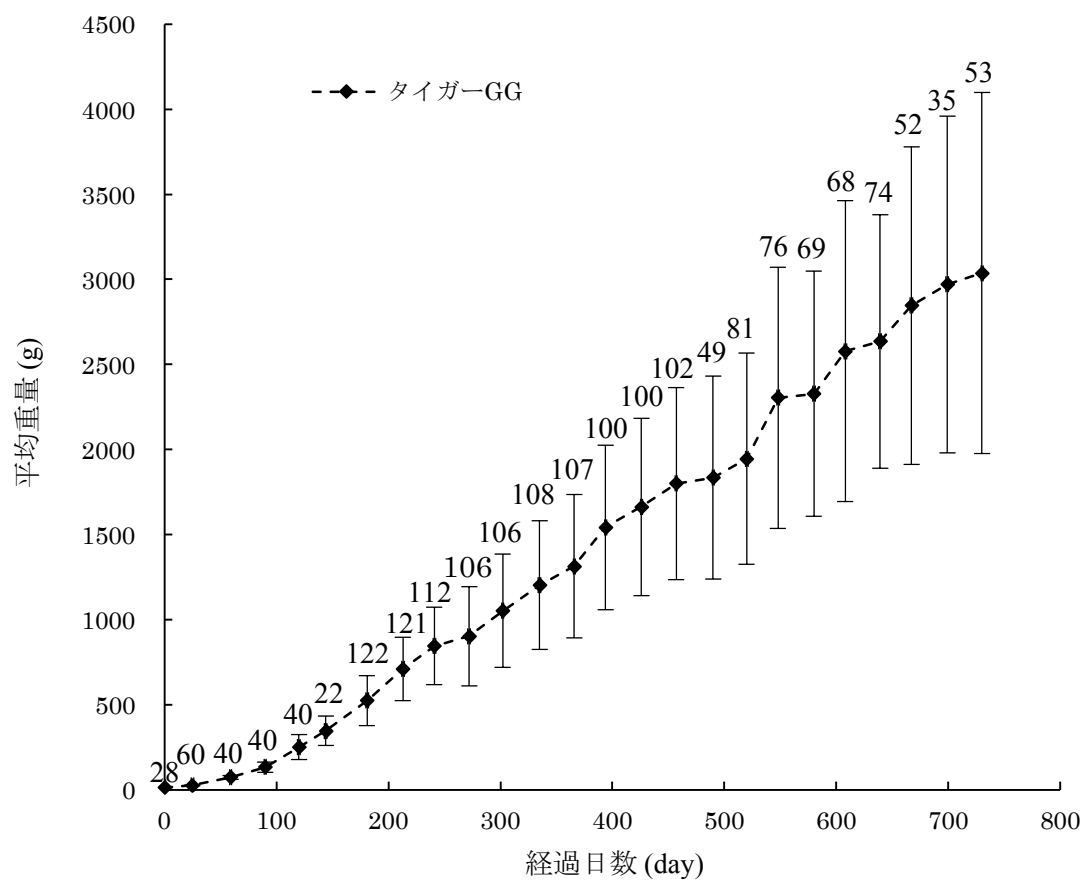


Fig. 7 タイガーGG. の平均重量結果

※プロット上部：測定尾数

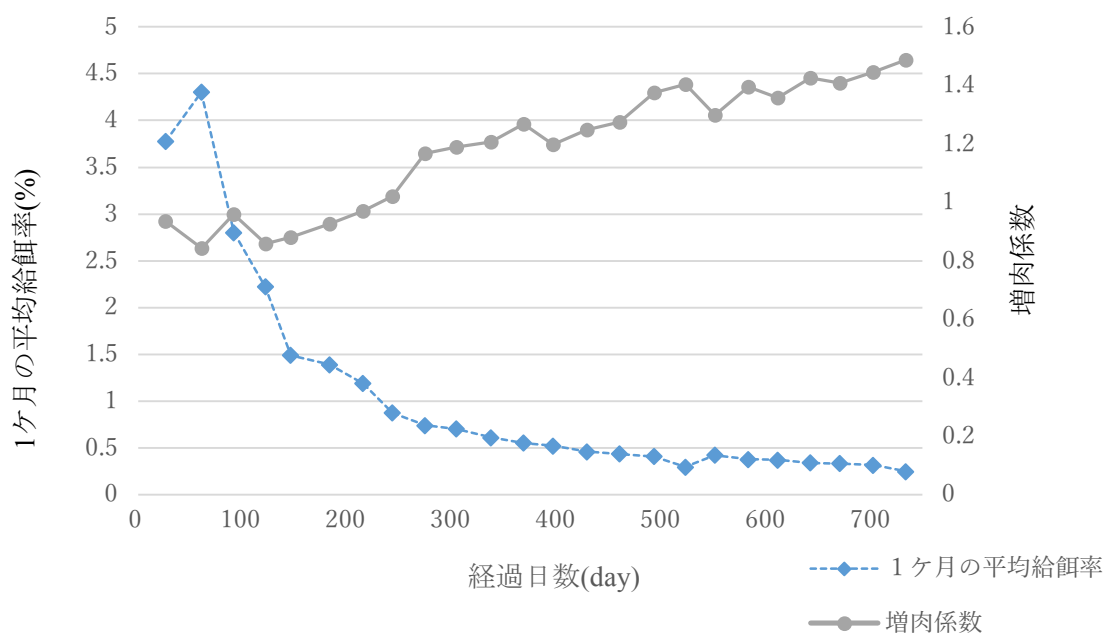


Fig. 8 1ヶ月の平均給餌率及び増肉係数

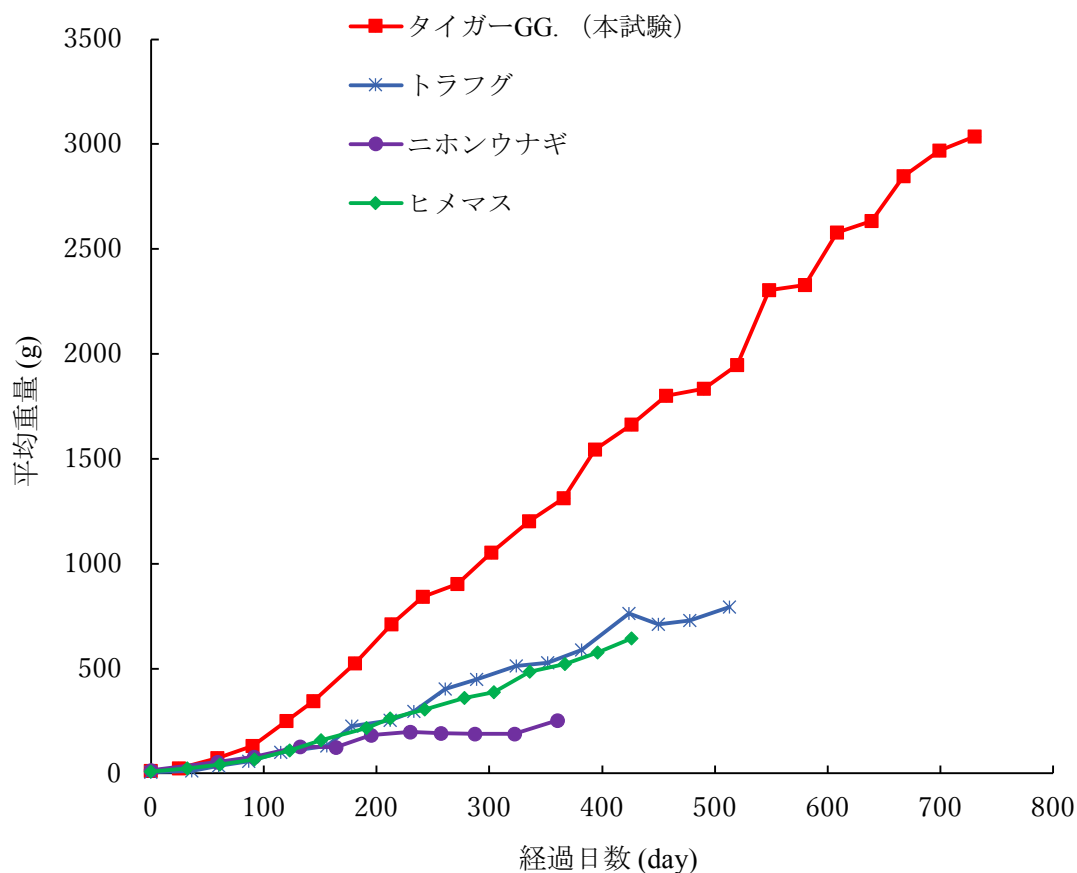


Fig. 9 他魚種との重量比較 (生物生産教育研究センター実績より)

Table3 他魚種との比較 (生物生産教育研究センター実績より)

魚種	飼育日数 (day)	増重量 (g)	増肉係数
タイガーGG (本試験)	731	3,022.8	1.48
トラフグ	515	788.4	1.75
ニホンウナギ	360	237.9	1.95
ヒメマス	426	634.0	1.56

4. その他の活動について

4-1. 生産したタイガーGG. の試験的提供 本試験で飼育したタイガーGG. をモンゴルの飲食店などに提供した。試験的に提供した魚を個人、飲食店、政府関係者の3つに区分したときの内訳を table4 に示した。ウランバートル市内の韓国レストラン等の飲食店に、合計 27 尾の試験出荷を行った。韓国レストランでは刺身や握り鮓 (fig. 10) として提供された。また、同市内の回転寿司店 NAGOMI では、YouTube チャンネル (<https://www.youtube.com/watch?v=P1hvlqV2Zw w>), (2020年2月9日) にて紹介された。さらに、ウランバートル駐在の各国大使館へのレセプション用としてタイガーGG. を 75 尾提供し、好評であった。

同国では、新型コロナウイルス (COVID-19) による国境封鎖の影響から、外国からの食品輸入が途絶え、魚介類の入手はより一層困難になったため、自国産の魚であるという認知度が高まったように見受けられた。

Table4 タイガーGG. の提供先内訳 (2020/5/7-2021/1/30)

提供先	提供尾数 (尾)
個人	41
飲食店	27
政府関係者	75
合計	143



Fig. 10 韓国レストランにて販売された刺身 (左)と握り鮓 (右)

4-2. モンゴルの市場視察 ウランバートル市内の市場 (Mercury Food Market), (fig.11) を視察し、現地の食生活や養殖魚への関心などの調査を行った。市場では、羊や牛などの生肉や野菜が大半を占めており (fig. 12) 魚介類を取り扱っている店舗は2店のみであった。また、販売されている魚は、モンゴルの地理的背景から川魚 (fig. 13) がほとんどであり、海で採れる魚は中国や韓国からの冷凍の状態 (fig. 14) で輸入されてきたものが販売されていた。このことから、現地の人々は、魚を食べることへの関心が低く、海水魚を食べる機会も少ないことがうかがえた。魚売りの店員に、魚の売れ行きについて尋ねたところ、最近は野菜も含め若者の健康志向から魚を食べるようになってきているとのことで、新鮮で安心安全な海水魚であることを強みにすれば、今後陸上養殖がモンゴル国で注目される足がかりになると考えられた。



Fig. 11 Mercury Food Market の外観



Fig. 12 店内の様子 Fig. 13 店内で売られている川魚



Fig. 14 中国や韓国から輸入されてきた冷凍の魚介類

謝辞

本研究の実施にあたり, KITAGAWA 株式会社から多大なご協力・ご支援をいただいたことに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ,
https://www.data.jma.go.jp/cpd/monitor/dailyview/graph_mkhtml_d.php?&n=44292&p=183&s=1&r=0&y (2022 年 2 月 9 日)

貝殻基質の隠れ場機能の検証試験

貝殻基質を利用した「クエ放流保護育成礁」の開発

富澤 直人¹⁾, 津村 誠一¹⁾, 藤澤真也²⁾, 宝田和磨²⁾

ハタ類のクエ *Ephinephelus bruneus* は養殖、放流種苗として利用される水産上重要な種類である。クエは構造物へ魚体を接触させる様な行動が少なく、暗い広がりのある内部に入る込める空間に蟻集することが知られている。ホタテガイ殻を利用した魚礁は全国で使用されているが、クエを対象とした知見は少ない。そこで本研究では全長 4~5cm サイズの人工種苗を使用し、貝殻を詰めた筒状のネット 4 種類のテストピースでのクエの隠れ場機能を水槽実験で検討した。小型のクエの隠れ場としてはカキ殻を使用した基質が最も適当であり、全長 4~5 cm のクエの収容能力は 4.7 尾/5,300 cm³ と推定された。また、クエが成長するにつれてカキ殻基質の収容能力は小さくなるが、パイプの目合のサイズや内部の小空間のサイズを工夫することで汎用性が高くなる。

キーワード: クエ, 漁礁, ホタテガイ殻, 人工種苗, 放流, 収容能力

1. 緒言

ハタ類は温帯から熱帯まで太平洋, インド洋, 大西洋に広く分布し, 美味で高価な魚である。1960 年代後半から種苗生産の技術開発が行われ, 種苗生産技術, 養殖技術が確立されている。一方, ハタ類のクエ *Ephinephelus bruneus* の種苗放流も行われているが, 放流された種苗の適したすみ場所については情報が少ない。現在の放流サイズである全長 13 cm のクエの水槽実験から構造物へ魚体を接触させるような行動が少なく, 比較的広がりのある内部に入り込める

空間でかつ暗い空間に蟻集性を示すことが明らかになった (野田 2019)。また, 遮光とシェルターはクエにとって好適な環境であることが示されている (岡田ら 2019)。放流事業において種苗のコスト軽減と種苗の環境馴致を考慮すると, なるべく小型種苗での放流が望まれるが, 放流種苗の小型化は捕食魚による食害が大きくなることが懸念される。

そこで本研究では全長 4~5cm サイズの人工種苗を使用し, 貝殻を詰めた筒状のネット 4 種類のテストピースでのクエの隠れ場機能を水槽実験で検討した。

連絡先

富澤 直人

岡山理科大学専門学校アクアリウム学科

700-0003 岡山市北区半田町 8-3

Tel. 086-228-0383

e-mail: miesuke@risen.ac.jp

1) 岡山理科大学専門学校アクアリウム学科

Okayama University of Science Specialized Training College Department of Aquarium

2) 海洋建設株式会社

2. 方法

供試魚 実験に使用したクエは (株)長崎県漁業公社で種苗生産した人工種苗で, 2020 年 5 月 30 日に孵化し, 8 月 21 日 (83 dah) で本校へ 100 尾を輸送した。サイズは全長 45~50 mm, 体重 1.2~1.5 g であった。輸送は発泡スチロールの箱に約 10 L 海水と酸素を充填したビニル袋にクエを 10 尾ずつ収容した。到着時に死亡個体はなかった。到着時の水温は 27°C で, 約 3 時間通気後, 水温を 24°C 程度まで低下させ, クエを約 22°C の実験水槽へ収容した。収容後のクエはまもなく配合飼料を摂餌した。

実験水槽 透明アクリル製オーバーフロー水槽（サイズ45×60×45 cm 約100L）を3槽使用した。水槽の両側面は黒色でカバーをしたが、前後面は観察のため透明のままにした。水槽上面は飛び出し防止用に透明アクリル製の蓋をした。なお予備個体は別の同様な3水槽で飼育した。

飼育管理 飼育室はエアコンで18℃に設定した。日照時間は自然光に合わせて、9時から17時までは室内の蛍光灯を点灯した。昼間の晴天時の照度は約1,000ルクスであった。夜間観察用としては床に置いた赤色ライトを点灯した。各水槽には30尾（実験1）または15尾（実験2,3）収容し、共食い、死亡した時は別の予備飼育個体を補充した。飼育には人工海水（Red Sea レッドシーソルト600L, 株式会社エムエムシー企画）を水道水で溶かし使用した。ほぼ毎日底掃除を行い、5L換水した。給餌は1日1回、9時ごろに配合飼料（おとひめEPO たい用配合飼料, 日清丸紅飼料作物株式会社）を2g与えた。飼育環境は水温（デジタル水温計ASF-270T, ASONE）、pH（pH計PHO-14HM-310, 東亜ディーケーケ株式会社）、DO（DOメーターID-150, 飯島電子工業株式会社）、比重（ATAGO-S/Mill-E）、アンモニア、亜硝酸、硝酸塩（マリンテストキット, RedSea Fish Pharm Ltd.）、照度（デジタル照度計IM-5, 株式会社トプコン）を測定した。

観察方法 3つの水槽に収容したクエは移動させず、異なるテストピースを3つの水槽へ投入し、2日間の行動を観察した。テストピースを3回移動させて、それぞれのテストピースに対応するクエの

行動を観察記録した。目視観察とビデオカメラを使用した（図1）。ビデオは10分毎に2秒撮影し、夜間はナイトビジョンに切り替えた。

実験1 3つの水槽にそれぞれクエを30尾ずつ収容し、3種類のテストピースを1本ずつ水槽の底面中央に投入した。テストピースは直径15cm長さ30cmのトリカルネットの円柱内にホタテ貝殻にスパーサーで3cm間隙をつけたホタテスパーサー基質（以下ホタテ）、カキ殻を入れたカキ殻基質（以下カキ小）、円柱に黒色ビニールを巻いた対照基質（以下円柱）を使用した（図2）。

実験期間は2020年8月24日～9月4日に行った。各実験は13時から開始し、48時間観察後、テストピースを注意深く取り上げ、テストピース内に入り込んだ個体数を計数した。その後、テストピースを異なる水槽へ投入し、48時間後同様に繰り返し、3回行った（表1）。

実験2 実験1の実験終了後、クエの収容尾数を30尾から15尾に減らし、上記と同じ実験を行った。実験期間は2020年9月7日～9月16日に行った（表2）。

実験3 実験2の実験終了後、時間の経過とともにクエのサイズが大きくなってカキ殻の間隙（カキ小）に潜入しにくくなった可能性が考えられたため、円柱のテストピースを大型のカキ殻を選んで充填したテストピース（以下カキ殻大）と交換し、同様に実験を行った。実験は2020年9月16日～9月30日に行った（表3）。



図1. 実験水槽と観察装置

正面の3水槽が実験水槽 右側の3水槽は予備飼育水槽
右下のビデオカメラとバケツ上のカメラ
水槽3にテストピースを投入するところ



図2. 実験に使用したテストピース

円柱：トリカルネットに黒色ビニールを巻いたもの：対照基質
ホタテ：トリカルネット内にホタテ貝殻にスパーサーで間隙をつけたもの：ホタテスパーサー基質
カキ大：トリカルネット内に大きなカキ殻を入れたもの：カキ殻基質（大）
カキ小：トリカルネット内にカキ殻を入れたもの：カキ殻基質
トリカルネットのサイズは直径15cm、長さ30cm

貝殻基質の隠れ場機能の検証試験

表1. 実験1の方法

実験1	期間	No.	1	2	3	備考
1-1	8月24日12時~26日12時		ホタテ	カキ小	円柱	
1-2	8月31日13時~9月2日13時		カキ小	円柱	ホタテ	
1-3	9月2日13時~9月4日13時		円柱	ホタテ	カキ小	

各水槽へ30尾収容

表2. 実験2の方法

実験2	期間	No.	1	2	3	備考
2-1	9月7日12時~9日12時		ホタテ	カキ小	円柱	
2-2	9月9日13時~9月11日13時		カキ小	円柱	ホタテ	
2-3	9月11日13時~9月16日13時		円柱	ホタテ	カキ小	

各水槽へ15尾収容

表3. 実験3の方法

実験3	期間	No.	1	2	3	備考
3-1	9月16日12時~18日12時		ホタテ	カキ小	カキ大	
3-2	9月23日13時~9月25日13時		カキ小	カキ大	ホタテ	
3-3	9月28日13時~9月30日13時		カキ大	ホタテ	カキ小	

各水槽へ15尾収容

各テストピースを一本ずつ投入し、48時間後に取り出した。
クエはそのままにして、テストピースを移動させ、魚の行動を観察した。
各テストピースを投入して、3回観察した。
また、ビデオで10分間毎に2秒録画し、夜間はナイトビジョンで記録した。

3. 結果

実験期間中の平均水温は $22.0 \pm 0.58^\circ\text{C}$ であった。室温は 18°C であるが、オーバーフロー水槽の循環ポンプによる熱のため水温は 20°C 以上となった。pHは 7.56 ± 0.06 、DOは $6.8 \pm 0.69 \text{ mg/L}$ 、比重は 1.023 ± 0.001 で安定していた。アンモニアは $0.01 \pm 0.04 \text{ mg/L}$ 、亜硝酸酸 $0.65 \pm 3.06 \text{ mg/L}$ 、硝酸塩は $22.9 \pm 11.1 \text{ mg/L}$ で比較的安定した水質で、濾過槽は機能していた(表4)。

実験期間の約1ヶ月間でクエは最大全長5.4cmから8.6cmに成長した(表5, 図3)。

実験1では、30尾収容した水槽にテストピースを水槽に投入した。2日間後のクエのテストピースへの潜入個体数は、ホタテ1.0尾、カキ小4.7尾、円柱0.0尾であった(表6, 図4)。

実験2では収容尾数を15尾に減らした水槽にテストピースを水槽に投入した。2日間後のクエのテストピースへの潜入個体数は、ホタテ1.3尾、カキ小3.0尾、円柱0.0尾であった(表7, 図5)。

実験3では収容尾数は15尾で、円柱をカキ大にして試験を行ったところホタテ1.0尾、カキ小1.0尾、カキ大1.3尾であった(表8, 図6)。

ビデオ観察によるとクエは全体的に水槽の上層を浮遊定位し、一部の個体がテストピースに潜入した。カキ小、カキ大の目視観察による潜入状況の観察は困難で、テストピースを取り上げた時に、カキの間隙に潜入している個体を確認した。夜間もほぼ同様な行動が示された。

表4. 実験期間の3水槽の水質

	水温 ($^\circ\text{C}$)	pH	DO ($\text{mg} \cdot \text{l}$)	アンモニア ($\text{mg} \cdot \text{l}$)	亜硝酸 ($\text{mg} \cdot \text{l}$)	硝酸塩 ($\text{mg} \cdot \text{l}$)	比重	備考
平均	22.0	7.56	6.8	0.01	0.65	22.9	1.023	
SD	0.579	0.063	0.69	0.04	3.06	11.1	0.001	
最小	20.9	7.38	5.4	0.00	0.0	10.0	1.021	
最大	23.1	7.65	7.5	0.20	15.0	50.0	1.024	

表5. 各実験におけるクエの推定全長

No.		年月日	平均TL(mm)	最小TL(mm)	最大TL(mm)
実験 1	実験 1-1	2020/8/25	4.9	4.6	5.4
	実験 1-2	2020/9/1	5.5	5.0	5.0
	実験 1-3	2020/9/3	5.8	5.0	6.5
実験 2	実験 2-1	2020/9/8	6.2	5.3	7.2
	実験 2-2	2020/9/10	6.3	5.4	7.4
	実験 2-3	2020/9/14	6.7	5.5	7.9
実験 3	実験 3-1	2020/9/17	6.9	5.7	8.3
	実験 3-2	2020/9/24	7.1	5.8	8.5
	実験 3-3	2020/9/29	7.3	6.0	8.6

クエの成長線から推定したクエの全長

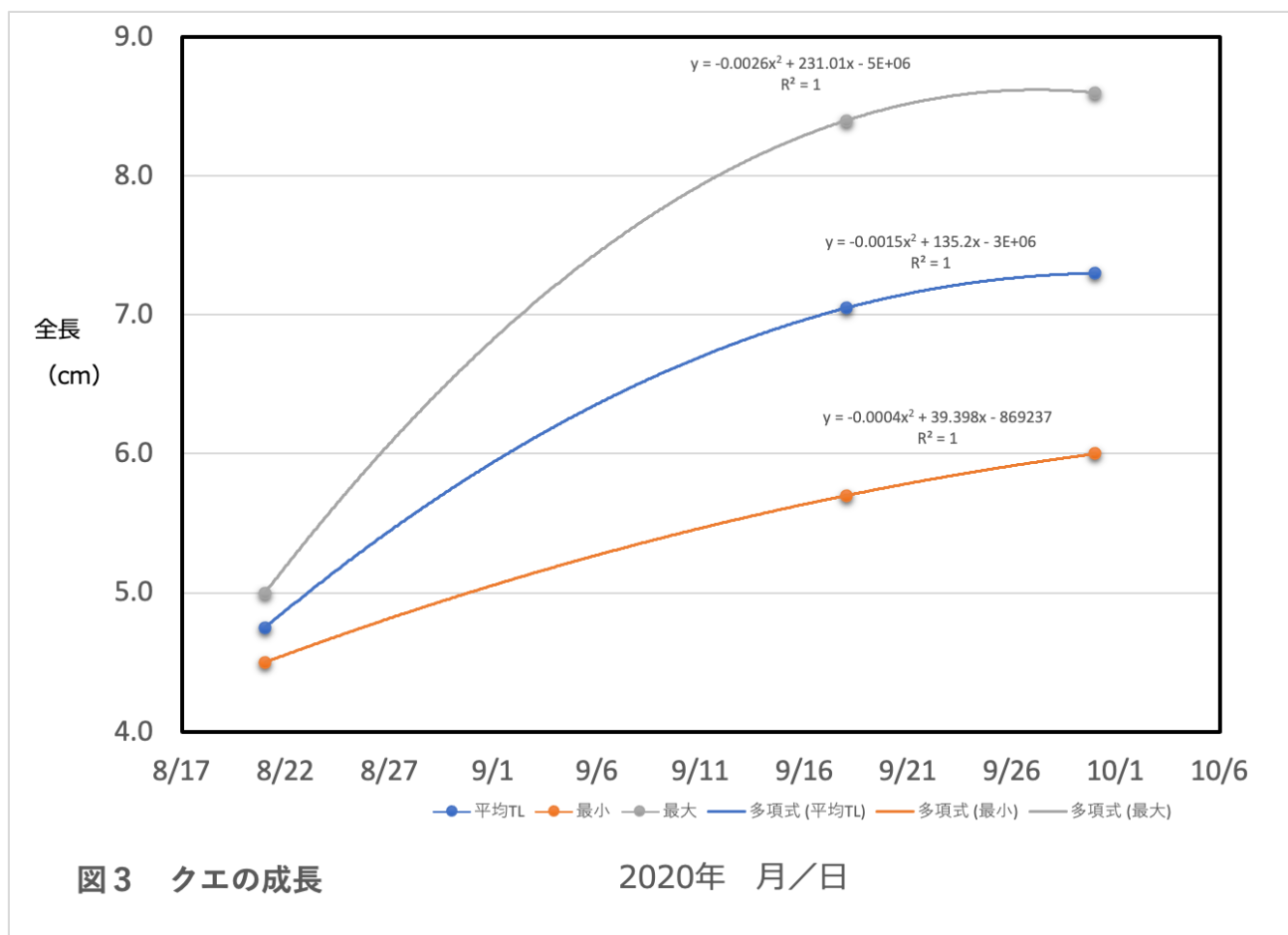


図3 クエの成長

2020年 月/日

表6. 実験1の試験結果

実験1	ホタテ	カキ小	円柱	備考
1-1	1	4	0	
1-2	1	5	0	
1-3	1	5	0	
平均	1.0	4.7	0.0	
SD	0.0	0.6	0.0	

各水槽に30尾收容

最終日にテストピース内に入っていた個体数

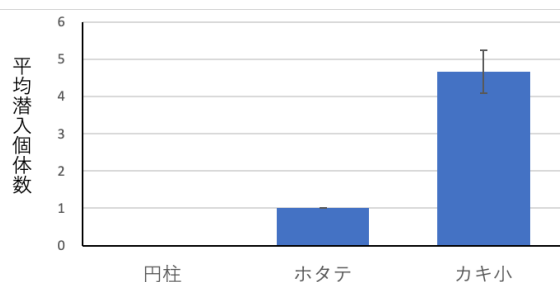


図4. 実験1の結果

ホタテとカキ小は有意の差がある (0.05)
t検定: 分散が等しくないと仮定した2標本による検定

表7. 実験2の試験結果

実験2	ホタテ	カキ小	円柱	備考
2-1	2	4	0	
2-2	1	3	0	
2-3	1	2	0	
平均	1.3	3.0	0.0	
SD	0.6	1.0	0.0	

各水槽に30個体から15個体に減らす。

最終日にテストピース内に入っていた個体数

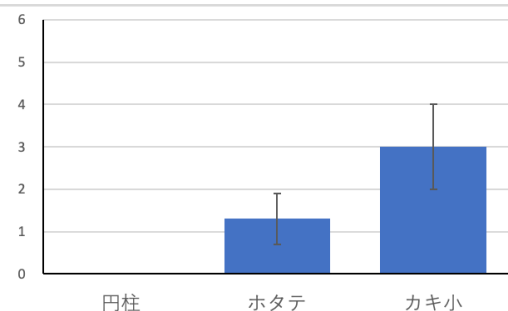


図5. 実験2の結果

表8. 実験3の試験結果

実験3	ホタテ	カキ小	カキ大	備考
3-1	1	1	2	
3-2	1	1	1	
3-3	1	1	1	
平均	1.0	1.0	1.3	
SD	0.0	0.0	0.6	

各水槽に15尾收容した水槽にホタテ、カキ小、カキ大を投入し観察した。

最終日にテストピース内に入っていた個体数

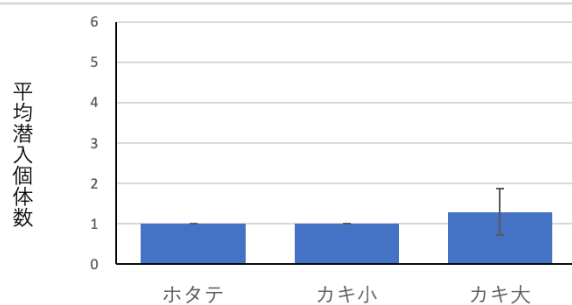


図6. 実験3の結果

4. 考察

実験1からホタテには潜入しにくい傾向が示されたが、カキ小には4~5尾が潜入することが確かめられた。この期間のクエのサイズは平均5.4~6.5 cmであった。このサイズでカキ小のテストピースの収容能力は4.7尾/5,300cm³と推定された。収容個体数を半分の15尾にし、実験2においてカキ小に潜入する個体数が4.7から3.0に低下した。これは、クエの平均全長が5.0から7.4 cmに成長したため、カキ小の間隙に潜入しにくくなった可能性があった。いずれの実験においても円柱には寄り添うなどの接触行動は見られなかった。なお、テストピースに潜入した個体には近づいた個体を攻撃するような行動が観察された。

実験3では、ホタテ、カキ小、カキ大にはそれぞれ平均1.0尾、1.0尾、1.3尾潜入した。クエの成長に伴いカキ殻サイズを大きくしたが、カキ小とカキ大で大きな差が見られなかった。これは、パイプの目合サイズが20×25 mmで両者ともに同じであり、平均全長8.5 cmのクエには狭く潜入が困難であった可能性がある。その一方で、ホタテはこのサイズでも特に変化なく常に1尾程度が潜入した。

以上の実験より、小型のクエの隠れ場としてはカキ殻を使用した基質が最も適当であり、全長4~5 cmのクエの収容能力は4.7尾/5,300cm³と推定され、カキ殻基質（カキ小）はその機能を十分に発揮できる可能性がある。また、クエが成長するにつれてカキ殻基質の収容能力は小さくなるが、パイプの目合のサイズや内部の小空間のサイズを工夫することで汎用性が高くなると予想される。

参考文献

クエ

[https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AF%E3%82%A8\(2020/11/29\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AF%E3%82%A8(2020/11/29))

野田幹雄 (2019) 貝殻基質を利用したクエ種苗の空間選好性に関する試験 令和元年度受託研究報告書 37pp.

岡田 貴彦・米島 久司・宮下 盛・村田 修 (1994) クエ飼育水槽へのシェルター及び遮光シートの設置効果 近畿大学水産研究報告, (4), 119-125

野田幹雄 (2019) 貝殻基質を利用したクエ種苗の空間選好性に関する試験 令和元年度受託研究報告書 37pp.

富澤直人、津村誠一 (2021) 貝殻基質の隠れ場機能の検証試験 令和2年度受託研究報告書 14pp.

岡田 貴彦・米島 久司・宮下 盛・村田 修 (1994) クエ飼育水槽へのシェルター及び遮光シートの設置効果 近畿大学水産研究報告, (4), 119-125

照屋和久・浜崎活幸・竹内宏行 (2003) スジアラ人工種苗の口径と捕食したデバスズメダイの最大体サイズの関係、水産増殖、51(1), 35-40

奥村重信、萱野泰久、草加耕司、津村誠一、丸山敬語 (2003) ホタテガイ貝殻を利用した人工魚醬へのキジハタ幼魚の放流実験、日水誌、69(6), 917-925

浜崎 活幸ら (2004) サンゴ礁に放流したスジアラ人工種苗の滞留、摂餌および被食に及ぼす囲い網による環境馴致効果、日水誌 70(1), 22-30

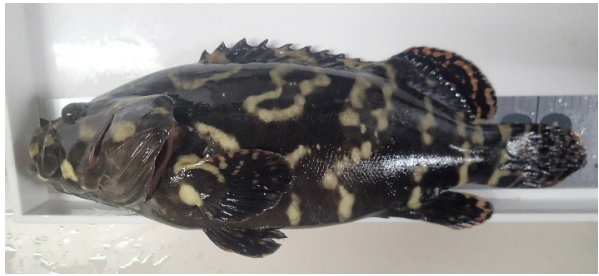
謝辞

岡山理科大学工学部・バイオ応用化学科 山本俊政 准教授にはクエの行動等における貴重なアドバイスを得た。生物生産教育研究センターではアカマダラハタとタマカイの交雑種（理大ハタ）を種苗から商品サイズまで循環濾過水槽で飼育しており、今回試験に使用したクエと同属のハタ類である。飼育している水槽の行動を観察させていただき、貴重なご意見をいただいた。ここにお礼し上げる。

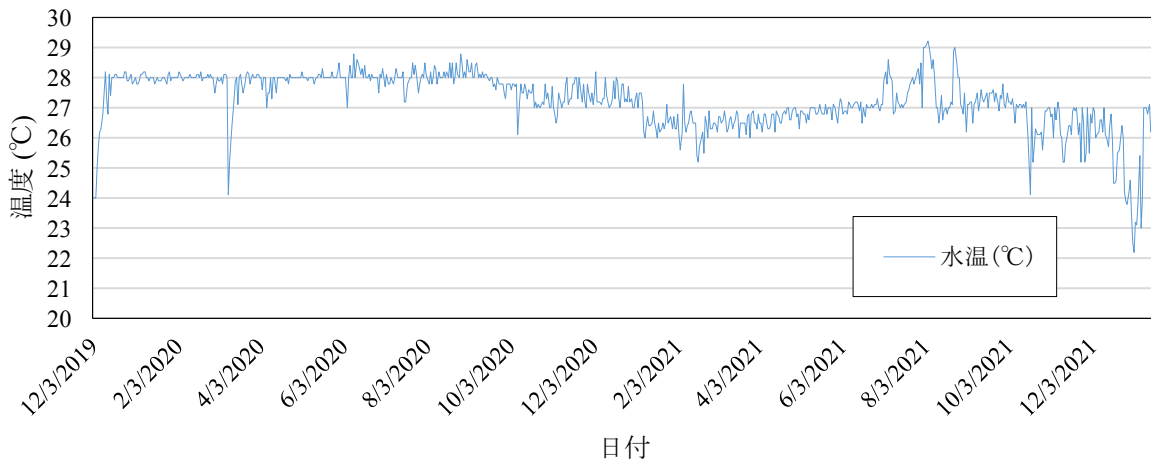
添付資料

岡山理科大学・生物生産教育研究センターでは好適環境水を使用した循環式陸上養殖をおこなっている。多種な魚類、甲殻類などの養殖試験を継続しており、その中でアカマダラハタ *Epinephelus fuscoguttatus* メスとタマカイ *Epinephelus lanceolatus* オスの交雑種（理大ハタ）の養殖試験を行なっている。今回試験に使用したクエ *Epinephelus bruneus* は上記の交雑種と同じハタ類で同属であるため、その行動を観察し、今回の実験の参考にした。瀬戸内海、日本海に分布しているキジハタ *Epinephelus akaara* はハタ類の北限種であり、小型のハタ類である。キジハタは幻の高級魚で、種苗生産、放流技術が確立しているために、近年、天然資源は増えている。また調査研究も多く行われている。一方クエは種苗生産、放流はされているものの行動についての知見は少ない。そのためハタ類の理大ハタの行動を参考にした。理大ハタは人工授精で生産された人工種苗で、水槽収容当初から大人しく、共食いも少なく飼育しやすいハタ類である。また、物陰（シェルターなど）に定位、蟄集することではなく、どちらかという水中で定位する傾向があった。これはクエも同じ傾向が示された。一方、キジハタはシェルター内に定位する行動が示され、中間育成などでは多段式のシェルターを使う事例がある。ハタ類の中でクエと理大ハタは大型になる種類で南方系である。キジハタは小型の種類で温帯域へ分布を広げた種類のため上記のようなシェルターに身を寄せて生き延びた行動を示すものと思われる。理大ハタはシェルターなしで養殖をおこなっており、飼育密度が高いため、縄張り行動も抑制されており、良好な飼育条件となっているものと考えられた。

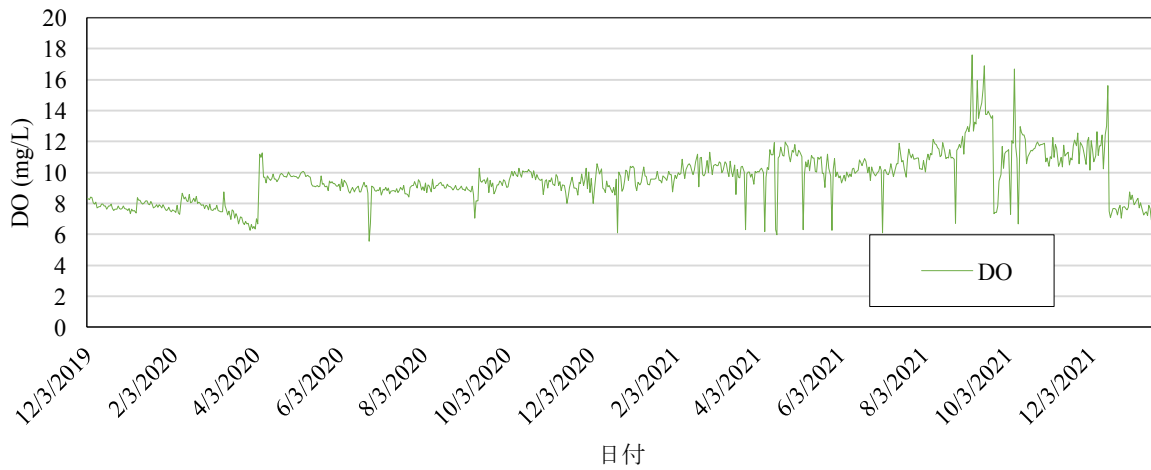
5. 生産報告

供試生物	タイガー ジャイアント グルーパー (タイガーGG)		
学名	<i>Epinephelus lanceolatus</i> × <i>Epinephelus fuscoguttatus</i>		
説明	アカマダラハタ (<i>Epinephelus fuscoguttatus</i>) の雌とタマカイ (<i>Epinephelus lanceolatus</i>) の雄との交雑種であり、成長の速さと嗜好性の良さから中国などのアジアで多く消費されている。閉鎖循環式陸上養殖の課題の一つとして電気代などのランニングコストが高くなることがあげられる。このことから、飼育期間が短く、比較的単価の高い魚が望まれるため、タイガーGG を用いた飼育試験を行った。		
試験期間(試験日数)	2019年12月3日-2022年1月23日(783日)		
飼育水槽	岡山理科大学生物生産教育研究センター Rw.1 水槽		
水量	全水量	35 m ³	
	飼育水槽	20 m ³	
	ろ過槽	15 m ³	
飼育水	好適環境水		
設定水温	27-28℃		
使用ろ材	ポリエチレンろ材		
	セラミックスろ材		
使用した餌 (別名)	おとひめ EP2	使用期間	2019年12月5日-2020年1月23日
	ひめ桜 P-3(ひめ桜5)	使用期間	2020年1月24日-2020年6月13日
	ひめ桜 P-5 (ひめ桜8)(ひめ桜60 8)	使用期間	2020年6月14日-2022年1月23日
総給餌量	2211.204kg		
試験開始時の 平均重量	6.22 g	標準偏差	1.34
試験開始時の 平均全長	75.74 mm	標準偏差	3.06
試験開始尾数	1530 尾		
生産尾数	831 尾		
生産重量	1565.077 kg		
死亡尾数	699 尾(内不明減耗425 尾)		
生残率	54.31%		
総評	タイガー ジャイアント グルーパー 本試験では、生残率が 54.31%と非常に低く、不明減耗が多い結果となった。これは、稚魚の段階から飼育水槽の水量が 20tと広い環境で飼育したことにより、人工餌料を食べず稚魚同士の共食いがおこったためと考えられた。改善策として、稚魚育成時に小規模の水槽で過密飼育することで共食いを減らす必要があると考えられた。		

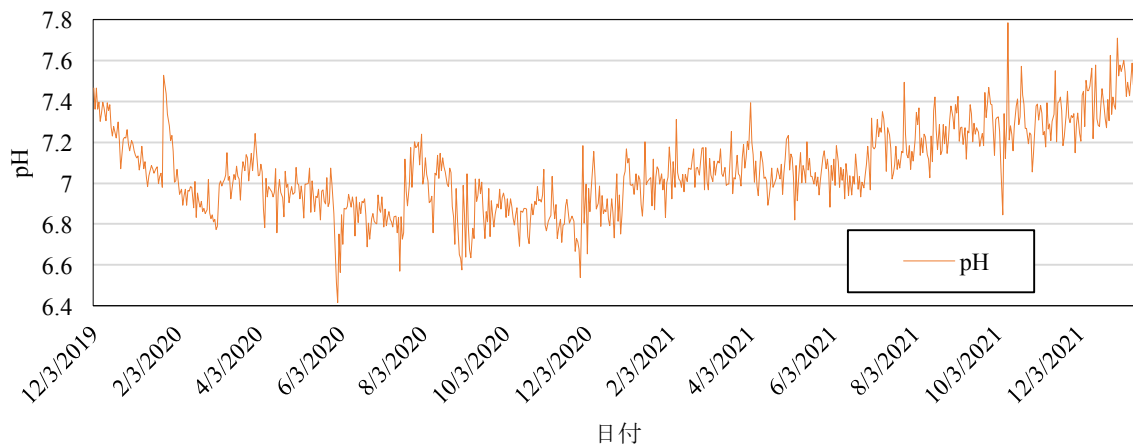
水温 (測定頻度：毎日)

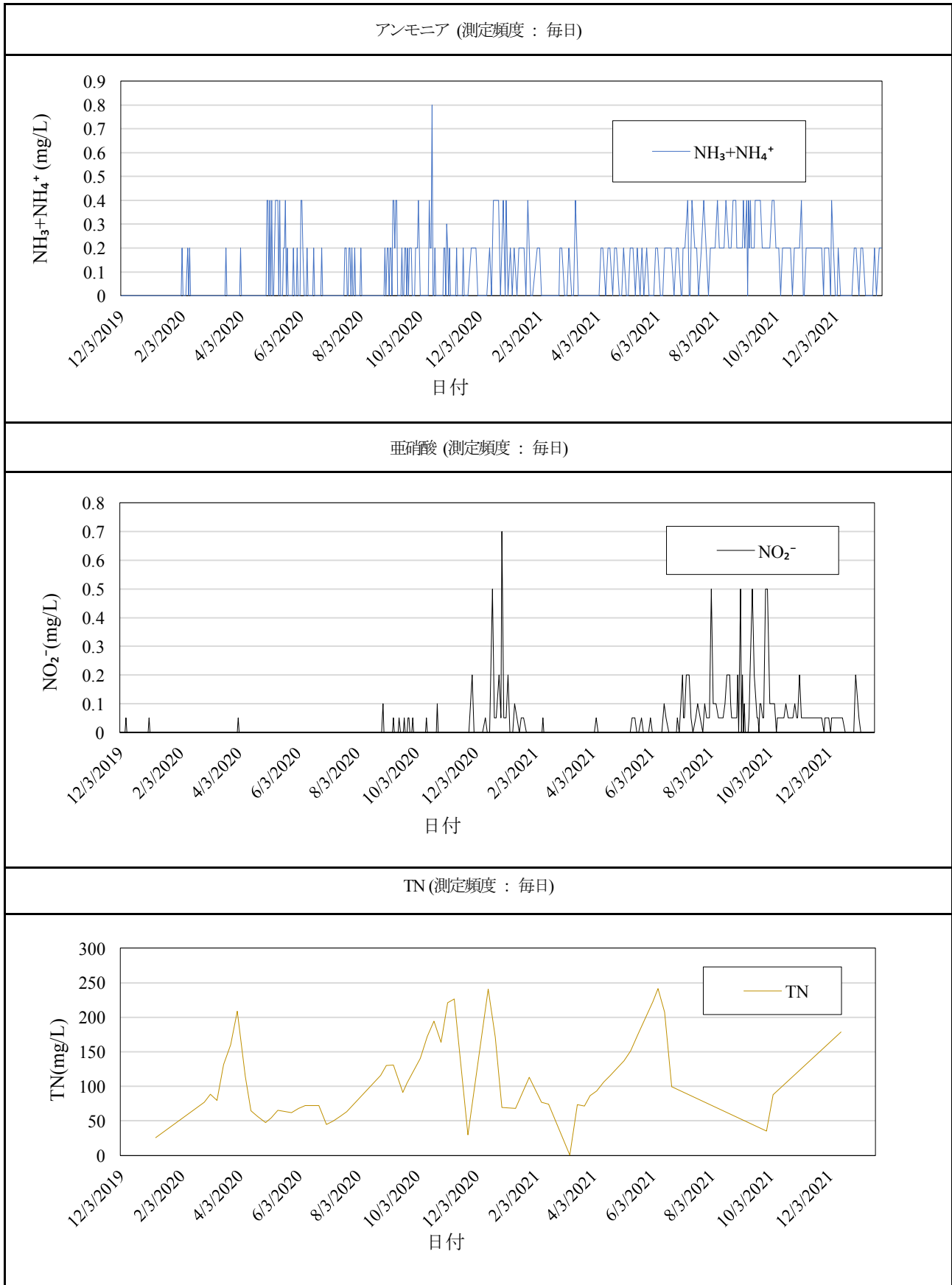


DO (測定頻度：毎日)



pH (測定頻度：毎日)





供試生物	ニホンウナギ		
学名	<i>Anguilla japonica</i>		
説明	北海道以南の日本各地、朝鮮半島、中国、台湾、ベトナムまで東アジアに広く分布する。生物生産教育研究センターでは成長の速さと嗜好性良さ、販売単価が安定して高価であることから飼育、販売を2012年から継続して行っている。		
試験期間 (試験日数)	2020年2月9日～2021年7月13日(521日)(分槽、水槽締め)		
飼育水槽	岡山理科大学生物生産教育研究センター Rw.2 水槽		
水量	全水量	35 m ³	
	飼育水槽	20 m ³	
	ろ過槽	15 m ³	
飼育水	好適環境水		
設定水温	初期投入時 12.8℃、移行 25-27℃		
使用ろ材	ポリエチレンろ材		
	セラミックスろ材		
使用した餌 (別名)	シラス用+カキ	使用期間	2020年2月10日-2020年3月8日
	シラス用+クロコ用+カキ	使用期間	2020年3月9日-2020年3月21日
	クロコ用+坂東太郎	使用期間	2020年3月22日-2020年4月10日
	ニューストロングC	使用期間	2020年4月11日-2021年7月13日
総給餌量	1,457 kg		
試験開始時の 平均重量	-	標準偏差	-
試験開始時の 平均全長	-	標準偏差	-
試験開始尾数 (重量法)	21300尾(Rw.2水槽に直接投入)(3.1kg)		
生産尾数	1302尾(Rw.3:724尾、RW4:578尾へ分槽)		
生産重量	-		
死亡尾数	2337尾		
生残率	-		



株式会社 SID 創研

供試生物	ニホンウナギ		
学名	<i>Anguilla japonica</i>		
説明	同上		
試験期間 (試験日数)	2018年4月14日～2018年7月13日(RW3 サブコンテナ)、2018年7月13日～		
飼育水槽	岡山理科大学生物生産教育研究センター Rw.3 水槽		
水量	全水量	35 m ³	
	飼育水槽	20 m ³	
	ろ過槽	15 m ³	
飼育水	好適環境水		
設定水温	25-30℃		
使用ろ材	ポリエチレンろ材		
	セラミックろ材		
使用した餌 (別名)	シラス用+クロコ用+カキ	使用期間	2018年4月15日-2018年5月29日
	ニューストロングC	使用期間	2018年5月30日-
総給餌量	2,770kg(2021年12月31日時点)		
試験開始時の 平均重量	-	標準偏差	-
試験開始時の 平均全長	-	標準偏差	-
試験開始尾数 (重量法)	7000尾(Rw.3 サブコンテナで養生)(1kg) Rw.3 に移動時、2681尾		
生産尾数	1556尾(2021年12月31日時点)		
生産重量	-		
死亡尾数	3599尾		
生残率	-		

生産報告 (ニホンウナギ)

供試生物	ニホンウナギ		
学名	<i>Anguilla japonica</i>		
説明	同上		
試験期間 (試験日数)	2020年2月9日～2020年4月2日(Rw.2)、2020年4月2日～2022年3月14日(762日)(分槽、水槽締め)		
飼育水槽	岡山理科大学生物生産教育研究センター Rw.4水槽		
水量	全水量	35m ³	
	飼育水槽	20m ³	
	ろ過槽	15m ³	
飼育水	好適環境水		
設定水温	25-30℃		
使用ろ材	ポリエチレンろ材		
	セラミックスろ材		
使用した餌 (別名)	シラス用+カキ	使用期間	2020年2月10日-2020年3月8日
	シラス用+クロコ用+カキ	使用期間	2020年3月9日-2020年3月21日
	クロコ用+坂東太郎	使用期間	2020年3月22日-2020年4月10日
	ニューストロングC	使用期間	2020年4月11日-2022年3月14日
総給餌量	2,107 kg		
試験開始時の 平均重量	-	標準偏差	-
試験開始時の 平均全長	-	標準偏差	-
試験開始尾数	5054尾(Rw.2水槽から分槽)		
生産尾数	604尾(Rw.2:165尾、Rw.3:439尾へ分槽)		
生産重量	-		
死亡尾数	156尾		
生残率	-		

株式会社 SID 創研

供試生物	ニホンウナギ		
学名	<i>Anguilla japonica</i>		
説明	同上		
試験期間 (試験日数)	2021年3月4日～2021年8月20日(Rw. 3 サブコンテナ)、2021年8月20日～		
飼育水槽	岡山理科大学生物生産教育研究センター Rw. 2 水槽		
水量	全水量	35 m ³	
	飼育水槽	20 m ³	
	ろ過槽	15 m ³	
飼育水	好適環境水		
設定水温	25-27°C		
使用ろ材	ポリエチレンろ材		
	セラミックスろ材		
使用した餌 (別名)	シラス用+クロコ用+カキ	使用期間	2021年3月5日-2021年4月5日
	ニューストロング C	使用期間	2021年4月6日-
	ニューストロング C + 鰻稚魚プロフィット水研d2 フロート	使用期間	2021年6月2日
総給餌量	553 kg (2021年12月31日時点)		
試験開始時の 平均重量	-	標準偏差	-
試験開始時の 平均全長	-	標準偏差	-
試験開始尾数 (重量法)	20000尾(RW3 サブコンテナ 中央と奥側) (2.0kg) Rw. 2 に移動時、2062尾		
生産尾数	2344尾(2021年12月31日時点)		
生産重量	-		
死亡尾数	5尾		
生残率	-		

生産報告 (ニホンウナギ)

供試生物	ニホンウナギ		
学名	<i>Anguilla japonica</i>		
説明	同上		
試験期間 (試験日数)	2021年5月18日～		
飼育水槽	岡山理科大学生物生産教育研究センター RW.3 サブコンテナ		
水量	全水量	35 m ³	
	飼育水槽	20 m ³	
	ろ過槽	15 m ³	
飼育水	好適環境水		
設定水温	25-27℃		
使用する材	ポリエチレンろ材		
	セラミックスろ材		
使用した餌 (別名)	シラス用+クロコ用+カキ	使用期間	2021年5月19日-2021年6月9日
	ニューストロングC	使用期間	2021年6月9日-
総給餌量	13.1kg(2021年12月31日時点)		
試験開始時の 平均重量	-	標準偏差	-
試験開始時の 平均全長	-	標準偏差	-
試験開始尾数 (重量法)	1756尾(RW3サブコンテナ手前) (0.25kg)		
生産尾数	145尾(2021年12月31日時点)		
生産重量	-		
死亡尾数	861尾		
生残率	-		
総評	2021年度の出荷尾数は6638尾、生産重量は1702.2kgとなった。2022年3月時点でRw.2水槽に2506尾、Rw.3水槽に1982尾、Rw.3サブコンテナに145尾、総計4633尾が各水槽に収容されている。ウナギは大きさごとの選別を行わなければ、共食いを起こすとされている。このことから選別作業を行うことを隔月ごとに行う予定であったが、出荷と、廃水処理に追われたため、来年度はこれらを改善するようにする必要がある。		

供試生物	クロマグロ	
学名	<i>Thunnus orientalis</i>	
説明	近年世界的な魚類の消費拡大により、養殖による生産が増加している。このことから、海水魚の養殖は今後さらに需要が高まると考えられる。しかし、海面養殖に適した場所は限定的であることや、環境への影響などが危惧されていることから、今後、陸上養殖の技術開発が求められると考えられる。岡山理科大学では飼育水をほとんど捨てない、閉鎖循環式陸上養殖の研究を10年以上行ってきた。岡山理科大学生物生産教育研究センターでは2010年からクロマグロの飼育を閉鎖循環式陸上養殖の形で取り組んでいる。	
試験期間 (試験日数)	2020年7月28日-2022年1月6日 (528日)	
飼育水槽	岡山理科大学 生物生産教育研究センター 円形水槽	
水量	全水量	約140m ³
	飼育水槽	約100m ³
	ろ過槽	約40m ³
飼育水	好適環境水	
設定水温	26-27℃	
使用する材	ポリエチレンろ材	
	セラミックろ材	
使用した餌	NEW TUNA RED EP-5	
	NEW TUNA MID EP-8	
	NEW TUNA MID EP-10	
総給餌量	72.054 kg	 <p>円形水槽</p>
試験開始時の平均重量	124.6 g	
試験開始時の平均全長	207.3 mm	
試験開始尾数	16尾	
最も大きい個体の重量	7618.8 g	
最も大きい個体の尾叉長	690 mm	
総評	 <p>クロマグロ</p> <p>本試験では、クロマグロを最大で528日、飼育することができた。しかし、試験開始から3日間で、合計7尾のクロマグロが死亡してしまった。死亡した原因としては、種苗の運搬時のストレスや鱗へのスレなどが考えられた。このため、運搬方法の再検討や使用する種苗の状態確認が必要と推察された。また、試験開始3日目以降も断続的に死尾が確認された。これらの死亡した個体の解剖を行ったところ、脊椎の骨折が複数の個体で確認されたことから、魚同士の衝突や水槽の壁面への衝突が死因と考えられた。このことから、水流の向きや流量の調節などの改善が必要と示唆された。</p>	

6. 2021年度卒業研究指導

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1.閉鎖循環型養殖における新規物理ろ過法に関する検討 | T17B063 西山 真人・T18B012 岡本 幸斗 |
| 2.包括固定化担体及び炭素系電子供与体を用いた脱窒模索試験 | T18B005 池田 光基 |
| 3.廃液中の硝酸イオン除去方法の検討 | T18B052 三井 秀悟 |
| 4. バナメイエビの抱卵・産卵条件の調査と人工受精への取り組み | T18B029 高橋 伸 |
| 5. 好適環境水原料の海外調達によるコスト低減への取り組み【日本産、中国産原料による飼育比較試験と原料中の不純物測定】 | T18B040 西村 璃玖 |

7. 講演・講座、広報、見学、受賞

7. 1. 公開講演

- ・好適環境水、山本俊政、精密機械工学会中国四国・九州支部 [岡山地方講演会], 2021.11.27, オンライン
- ・好適環境水による陸上養殖技術の開発-好適環境水の基礎とその可能性-, 山本俊政, 令和3年度低温科学研究集会「魚介類の実験飼育法に関する検討 2021」, 2022.3.7-8, 北海道大学低温科学研究所
- ・モンゴル国における好適環境水を用いた陸上養殖の可能性-セントラルヒーティングを利用したタイガーGG. *Epinephelus lanceolatus* × *Epinephelus fuscoguttatus* の循環型陸上養殖試験-, 藤田昌紀, 令和3年度低温科学研究集会「魚介類の実験飼育法に関する検討 2021」, 2022.3.7-8, 北海道大学低温科学研究所
- ・トラフグ *Takifugu rubripes* の飼育水中におけるカリウムの要求濃度, 山口太一, 令和3年度低温科学研究集会「魚介類の実験飼育法に関する検討 2021」, 2022.3.7-8, 北海道大学低温科学研究所

7. 2. 教育機関・企業などでの講座

- ・好適環境水、山本俊政、筑波大学附属高等学校 (東京都), 2021.6.29, オンライン
- ・好適環境水、山本俊政、明治大ゼミ生 (東京都), 2021.8.3, オンライン
- ・好適環境水、山本俊政、日野町商工会議所 (鳥取県), 2021.8.24, オンライン
- ・完全閉鎖型陸上養殖の水質管理, 山口太一, 旭化成株式会社, 2021.12.2, オンライン
- ・閉鎖循環型陸上養殖, 山口太一, 東日本電信電話株式会社・株式会社いちい, 2021.12.10, 生物生産教育研究センター
- ・透圧の基礎と応用, 山本俊政, 県立湖陵高等学校 (鳥取県), 2021.12.16, オンライン
- ・循環型陸上養殖について, 山口太一, デロイトトーマツファイナンシャルアドバイザーリー合同会社, 2022.2.16, オンライン
- ・アコヤガイの陸上養殖について, 山本俊政, クロスフォー, 2022.3.28, オンライン

7. 3. 広報

- ・水ビジネス, TBS がっちりマンデー, 2021.3.28, TV 放送
- ・海のないうちでも海水魚の養殖が可能に!, ヘルシスト, 文芸春秋 ヤクルト科学誌, 2021.5.10
- ・世界環境デー, 中京テレビ, 2021.6.5, TV 放送
- ・プライド せとうち経済のチカラ, TSC, 2021.7.18, TV 放送
- ・海の日スペシャル 長野博の日本が誇る匠たち, BS11, 2021.7.22, TV 放送
- ・Sustainable Fisheries through Advances in Aquaculture, NHK WORLD-JAPAN, 2022.2.23, 2022.2.28, TV 放送

7. 4. 視察・見学・取材

- ・視察, クロスフォー (真珠養殖会社, 山梨県), 社長ら2名, 2021.7.2
- ・視察, 日野町商工会議所 (養殖業進出検討, 鳥取県), 会員様方2名, 2021.7.6
- ・視察, 根室市水産研究所 (サケ養殖研究, 北海道), 工藤所長1名, 2021.7.6
- ・視察, 徳島城南学園 (徳島県), 幹部ら2名, 2021.7.6
- ・視察, 大倉工業 (新規事業検討, 香川県), 事業企画室4名, 2021.7.12
- ・視察, ワボウ電子 (エビ養殖進出, 滋賀県), 水産課スタッフら2名, 2021.7.28
- ・見学, 水島工業高等学校 (倉敷市), 生徒および引率教員8名, 2021.8.6
- ・視察, 英語検定協会 (学園来客), 幹部ら2名, 2021.8.6
- ・見学, 学童保育 (岡山市南区福富), 学童保育の児童, 引率者11名, 2021.8.12
- ・視察, 株式会社リバナ (田んぼ養殖, 東京), CEOら幹部2名, 2021.8.19
- ・視察, 副理事長お客様, お客様1名, 2021.9.22
- ・視察, マレーシア語学学校, 理事長お客様1名, 2021.9.22

- ・視察, 鹿児島県始良市 (鹿児島県始良市), 市長・副市長 2 名, 2021.9.27
- ・視察, 株式会社喜代丸, ファイナンシャルストーンコンサルティング (岡山理科大学研究社会連携部関係), 社長ら 3 名, 2021.10.6
- ・視察, ウシオ電機, 光電源事業戦略室スタッフ 3 名, 2021.10.15
- ・視察, 渡辺様 (農業活性化, 徳島県), 個人 1 名, 2021.10.27
- ・視察, 表町商店街 (来客, 岡山市), 幹部ら 4 名, 2021.10.28
- ・視察, 産業経済部 (地域振興, 高梁市), 産業経済部長ら 4 名, 2021.10.28
- ・視察, 東京都市サービス (陸上養殖のエネルギーについて, 東京都), 経営企画部ら 2 名, 2021.11.1
- ・視察, 香美町議会 (兵庫県), 議員および事務局ら 11 名, 2021.11.5
- ・見学, 岡山理科大学附属高等学校通信制課程 (岡山市北区), 生徒ら 13 名, 2021.11.11
- ・視察, 千葉科学大学 (千葉県銚子市), 椎名相談役ら 4 名, 2021.12.3
- ・視察, 弥富市有志 (愛媛県), 高橋市議会議員ら 2 名, 2021.12.8
- ・取材, ドキュメンタリー新社 (NHK ワールドジャパン放送取材), ディレクターら 2 名, 2021.12.9
- ・視察, 鹿児島県始良市 (鹿児島県始良市), 企画部西課長補佐ら 2 名, 2021.12.10
- ・視察, 北海道羅臼町御一行 (北海道羅臼町), 町長・地元商工業者ら 20 名, 2021.12.17
- ・視察, 理事長来客, 理事長ら 2 名, 2021.12.18
- ・視察, 宮崎県都野町 (宮崎県都野町), 産業振興課長ら 2 名, 2021.12.20
- ・授業, 岡山理科大学附属高等学校通信制課程 (岡山市北区), 通信制課程生徒ら 9 名, 2021.12.21
- ・視察, 小林工業, 幹部ら 2 名, 2022.1.12
- ・取材, 読売新聞社 (NTT 東との連携によるベニザケ養殖, 東京都), 記者 1 名, 2022.1.24
- ・取材, RSK 山陽放送 (岡山県), 記者ら 3 名, 2022.2.24
- ・視察, 岡山大学(岡山市), 見浪教授 1 名, 2022.3.9
- ・視察, 大島塾 (笠岡市), 幹部ら 2 名, 2022.3.9
- ・視察, 北海道根室市議会, (北海道根室市), 市議ら 4 名, 2022.3.25
- ・見学, 岡山理科大学専門学校 (オープンキャンパス, 岡山市北区), オープンキャンパスへ参加した高校生ら 7 名, 2022.3.26
- ・視察, ナガセサンバイオバイオ, (東京都), 社員ら 2 名, 2022.2.28
- ・視察, 岡山県華僑華人総会 (岡山県, 大阪府), 岡山県, 大阪府の華僑・華人ら 5 名, 2022.3.29
- ・取材, 読売新聞社 (岡山県), 岡山支社支社 1 名, 2022.3.31
- ・見学, 岡山市立宇野小学校 (宇野市), 児童・保護者ら 15 名, 2022.3.31

以上 計 166 名

7. 4. 受賞

- ・「海に依存しない陸上養殖・好適環境水を用いた海産魚類の生産」, 第 10 回技術経営・イノベーション大賞 (一般社団法人科学技術と経済の会主催), 審査員特別賞受賞, 2022.2.15

■著作権

- ・本報告書に掲載された報文の著作権は、筆頭著者に属する。
- ・また、掲載報文の一部または全部を電子的に蓄積し、生物生産教育研究センターが行う情報提供サービスにより公開することがある。

2022年3月23日

発行者 岡山理科大学 研究社会連携機構
生物生産教育研究センター
〒700-0005 岡山市北区理大町 1-1

URL : <https://kouteki-ras-eandrcforop-ous.jimdofree.com/>

編集者 山口 太一
