

令和 6 年 10 月 1 日現在

機関番号：15401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2018～2023

課題番号：17KK0157

研究課題名（和文）水産有用セミエビ類の種苗生産技術の基盤構築

研究課題名（英文）Establishment of seed production techniques for the commercially important scyllarids

研究代表者

若林 香織（Wakabayashi, Kaori）

広島大学・統合生命科学研究科（生）・准教授

研究者番号：20725147

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,200,000円

渡航期間： 3ヶ月

研究成果の概要（和文）：イセエビ・セミエビ類では、商業的な種苗生産や養殖は未だ実現していない。少数の種苗であれば確実に生産できる飼育技術は開発されているが、産業的な増養殖へと発展させるためにはさらなる生物学的な基礎研究が必要である。本研究では、大規模種苗生産の実現を目指してウチワエビ類の幼生飼育に関する試験に取り組んだ。外的飼育環境の至適条件の探索および餌料の栄養価と幼生発育の関連性の理解に注力し、水温、塩分、アンモニア態窒素濃度、光量などに対する幼生の反応を調べ、さらに餌料に含まれる脂質の組成および濃度と幼生の発育日数や生残率との関連性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ウチワエビ類は、近年1kgあたり5,000～7,500円もの高値で取引される高級甲殻類である。その生産は現在天然漁獲に完全に依存しており、養殖技術はいまだに存在しない。本研究では、ウチワエビ類の幼生の生物学的な特徴について様々な視点で調べ、幼生が効率的に発育できる環境条件を明らかにした。これらの成果に基づいた幼生の飼育環境を設計することで、稚エビをより効率的に生産できるようになると期待される。また、本研究で得られた成果の一部は、ウチワエビ類幼生の餌に対する嗜好性、および栄養価と発育との関連性に言及しており、種苗生産の社会実装に向けた幼生用飼料開発のための基礎的な知見としても役立つ。

研究成果の概要（英文）：Commercial seed production and aquaculture of spiny and slipper lobsters have not yet been realized. Although the techniques that can reliably produce a small number of seeds have been developed, further basic biological researches are needed to establish them into industrial aquaculture. In this study, we conducted experiments on larval rearing of fan lobsters with the aim of realizing large-scale seed production. The responses of larvae to water temperature, salinity, ammonia nitrogen concentration, light quantity, etc were examined to determine the optimal conditions of the external environments for larval rearing. In addition, the relationship between the composition and content of lipids in diet and the larval developmental and survival rates were clarified to understand the best dietary conditions for the larval development.

研究分野：水圏生産科学

キーワード：摂餌生態 ウチワエビ 幼生 フィロゾーマ 種苗生産 発育

1. 研究開始当初の背景

イセエビ下目に分類されるエビ類(以下、イセエビ・セミエビ類)は世界の熱帯・亜熱帯海域における水産有用甲殻類資源である。世界的な需要の急増に伴う過剰漁獲や沿岸域の開発に伴う生息場所の減少などが原因でイセエビ・セミエビ類の天然資源は減少しており、一部の地域では絶滅に近い状態に陥っている⁽¹⁾。この状況を解消しつつ食用個体を確保するために、イセエビ・セミエビ類の養殖実現が待ち望まれている。

生殖や幼生の発育に関する研究は、主にイセエビ科のエビ類(以下、イセエビ類)を対象に、国内外で長く実施されてきた。イセエビ類の幼生はフィロゾーマと呼ばれ、扁平な体と長い付属肢から成る特異な形態を呈し、人工飼育下での取り扱いが非常に難しい。また、孵化から着底までの浮遊期間が9-24ヶ月と長く、飼育管理の継続は極めて困難である。日本周辺に生息するイセエビ *Panulirus japonicus* では人工飼育下で稚エビを得ることができるようになったものの⁽²⁾、孵化幼生から稚エビ(=種苗)を得、それをさらに成体(=販売サイズ)まで安定的に生産する技術は整っていない。

一方、セミエビ科のエビ類(以下、セミエビ類)もイセエビ類と同様に需要が高く天然資源の減少が危惧されているが、セミエビ類を対象とした生物学的な研究はあまり実施されておらず、生殖や初期生活史に関する知見が非常に乏しい。セミエビ類の中には、イセエビ類と同様に1年程度の長い浮遊期を持つ種も存在するが、ウチワエビ属やウチワエビモドキ属のエビ類は浮遊期間が1-3ヶ月と短く、より発育の進んだ状態で孵化するため、イセエビ類やセミエビ類の他種と比較して飼育管理の継続が容易である。とくにウチワエビ属のフィロゾーマは大型で、生態や発育の仕組みを調べるための実験系に利用しやすい。ウチワエビ属のエビ類をモデルとする基礎研究と応用研究に立脚したウチワエビ類の商業的種苗生産および養殖を確立できれば、他のイセエビ・セミエビ類の種苗生産および養殖も産業レベルにまで拡大できる可能性が広がると期待される。

(1) Radhakrishnan et al. (2010) *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, **39**, 723-732. (2) 農林水産省農林水産技術会議事務局 (2010) 480, 1-75.

2. 研究の目的

種苗生産技術の開発には、とくに浮遊幼生期の生態や発育を調節する仕組みについて十分に理解する必要があるが、ウチワエビ類においてはそれらの知見が乏しく、幼生を効率的に飼育できないことが種苗生産のボトルネックとなっている。研究代表者らはウチワエビ類の幼生について主に摂餌生態の観点から研究を進め、幼生は孵化直後から着底まで浮遊期間を通じてミズクラゲあるいはアカクラゲだけを食べて成長できること⁽³⁾、幼生はクラゲ類だけではなくクシクラゲ類やサルパ類などの様々なゼラチン質動物プランクトンを利用できること⁽⁴⁾、ゼラチン質動物プランクトンを餌料とする幼生飼育は少なくともウチワエビ属とウチワエビモドキ属において汎用性があること⁽⁵⁾、などを示してきた。本研究では、大規模種苗生産の実現にさらに近づくために、ウチワエビ属エビ類の幼生の生残および発育パフォーマンスが最大となる餌の種類と環境条件を解明し、種苗生産技術の基盤を構築することを目的とした。

(3) Wakabayashi et al. (2012) *Aquaculture*, **330-333**, 162-166. (4) Wakabayashi et al. (2012) *Biological Bulletin*, **222**, 1-5. (5) Wakabayashi et al. (2018) *Journal of Fisheries science and Technology*, **2018** (4), 27-33.

3. 研究の方法

【1】クラゲ類の餌料としての評価

研究代表者らは、上記のとおり、ウチワエビ類の幼生がクラゲ類だけを食べて発育できることを示してきた。一方、クラゲ類は水分が大きく、単位体積当たりには含有する栄養価は他の餌料生物に比べて小さい。ウチワエビ類の幼生飼育にはかつて、二枚貝類や魚類の肉片が使われたことがあり、いずれの成果も研究代表者らによるクラゲを使った幼生飼育の成果に比べて劣っている。しかし、この成果の優劣が餌料の変更によるものであるか、飼育環境が改善されたためであるかは分からないままであった。そこで、同一の飼育環境で幼生を3群に分け、それぞれにクラゲ類、二枚貝類、魚類のいずれかの肉片を継続的に給餌し、幼生の生残および発育を比較した。

【2】幼生が有する走光性

十脚類の幼生は一般に走光性を有するため、飼育環境における光条件は幼生の行動に影響する。走光性を上手く利用できれば飼育の省力化につながるが、逆に強い走光性を惹起する条件下では幼生の水槽内での不均一な分散や餌との分離を招き、飼育成績を害する可能性がある。そこで、飼育に適する光量の検討とオオバウチワエビ幼生の走光性特性の探索を実施した。

一方の短側面が透明、その他の面は黒色の塩ビで制作した容器に濾過海水を注ぎ、暗室にて刺激光を透明な短側面から中央に静置した幼生に5分間照射した。刺激光は幼生の静置場所において0、0.006、0.03、または0.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光量となるように調整した。5分後、容器内を区分するよう仕切りを入れた後、蛍光灯下で幼生の位置を確認した。走光性に対する飼育環境の明暗周期の影響を考慮し、幼生飼育室の照明点灯後・日中・消灯前にあたる朝(8:00-11:00)、昼(13:00-16:00)、夕(17:00-20:00)の3つの異なる時間帯に実施した。

【3】飼育水槽に蓄積するアンモニア態窒素の影響

近年注目されている養殖技術の一つが閉鎖循環式水槽を用いる魚介類の飼育方法である。飼育中の定期的な換水が不要で、病原体の導入防止や対象種の成長特性に応じた緻密な環境設定が可能である。排水時の環境負荷も低減できることから、日本国内外で利用が促進されている。閉鎖循環式水槽は既存の下水処理技術を応用して開発されたもので、魚介類の排泄などによって生じる毒性の強い窒素化合物を硝化細菌の作用で無害化する。毒性の程度は魚介類の種や発育段階によって異なるため、対象動物ごとに許容値を把握しておくのが理想的である。本研究では、飼育水に塩化アンモニウムを異なる濃度で溶解して幼生を収容し、アンモニア態窒素を 96 時間曝露後、各濃度における幼生の致死率を調べた。

【4】幼生飼育における塩分

ウチワエビ類は通常、外洋の深場に生息し産卵するため、幼生は物理環境の安定した場所で孵化して生育すると予想される。しかし、魚介類の人工的な種苗生産はしばしば沿岸の海水を取水する施設で実施され、天候などの影響で塩分が変化しやすい。とくに東南アジアなどの沿岸水の塩分は大きく低下する場合がある。そこで、ウチワエビ類の孵化幼生が正常に発育できる塩分条件を理解するために、様々な低塩分条件に孵化幼生を晒し、その後の成長と生残を調べた。

4. 研究成果

【1】クラゲ類の餌料としての評価

クラゲ類を給餌された幼生は 50%以上の生残率を維持して稚エビに達成したが、二枚貝類を食べた幼生が稚エビに至ったのは 10%以下であった。魚類を給餌された幼生では、半分以上が 1 回も脱皮しないまま斃死し、最終的にすべての幼生が稚エビに至る前に斃死した。

また、オオバウチワエビの最終期幼生にクラゲ類または二枚貝類を与えて飼育した結果、幼生の体内に蓄積する脂肪酸の組成が両者で異なることが分かった。一般に高度不飽和脂肪酸 (PUFA) は魚介類の高成長を期待できる栄養素である。本研究で使用した二枚貝類の PUFA 含有量はクラゲ類のそれよりも有意に高かったが、幼生の発育速度および生残率はクラゲを与えた場合のほうが有意に高かった。餌料に含まれる PUFA 含量が大きいほど幼生の生残率や発育速度がより高くなるとは必ずしも言えない結果が得られた。研究代表者らは過去にミズクラゲとアカクラゲを用いて同様の実験を実施し、ミズクラゲはアカクラゲよりも PUFA 等の栄養価が低いにも関わらず、幼生の生残率は高い結果を得ている⁽⁶⁾。

なお、本項目は当該科研究費 (国際共同研究加速基金) の共同研究機関である台湾海洋大学において実施予定であった。そのため、最初の 2 年間は実験環境の構築とクラゲ類を用いたオオバウチワエビの幼生飼育の台湾での再現に取り組んだ。台湾南部の愛河で採集したミズクラゲ属の一種 (*Aurelia malayensis*) に由来するポリプからエフィラを得、アルテミアを与えて直径約 3 cm の小型クラゲまで成長させ、台湾北部の漁港で水揚げされたオオバウチワエビ抱卵個体から孵出した幼生の餌として用いた。幼生飼育は国立海洋科学技術博物館の潮境海洋研究センター (現・潮境智能海洋館) で実施し、孵化幼生から稚エビまでの一連の飼育を再現することに成功した。台湾において、孵化幼生から稚エビを得たことはイセエビ・セミエビ類のいずれの種においても初めての成果であり、地元のテレビや新聞などのメディアを通じて一般に周知された⁽⁷⁾。最終年度には栄養条件の異なるミズクラゲを作出して幼生に給餌し、幼生の生残および発育を評価する予定であったが、新型コロナウイルスの流行により台湾への渡航が制限され、渡航しての実験は叶わなかった。やむを得ず、予定していた実験の一部を国内で実施し、上記の成果を得た。

(6) Wakabayashi et al. (2016) *Aquaculture Nutrition*, 22, 25–33. (7) 林欣漢 (2019-7-17) 自由時報 (<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/2855360?fbclid=IwAR0r6fiNjQr0DVR-rqzqnABHR3PPN4vYeFZbsNJ1ubxxiiJzbeYOSxGwa4s>)

【2】幼生が有する走光性

$0.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の刺激光には、全ての幼生が時間帯や発育段階に関わらず、光源側へ移動する正の反応を示した。 $0.03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の刺激光に対しては、朝は有意な正の反応は見られなかったが、夕は有意な正の反応を示した。一方、 $0.006 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では、光源とは反対方向へ移動する負の反応を示す傾向があった。イセエビ幼生において、負または分散傾向の反応を示す光量下で飼育すると、成長と生残が向上したという報告がある⁽⁸⁾。本種幼生は $0.006 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光量下で負または分散傾向の反応を示すことから、この光量での飼育は本種幼生の飼育成績を向上させると期待される。

一日のうちの異なる時間帯で幼生の各光量に対する反応を調べた結果、 $0.03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光刺激に対しては日の出直後に負の走光性を、日中は正の走光性を示すことが分かった。このことは、同一の光刺激であっても、環境の明暗周期に応じて幼生の光に対する反応が変化することを意味する。

(8) 神保ほか (2018) *Nippon Suisan Gakkaishi*, 84, 361–368.

【3】飼育水槽に蓄積するアンモニア態窒素の影響

アンモニア態窒素の $\text{LC}_{50-96\text{h}}$ は、ウチワエビで 3.67 mg/L、オオバウチワエビで 6.83 mg/L であることが明らかになった。アンモニア態窒素は水中では非解離アンモニアとアンモニアイオンのいずれかの形で存在し、非解離アンモニアの毒性が特に高い。その割合は水温や pH などによって変化する。2 種の飼育最適水温、pH、およびアンモニア態窒素の $\text{LC}_{50-96\text{h}}$ に基づくと、

幼生の長期飼育において注意すべき非解離アンモニア濃度の上限は、ウチワエビでは 0.03 mg/L、オオバウチワエビでは 0.06 mg/L であると推定された⁽⁹⁾。

(9) Quan et al. (2021) *Aquaculture Research*, **52**, 5452–5461.

【4】幼生飼育における塩分

孵化幼生は塩分 22–34 において正常に脱皮し、2 齢に達した。この範囲の塩分では、2 齢到達までの平均日数や幼生の平均頭甲長に有意差は認められなかった。平均生存率にも有意差は検出されなかったが、塩分 22 では 4 回の試行のうち 2 回において幼生が 2 齢に至る前に全滅した。このことは、オオバウチワエビの孵化幼生は塩分が 22 まで下がると全滅するリスクが高いことを示している。すなわち、本種の孵化幼生は塩分 26 程度であれば、通常の海水(塩分 34)と同等に生存・発育できることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 ose Maria Landeira, Diego Deville, Effrosyni Fatira, Zhixin Zhang, Sven Thatje, Qiang Lin, Santiago Hernandez-Leon and Kaori Wakabayashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Diversification of cephalic shield shape and antenna in phyllosoma I of slipper and spiny lobsters (Decapoda: Achelata)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 1070296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2023.1070296	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Chiho Hidaka, Chien-Hui Yang and Kaori Wakabayashi	4. 巻 61
2. 論文標題 Finding the missing puzzle piece of the nisto stage in the larval cycle of the slipper lobster <i>Scyllarides squammosus</i> : a molecular and morphological approach.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Zoological Studies	6. 最初と最後の頁 73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6620/ZS.2022.61-73	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Quan Nguyen Hong, Suzuki Kenta, Nogata Yasuyuki, Wakabayashi Kaori	4. 巻 52
2. 論文標題 Impact of the acute ammonia toxicity on phyllosoma Stage I of a slipper lobster, <i>Ibacus novemdentatus</i> and its recoverability from the ammonia exposure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Aquaculture Research	6. 最初と最後の頁 5452 ~ 5461
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/are.15415	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Cheng Yu-Rong, Wakabayashi Kaori, Pan Yen-Ju	4. 巻 11
2. 論文標題 Choniomyzon taiwanensis n. sp. (Crustacea: Copepoda: Nicothoidae) Parasitic on the External Egg Mass of the Longlegged Spiny Lobster <i>Panulirus longipes longipes</i> (Crustacea: Decapoda: Palinuridae) from Taiwanese Waters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Animals	6. 最初と最後の頁 2475 ~ 2475
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ani11082475	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wakabayashi Kaori, Yang Chien-Hui, Chan Tin-Yam, Phillips Bruce F	4. 巻 -
2. 論文標題 The final phyllosoma, nisto, and first juvenile stages of the slipper lobster <i>Petrarctus brevicornis</i> (Holthuis, 1946) (Decapoda: Achelata: Scyllaridae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Crustacean Biology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jcbiol/ruaa013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wakabayashi Kaori, Tanaka Yuji, Phillips Bruce F.	4. 巻 -
2. 論文標題 Culture of Slipper Lobster Larvae (Decapoda: Achelata: Scyllaridae) Fed Jellyfish as Food	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lobsters: Biology, Fisheries and Aquaculture	6. 最初と最後の頁 519 ~ 540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-32-9094-5_11	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 羽田飛騎, 若林香織
2. 発表標題 オオバウチワエビ孵化幼生の脱皮、成長、生残に及ぼす低塩分の影響
3. 学会等名 第60回日本甲殻類学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上田 陸, 若林香織
2. 発表標題 オオバウチワエビ稚エビの潜砂行動
3. 学会等名 第60回日本甲殻類学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 グエン クアン ホン, 濱津芳弥, 内田博陽, 若林香織
2. 発表標題 Acute toxicity of ammonia to phyllosoma Stage I of a slipper lobster <i>Gaelearctus kitanoviriosus</i> (Harada, 1962)
3. 学会等名 第57回日本甲殻類学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木健太, 岩崎貞治, 若林香織
2. 発表標題 オオバウチワエビ初期幼生の成長に伴う走光性の変化
3. 学会等名 第57回日本甲殻類学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	陳 天任 (Chan Tin-Yam)	国立台湾海洋大学・海洋生物研究所・教授	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	江 國辰	国立海洋科学技術博物館・展示組・助教	現) 国立澎湖科技大学 助教
	(Jiang Guo-Chen)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中華民国（台湾）	国立台湾海洋大学			
中華民国（台湾）	國立海洋科技博物館			