

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15584

研究課題名（和文）温暖化と海洋酸性化が島嶼河川生態系に与える影響とリスク評価

研究課題名（英文）Impact and risk assessment of global warming and ocean acidification on island stream ecosystems

研究代表者

福森 啓晶（Fukumori, Hiroaki）

東北大学・生命科学研究科・助教

研究者番号：60746569

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：温暖化や海洋酸性化などの地球環境変動が生物に与える影響を把握することは、将来の生態系・環境リスクを評価する上で重要となる。本研究では、両側回遊をおこなう腹足類を対象に、フィールド調査、飼育実験および遺伝子解析などにより、地球環境変動への応答について検証を試みた。河川性アマオブネ科貝類について各地域における各種の分布情報の把握を進め、各種の分散能力を検討した。幼貝を含む国内外の種について、バーコーディング解析を進め、リファレンスデータを蓄積した。幼生飼育により、初期生活史における至適環境条件を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

両側回遊性貝類について、幼生分散、生物地理および種分類に関する情報を総括し、各種の自然史情報を蓄積した。本研究は両側回遊性無脊椎動物が卓越する熱帯・亜熱帯島嶼河川生態系における地球環境変動の影響を考慮する上で重要な基礎データとなり得る。また、日本の南西諸島を含む熱帯・亜熱帯島嶼河川生態系ではRDB掲載種を含め、希少種が多く存在し、各種の地球環境変動に対する応答を予測することは、将来的な同生態系の保全に貢献する知見を蓄積することに繋がる。

研究成果の概要（英文）：Understanding the effects of global environmental changes such as global warming and ocean acidification on aquatic organisms is crucial for assessing future ecological and environmental risks. In this study, I aimed to investigate potential responses of gastropods to global environmental changes, focusing on their amphidromous life cycles, through field surveys, rearing experiments, and molecular analysis. I examined the geographic distribution of amphidromous neritid species (Gastropoda: Neritimorpha) in Japan and other Indo-Pacific regions to estimate their potential dispersal abilities. DNA barcoding analysis of Indo-Pacific species, including juveniles, was conducted to compile reference data. Additionally, optimal environmental conditions during the early life history were investigated through larval rearing analysis.

研究分野：集団遺伝学・生態学

キーワード：両側回遊 腹足類 浮遊幼生 環境変動 生物地理

## 1. 研究開始当初の背景

過去から現在を通じた地球環境変動が生物に与える影響を把握することは、将来的な生態系・環境リスクを評価する上で重要な目標となる。産業変革以降、地球温暖化に起因する環境問題が生物多様性や生態系へ影響を与える事例が世界規模で顕在化した。大気 CO<sub>2</sub> 濃度の増加に追隨して、海洋では水塊中 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇が観測され、それに伴う pH 低下による海洋酸性化、特に炭酸カルシウムの殻・骨格を作るサンゴや貝類などの石灰化生物への負の影響が懸念されている (e.g. Anthony et al. 2008; Bednaršek et al. 2014)。海中では、淡水域と比較し、一般的に石灰化生物は炭酸カルシウムを産生しやすいが、海洋酸性化は石灰化生物骨格形成を阻害する可能性が知られている。また、海洋生物の多くはその初期生活史に浮遊幼生期を持つが、石灰化生物の幼生では、酸性化による成長・着底阻害のため幼生生存率が減少し、各種の集団維持機構への影響が予測される (e.g. Watson et al. 2009; Onitsuka et al. 2017)。さらに、温暖化に伴う海水温上昇は、生物の極方向への地理的分布域の拡大を促し、極域を含む世界中で、種多様性の動態や群集組成の変化が表在化している。国内でも、主に黒潮流域である太平洋沿岸域等でサンゴ礁生態系の生物など南方系種の分布北上が数多く報告されている。

河川に生息する動物には、その一生の一部を淡水域のみではなく海洋で過ごす通し回遊をおこなう種が存在する。そのうち、淡水域で親が産卵し、生まれた幼生が海へ下り、数ヶ月かけ成長したのち、河口付近で着底して川を遡る、という生活環は「両側回遊」と呼ばれ、魚類・甲殻類・貝類などで知られる。幼生期に海洋で成長することから、両側回遊動物にも海洋酸性化の影響があることが予測されるが、これまで研究された例がほとんどなく、環境変動に対する応答は多くの分類群でよくわかっていない。また、両側回遊種の多くはインド・西太平洋の熱帯・亜熱帯島嶼域(日本では南西諸島周辺域)で卓越するが、南方系海産種と同様に、一部の種では近年、分布域の北上が確認されている。一方、成体の生息環境である島嶼河川における水温の上昇が極方向への各種の分布域拡大や各地の群集構造などにどの程度影響を与えるかはよくわかっていない。

## 2. 研究の目的

沿岸性底生生物の多くは、その初期生活史に浮遊幼生期を持つ。そのため、石灰化生物の幼生は酸性化による成長・着底阻害のため生存率が減少する可能性があり、各種の集団維持機構への影響が予測される。サンゴやウニ等の海産石灰化動物では、海洋酸性化・地球温暖化への応答について、これまで比較的多くの研究がなされてきた。一方、海洋で生活環の一部を過ごす通し回遊をおこなう河川性無脊椎動物への影響については、ほとんど知られていない。本研究では、これまで地球環境変動に対する挙動研究の少ない通し回遊性無脊椎動物が温暖化や海洋酸性化などにどのように応答するのかを予測するため、炭酸カルシウムの殻をもつ点で優れた研究材料である河川性アマオブネ科貝類(図1)を対象に検討し、両側回遊動物回遊動物の卓越する島嶼河川生態系における将来的な環境・生態的リスクを評価することを目的とする。

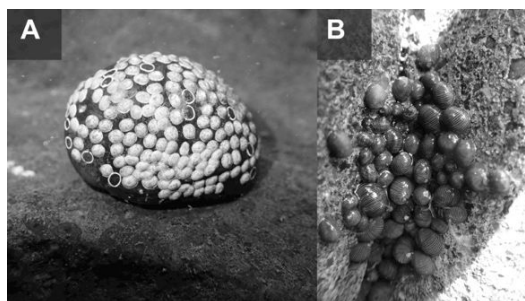


図 1. (A) 河川性アマオブネ類;  
(B) 島嶼河川における個体群の状況

## 3. 研究の方法

本課題では、河川性アマオブネ科腹足類を対象に環境変動への応答を探るため、生態・生物地理・分子生物学的手法などに基づく複合的アプローチから研究を行なった。具体的には以下の方法を用いて研究を進めた。

(1) 温暖化に伴う河川性アマオブネ科腹足類の分布域拡大を推定するために、亜熱帯・温帯域を含む各地の淡水・汽水河川環境で死滅回遊を含む各種の出現状況を把握した。また、本邦黒潮圏での南方系種の死滅回遊についても分布情報を集積した。

(2) 海洋酸性化などの環境変動が与える影響を把握するため、分子生物学的手法を用いて集団遺伝学・メタバーコーディング的解析を用いて検討を行なった。これにより、実際に河川性アマオブネ類の浮遊幼生が海洋に出ているのかの推定を試みた。

(3) 各種の初期生活史における至適環境を検討するために幼生飼育などを行なった。着底直後の稚貝についても生活史情報を集積した。

## 4. 研究成果

### (1) 各種の分布情報の把握

太平洋の熱帯・亜熱帯島嶼河川では、両側回遊動物の種数・生物量が大きく、同生態系の主要な構成要素となっている。生活環の中で海洋浮遊幼生期をもつ分散能力の高い海産無脊椎動物の場合、温暖化に伴い比較的多くの分類群で南方系種の分布が極域方向に拡大する傾向があることが指摘されている。そこで、日本を含む西太平洋域において採集された回遊性巻貝類について種同定を行い、熱帯・亜熱帯・温帯各地域における各種の分布情報の把握を進めた。種同定には、殻・蓋の形態情報およびミトコンドリア・核 DNA の部分塩基配列を用いた。その結果、日本では特に黒潮流域である九州以北の太平洋沿岸において、夏季～秋季に加入し冬季に死亡する死滅回遊と推定される幼貝（図2）が複数種で確認された。幼貝の種同定には COI 遺伝子を用い、蓄積したリファレンスデータと比較した。一方、殻のサイズ・成長線の有無により、少なくとも数年以上は経過した成体が一部の種で確認され、分布を北に拡大している種がいることが推定された。また、通年温水が流入している河川では亜熱帯域に近い数の種が分布することが判明した。各地域の種数分布を確認し、緯度的に比較したところ、北に行くほど種数が減少していることが判明し、少なくとも河川性アマオブネ類において南方系種の分布には、河川水温（特に冬期）と南方からの黒潮海流が重要な規定要因として影響することが推定された。今後、気温の上昇が続けば、南方からの幼生加入により各種の分布は北上することが予想され、温帯域の河川生態系に影響を与える可能性が示唆される。

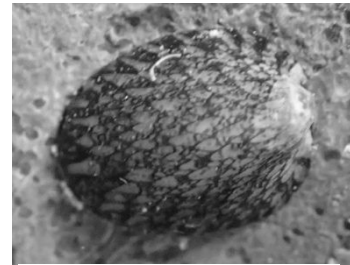


図2. 九州以北で確認される南方種の幼貝.

### (2) 海洋における幼生分散の推定

河川性アマオブネ類は、多くの種が浮遊幼生期をもつ（図3）ことが知られているが、各地域の個体群におけるコネクティビティを明らかにされた種は少ない。そこで、ミトコンドリア・核の遺伝子マーカーを用いて各地域個体群の遺伝的差異を検討した。その結果、多くの種で千キロ以上の範囲において遺伝子相互流動のあるメタ個体群構造の存在が示唆された。また、いくつかの種では遠く離れた2点間（数千キロ以上）の個体群間でハプロタイプの共有が見られた。また、小笠原諸島や八重山諸島を含め、日本産の多くの種で国内地域集団間での地理的変異は確認されなかった。また、海洋でサンプリングした浮遊生物標本をメタバーコーディング解析したところ、河川性アマオブネ類と思われる配列が発見された。これは、海洋における両側回遊種の存在を直接的に示す結果となる。以上の結果から、河川性アマオブネ類の多くが初期発生時に温暖化や酸性化などに伴う海洋環境変動の影響を受けると考えられる。

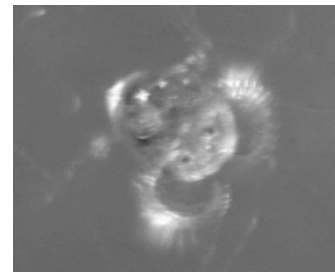


図3. 孵化直後の浮遊幼生

### (3) 各種の初期生活史における至適環境の推定

河川性アマオブネ類の初期生活史については、成体の殻や蓋に残る幼生殻・蓋の形態により浮遊幼生を持つか推定することができる（Kano 2006）。一方、孵化幼生を直接観察された種は比較的少なく、幼生時の行動や至適環境などについてはわかっていない種が多い。そこで、各種の卵囊から浮遊幼生（図3）が孵化するのを確認するため、飼育実験による検討を行なった。各種幼生は、至適塩濃度・水温に違いがあるものの淡水環境では長期生存することはできなかった。このことから、成体が河川に生息しているにもかかわらず、多くの種が海水環境または海水の流入する汽水環境で初期生活史を過ごすことが推定された。また、着底直後の稚貝において、着底後数日であっても、海水と比較して一般的に酸性の強い河川環境ではアラゴナイトでできた幼生殻表面の溶解が比較的早く進む可能性があることが推測された。幼生の殻は酸性化に繊細に反応するかもしれないことがわかった。

以上の結果より、海洋生物のみならず、成体が陸水域に生息する両側回遊性無脊椎動物にも温暖化や海洋酸性化などの環境変動が影響を与える可能性があることが推定された。研究期間内に得られた主な成果については今後、国際誌などへの論文投稿や学会発表を行う予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kato Shintaro, Itoh Hajime, Fukumori Hiroaki, Nakajima Nobuyoshi, Kanaya Gen, Kojima Shigeaki	4. 巻 7
2. 論文標題 The mitochondrial genome of the threatened tideland snail <i>Pirenella pupiformis</i> (Mollusca: Caenogastropoda: Potamididae) determined by shotgun sequencing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 632 ~ 634
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2022.2060143	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 -

1. 著者名 Fukumori Hiroaki, Itoh Hajime, Nakajima Nobuyoshi, Kano Yasunori	4. 巻 5
2. 論文標題 The mitochondrial genome and phylogenetic position of a marine snail <i>Nerita</i> ( <i>Heminerita</i> ) <i>japonica</i> (Gastropoda: Neritimorpha: Neritidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 3579 ~ 3581
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2020.1829136	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 -

〔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 福森啓晶、高野剛史、山崎大志、齊藤 匠、寺本沙也加、狩野泰則
2. 発表標題 南西諸島における潮上帯性巻貝コンペイトウの遺伝的多様性と分化
3. 学会等名 日本貝類学会令和4年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福森啓晶
2. 発表標題 両側回遊性貝類の幼生分散と進化
3. 学会等名 2021年度日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会 自由集会 分野横断で挑む海洋幼生生態学 (オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福森啓晶
2. 発表標題 川と海を旅する両側回遊性アマオブネ科貝類の進化と種多様性
3. 学会等名 第60回瀬戸海洋生物学セミナー（オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福森啓晶・伊藤 萌・狩野泰則
2. 発表標題 アマガイの系統地理：氷期 - 間氷期サイクルと黒潮の影響
3. 学会等名 日本貝類学会令和2年度大会
4. 発表年 2020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

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		
フランス	Museum national d'Histoire naturelle		