

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00578

研究課題名(和文) 温暖化が変温動物の生活史に及ぼす影響評価：両側回遊型淡水産コエビ類をモデルとして

研究課題名(英文) Evaluation of global warming impact on life history traits of amphidromous atyid shrimps

研究代表者

濱崎 活幸 (Hamasaki, Katsuyuki)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：90377078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：水温上昇によって、親エビのふ化成功率が低下する種がみられた。幼生の生残と発育に必要な餌料環境、および適正な塩分と水温環境には種間差があった。低塩分で植物プランクトンが豊富な内湾的環境に適応した種から、高水温・高塩分の夏季外洋環境に適応した種まで認められ、幼生の環境適応は海洋における分散能力を規定していた。今後、温暖化による水温上昇によって幼生期の分散範囲が変化し、個体群の絶滅機会が増える種の存在が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヌマエビ類の繁殖条件、およびヌマエビ類とオニヌマエビ類幼生の適正飼育条件を解明した。また、両側回遊型ヌマエビと陸封型ヌカエビ幼生の環境適応を比較し、ヌカエビ幼生の貧栄養環境への適応を明らかにした。これは、両側回遊型から陸封型コエビ類への適応進化に関する仮説を支持する初めての実データである。また、本研究の成果によって観賞用のコエビ類の人工繁殖が可能になり、野外個体群の保全に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：Successful hatching rate decreased at high temperature conditions in a certain atyid shrimp species. Interspecific variations were found in appropriate foods, salinity and temperature conditions for larval survival and development in atyid shrimps. Some species adapted to low temperature and phytoplankton-rich conditions occurring in inner bays, whereas other species adapted to high temperature and salinity conditions occurring in summer open seas. Larval environmental adaptations may affect the larval dispersal ability in the sea; thus, increasing seawater temperature depending on the global warming may affect the larval dispersal range of atyid shrimps in the sea, resulting in increasing the extension risk of the populations.

研究分野：資源保全学

キーワード：環境影響評価 生物多様性 資源保全 個体群生態 群集生態 初期生活史

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

温暖化環境下で生物多様性がどのように変わるのかを具体的に理解するためには、温度上昇が生物の繁殖や生存に及ぼす影響を事前に予測・評価することが重要である。

ヌマエビ類などの淡水産コエビ類の雌は産卵後に腹部の腹肢に卵を付着させ、ふ化まで保護する。幼生は河川(淡水)でふ化し、流下して河口汽水域から海洋で発育する。その後、稚エビまで発育すると河川を遡上し、淡水生活へ移行する。このような生活史を“両側回遊型”とよぶ。

淡水産コエビ類の幼生の発育には塩分を必要とするが、その発育に適した塩分は種によって異なり、低塩分を好む種は河口汽水域にとどまる一方、高塩分を好む種は外海に出で遠くまで分散することが予想される。また、甲殻類幼生の発育期間は高水温ほど短くなり、好適な発育塩分は水温によって変動する。したがって、温暖化によって幼生期の発育期間が短くなるとともに、好適塩分が変化することによって、幼生の分散範囲が変わり、種の分布に大きな影響を及ぼす可能性がある。また、温暖化に対する陸水と海洋の反応は異なり、前者の応答が速いことから、温暖化が進むと、河川に生息する親エビの繁殖時期が早まり、幼生の発育適期とミスマッチが生じる可能性もある。

このような温暖化が両側回遊型淡水産コエビ類の生活史に及ぼす影響を評価するには、親エビの繁殖に及ぼす水温の影響並びに幼生の生存と発育に及ぼす水温と塩分の複合影響に関する情報が必須であるが、これまでそのような研究は行われていない。

2. 研究の目的

本研究では、温暖化が両側回遊型淡水産コエビ類の生活史に及ぼす影響を予測・評価する基礎として、(1)野外個体群の動態と群集構造、(2)幼生の生存と発育に及ぼす水温と塩分の複合的影響、および(3)親エビの繁殖に及ぼす水温の影響を明らかにするとともに、(4)比較系統地理学的手法と飼育実験によって幼生の分散能力を評価することを目的とした。そのために、両側回遊型のヒメヌマエビ属(ミゾレヌマエビ、ヤマトヌマエビ、サキシマヌマエビ、ヒメヌマエビ、トゲナシヌマエビ)、両側回遊型のヌマエビ属(ヌマエビ)、対照として陸封型のヌマエビ属(ヌカエビ)並びに両側回遊型のオニヌマエビ属(オニヌマエビ、アジアロックシュリンプ)と両側回遊型のミナミオニヌマエビ属(ミナミオニヌマエビ)の淡水産コエビ類を対象とした。

3. 研究の方法

(1) 野外個体群の動態と群集構造に関する調査

房総半島の小河川(坂田川)において、河口域から上流に向かって750m地点の間に6定点を設け、2017年5月から2019年8月にかけて毎月ヌマエビ類を採集し、種と雌雄を判別するとともに、頭胸甲長の測定と抱卵の確認を行った。

(2) 幼生の生存と発育に及ぼす水温と塩分の複合影響に関する実験的検討

1) 幼生の適正飼育餌料

幼生の適正飼育餌料を明らかにするために、ヌマエビ類6種(ミゾレヌマエビ、ヤマトヌマエビ、ヒメヌマエビ、トゲナシヌマエビ、ヌマエビ、ヌカエビ)およびオニヌマエビを用いた。各種の幼生を培養した植物プランクトン(テトラセルミス)、市販の濃縮冷蔵したテトラセルミス、培養した動物プランクトン(ワムシ)およびそれらを組み合わせた餌料条件で飼育し、生残と成長を調べた。また、ヌマエビ類よりも大型であるオニヌマエビ幼生に対しては、大型の動物プランクトン(アルテミア)の給餌効果も調べた。幼生は6穴組織培養プレートに個別収容し、飼育した。

2) 幼生の飢餓耐性に及ぼす水温と塩分の影響

ヌマエビ類7種(ミゾレヌマエビ、ヤマトヌマエビ、サキシマヌマエビ、ヒメヌマエビ、トゲナシヌマエビ、ヌマエビ、ヌカエビ)のふ化幼生を水温5段階(20、23、26、29、32°C)と塩分5段階(0、8.5、17、25.5、34 ppt)を組み合わせた25条件下で無給餌飼育し、死亡までの日数を比較した。

3) 幼生の生残と発育に及ぼす水温と塩分の影響

ヌマエビ類5種(ミゾレヌマエビ、ヤマトヌマエビ、トゲナシヌマエビ、ヌマエビ、ヌカエビ)の幼生を水温5段階(20、23、26、29、32°C)と塩分5段階(4.25、8.5、17、25.5、34 ppt)を組み合わせた25条件下、ヒメヌマエビの幼生、オニヌマエビ類2種(オニヌマエビ、アジアロックシュリンプ)およびミナミオニヌマエビの幼生を水温4段階(20、23、26、29°C)と塩分4段階(8.5、17、25.5、34 ppt)を組み合わせた16条件下で飼育し、生残と発育を調べた。幼生の飼育には、1)で明らかにした適正餌料を用いた。

(3) 親エビの繁殖に及ぼす水温の影響に関する実験的検討

親エビをまとめて入手できたヤマトヌマエビとトゲナシヌマエビを対象に、雌雄を水温20、

23、26 で飼育し、産卵とふ化状況を調べ、ふ化幼生を計数してその体サイズを測定した。

(4) 比較系統地理学的手法と飼育実験による幼生の分散能力の評価

ヒメヌマエビを石垣島、伊豆半島、房総半島から採取し、ミトコンドリア DNA の CO1 領域の塩基配列に基づき、遺伝的集団構造を解析した。その結果に加え、既報^{1,2)}のミゾレヌマエビ、ヤマトヌマエビ、トゲナシヌマエビおよびヌマエビの遺伝的集団構造に関する情報と本研究の幼生の生残と発育に及ぼす水温と塩分の複合的影響に関する結果から、各種の海洋における幼生の分散能力を比較評価した。

4. 研究成果

(1) 野外個体群の動態と群集構造に関する調査

5種のヌマエビ類(ミゾレヌマエビ、ヤマトヌマエビ、ヒメヌマエビ、トゲナシヌマエビ、ヌマエビ)が捕獲された。ヌマエビは全定点で捕獲され、ミゾレヌマエビとヒメヌマエビは下流部の定点で、ヤマトヌマエビは上流部の限られた定点に分布していた。トゲナシヌマエビは全定点で捕獲されたが、捕獲時期は4月から11月と限られていた。また抱卵雌が捕獲される期間も他種と比べ短いことから、南方から加入した個体が成長しているが、繁殖には水温が低く適していないものと推察された。今後、温暖化の進行に伴いトゲナシヌマエビが坂田川で増加することが予想され、温暖化の指標種になる可能性が示唆された。

(2) 幼生の生存と発育に及ぼす水温と塩分の複合的影響に関する実験的検討

1) 幼生の適正飼育餌料

ヒメヌマエビ幼生は水面にトラップされて死亡することが多く、着底までほとんど飼育することができなかった。他種では着底まで飼育することが可能で、生残率と成長は培養テトラセルミスとワムシを併用給餌した場合に大幅に改善された。また、幼生の餌料要求に種間差がみられ、ミゾレヌマエビは培養テトラセルミスのみでの給餌で高い生残率を示した。陸封型のヌカエビ幼生は、両側回遊型の種に比較し、貧栄養環境に適応しているものと推察された。オニヌマエビ幼生では、アルテミアを併用給餌することで生残率と成長が大幅に改善された。

2) 幼生の飢餓耐性に及ぼす水温と塩分の影響

無給餌下の生残日数は、ヤマトヌマエビ、ヒメヌマエビ、ヌカエビで長かった。陸封型のヌカエビでは4齢まで脱皮する個体が確認されたが、ヤマトヌマエビ、サキシマヌマエビにおいても高塩分・高水温にて2齢への脱皮が確認された。生残日数から判断すると、ヤマトヌマエビは広範囲の塩分に、サキシマヌマエビ、ヒメヌマエビ、トゲナシヌマエビは高塩分に、ミゾレヌマエビは中～低塩分に、ヌマエビは低塩分に適応しているものと推察された。また、陸封型のヌカエビでは淡水よりも低塩分で生残日数が長かったことから、淡水への完全適応の途上にあるものと推察された。

3) 幼生の生残と発育に及ぼす水温と塩分の影響

稚エビまでの生残率は、ヤマトヌマエビでは広い塩分範囲(17~34 ppt)で、ミゾレヌマエビでは他種と比較すると低塩分側(8.5~25.5‰)で高く、トゲナシヌマエビはヤマトヌマエビに近い塩分応答を示した。ミゾレヌマエビ幼生の塩分応答は水温によって大差なかったが、ヤマトヌマエビ幼生では、34 pptでの生残率は20~23で低く26~29では他の塩分区と同等の高い値を示した。トゲナシヌマエビ幼生では、34 pptでの生残率は29で低くなる傾向がみられた。

ヒメヌマエビ幼生は、ピーカーを用いた集団飼育によって、稚エビまで飼育可能であり、生残率は20°Cの25.5 pptと34 pptおよび23°Cの25.5 pptで高い値を示した。

ヌマエビでは8.5 ppt以上、ヌカエビでは4.25~25.5 pptにおいて稚エビが出現した。陸封型のヌカエビ幼生は広い温度適応を示したが、ヌマエビ幼生の生残率は20で最も高く、水温の上昇に伴い直線的に減少し、減少率は高塩分側で高かった。

オニヌマエビは水温24~32°C、塩分17~34 pptで稚エビが得られ、広範囲の水温・塩分に適応していた。アジアロックシュリンプは水温24~32°C、塩分17~25.5 pptで稚エビが得られた。34 pptでは飼育開始後すぐに死亡し、8.5 pptでは多少の発育がみられたことから、オニヌマエビと比較して低塩分に適応しているものと推察された。ミナミオニヌマエビは全体的に生残が悪く稚エビは得られなかったものの、28~32°C、塩分25.5~34 pptでゾエア後期まで成長する個体がみられたことから、ミナミオニヌマエビは高水温かつ高塩分の環境に適応しているものと推察された。

(3) 親エビの繁殖に及ぼす水温の影響に関する実験的検討

両種とも産卵率は水温によって大差はみられなかったが、ヤマトヌマエビでは高水温において脱卵する個体が多く、ふ化成功率が低かった。ふ化ゾエアの総数は、ヤマトヌマエビでは水温が高くなるに伴い減少した。温暖化による水温上昇によって、ヤマトヌマエビではふ化率の低下により個体群の縮小につながる可能性があり、野外調査の結果を合わせて評価すると、トゲナシヌマエビでは繁殖時期が長くなるとともに、生息域が北方へと拡大する可能性が示唆された。

(4) 比較系統地理学的手法と飼育実験による幼生の分散能力の評価

ヒメヌマエビの房総半島29個体、伊豆半島20個体、石垣島11個体の計60個体のCO1領域

の塩基配列(552bp)を用い、集団遺伝解析を行った。その結果、31のハプロタイプが検出され、ハプロタイプ3は全ての集団で検出された。ハプロタイプ1、2、5、6は房総半島と伊豆半島の集団で検出され、ハプロタイプ26は伊豆半島と石垣島の集団で検出された。産地ごとのハプロタイプ頻度の差の検定では、房総半島と石垣島では有意差があり、房総半島と伊豆半島および、伊豆半島と石垣島では有意差はなかったことから、緩い集団構造が認められた。琉球列島から西日本にかけて採取されたサンプルに基づいた既往のヌマエビ類の遺伝的集団構造に関する知見によれば、ヤマトヌマエビとトゲナシヌマエビでは集団構造は認められず、ミゾレヌマエビでは西日本から琉球列島にかけて分布するグループと琉球列島に分布が限定されるグループが検出され、ハプロタイプネットワークと集団の大きさを考慮すると、幼生の分散による遺伝子交流は、ヤマトヌマエビ>トゲナシヌマエビ>ミゾレヌマエビの順に大きいものと考えられている¹⁾。本研究による各種幼生の餌料要求、水温と塩分応答から判断すると、ミゾレヌマエビ幼生は低塩分で植物プランクトンが豊富な内湾的な環境を好み、ヤマトヌマエビは外洋的な高塩分環境下で高い生残能力を示し、トゲナシヌマエビはそれらの中間的な環境に適応しているものと考えられ、比較系統地理学的研究で推察された幼生の分散範囲とよく一致した。また、ヒメヌマエビは中塩分から高塩分に適応しているものと推察されるが、高水温での生残率が低いことから、夏季の高水温が幼生の分散を制限し、石垣島と房総半島の遺伝的交流を妨げているのかもしれない。ヌマエビでも同様に、幼生が低水温・低塩分に適応していることが、琉球列島と西日本の遺伝的分化²⁾に関連しているものと考えられる。オニヌマエビ、アジアロックシュリンプ、ミナミオニヌマエビでは遺伝的集団構造は調べられていないが、幼生が広範囲の水温・塩分に適応していたオニヌマエビ、高水温・高塩分に適応したミナミオニヌマエビでは、その分散範囲は広く遺伝的集団構造は認められないが、幼生が高塩分の外洋環境で発育できないアジアロックシュリンプでは、その分散範囲は狭く、遺伝的集団構造が認められることが予想される。

今後、温暖化の進行に伴い夏季に表層水温が30℃を超える海域が拡大する場合、ヤマトヌマエビ、オニヌマエビ、ミナミオニヌマエビでは分布を拡大する機会が増えるが、他のヌマエビ類では幼生の生残率は、特に高塩分環境下で低下することから、分散が制限され、絶滅する機会が増える可能性が考えられる。

<引用文献>

1) Fujita, J., Zenimoto, K., Iguchi, A., Kai, Y., Ueno, M., Yamashita, Y. (2016) Comparative phylogeography to test for predictions of marine larval dispersal in three amphidromous shrimps. *Marine Ecology Progress Series*, 560, 105–120.

2) 池田 実 (1999) 遺伝学的にみたヌマエビの「種」. *海洋と生物*, 123, 299-307

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Katsuyuki Hamasaki, Sota Nishimoto, Masakazu Okada, Asahi Kimura, Kosei Otsubo, and Shigeki Dan	4. 巻 49
2. 論文標題 Dietary effects of phytoplankton and zooplankton on larval survival, duration and growth of four Caridina species (Decapoda: Caridea: Atyidae) under laboratory conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crustacean Research	6. 最初と最後の頁 225-236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18353/crustacea.49.0_225	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 Katsuyuki Hamasaki, Masakazu Okada, Sota Nishimoto, and Shigeki Dan	4. 巻 59
2. 論文標題 Larval performance of amphidromous and landlocked atyid shrimp species in the genus Paratya under different feeding conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Zoological Studies	6. 最初と最後の頁 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6620/ZS.2020.59-70	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 Shuji Kondo, Katsuyuki Hamasaki, and Shigeki Dan	4. 巻 50
2. 論文標題 Larval performance of three amphidromous shrimp species in the genus Caridina (Decapoda: Caridea: Atyidae) under different temperature and salinity conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crustacean Research	6. 最初と最後の頁 41-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18353/crustacea.50.0_41	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11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 近藤 柊至・浜崎 活幸・團 重樹・北田 修一
2. 発表標題 ヌマエビ科幼生の生残と発育に及ぼす水温と塩分の影響
3. 学会等名 日本甲殻類学会第57回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本多 聡・浜崎活幸・團 重樹・北田修一
2. 発表標題 ヒメヌマエビ幼生の生残と発育に及ぼす水温と塩分の影響
3. 学会等名 日本甲殻類学会第57回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西本壮汰・浜崎活幸・團 重樹・北田修一
2. 発表標題 ヌマエビ科幼生飼育における適正な餌料系列
3. 学会等名 日本甲殻類学会第57回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中元貴・浜崎活幸・團 重樹・北田修一
2. 発表標題 オニヌマエビ幼生飼育における適正な餌料系列
3. 学会等名 日本甲殻類学会第57回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上陽平・浜崎活幸・團 重樹・北田修一
2. 発表標題 ヌマエビ科幼生の飢餓耐性に及ぼす水温と塩分の影響
3. 学会等名 日本甲殻類学会第57回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中本義大・浜崎活幸・團 重樹・北田修一
2. 発表標題 ヤマトヌマエビの産卵とふ化に及ぼす水温の影響
3. 学会等名 日本甲殻類学会第57回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宗形恵汰・浜崎活幸・團 重樹・北田修一
2. 発表標題 千葉県坂田川における両側回遊性ヌマエビ類の個体群動態
3. 学会等名 日本甲殻類学会第57回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 171. 山田涼太・浜崎活幸・團 重樹・北田修一
2. 発表標題 千葉県坂田川における両側回遊性淡水エビ類の個体群動態
3. 学会等名 日本甲殻類学会第56回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 173. 小原 遼・浜崎活幸・團 重樹・北田修一
2. 発表標題 ヤマトヌマエビの繁殖に及ぼす水温の影響
3. 学会等名 日本甲殻類学会第56回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田真和・大坪考成・木村朝陽・濱崎活幸
2. 発表標題 ヌマエビ類幼生の生残と発育に及ぼす餌料の影響
3. 学会等名 日本甲殻類学会第55回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本怜・濱崎活幸
2. 発表標題 両側回避性淡水エビ類幼生の生残に及ぼす水温と塩分の影響:無給餌条件下における検討
3. 学会等名 日本甲殻類学会第55回大会
4. 発表年 2017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