

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19580214
 研究課題名(和文) 黒潮に乗って分散する両側回遊魚の生活史戦略と地球温暖化に伴う分布の北上
 研究課題名(英文) Strategies in the life history of amphidromous fishes dispersed with the Kuroshio Current and distributed north by global warming.
 研究代表者
 立原 一憲 (TACHIYAMA KATSUNORI)
 琉球大学・理学部・准教授
 研究者番号：70264471

研究成果の概要(和文)：琉球列島における両側回遊型魚類の生活史を解析した結果、その生活史は大きく非分散型と分散型に区分され、後者には地球の温暖化に伴う冬期の水温上昇により、分布を北上させている種がいることが明らかとなった。また従来、仔魚の分散のみが確認されていた種の一部には、沖縄島で越冬し、成長・産卵しているものが確認された。さらに、これまで個体数の少ない希少種であったものの中には、出現頻度が増加しつつある種がいることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：An analysis of the life histories of amphidromous fishes in Ryukyu Islands revealed that their life history strategies were roughly divided into two types. The first was an undispersed type and the second was a dispersed type. Some of the dispersed type fishes were found moving north of their distribution area and were located near Okinawa Island during the winter. This phenomenon was thought to be mainly caused by the increase in water temperature during winter as a result of global warming.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：琉球列島 両側回遊魚 地球温暖化 分布北上 黒潮

1. 研究開始当初の背景

琉球列島の河川には多種多様な淡水魚、特に河川と海を行き来するいわゆる”通し回遊魚”が生息している。琉球列島の通し回遊魚の中でも最も多様性に富むのが、両側回遊魚である。彼らは生活史の中で海と河川を行き来するため、いずれの環境が変化しても個体

群の維持に大きな影響を受ける。これらの中には環境省のレッドデータブックに掲載されている希少種も多い。しかし、琉球列島に生息している両側回遊魚、とりわけ希少種の生活史に関する情報は、きわめて散発的であり、正確な分布や個体群サイズに関する知見さえもないものが多い。

さらに近年、地球温暖化に伴い、従来は分

布していなかった南方系の種が次々と琉球列島に来遊している。これら琉球列島の両側回遊魚の島ごとの分布や個々の種の生活史の解明は、この地域の淡水魚の保全に必要不可欠な緊急の問題である。

2. 研究の目的

仔魚期に黒潮に乗って分散する両側回遊魚の生活史の解明には、少なくとも琉球列島全体を視野に入れた現在と過去の分布の変遷や仔魚の浮遊期間および分散能力に関する研究が必要である。ここでは、琉球列島の両側回遊魚の分布と種ごとの生活史と分散戦略を調べ、地球温暖化に伴う分布の変化を明らかにすることを目的とし、以下の3項目について解析した。

(1) 黒潮源流域に近い西表島浦内川における仔稚魚の分布様式：我が国の黒潮源流域の近くに位置し、かつ琉球列島で最も大きな河川の一つである西表島の浦内川から流下する仔稚魚が、河川の汽水域に留まることができるのか否かを明らかにする。

(2) 過去約10年間における沖縄島を中心とする琉球列島の両側回遊魚の分布の変遷：過去約10年間に新たに確認された魚種、あるいはこの期間に増加傾向にある魚種を明らかにする。

(3) 両側回遊魚の仔稚魚の流下時の行動と分散能力の推定：孵化仔魚の行動様式を詳細に解析し、孵化仔魚の行動や遊泳能力が浮遊期の分散に与える影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 黒潮源流域に近い西表島浦内川における仔稚魚の分布様式

2008年5、9月と2009年1、10月に西表島の浦内川とその河口部に5定点を設け、河川内は丸稚ネット（口径1.3mm、目合5mm、0.335mm）、河口部は碎波帯ネット（1x4m、目合0.8mm）を用いて仔稚魚を採集した。採集物は、直ちに5%海水ホルマリンで固定後、70%エタノールで保存した。採集物は、可能な限り下位の分類群まで同定し、種あるいはタイプごとの個体数とサイズを定点ごとに記録した。

(2) 過去約10年間における沖縄島を中心とする琉球列島の両側回遊魚の分布の変遷

2007～2009年に沖縄島の河川で魚類を採集・潜水観察し、先行研究として1994～2000年に沖縄島の河川で確認した魚類20目55科121属180種と比較した。さらに2001年以降に屋久島から与那国島に至る琉球列島の各島嶼から記録された新分布の両側回遊型魚類を記録した。これらを合わせて、新たに確

認された魚種および個体数が増加しつつある魚種の特徴とその動態を考察した。

(3) 両側回遊魚の仔稚魚の流下時の行動と分散能力の推定

多くの海産魚類、両側回遊性魚類は、孵化後海域で浮遊生活を送ったのち、再び各々の生息環境へ加入する。特に、ハゼ亜目魚類には、加入後、底生生活を送る種が多く、浮遊期が遠隔地へ分散する唯一の機会であると考えられる。分散範囲は、種によって異なり、その要因として仔魚の体長、浮遊期間、生息環境などが挙げられている。さらに、仔魚の形態や行動、遊泳能力も分散に大きな影響を与えると予想される。ここでは、野外で雄が保護している卵塊（チチブモドキ、イズミハゼ、クモハゼ、ヒナハゼ、ミナミアシシロハゼ、ミナミヒメミミズハゼ、シマヨシノボリ）を採集し、孵化後、飼育した仔魚の遊泳能力、照度別の走光性、遊泳層を解析した。

【仔魚の走光性】異なる塩分、光条件下における仔魚の走光性を調べるため、厚さ2mmのアクリル樹脂板を用いて幅40cmの横長の実験水槽を作成し、水槽の片側に仔魚を8または10個体入れた。仔魚を入れた方の半分に黒い箱をかぶせた後、10分後に反対側へ移動した個体数を計数した。実験では、塩分を0または5ppt、18ppt、35pptの3つの条件下で、水槽水面の照度を約10,000、1,000、500、100、10、0luxに調節して行った。また、片方を暗条件にしない状態で約10,000luxの条件下でも同様の実験を行った。

【仔魚の分布層】異なる塩分、光条件下において仔魚が分布する水深を調べるため、高さ約30cmの縦長の実験水槽を作成し、この水槽に仔魚を8または10個体収容したのち、10分後に仔魚がいる水深を記録した。塩分および照度は、走光性の実験と同じ条件で行った。

【遊泳能力の測定】仔魚の遊泳能力を調べるため、20×5×3.6～4cmの遊泳区間に均一の水を作った。この遊泳区間に約0.2cm/sの流れを作り、仔魚を入れ、1分間慣らしてから約2分間遊泳させた。泳ぎ切った場合、流速を少しずつ速くしていった。仔魚が泳ぐことができず網に張りついたところで、その流速で泳いでいた時間を記録し、実験を終了した。仔魚の遊泳速度の算出には、Brett

(1964)の臨界遊泳速度(critical swimming speed: U_{crit})を用いた。 U_{crit} は、以下の式より算出した。 U_{crit} = 仔魚が泳ぎ切れなかった流速の1つ前の流速(cm/s) + 最後の流速で仔魚が泳いでいた時間(s) / 各流速で仔魚を泳がせる時間 × 流速の平均増加量。遊泳区間には仔魚を1個体ずつ入れ、同じ日齢で5または8個体の U_{crit} を算出した。

4. 研究成果

(1) 黒潮源流域に近い西表島浦内川における仔魚の分布様式

浦内川の軍艦岩から河口周辺にわたる汽水水域で採集された仔稚魚は、2008年5月：17タイプ（種を含む）、2008年9月：22タイプ、2009年1月：5タイプ、2009年10月：7タイプであった。これらの中には、ニラミハゼ属の1種やヒモハゼ属の1種のように、浦内川とその近傍の汽水水域で、脊索末端上屈前の仔魚から着底直前の浮遊稚魚にいたる様々な発育段階の仔稚魚が採集され、この一連の水域で生活環を完結していると考えられる種が見つかった。一方、その他多くの魚類では、脊索末端上屈前の仔魚あるいは着底後の個体のみが採集された。

浦内川では400種を超える魚類が確認され、その汽水水域は島嶼の河川としては広大で、大潮の干潮時にも河口から約10km上流の軍艦岩直下まで汽水水域が維持されている。このように浦内川は、島嶼としては比較的大きな汽水水域をもつにもかかわらず、生活環の全てを河川内で過ごす種は、極めて少ないことが明らかとなった。すなわち、浦内川で産卵する魚類でも、その多くは、この水域内で生活史を完結せず、仔稚魚期を海域に出て過ごすことが強く示唆された。このことから、河川規模がさらに小さい石垣島や沖縄島をはじめとする琉球列島の島々に生息する両側回遊魚は、仔稚魚期に生まれた河川の汽水域内に留まることはできず、少なくとも一定期間は、海域で浮遊生活を送っていると推定された。

(2) 過去10年間における沖縄島を中心とする琉球列島の両側回遊魚の分布の変遷

①調査期間中に、新たに沖縄島から記録された通し回遊魚は以下のとおりであった。

【ナンヨウボウズハゼ属の1種】

本種は未記載種であると考えられ、沖縄島の複数の河川で確認された。本種は越冬可能な年も多く、産卵も確認された。産着卵は小型卵であった。

【ヒノコロモボウズハゼ】

本種は最近、日本初記録種として記載された種であり、沖縄島と奄美大島で複数個体が確認された。沖縄島の個体群の一部は、越冬するものも確認された。

【ヨコシマイサキ】

沖縄島で幼魚が1個体確認された。本種的生活史は、降下回遊もしくは両側回遊と推定されるが、生息個体数は西表島でも少なく、成魚が中琉球以北の河川で見つかる可能性は極めて低い。

②従来、個体数が極めて少なかったにもかかわらず、調査期間中、相対的に沖縄島での確認個体数が増加した両側回遊魚は、以下の

とおりであった。

【ツバサハゼ】

2000年までは沖縄島での確認は、極めて稀であったが、最近では比較的コンスタントに生息が確認されるようになった。越冬し、複数世代が同所的に確認されることもあった。北琉球の屋久島まで分布を広げているが、北琉球のものは、一過性の加入であると考えられる。

【カワアナゴ科の1種】

従来、仔魚の来遊のみが確認されていたが、最近では沖縄島で越冬し、生体サイズに達するものが現れた。国外ではスリランカやマイクロネシアの河川からの記録がある。

【タメトモハゼ】

以前から散発的に確認されてきていたが、最近、確認個体数が増加した。河川によっては、同所的に10個体程度が確認されることもあった。

【タナゴモドキ】

本種は以前から個体数の燃変動がある種であったが、ここ数年、稚魚の加入量が著しく多い年が出現し始めた。

【コンテリボウズハゼ】

個体数は多くないが、同一河川で複数個体が確認され、越冬するものも多くなった。

【アカボウズハゼ】

確認河川と確認個体数が増加してきた。一つの淵で30個体以上が確認される河川もあった。沖縄島での産卵も確認された。

【カエルハゼ】

沖縄島北部でしばしば確認されるようになってきた。一部は越冬していると推定される。一つの淵で複数個体が確認される河川もあった。

【ヨロイボウズハゼ】

確認場所と個体数が増加してきた。沖縄島での産卵も確認された。

本研究期間中に沖縄島で新たに記録された魚種と希少種でありながら個体数や発見場所が増加傾向にある種が、複数確認された。これらは共通して、いずれも小型卵を産み比較的未発達な仔魚が孵化する生活史戦略をもつ種であると推定された。

(3) 両側回遊魚の仔稚魚の流下時の行動と分散能力の推定

【仔魚の走光性】7種の日齢0における各照度に対する反応は、照度に関係なくほとんど移動しないチチブモドキ、10~10,000 luxのどの照度においても強く反応し、ほとんどが明条件へ移動するイズミハゼ、ミナミアシシロハゼ、シマヨシノボリ、高照度条件で反応が強く照度が弱くなると移動する個体数も減少するクモハゼ、ヒナハゼ、ミナミヒメミズハゼの大きく分けて3つの傾向を示し

た。また、クモハゼとシマヨシノボリにおいては、0 lux や暗条件を作らない 10,000 lux 実験でも約半分が移動した。これらのうち、ミナミヒメミズハゼ、ミナミアシシロハゼ、イズミハゼは、浮遊期間中は光に対し反応を示していたが、着底とともに正の走光性が弱くなった。

【仔魚の分布層】日齢 0 における仔魚の分布層は、海水では表層に多く、低塩分では底層に多くなる傾向が見られた。これらの孵化仔魚は、眼がすでに黒化した種では、孵化後、多くの個体が体を水平に保っていたが、眼が黒化していないチチブモドキでは、頭を下にして沈み、数秒毎に水面の方向に向かって泳ぐ行動が観察された。その後、眼が黒化するとこの行動は見られなくなった。シマヨシノボリとヒナハゼは、どの照度条件でも表層に、ミナミアシシロハゼは、底層に多い傾向が認められた。一方、イズミハゼは、表層に多い傾向があったが、0 lux にすると底層に移動した。また、ミナミヒメミズハゼでは 1,000、10、0 lux で、クモハゼでは 100、10 lux で表層に多くなる傾向を示した。チチブモドキでは、高照度条件で表層に多い傾向があった。着底まで飼育した 3 種において、着底後はどの照度でも底層から動かなかった。

【遊泳能力の測定】日齢 0 の U_{crit} は、シマヨシノボリが平均 2.4 cm/s、次いでミナミアシシロハゼが平均 1.5 cm/s と高かった。これらと体長が同程度のミナミヒメミズハゼは 0.7 cm/s と低かった。その他は、ヒナハゼが 0.9 cm/s、イズミハゼが 0.6 cm/s、クモハゼが 0.5 cm/s であった。チチブモドキは、流れに逆らう様子が全く観察されなかった。着底まで飼育した種（ミナミアシシロハゼ・ミナミヒメハゼ・イズミハゼ）では、日齢が進むにつれて徐々に臨界遊泳速度が速くなり、着底前になると吸盤を使って壁にはりつくようになり、装置の最大流速をクリアした。

【行動と分散能力】

チチブモドキは、小型 (1.5 mm) で孵化時には眼が黒化しておらず、胸鰭や口も形成されていない。この時期の仔魚は、流れに逆らわず、海水や高照度条件下では表層に分布していることから、発育が進み遊泳するようになるまでの孵化後数日の間に、海流に乗って受動的に分散する可能性が高い。一方、その他の仔魚 (約 2~3 mm) では孵化時からすでに流れに逆らって泳ぐことが明らかとなった。また、孵化時の体長が大きいミナミアシシロハゼとシマヨシノボリでは遊泳力が高く、特にシマヨシノボリは優れた遊泳能力を持っていた。シマヨシノボリは、光に対しても活発に反応し、走光性の実験では 0 lux で約半分が活動していたことから、暗条件でも静止せず、無作為に移動すると考えられる。シマヨシノボリほど上流ではないが、淡水域

でも産卵するヒナハゼもシマヨシノボリと同様に底層に分布する個体数が少なかった。すなわち、淡水域で産卵する種の仔魚の行動は、滞留、分散よりも、流下時間の短縮に重きを置いていると推測された。さらに、ヨシノボリは、高い遊泳力があるため、海域に出た後も沿岸に留まる可能性が高い。一方、ミナミアシシロハゼは、常に底層に多く、かつ遊泳力も高かった。本種の生息域は、極めて限定的であることから、浮遊期にも成魚が生息する河川の周辺海域から分散することなく滞留する能力があると考えられた。常に底層に分布することによって潮流の影響を軽減し、著しい一散を回避している可能性もある。ヒナハゼ、クモハゼ、ミナミヒメミズハゼは、照度によって分布深度が変化することがあり、自然環境下でも特定の照度の水深に選択的に分布することによって滞留あるいは分散していると考えられた。以上から、光に対する反応、分布水深や遊泳能力は種によってさまざまであり、それらが相互に関わり合って分散範囲に影響し、近年、琉球列島で確認されるようになった種は、チチブモドキのように孵化仔魚が小さく未発達な初期生活史をもつ分類群であり、孵化後数日間のうちに受動的に流される時期の有無が遠隔地への分散に重要な役割を果たすと考えられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. Ishihara, T. and K. Tachihara. 2009. The maturity and breeding season of the belly barred pipefish, *Hippichthys spicifer*, in Okinawa-jima Island rivers. Ichthyological Research 56(5): 388-393. 査読有
2. Ishihara, T. and K. Tachihara. 2008. Reproduction and early development of a freshwater pipefish *Microphis leiaspis* in Okinawa-jima Island, Japan. Ichthyological Research 55:347-355. 査読有
3. Maeda, K., N. Yamasaki, M. Kondo, and K. Tachihara. 2008. Occurrence and morphology of larvae and juveniles of six *Luciogobius* species from Aritsu Beach, Okinawa Island. Ichthyological Research 55: 162-174. 査読有
4. Maeda, K., N. Yamasaki, M. Kondo, and K. Tachihara. 2008. Reproductive Biology

and Early Development of Two Species of Sleeper, *Eleotris acanthopoma* and *Eleotris fusca* (Teleostei:Eleotridae). Pacific Science 62:327-340. 査読有

5. Oka, S. and K. Tachihara. 2008. Migratory history of the spotted flagtail, *Kuhlia marginata*. Environmental Biology of Fishes 81:321-327. 査読有

6. Yamasaki, N., K. Maeda, and K. Tachihara. 2007. Pelagic larval duration and morphology at recruitment of *Stiphodon percnopterygionus* (Gobiidae: Sicydiinae). Raffles Bulletin of Zoology; Supplement 14:209-214. 査読有

7. Maeda, K., N. Yamasaki, and K. Tachihara, 2007, Size and age at recruitment and spawning season of sleeper, genus *Eleotris* (Teleostei: Eleotridae) on Okinawa Island, southern Japan. Raffles Bulletin of Zoology; Supplement 14:199-207. 査読有

8. Yamasaki, N. and K. Tachihara, 2007, Eggs and larvae of *Awaous melanocephalus* (Teleostei:Gobiidae). Ichthyological Research 54:89-91. 査読有

[学会発表] (計 15 件)

1. Maeda, K., N. Yamasaki, K. Tachihara. 2009. Larval dispersal strategy of gobioid fishes inhabiting streams in the Ryukyu Archipelago. The 7TH International Workshop on The Oceanography and Fisheries Science of The East China Sea. (Shanghai Ocean University). 2009.12/4

2. 近藤正・前田健・山崎望・立原一憲. 2009. 浮遊期の分散に影響するハゼ亜目仔魚の形態と行動. 日本魚類学会年会. (東京海洋大). 2009.10/11

3. 前田健・山崎望・立原一憲. 2009. 琉球列島の河川に生息するハゼ亜目魚類の分散戦略. 日本魚類学会年会. (東京海洋大). 2009.10/11

4. 前田健・吉田雅哉・立原一憲・鈴木寿之・木下泉. 2009. 西表島浦内川汽水域で採集されたハゼ亜目仔魚について. 平成 21 年度ゴリ研究会. (岐阜大). 2009.7/4

5. 前田健・立原一憲・鈴木寿之・木下泉. 2008. 亜熱帯河川・西表島浦内川汽水域の仔稚魚相 (速報). 稚魚研究会. (東北大). 2008.11/1

6. 立原一憲. 2008. リュウキュウアユからアユをみる-両亜種の生活史からのアプローチ. 2008 年度日本魚類学会シンポジウム. (愛媛大). 2008.9/20

7. 近藤正・緒方直樹・前田健・立原一憲. 2008. 沖縄島に生息する両側回遊型ヨシノボリ属 3 種の初期の形態変化と着底後の遡上行動. 日本魚類学会年会 (愛媛大). 2008/9.20

8. 前田健・近藤正・立原一憲. 2008. 沖縄島に生息するミミズハゼ属 10 種の形態と生息環境. 日本魚類学会年会 (愛媛大). 2008/9/20

9. 緒方直樹・立原一憲. 2008. 沖縄島源河川におけるシマヨシノボリの年齢と成長および流程分布. 日本魚類学会年会 (愛媛大). 2008.9/20

10. 山崎望・前田健・近藤正・立原一憲. 2008. 沖縄島におけるタネカワハゼの生活史. 日本魚類学会年会 (愛媛大). 2008.9/20

11. Maeda, K., N. Yamasaki, and K. Tachihara. 2008. Diversity of dispersal strategy of gobioid larvae on the Ryukyu Archipelago. International Symposium on Systematics and Diversity of Fishes (Tokyo, Japan). 2008.3/3

12. 川平愛・近藤正・前田健・立原一憲. 2007. 沖縄島の河川汽水域に生息するミナミヒメハゼとヒメハゼの生活史. 日本魚類学会年会 (北大). 2007.10/6-7

13. 前田健・山崎望・立原一憲. 2007. 沖縄島の海岸および河川汽水域で採集されたハゼ亜目の仔魚の形態. 日本魚類学会年会 (北大). 2007.10/6-7

14. 前田健・山崎望・立原一憲. 2007. 沖縄島における *Stiphodon olivaceus* の記録. ゴリ研究会 (東大海洋研). 2007.6/16

15. 近藤正・前田健・立原一憲. 2007. 沖縄島で採集されたミミズハゼ属 2 種の形態、産卵および初期発生. ゴリ研究会 (東大海洋研). 2007.6/17

[図書] (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://ichiba.geocities.jp/teamichiba/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

立原 一憲 (TACHIHARA KATSUNORI)
琉球大学・理学部・准教授
研究者番号：70264471

(2) 研究分担者 ()
研究者番号：

(3) 連携研究者
前田 健 (MAEDA KEN)
琉球大学・理工学研究科・非常勤講師
研究者番号：20572829

(4) 研究協力者
近藤 正 (KONDO MASASHI)
琉球大学大学院・理工学研究科博士課程