

大きな島で種分化が起きやすいことを解明 —「キバラヨシノボリ」は琉球列島で5回誕生した—

概要

京都大学大学院理学研究科 山崎曜 博士課程大学院生（研究当時、現：国立遺伝学研究所 日本学術振興会特別研究員 PD）と渡辺勝敏 同准教授らは、総合地球環境学研究所 武島弘彦 特任助教（研究当時、現：東海大学特定研究員）、九州大学 鹿野雄一 准教授、大迫尚晴氏（沖縄県）、兵庫県立川西緑台高等学校 鈴木寿之教諭（研究当時、現：大阪自然史博物館外来研究員）、琉球大学 西田睦 学長らと共同で、琉球列島に分布するハゼ科魚類の遺伝分析を行いました。その結果、形態や色彩が酷似した種が、1つの祖先種から5つの島で繰り返し誕生していたことを発見しました。そして、その種の誕生はより大きな島で起こりやすかったことを明らかにしました。

現在の生物が見せる莫大な種の多様性は、38億年ほど前に一つの生命が生まれて以降、何度も繰り返し種が分かれてきた結果です。この1種が2種に分かれる現象は「種分化」と呼ばれ、これがどのような条件のときに起きるのか、という問題は、進化生物学の古くからの重要課題です。

この問題に対し本研究グループは、琉球列島において淡水域で一生活を過ごす“キバラヨシノボリ”と呼ばれるハゼ科魚類の遺伝子を詳細に解析しました。その結果、各島の“キバラヨシノボリ”は類似した形態、色彩、生態をもつにもかかわらず、川と海を回遊する近縁種のクロヨシノボリから別々に進化しており、その回数は琉球列島全体で合計5回にも上ることが判明しました。そこでどのような特徴をもつ島で“キバラヨシノボリ”が種分化しやすかったかを解析したところ、より大きい島で種分化する確率が高いことが示されました。

本研究が明らかにした複数の島での“キバラヨシノボリ”の誕生は、類似した種が繰り返し進化する「平行種分化」と呼ばれる非常に珍しい現象の好例といえます。また本研究は生息場所のサイズが十分に大きければ、新たな種が生まれる可能性が高い、というシンプルな法則性を示唆しています。

本研究成果は、2020年4月19日に分子生態学の国際学術誌「Molecular Ecology」の電子版に掲載されました。

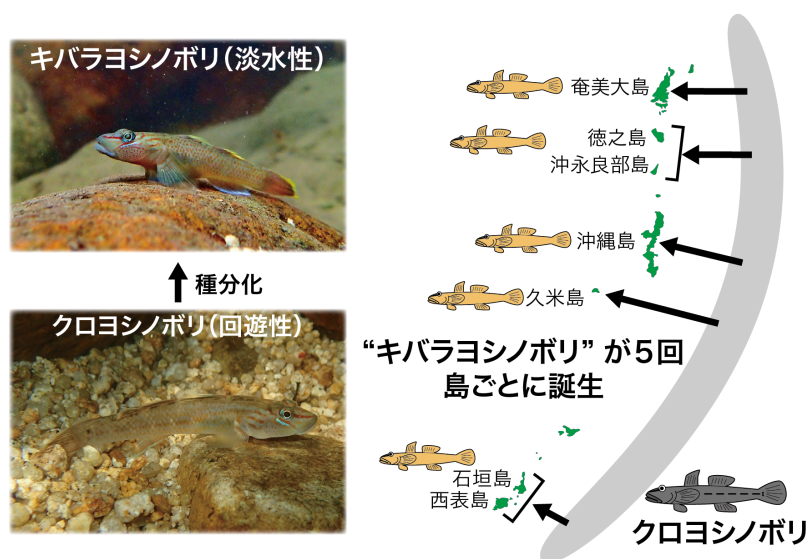


図1 “キバラヨシノボリ”は7つの島に分布し、そのうち5箇所でクロヨシノボリから独自に進化した。

1. 背景

現在見られる生物の多様性は、およそ 38 億年前に生命が誕生して以降、1種が2種に分岐し、互いに交配しなくなる「種分化^(注1)」と言われる現象が繰り返してきた結果です。かのダーウィンが著した本のタイトルが「種の起源」であったことに象徴されるように、種分化の問題は進化生物学の主要なテーマの1つとなっています。では種分化は一体どのような状況で起きやすいのでしょうか？この謎が解ければ、種分化はどのように進むのか、なぜ種の多様性が高い生物群や地域があるのか、といった様々な問題の理解に繋がると考えられます。

琉球列島はこの種分化を研究する上で絶好の場所です。琉球列島の島々のいくつかには、河川で一生涯を過ごす“キバラヨシノボリ”^(注2)と呼ばれるハゼ科の淡水魚が川の上流に生息しています。“キバラヨシノボリ”は、クロヨシノボリ^(注3)から種分化したと考えられており、クロヨシノボリは川で生まれ、仔稚魚期に海で育ってまた川に帰ってくる「両側回遊型」と呼ばれる生活史をもっています(図2)。淡水性の“キバラヨシノボリ”は海水中を泳いで島の間を移動することは困難です。そこで私達は、それぞれの島に分布する“キバラヨシノボリ”は、互いに形態や色彩、生態が酷似するにも関わらず、クロヨシノボリから別々に進化したのではないかと考えました。そして、もし“キバラヨシノボリ”がクロヨシノボリから各島で別々に種分化したのであれば、どのような島で“キバラヨシノボリ”が進化しやすいのかを明らかにできる、すなわち種分化が起きやすい条件を解明できると考えました。

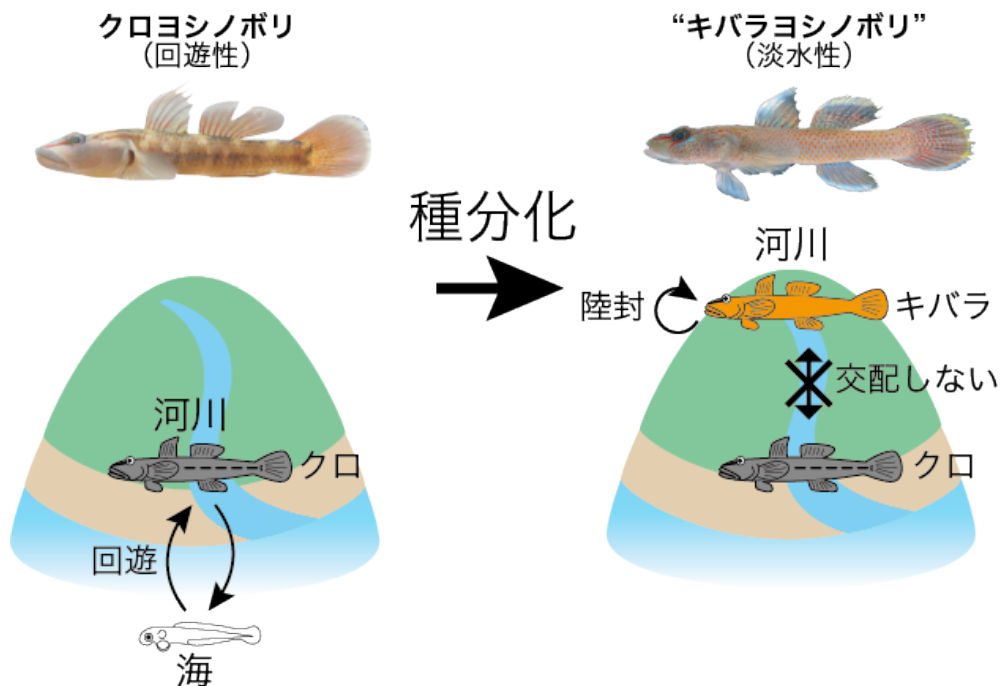


図2 “キバラヨシノボリ”とクロヨシノボリの生活史

2. 研究手法・成果

マイクロサテライト^(注4)と呼ばれる遺伝マーカー^(注5)を多数使って、琉球列島の7つの島に分布する“キバラヨシノボリ”とクロヨシノボリの類縁関係と進化パターンを統計学的に調べました。その結果、“キバラヨシノボリ”は7島のうち5箇所で独立に種分化したことが分かりました(図1)。そして、“キバラヨシノボリ”が進化しやすい島の特徴を調べたところ、より面積の大きな島で“キバラヨシノボリ”が種分化していることが分かりました(図3)。

類似した形態や生態をもつ新たな種が、同じ祖先から何度も進化する現象は「平行種分化^(注6)」と呼ばれ、世界的にみても非常に珍しい現象です。今回の研究が明らかにしたヨシノボリ類の進化はその好例と考えられます。また大きな島で種分化が起きやすかった原因として、川と海の間を回遊する上でのリスクが大きく関与していると考えられます。大きい島には大きい河川があります。琉球列島の河川上流部は捕食者が少なく、ヨシノボリ類の生活に適した場所ですが、河川が長いと上流部で孵化した仔魚は海にたどり着けず死亡するリスクが上昇します。その場合、むしろ海に下らず、河川に留まったほうが有利になると考えられます。そのような自然選択^(注7)のはたらきによって、“キバラヨシノボリ”という川に留まる新たな種が分化したと考えられました。本研究は、生物が新たな場所に侵入し、適応していくときに、その生息空間が大きいほど、新しい種を生み出していきやすい、というシンプルな法則の存在を示唆しています。

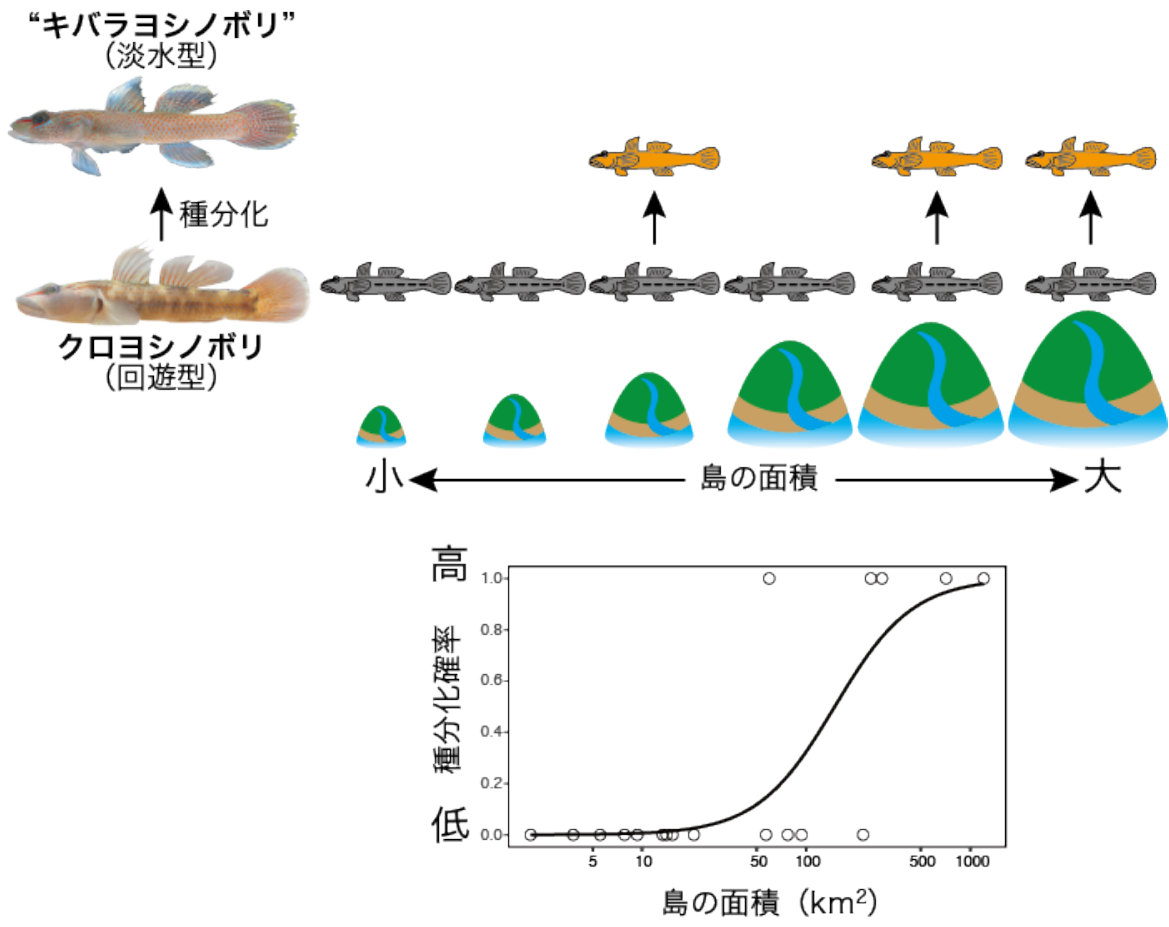


図3 クロヨシノボリから“キバラヨシノボリ”への種分化が起きる確率はより大きい島で大きかった。

3. 波及効果・今後の予定

本研究の成果は、生物の種多様性が増大する、あるいは停滞、減少する機構のさらなる解明に貢献できると考えています。今後は個々の“キバラヨシノボリ”とクロヨシノボリの種分化がどのような生態学的過程で行ったのか（つまり、両者が出会っても交配しなくなる仕組みがどのように発達したのか）、どのような遺伝子が鍵となって“キバラヨシノボリ”とクロヨシノボリの種分化が進んだのか、などの疑問に、生態学、進化学、ゲノム科学などを駆使して多角的に迫りたいと考えています。また別々に進化した、形態的に酷似する各

島の“キバラヨシノポリ”を分類学的にどのように扱うか、つまり、同種なのか別種なのかについても、今後の課題として残されています。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は日本学術振興会・科学研究費補助金（16J08762、17H03720、26250044）、および、笹川科学研究助成（27-507）の助成を受けて行われました。

<用語解説>

- (注1) **種分化**：1種が2種またはそれ以上の種に分かれる現象。種分化した2種は互いに交配しない、もしくは交配の頻度が限られる。種分化の過程で異なる環境への適応やランダムな突然変異が固定することにより、異なる形態や生態をもった別種へと多様化していく。
- (注2) **“キバラヨシノポリ”**：琉球列島の一部の島の河川上流部にのみ分布する、淡水で一生を過ごすハゼの仲間。正式な学名は付いておらず、*Rhinogobius* sp. YBとして他種から区別されている。
- (注3) **クロヨシノポリ**：本州から琉球列島の河川に広く分布するハゼの仲間。キバラヨシノポリと最近縁だが、川で生まれて海に下り、また川に帰ってくる生活史を送る。学名は *Rhinogobius brunneus*。
- (注4) **平行種分化**：同じ祖先種から、類似した形態や生態をもった子孫種が別々の場所で複数回進化すること。類似した形態や生態が進化すること自体は平行進化と呼ばれるが、その結果、種分化に至った場合は特別に平行種分化と呼ばれる。
- (注5) **マイクロサテライト**：ゲノム中に散在する、2から数塩基の単純な繰り返し配列（ATATATAT...など）の反復数の多型。高い多型性をもつ遺伝マーカーとして、犯罪捜査などで個人特定にも使用される。
- (注6) **遺伝マーカー**：個体間や種間の遺伝的な近縁性を測るために使われる遺伝情報のこと。時間経過につれて、遺伝情報には変異が蓄積していく。生物間で遺伝情報の類似性を計測することで、どの程度近縁かを見積もることができる。
- (注7) **自然選択**：異なる特徴（表現型）の間で生残率や繁殖成功を通じて次世代への貢献が異なること。異なる環境（例えば、川の上流と下流）では異なる自然選択が作用するため、どのような表現型が次世代に多くの子を残すかが変わり、適応進化が生じる。

<研究者のコメント>

「なぜ地球上にはこれほど多くの種が存在するのか」という疑問は、研究者だけでなく多くの人が感じる疑問なのではないでしょうか。ヨシノポリという身近な淡水魚でも、ひたすら見つめ続け、研究することで、そのような生物進化の大きな謎の答えを隠し持っていたことが分かりました。進化の面白いストーリーは案外そこら中に隠れているのだろうと感じています。

<論文のタイトルと著者>

タイトル：Ecosystem size predicts the probability of speciation in migratory freshwater fish（生態系サイズが回遊性淡水魚の種分化確率を予測する）

著者：Yo Y. Yamasaki, Hirohiko Takeshima, Yuichi Kano, Naoharu Oseko, Toshiyuki Suzuki, Mutsumi Nishida, Katsutoshi Watanabe（山崎暁、武島弘彦、鹿野雄一、大迫尚晴、鈴木寿之、西田睦、渡辺勝敏）

掲載誌：Molecular Ecology DOI：10.1111/mec.15415