

身近な“普通種”にみられる細やかな適応

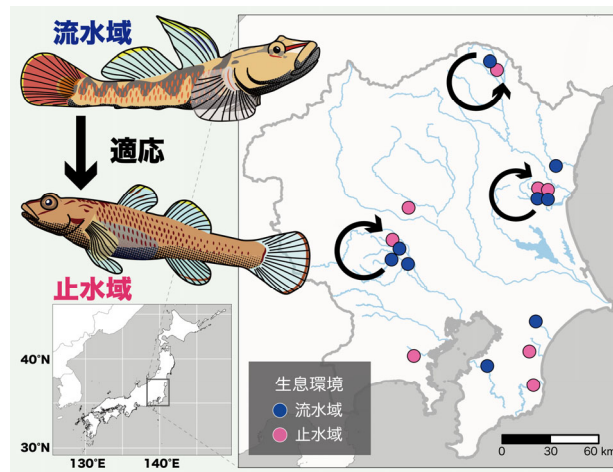
—クロダハゼは川から池へ繰り返し進出した—

概要

私たちの身近で広くみられる「普通種」は、幅広い環境を利用できる「ジェネラリスト」、いわば「なんでも屋」とみなされてきました。一方、ジェネラリストは、特定の環境では、その環境に適応した「スペシャリスト」に劣ると考えられています。それでは、普通種はなぜ多様な環境で繁栄できるのでしょうか？

京都大学大学院理学研究科の高田喜光 博士課程学生、渡辺勝敏 同教授、滋賀県立琵琶湖博物館の田畑諒一 主任学芸員らは、関東平野に広く分布する淡水魚クロダハゼを対象に、河川など水の流れがある「流水域」と、ため池や湖などの水の流れが弱い「止水域」にすむ集団の形態・行動・遺伝的特徴を比較しました。その結果、流水域と止水域の集団は、それぞれの環境に適応した形態や行動を示す一方、遺伝的なまとまりは、生息環境ではなく、主に地理的な近さを反映していることがわかりました。また、近接する流水域と止水域の集団間では、現在も遺伝的交流があることがわかりました。これらの結果は、クロダハゼが関東平野の各地で、流水域から止水域へと繰り返し独立に適応してきたことを示唆します。本研究は、私たちの身近な環境に暮らす「普通の魚」の背後に、環境に応じた細やかな適応進化が隠されていることを明らかにし、そのような進化的なチューニングの積み重ねによって本種の広い分布が実現された可能性を示唆しています。

本研究成果は、2026 年 7 月 11 日に国際学術誌「Journal of Evolutionary Biology」にオンライン掲載されました。



本研究の概念図。

クロダハゼにおける流水域から止水域への適応は関東平野の各地で何度も独立して起こった

1. 背景

身近に広くみられる「普通種」の中には、様々な環境に生息するものがあります。こうした生物は「ジェネラリスト」と呼ばれ、特定の環境に適応した「スペシャリスト」と対比されます。ジェネラリストは従来、幅広い環境に対応できる「なんでも屋」である一方、それぞれの環境ではスペシャリストに劣ると考えられてきました。しかし最近では、ジェネラリストは環境ごとに集団が細やかに特殊化することで、種全体として幅広い環境を利用しているという見方もあります。ただし、個体が行き来できるほど近い場所では、遺伝的交流（※1）によって集団間の違いが失われやすく、こうした特殊化は成立しにくいと考えられてきました。近年、こうした遺伝的な交流がある小さな空間スケールであっても、局所的な環境に応じた細やかな分化が生じるような「微小地理適応」が、適応の一形態として注目されています。しかし、微小地理適応がジェネラリストによる異なる環境への進出や広い分布をどのように支えているのかは十分に分かっていません。

クロダハゼ (*Rhinogobius kurodai*: ハゼ科ヨシノボリ属) は関東平野に広く分布する小型淡水魚で、流水域から、ため池や湖などの止水域まで幅広く生息する身近な生き物です。流水域と止水域では魚に求められる性質は大きく異なり、例えばクロダハゼは流水域では吸盤状の腹鰭で川底に張りつき、流されるのを防ぎますが、止水域ではその必要がありません。さらに関東平野の各地には、こうした異なる環境が数 km 以内で近接して存在します。クロダハゼの元々の生息環境は流水域と考えられることから、各地で近接する流水域から止水域への進出が繰り返されてきた可能性があります。ただし、流水域と止水域で形態や行動が異なるだけでは、各地でそれぞれ適応したのか、一度止水域に適応した集団が長い時間をかけて広がったのかを区別できません。

そこで本研究では、まず流水域と止水域の間で形態や行動にどのような差異が存在するのかを明らかにし、次に、その差異が各地で繰り返し生じたのかどうかを遺伝学的データを用いて検証しました。これらの結果をもとに、クロダハゼが関東平野のさまざまな環境に広く見られる理由を考察しました。

2. 研究手法・成果

研究グループは、関東平野の 9 水系 17 地点（流水域 9 地点、止水域 8 地点）からクロダハゼ計 195 個体を採集し、形態・行動・遺伝の 3 つの側面から比較しました。形態については腹鰭の形と体型を測定し、また行動については深層学習を用いて水槽内で個体の位置を動画で追跡し、空間利用や壁面への「張りつき行動」を定量化しました。さらに、MIG-seq 法（※2）を用いてゲノム上の一塩基多型（SNP）を解析し、集団間の遺伝的関係や最近の遺伝子流動（※3）の程度を推定しました。

その結果、止水域の個体は流水域の個体より腹鰭が細長く、中層と上層をより多く利用し、張りつき行動が少ないことがわかりました。これは止水域の個体が水流に抗う必要がなく、水中を泳ぎながらプランクトンなどを摂食する生態と関連があると考えられます。

また、止水域では体型のばらつきが地点間で大きくなっていました。これは、水流に抗うという大きな制約がなくなった一方で、止水域の広さや餌、捕食者などの魚を取り巻く環境が生息地ごとに多様であることを反映している可能性があります。

一方、遺伝的な近縁性は流水・止水という生息環境の違いではなく、主に地理的な近さを反映し、近接する流水・止水環境の集団間には遺伝子流動も認められました。それにもかかわらず、腹鰭の形や行動は地理的・遺伝的な近さよりも、生息環境（流水・止水）によく対応していました。

以上から、形態や行動にみられるクロダハゼの止水域への適応は、関東平野の各地で独立して何度も生じたと考えられます。本研究は、ジェネラリストが異なる環境へ進出する際に、小さな空間スケールでの細やかな適応がその進出を支え、広い分布の形成につながる可能性を示しました。

3. 波及効果、今後の予定

本研究は、幅広い環境に生息するジェネラリストが、必ずしも一つの「万能な」性質で多様な環境に対応しているわけではなく、各地で環境に合わせた細やかな特殊化を繰り返すことで、種全体として広い生息域を獲得できることを示しました。しかも、こうした違いは個体の移動により遺伝的交流が起こりうる数 km 程度の範囲でも生じており、小さな空間スケールでの適応が分布拡大を支える重要な仕組みとなっている可能性があります。

一方、今回見いだした形態や行動の違いが遺伝的な変化によるのか、成長環境に応じた表現型可塑性(※4)によるのかは未解明です。今後、共通環境での飼育や交配、異なる環境間での移植実験、ゲノム解析などを行うことで、形態や行動における細やかな適応をもたらす遺伝学的・発生学的な仕組みを明らかにし、その生存・繁殖上の効果を検証する必要があります。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は JSPS 科研費 (21K14869; 代表・田畑諒一) の支援を受け実施されました。

<用語解説>

- ※1 遺伝的交流：異なる集団の個体が移動・繁殖し、遺伝情報が集団間で共有されること。
- ※2 MIG-seq 法：ゲノム中の多数の部分的な DNA 配列を調べ、集団間の遺伝的な違いや関係を解析する手法の一つ。
- ※3 遺伝子流動：個体の移動や繁殖によって、遺伝子が集団間を移動すること。
- ※4 表現型可塑性：同じ遺伝的特徴をもつ個体でも、育つ環境によって形態や行動などが変化する性質。

<研究者のコメント>

クロダハゼは、東京 23 区内の公園の池にも生息する、とても身近な魚です。なぜこれほどまでに「どこでも」、「普通に」みられるのだろうと高校生のときに疑問を抱いてから、早 10 年近くが経ちました。真夏の関東平野を駆け回り、多くの現地の方々にご協力いただきながら集めた魚たちから、その答えの一端を示せたことをとても嬉しく思います。(高田喜光)

<論文タイトルと著者>

タイトル：Repeated adaptation of the freshwater goby *Rhinogobius kurodai* from lotic to lentic environments in the Kanto Plain, Japan: morphological, behavioural and genetic approaches (関東平野における淡水魚クロダハゼの河川環境から止水環境への反復した適応：形態・行動・遺伝学的アプローチ)

著 者：Yoshimitsu Takada, Ryoichi Tabata, Katsutoshi Watanabe

掲 載 誌： *Journal of Evolutionary Biology* DOI : <https://doi.org/10.1093/jeb/voag058>