

琵琶湖流域におけるカワリヌマエビ類の実態を解明

—1世紀ぶりの在来種の発見と外来種の分布拡大を報告—

概要

京都大学大学院理学研究科 大貫溪介 博士課程学生と福家悠介 同博士課程学生は、滋賀県では絶滅したと考えられていたミナミヌマエビ（ヌマエビ科カワリヌマエビ属）を琵琶湖流入出河川から再発見しました。滋賀県におけるミナミヌマエビの記録は1915年が最後で、約1世紀ぶりの発見となります。その一方で、近縁の外来種^{*1}シナヌマエビが琵琶湖内や周辺河川に広く定着していることと、在来種ミナミヌマエビと交雑している可能性が高いことが遺伝的・形態的解析から明らかになりました。

本研究では、琵琶湖とその流入・流出河川で採集されたカワリヌマエビ類の遺伝情報を取得し、集団の特徴を調べました。また、在来種と外来種を判別できるとされている形態形質について、定量的なデータを取得し、1915年に琵琶湖から採集されたミナミヌマエビの標本も含めて比較しました。

在来種と外来種は遺伝解析により明瞭に区別することができましたが、これまで種判別に用いられてきた形態形質だけでは両種を完全には判別できないことがわかりました。今後、各地の集団が在来種か外来種を確実に判別するためには、DNA分析が必要になると考えられます。

本成果は、2022年8月13日にオランダの国際学術誌「Conservation Genetics」にオンライン掲載されました。



図1. 本研究の主演、ミナミヌマエビ *Neocaridina denticulata* のオス個体（撮影：福家悠介）

1. 背景

生物多様性保全において、外来種問題は重要なトピックです。外来種は、捕食や競争、交雑などを通じて、在来種に影響を及ぼすとされています。こうした影響は不可逆的であることが多いため、この問題に対する最も効果的な対策は事前に侵入を防止することです。しかし、一度定着してしまった外来種に対しては、二次的な拡散を防止することも重要になります。人為的または自然な移動によって外来種が拡散する起点となりうる地域では、二次的拡散の防止が特に重要です。

日本最大の湖である琵琶湖は、国内でも有数の水生生物の多様性が高い地域です。1930年代以降、水産業振興やスポーツフィッシングのための人為的な放流などによって、オオクチバスやアメリカザリガニをはじめ、魚類で22種、甲殻類で6種の外来種が琵琶湖に定着しました。これらの外来種は、環境の悪化と並んで、琵琶湖の在来種にとって大きな脅威となっています。さらに、琵琶湖の主要な水産資源であるアユやスジエビなどの生物は放流種苗^{※2}として日本各地で利用されており、これらの放流種苗に混ざって琵琶湖の水生生物が国内に拡散することが懸念されています。

西日本に広く分布する小型の淡水甲殻類であるミナミヌマエビ（ヌマエビ科カワリヌマエビ属）は、かつて琵琶湖にも生息していましたが、ネルソン・アナンデルらによる1915年の調査を最後に記録がなく、滋賀県では絶滅したと考えられてきました。2000年代以降、ミナミヌマエビによく似たエビが琵琶湖周辺で発見されるようになりましたが、これは近縁の外来種シナヌマエビではないかと疑われていました。しかし、現在の琵琶湖のカワリヌマエビ類について、遺伝的・形態的分析に基づいた種の特定制や在来集団との比較はこれまで行われていなかったため、これが在来種なのか外来種なのかは明らかになっていませんでした。在来種が外来種に置き換わっているとすれば、放流種苗に混ざるなどして、外来のカワリヌマエビ類が分布を拡大する可能性があります。また、在来種が残っているのであれば、保全に必要な情報を蓄積する必要があります。

2. 研究手法・成果

琵琶湖とその流入河川の15地点、流出河川3地点、京都市の1地点から採集されたカワリヌマエビ類の成体オス111個体について、MIG-seq法^{※3}に基づく核ゲノムの多型データとミトコンドリアDNA (mtDNA) ^{※4}の塩基配列を取得しました。あわせて、先行研究で報告されていた在来種ミナミヌマエビと国外に分布するカワリヌマエビ類を判別できるとされている5つの形態形質について、定量的なデータを取得しました。さらに、1915年に琵琶湖から採集されたミナミヌマエビの標本を京都大学総合博物館で発見し、現在の琵琶湖の集団と形態を比較するために、同様の形態形質データを取得しました。

遺伝解析の結果、琵琶湖周辺のカワリヌマエビ類には少なくとも3つの系統が存在することが明らかになりました。そのうちの2系統は中国大陸の集団に近いmtDNAをもっていました。形態解析の結果、この3つの系統は形態的にも異なっていました。先行研究の種判別基準にしたがうと、琵琶湖の流入出河川と京都市の8地点で見つかった系統はミナミヌマエビ、湖内と流入出河川の11地点で見つかった2系統はシナヌマエビであると考えられました。現在の琵琶湖における3系統の形態と、1915年に琵琶湖で採集されたミナミヌマエビの形態を比較したところ、ミナミヌマエビと考えられる系統が在来集団であることが支持されました。しかしながら、系統間で形質値がオーバーラップしていたことから、形態形質のみで各系統を完全に判別することはできませんでした。また、少なくとも3地点ではミナミヌマエビとシナヌマエビの両方の遺伝的要素を持つ個体が認められ、種間交雑が生じていることが示唆されました。

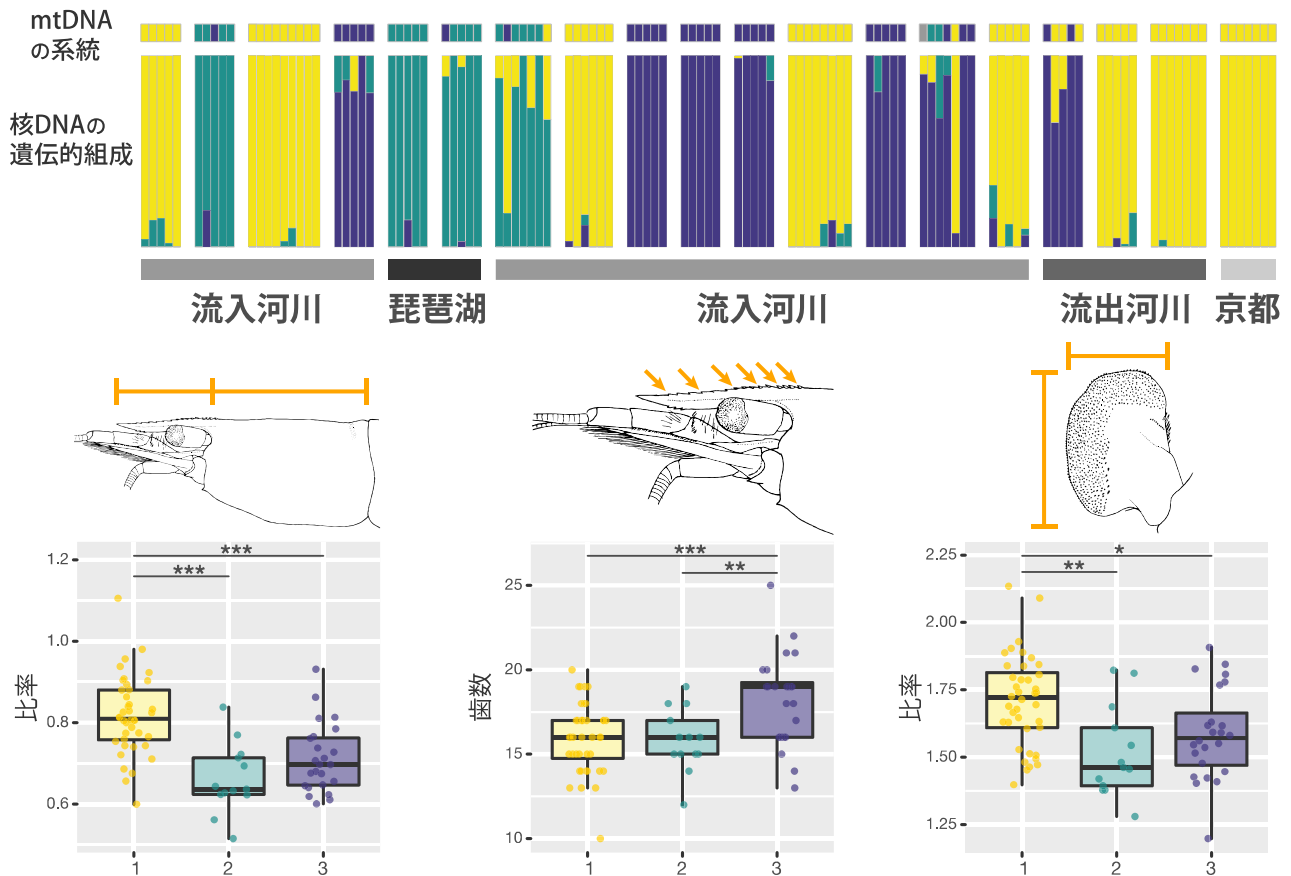


図2. mtDNA と核 DNA に基づく遺伝解析によって検出された3系統の分布と(上)と各系統の形態的特徴の結果(下)。黄色の集団がミナミヌマエビ、緑色と紺色の集団がシナヌマエビと同定された。

3. 波及効果、今後の予定

本研究では、遺伝解析および定量的な形態解析に基づいて、滋賀県で絶滅したと思われていたミナミヌマエビをおよそ1世紀ぶりに発見しました。同時に、これまで詳細な検討がされていなかった外来種をシナヌマエビと同定し、琵琶湖および周辺河川における定着の実態と、在来種との交雑を初めて明らかにしました。

カワリヌマエビ類の在来種と外来種が交雑すること、また形態によって完全に判別ができないという発見は、外来種の管理や在来種の保全の難しさを浮き彫りにしました。外来のカワリヌマエビ類は北海道から沖縄まで、全国規模で侵入しており、在来のエビ類との競合も報告されています。本研究の結果は、今後の研究や環境アセスメントにおいて、DNA バーコーディング^{※5}などの遺伝解析を行う重要性を強調するものです。琵琶湖周辺においては、流入出河川で細々と生き残る在来集団の生息地に外来種が侵入しないようにすると同時に、カワリヌマエビ類が水産放流に混ざるなどして、琵琶湖から他の地域に二次的に拡散することを防ぐ必要があります。

4. 研究プロジェクトについて

本研究の一部は、日本学術振興会 科学研究費助成事業(研究代表者:福家悠介、課題番号:19J23130)の支援のもと実施されました。

<用語解説>

※1 **外来種**：自然分布域外に人為的に移動させられた種のこと。

※2 **放流種苗**：水産上重要な種の蓄養を目的とした放流に用いられる魚類・甲殻類のこと。琵琶湖で漁獲される代表的な放流種苗はアユやスジエビである。

※3 **MIG-seq (Multiplexed ISSR genotyping by sequencing) 法**：核ゲノム中の数塩基の繰り返し配列（マイクロサテライト）に挟まれた領域を解読する手法。

※4 **ミトコンドリア DNA (mtDNA)**：真核生物の細胞内小器官のひとつであるミトコンドリアの DNA。一般的に、核ゲノムより解読に必要なコストが低い。わずかな例外を除いて、母親のミトコンドリア DNA のみが子に伝わるため（母性遺伝）、種間交雑の調査には向かない。

※5 **DNA バーコーディング**：種の不明な生物サンプルに対して、ごく短い塩基配列を決定し、すでにどの種のものか判明している塩基配列と照合することで、そのサンプルの種を調べる手法。

<研究者のコメント>

東京に住んでいた中学生の頃、遊び場だった湧水にシナヌマエビが侵入し、急激に数を増やすのを間近に見てきました。日本各地に侵入している外来カワリヌマエビ類の在来種への影響はまだよく分かっていません。この研究をきっかけに、外来カワリヌマエビ研究が進展していけばと思います（大貫）。

カワリヌマエビ類は外来種の移入と同定の難しさによる取っ付きづらさからか、研究者人口が大変少なく、端的に言えば空きニッチとなっています。外来種問題だけでなく、生物地理学や生態学的にも大変興味深い生き物なので、研究対象として今後さらに注目されて欲しいと思っています（福家）。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Rediscovery of a native freshwater shrimp, *Neocaridina denticulata*, and expansion of an invasive species in and around Lake Biwa, Japan: Genetic and morphological approach
(遺伝的・形態的手法による琵琶湖周辺域におけるミナミヌマエビの再発見と外来種の分布拡大)

著者：Keisuke Onuki, Yusuke Fuke（共同第一著者）

大貫溪介（京都大学大学院理学研究科）

福家悠介（京都大学大学院理学研究科）

掲載誌：Conservation Genetics DOI：<https://doi.org/10.1007/s10592-022-01467-1>

< 参考図表 >



本研究で採集された外来種シナヌマエビ *Neocaridina davidi* のオス個体 (撮影: 福家悠介)