

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510292

研究課題名(和文) ため池生態系の保全と復元のための高精度調査に基づく淡水魚の「保全単位マップ」作成

研究課題名(英文) Metapopulation mapping of endangered freshwater fishes for restoration of the ecosystem in traditional irrigation ponds

研究代表者

向井 貴彦 (Mukai, Takahiko)

岐阜大学・地域科学部・准教授

研究者番号：80377697

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：ため池生態系の保全と復元において、埋土種子からの発芽や周辺地域からの飛来が期待できない在来淡水魚は、移殖放流によって生息地の拡大を図る必要がしばしばある。そこで、岐阜県美濃地方のウシモツゴ、トウカイヨシノボリ、デメモロコをモデルケースとして、近代以前の個体群構造を高精度に復元し、保全のための放流可能範囲を明確にすることを試みた。その結果、濃尾平野周辺の丘陵地のため池や湿地に生息する魚類の個体群は同一水系であっても丘陵地ごとに分化していることが本来の状態であり、ため池生態系の復元における放流可能範囲は極力狭く設定する必要があることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Traditional irrigation ponds in SATOYAMA (rural area of Japan) are important habitats for many endangered animals and plants, and many of them are facing a crisis of environmental changes.

Although many people have often been working to restore the environments, most of the habitats are isolated from other wetlands, thus freshwater fishes cannot migrate from other habitats by themselves. To restore the fauna of traditional irrigation ponds, we have to re-introduce the freshwater fishes from the other areas.

In this study, I try to reconstruct the meta-population structure of endangered fish, *Pseudorasbora pumila* subsp. by using complete mitochondrial DNA sequences, and compared the phylogeography of the other freshwater fishes in the same area (Tokai region, Japan). The results indicated that the population of *P. pumila* subsp. was highly diverged among hilly areas, and suggested that the re-introduction should be restricted in a small landscape including the source population.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：資源保全学

キーワード：里山生態系 遺伝的多様性 希少淡水魚 保全遺伝学 生態系復元

1. 研究開始当初の背景

日本国内には20万を越える数のため池があり、灌漑や治水に利用されている。その多くは江戸時代に作られたとされており、当時の里地里山の生態系が保存された地域が残る一方で、市街地に近いため池の多くは環境改変と外来種の侵入によって在来生物がほとんど見られない。そのため、外来種の駆除やピオトープ造成によるため池の希少生物の保全と復元の試みが各地で行われている。しかし、環境修復だけでは飛翔能力のある昆虫の飛来や埋没種子の発芽は期待できても、水系を通じた移動を必要とする淡水魚の自然分散による移住が期待できる場所はほとんどない。

しかし、ため池に生息する淡水魚には環境省や地方自治体のレッドリストにおける絶滅危惧種も多く、一部の種は極めて危機的な状況にある。それらの種の絶滅回避のためには、外来種の駆除や生息地の環境復元を行った上で、水系を通じた分散の期待できない場合は放流などの手法をとる必要がある。そうした場合、これまでは「同一水系から」という一般論で対処されてきたが、同じ水系でも支流によって遺伝的組成の異なる個体群が分布する場合もある。したがって、復元水域に放流する希少淡水魚は、その地域を含む本来のメタ個体群構造を再現するような放流が望ましい。そのためには、各地域の淡水魚の高精度な遺伝的解析をおこない、近代的治水以前の水系構造などを考慮したメタ個体群構造を明らかにする必要がある。

ため池生態系復元に適切なモデル地域として岐阜県美濃地方を挙げることができる。美濃地方には多くの希少淡水魚が生息しており、2007年に改訂された環境省のレッドリスト掲載種のうち17種が分布している。2009年の岐阜県改訂レッドリストにも美濃地方の淡水魚が30種掲載されており、その中のウシモツゴとトウカイヨシノボリは、主にため池に生息している。特に、絶滅危惧IA類のウシモツゴは東海地方固有の淡水魚であり、生息地が10ヶ所程度のため池しか残っていない。トウカイヨシノボリも東海地方固有種であり、環境省版と岐阜県版のレッドリストで準絶滅危惧とされているが、実態はそれ以上に危機的である。これらの希少淡水魚の生息地減少にはオオクチバスの放流の影響が大きいため、市民や自治体が外来魚の駆除作業を行っているが、外来魚駆除後の在来生態系復元に必要な科学的知見が不足している。そのため、不用意な移殖による遺伝的攪乱リスクを排除しながら、地域絶滅を回避して遺伝子資源の地理的多様性を保つための調査手法の開発が必要である。

2. 研究の目的

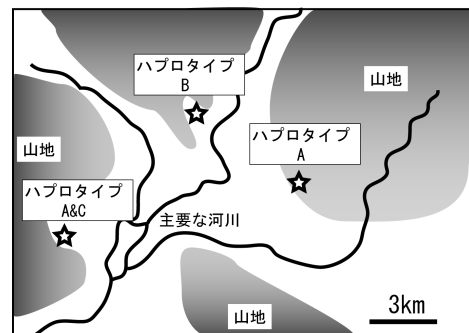
本研究では岐阜県美濃地方を中心とした

希少淡水魚の遺伝的集団構造を高精度で解析すると共に、地形や土地利用についての地理情報を用いて近代の人為的攪乱以前の個体群構造を明らかにする。

3. 研究の方法

(1)ウシモツゴの高精度遺伝子解析

岐阜県の岐阜・中濃地方にはウシモツゴの生息地が3地点残されており、それぞれ5~10km程度離れている(下図)。従来の「一般論」に従えば、同じ水系の個体群として、必ずしも個体群を明確に区別せずに保全が図られる可能性があるケースである。しかし、予備的解析によって3つの池の間でミトコンドリアDNA(mtDNA)ハプロタイプが異なっていることが明らかになっていた(向井,未発表)。ただし、予備的解析はmtDNAの1000bp程度の部分塩基配列であったため、ハプロタイプの異同しか判別できず、近年の人為的攪乱で個体群が断片化した結果として各地点で異なるハプロタイプが固定したのか、本来の地理的集団構造として遺伝的に分化していたのかの判断ができなかった。



しかし、より詳細な解析によってハプロタイプ間の系統関係が明らかになった場合、地点間の系統関係がランダムなら、これらの個体群は近年の人為的攪乱で断片化したものである可能性が高く、遺伝子系図が地形的な構造と一致する場合は地理的集団構造が存在したと考えられる。

一般的に、高感度な遺伝子解析としてマイクロサテライトDNA等の解析手法が用いられることが多いが、マイクロサテライトでは対立遺伝子間の系図的情報が得にくいいため、本研究ではmtDNAの全塩基配列(約16000塩基対)を決定し、系統解析をおこなった。

(2)他種との比較系統地理解析

分布域全体で10地点程度の生息地しか残されていないウシモツゴでは、点在する生息地の周辺のどの程度の地理的範囲にまで遺伝的交流が広がっていたかを推定することは難しい。そこで、東海地方の絶滅危惧種であるトウカイヨシノボリとデメモロコの

mtDNA の部分塩基配列の解析をおこない、岐阜県周辺における淡水魚の遺伝的集団構造を比較した。

(3) 淡水魚の分散能力

ウシモツゴなどの近代以前の地理的集団構造の推定のために、ウシモツゴとデメモロコの分散能力に関する調査も行った。

ウシモツゴについては、系統保存を行っているピオトープから下流域への流下について調査した。

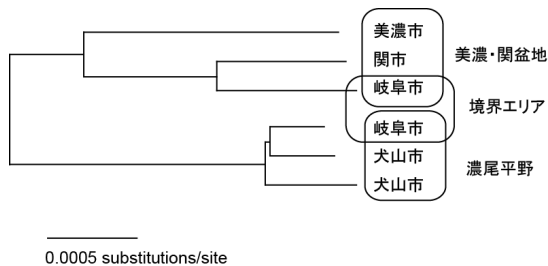
デメモロコについては、岐阜市内の生息地において月一回の捕獲調査を 2012 年 4 月から 2013 年 3 月までおこなった。また、岐阜市内におけるトウカイヨシノボリとデメモロコの詳細な分布調査もおこなった。

4. 研究成果

(1) ウシモツゴの mtDNA 全塩基配列解析

ウシモツゴの mtDNA 全塩基配列を、ロング PCR と nested PCR による既知の方法で関市産 1 個体、岐阜市産 1 個体、犬山市産 1 個体について決定し、得られた全塩基配列をもとにウシモツゴ専用の 27 組のプライマーセットを作成した。

ウシモツゴ用プライマーセットを用いることで、不明瞭な波形の無いシーケンスデータのみを得るようにして、美濃市、関市、岐阜市、犬山市のウシモツゴ計 9 個体の mtDNA 全塩基配列を決定した。その結果、mtDNA の Cytochrome *b* 遺伝子の部分塩基配列では濃尾平野（愛知県尾張地方北部から岐阜県）のウシモツゴの個体群間でハプロタイプの異同しか判別できなかったものが、全塩基配列を用いることで明瞭な 2 系統に分かれることが明らかになった。



これらは、濃尾平野北部の中山間地に形成された美濃・関盆地と濃尾平野に対応していると考えられ、また両地域の移行部に位置する岐阜市の個体群には両系統のハプロタイプが分布していた。さらに、美濃・関盆地の系統はハプロタイプ間の分化が相対的に大きく、美濃・関盆地では平野部よりも「遺伝的に多様な大きな個体群が安定して維持されてきた」もしくは「比較的古い時期から個体群間で分化してきた」可能性が考えられた。

しかし、犬山市や岐阜市の個体群のように

個体群内の多型があるものについては過去の推定がしやすいが、美濃市と関市の個体群は mtDNA 全塩基配列においても個体差が見いだせなかったため、美濃市と関市の個体群がもともと分化していたのか、人為的な個体群断片化の結果としてそれぞれの場所で異なるハプロタイプが固定したのかを判断するのは、この結果だけでは困難であった。

(2) 他の淡水魚における系統地理

ウシモツゴは残存する個体群が少なすぎるため、過去の個体群構造の推論を補うことを目的として、類似した環境を好むトウカイヨシノボリ、トウヨシノボリ、デメモロコの系統地理解析を行った。

トウカイヨシノボリとトウヨシノボリ

トウカイヨシノボリは、ウシモツゴの生息地にしばしば同所的に見られる魚種であり、岐阜県・愛知県・三重県の 29 地点で採集した 134 個体について mtDNA 約 1000bp を解析して比較した。その結果、20 種類のハプロタイプが見いだされ、既存の報告でウシモツゴの部分塩基配列解析によって推定された地理的集団構造と類似した遺伝的集団構造が見られた。

また、比較のためにトウヨシノボリについても琵琶湖水系産 66 個体と伊勢湾周辺産 56 地点 229 個体を同様に解析した結果、伊勢湾周辺の山間地や河川には琵琶湖水系からの国内移入が多く見られ、在来の mtDNA 系統は平野部のみに分布するものの、地理的集団構造は見いだされなかった。

デメモロコ

デメモロコは、伊勢湾周辺地域ではすでに生息地が激減している絶滅危惧種であり、岐阜県西濃地域におけるウシモツゴの生息地（すでにウシモツゴは野生絶滅）では同所的に生息していたとされている。そこで、南濃町（6 個体）、岐阜市（187 個体）、愛知県幸田町（2 個体）の個体の mtDNA 約 1000bp を解析した結果、3 種類のハプロタイプが見いだされたものの、地理的分化は見られなかった。

比較による推論

これらの淡水魚の系統地理について比較すると、丘陵地に分布するウシモツゴやトウカイヨシノボリは、濃尾平野・名古屋東部丘陵・三河地方という 3 地域に集団が分かれているのに対して（前述のようにウシモツゴの場合は mtDNA 全塩基配列の解析によって濃尾平野系統がさらに細分される）、平野部に生息するトウヨシノボリやデメモロコには集団構造が見られないことがわかった。

(3) 分散能力についての検討

ウシモツゴの分散能力

ウシモツゴは 1980 年代には生息地が残りわずかになっており、現在では孤立した溜池にしか生息地が無いため移動分散についての知見は無い。

そこで、関市において NPO 法人ふるさと自然再生研究会がおこなっているピオトープを用いたウシモツゴの系統保存と外来魚駆除に協力し、ピオトープからの流下などについての実態を調査した。

調査対象は岐阜県関市の中池公園で、平安時代に作られたとされる有効貯水量約 27 万トンの中池と、その上流の谷戸に作られたピオトープがある。ピオトープには同じ丘陵地に残された個体群に由来するウシモツゴが放流されているが、中池は有名なブラックバス釣り場であったために、多数のオオクチバスとブルーギルが生息し、ウシモツゴは中池には一切見られなかった。

2009 年から毎年の中池の水抜きによる外来魚駆除がおこなわれていたが、2011 年までは駆除後に大規模なオオクチバスの違法放流がおこなわれ続けており、池内にウシモツゴが見られることはなかった。しかし、2012 年、2013 年は大規模違法放流が無くなり、池干しで捕獲されるオオクチバス・ブルーギルが激減（2013 年には各 1 個体のみ捕獲）するとともに、ウシモツゴが約 500 個体捕獲され、上流のピオトープからの流下と繁殖による個体数の著しい増加が生じたと考えられた。

ウシモツゴの遡上行動については不明だが、生息地の下流側に好適な環境が生じた際には速やかに分散して広がることが確認された。

他の希少魚種の分散能力

トウカイヨシノボリとデメモロコについて岐阜市内における詳細な分布を調査し、デメモロコについては岐阜市内の主要な生息地における周年の採集調査をおこなった。

岐阜市農林部のため池台帳には 48 カ所のため池が記載されていたので、その中の調査可能な 41 カ所を調査した結果、トウカイヨシノボリは 3 カ所のため池と、そこから流出する水路にのみ生息していることが確認された。

デメモロコは、本調査と岐阜市自然環境基礎調査のデータを合わせて岐阜市内の約 400 地点における魚類の採集記録の中で、氾濫原に由来する河川の流程約 2 km の区間が主な生息範囲であり、その周辺 1 km 以内で散発的に確認された。また、デメモロコの生態に関して 2012 年 4 月から 2013 年 3 月まで月一回の採集調査を行った結果、繁殖期に抽水植物の茂った浅所への移動は見られるが、あまり広範囲の移動は行わないことが示唆された。

これらのことから、トウカイヨシノボリとデメモロコも現在は地理的に狭い範囲で生活史が完結しているが、主な生息地の周辺への分散も見られることが示された。しかし、いずれの種においても、より標高の高い地域

へ移動したと推測できる結果は得られておらず、下流側への移動分散が主であると考えられた。

(4) 東海地方における絶滅危惧種の淡水魚のメタ個体群構造と保全単位

(1)～(3)の研究結果に基づくと、淡水魚の保全単位について次のように考えることができる。

丘陵地に生息する止水性淡水魚

ウシモツゴとトウカイヨシノボリは、どちらも東海地方固有種（亜種）であり、その集団構造は濃尾平野・名古屋東部丘陵・三河地方という 3 地域に大別される。さらに、濃尾平野地域では北部の美濃・関盆地と南部の平野部に集団構造が細分される。この地域の水系は、本来は濃尾平野を流れる下流域の流路が交錯する広大な湿地帯であったことが知られている。さらに、約 2 万年前の最終氷期最盛期には伊勢湾がほぼ陸化することで伊勢湾・三河湾沿岸の河川はほぼすべて単一の水系になっていたと考えられている。したがって、遺伝的分析をとまなわれない一般的な淡水魚の保全単位についての考え方では、この地域内での淡水魚の移殖は問題が無いと判断されることも想定された。

しかし、mtDNA の解析によってウシモツゴとトウカイヨシノボリには地理的な集団構造が維持されていることが明らかになった。両種の地理的系統の分布は濃尾平野周辺の洪積世台地に由来する丘陵地の分布とほぼ対応しており、地質年代的な時間スケールで洪積世台地上の個体群間の交流が制限され続けてきたと考えられる。

濃尾平野は東部の木曾山地が隆起する一方で西部の養老断層が沈降する「濃尾傾動運動」が更新世以降に継続しているため、平野部に起源する個体群が洪積世台地上に押し上げられて各地域固有の遺伝的特徴を有する個体群となった可能性がある。また、いずれの種も下流域への移住は頻繁に生じるため、丘陵地から平野部への遺伝子流動は容易に起きていたと考えられるが、洪積世台地の個体群間で遺伝的に分化しているということは、平野部から丘陵地への遺伝子流動は、ほとんどなかったと考えられる。その場合、標高の高い丘陵地の個体群ほど遺伝的固有性が高いと想定される。このシナリオは、実際に mtDNA 全塩基配列の解析で濃尾平野北部に位置する美濃・関盆地に固有の遺伝的系統があり、さらにもっとも奥部に位置する美濃市系統が岐阜・関の系統から大きく分化していることと一致する。

したがって、数 km の範囲内の同一水系の淡水魚個体群であっても、丘陵地の場合は歴史的に隔離されて分化していることを想定する必要がある。ただし、下流の平野部の個体群は、その水系の上流域からの移住によっ

て形成されてきた可能性が高い。このことから、丘陵地の個体群の保全においては、個体群間の移殖は避け、外来魚駆除後の生息地の復元においては、その水系の上流側の直近に位置する個体群からの移殖のみ可とする方針が必要である。下流側の個体群からの移殖や、直線距離で近くとも他の丘陵地の個体群の移殖は避けるべきである。

平野部の淡水魚

伊勢湾周辺のデメモロコ個体群は、ウシモツゴと同様に絶滅のおそれがあるが、丘陵地には分布しない。その分布は、少なくとも現在では、氾濫原に由来する水田地帯の水路に限定されており、生活史における移動範囲も広くないと考えられるが、上述の通り濃尾平野の河川は近代以前は広くつながっており、また過去数十年の間にも広域にわたって浸水被害をもたらすような洪水も生じてきた。遺伝的解析でもデメモロコは濃尾平野西部、中部、三河平野まで同じハプロタイプが分布し、地理的集団構造が見られなかったことから、平野部の氾濫原にのみ生息する淡水魚は、比較的広い範囲での移殖が許容されると考えられる。

なお、本研究では対象としなかったが、東海地方固有種のネコギギについては、三重県、岐阜県、愛知県の各河川間で mtDNA に全く分化が見られないことが知られている。ネコギギは河川本流から山間部の支流に生息する淡水魚であり、ウシモツゴ等の丘陵地の湿地に生息する魚種に比べて河川本流を介した移動分散が生じやすく、また上流域への遡上行動が遺伝的交流を促進した可能性がある。

(5)保全単位マップ

本研究において、淡水魚の詳細な個体群構造と移動分散の生態から、移殖可能な範囲を示す「保全単位マップ」の作成をおこなうことを目標としていた。しかし、各魚種の生息環境についてのデータをもとにした潜在的分布確率のモデル化を行う必要があり、研究期間中に実現に至らなかった。

上述のように、魚種ごとの生態・生息環境に応じた移殖可能範囲についての指針は提案できたが、より具体的な判断基準を地図上で多くの絶滅危惧種の淡水魚について示すことが今後の課題である。

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 10 件)

浅香智也・鳥居亮一・池竹弘旭・川瀬基弘・藤田宏之・山本大輔・向井貴彦。2012 年における矢作古川(矢作川分岐点～小島橋)の淡水動物目録。碧南海浜水族館年報、査読無、26 巻、2014、26-30。

新田恭大・向井貴彦・淀 太我・吉岡 基。三重県安濃川の魚類相。三重大学大学院生物資源学研究所紀要、査読無、40 巻、2014、45-64。

Fukuda S, De Baets B, Onikura N, Nakajima J, Mukai T, Mouton AM. Modelling the distribution of the pan-continental invasive fish *Pseudorasbora parva* based on landscape features in the northern Kyushu Island, Japan. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems、査読有、23 巻、2013、901-910。doi: 10.1002/aqc.2336

大仲知樹・向井貴彦。ウシモツゴの研究史と保全方法。里山学研究 生物多様性保全課題、査読無、1 巻、2013、1-12。

向井貴彦・国崎 亮・淀 太我・寺町 茂・千藤克彦・説田健一。岐阜県における 2 種の外来ナマズ目魚類の野外での初記録と文献に基づく岐阜県産魚類目録の改訂。岐阜県博物館調査研究報告、査読無、34 巻、2013、47-54。

向井貴彦・古屋康則・千藤克彦・説田健一。岐阜県産魚類目録の再検討。岐阜県博物館調査研究報告、査読無、33 巻、2012、29-37。梅村啓太郎・二村 凌・高木雅紀・池谷幸樹・向井貴彦。岐阜県産シロヒレタビラにおける外来ミトコンドリア DNA の分布。日本生物地理学会会報、査読有、67 巻、2012、169-174。

向井貴彦・平嶋健太郎・古橋 芽・古田莉奈・淀 太我・中西尚文。三重県鈴鹿市南部のため池群におけるヨシノボリ類の分布と種間交雑。日本生物地理学会会報、査読有、67 巻、2012、15-24。

向井貴彦・池谷幸樹・大仲知樹・古屋康則・高木雅紀・塚原幸治・寺町茂・吉村卓也。岐阜県におけるスナヤツメ北方種と南方種の分布。日本生物地理学会会報、査読有、66 巻、2011、203-209。

向井貴彦・梅村啓太郎・高木雅紀。岐阜県におけるカラドジョウの初記録と中国系ドジョウの侵入。日本生物地理学会会報、査読有、66 巻、2011、85-92。

〔学会発表〕(計 5 件)

古橋芽・古田莉奈・向井貴彦。東海地方のため池におけるヨシノボリ類の遺伝的攪乱。第 60 回日本生態学会大会、2013 年 3 月 7 日、静岡コンベンションアーツセンター。

古橋芽・古田莉奈・向井貴彦。伊勢湾周辺におけるトウヨシノボリとトウカイヨシノボリの集団構造。第 60 回日本生態学会大会、2013 年 3 月 6 日、静岡コンベンションアーツセンター。

古田莉奈・古橋芽・向井貴彦。岐阜市におけるデメモロコの生息環境と生活史。第 60 回日本生態学会大会、2013 年 3 月 6 日、静岡コンベンションアーツセンター。

向井貴彦・古田莉奈・古橋芽・岐阜市のため池における魚類相．第 59 回日本生態学会大会，2012 年 3 月 19 日，龍谷大学瀬田キャンパス．

古田莉奈・向井貴彦．岐阜市におけるデメモロコの生息環境と生活史．2012 年度日本魚類学会年会，2012 年 9 月 22 日・23 日，水産大学校．

〔図書〕(計 4 件)

向井貴彦 他，株式会社みらい，教養ブックレット Vol.6 岐阜をもっと知ろう！，2014，115.

向井貴彦 他，東海大学出版会，見えない脅威“国内外来魚” どう守る地域の生物多様性，2013，254.

向井貴彦 他，岐阜新聞社，岐阜から生物多様性を考える，2012，202.

向井貴彦 他，IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group and Abu Dhabi, UAE, Global Re-introduction Perspectives: 2011. More case studies from around the globe, 2011, 250.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

向井 貴彦 (MUKAI, Takahiko)

岐阜大学・地域科学部・准教授

研究者番号：80377697

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし