

課題名	R F - 0 7 5 国内移入魚による生態系攪乱メカニズム究明とその監視手法の構築		
課題代表者名	鬼倉 徳雄（九州大学大学院農学研究院アクアフィールド科学研究室、助教）		
研究期間	平成19－20年度	合計予算額	17,555千円（うち20年度 8,455千円） ※上記の合計予算額には、間接経費4,050千円を含む
<p>研究体制</p> <p>（１）国内移入魚による在来魚の種の多様性攪乱メカニズム究明、リスクの予測とモデル化に関する研究（九州大学大学院農学研究院）</p> <p>（２）国内移入魚の異環境への適応性に関する研究（九州大学大学院工学研究院）</p> <p>（３）国内移入魚による遺伝的多様性攪乱メカニズムの究明とモニタリング手法の構築に関する研究（岐阜大学地域科学部）</p>			
<p>研究概要</p> <p>1. 序</p> <p>侵略的外来生物が及ぼす環境への負の影響は世界的な問題となっており、日本国内においても外来生物法の特定外来種として指定された種の取り扱いが厳しく制限されることとなった。生態的影響が著しい特定外来種については、在来生物への影響や移入先での生態、駆除方法などが研究され、その管理手法の構築が進みつつある。北米原産の淡水魚であるオオクチバス・コクチバス・ブルーギルは、その影響が広く認知され、研究が進みつつある代表的な種である。</p> <p>一方、国内在来種が国内の他地域に移入される問題は極めて軽視され、一般的認知にも乏しい。そのため、国内移入の影響が甚大な淡水魚における生態的影響や遺伝的攪乱の現状を解明し、対処方法を構築する研究はほとんど行われていない。淡水魚において移入の影響が大きい理由の一つには、漁業・遊漁目的で膨大な量の琵琶湖産アユが全国の河川に放流され、そこに混入した琵琶湖産淡水魚が新たな環境に移入する機会が多かったことが挙げられる。また、淡水魚は本来、移動範囲が河川水系内に限定されるという特性上、地理的分化が進んでおり、遺伝子レベルでの攪乱についても問題視しなければならない。</p> <p>国内移入魚は、生息場所や餌生物をめぐる在来種と競合する可能性を持つ。また遺伝的に近縁であるため、類似種の交雑などが生じる可能性も持つ。すなわち、オオクチバス・コクチバスなどの国外外来魚とは異なる影響を在来生物に与えている可能性がある。国外からの外来魚とは異なる新たな外来生物として、早急にその影響の実態を把握する必要がある。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本研究課題は新たな外来生物として位置づけられる国内移入魚について、その現状を適切に把握し、その危険性に関する認識を啓発・普及するための科学的知見の基礎強化を行うとともに、今後の分布拡散を監視するための技術を構築することを目的とした。</p> <p>まず、科学的知見の基礎強化を目的として、九州北部において移入魚類全般の定着状況を把握し、在来生物に対して移入種が競合、食害や雑種化等の生態学的インパクトを与えているか否かを評価するとともに、遺伝子レベルでの解析によって外来mtDNAの分布状況を把握し、在来魚種の遺伝子攪乱の現状を把握することを試みた。</p> <p>また、監視技術の構築を目的として、得られた分布情報に基づいて国内移入魚の定着可能な環境構造を明らかにし、移入魚の潜在的な適応環境に関する予測モデルを構築するとともに、遺伝子レベルでの解析によって移入魚種の分布拡散プロセスを明らかにした。特に、我々が要注意種として挙げているハス(Fig. 1)については重点的に調査・研究を行った。</p>			
			
			Fig. 1. 国内移入魚ハス。筑後川産。

### 3. 研究の方法及び結果

(1) 国内移入魚による在来魚の種の多様性攪乱メカニズム究明、リスクの予測とモデル化に関する研究

九州北部の主要河川と農業用水路で国内移入魚の分布調査を実施した (Fig. 2)。採集方法は主に投網で、調査地の環境に応じて適宜、さで網、たも網、潜水観察等を実施した。これらの調査データに基づき、種間関係の解析、国内移入魚の定着種数に関する予測モデルを構築した。

また、福岡県矢部川水系では要注意種ハスの生態学的インパクトを把握するために、毎月サンプリングを行い、固定標本を収集、消化管内容物を観察することで、在来生物への被害を評価した。また、ハスの生息数が多い遠賀川水系山田川でも月に1回程度の調査を行い、ハスならびに近縁種のヌママツを収集し、雑種化の可能性について外部形態から評価した。

国外外来魚としてブルーギル、オオクチバス、カダヤシ、カムルチー、ナイルティラピア、グッピー、ジルティラピアが、国内移入魚としてゲンゴロウブナ、ハス、ワタカ、タモロコ、コウライモロコ、イチモンジタナゴ、ギギが採集された。国内移入魚の中で唯一魚食性であるハスは、これまで大河川にしか適応できないとされてきたが、農業用水路にも適応していることが明らかとなった。問題視すべき新知見である。

在来魚・移入魚間の種間関係の解析により、幾つかの魚種間で非共存傾向が見られたが、元々の好適ハビタットが異なることに起因するケースと、ハビタットが類似するにもかかわらず移入魚種との競合によってそのパターンに違いが生じるケースに大別できた。国内移入魚には後者のケースは認められず、国外外来魚のカダヤシ、ブルーギルによるメダカに対する影響のみが検出された。

国内移入魚種ハスの消化管からは、在来のコイ科魚類、ハゼ科魚類、エビ類、水生昆虫類、陸生昆虫類ならびに両生類が観察され (Fig. 3)、その食性の多様性から在来生物への影響は淡水魚類に留まらない可能性が高いと判断された。絶滅危惧IA類に指定される希少淡水魚のニッポンバラタナゴが観察されており、希少な野生生物保全の観点から問題となる可能性がある。また、水産有用資源のオイカワも観察され、水産資源へ影響を与えている可能性も示唆された。

遠賀川水系で

は国内移入魚ハスと近縁種である在来魚ヌママツとの間の交雑個体と思われる個体が2%の頻度で採集された。これらの個体は、ハスとヌママツで明らかに異なる部位において、ハスに類似した形態を示すケース (Fig. 4A)、ヌママツに類似した形態を示すケース (Fig. 4B)、

両種の間中間的な形態を示すケースが認められた (Fig. 4C)。遺伝子解析からはハスのmtDNAを示しており、一部の水系においてハスとヌママツは交雑を起こしている可能性が高い。

その他、有明海沿岸域のクリーク地帯における外来魚の種数と各種環境情報に基づいた多重ロジスティック解析によって、外来魚の出現種数は標高と水路幅で予測可能であることが明らかとなり、標高が低いほど、水路幅が広いほど、出現種数が増加することが明らかとなった。そして、予測モデルの評価のためそのモデルを別の地域に当てはめたところ、種数に若干の違いは見られるものの、予測値と野外調査による実測値は相関関係を示した (Kendall順位相関,  $p < 0.01$ )。すなわち、多くの地域において移入魚類の定着種数が標高と水路幅に左右されると考えられた。



Fig. 2. 調査地点図(全1074地点)。

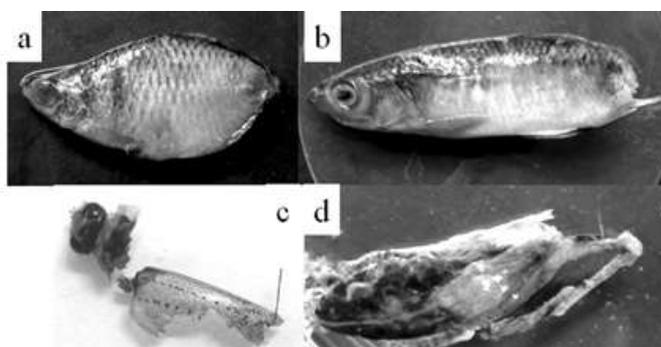


Fig. 3. 矢部川水系ニッポンバラタナゴ (a)、オイカワ (b)、ハイロゲンゴロウ (c) およびヌマガエル (d)。

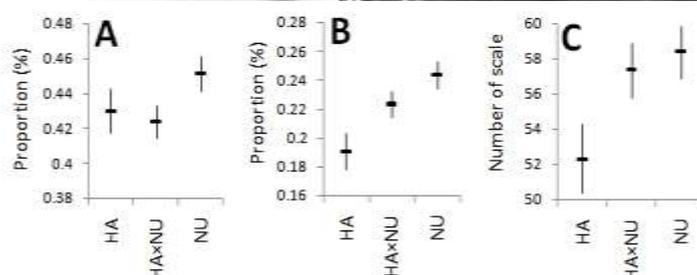


Fig. 4. ハス(HA)、ヌママツ (NU)、交雑個体 (HAXNU)の外部形体比較. A: 胴長/体長; B: 体高/体長; C: 側線鱗数。

## (2) 国内移入魚の異環境への適応性に関する研究

有明海沿岸域の農業用水路（クリーク）におけるハスの生息状況を把握し、出現・非出現に影響を与える環境要因を推定するため、嘉瀬川および筑後川周辺でハスの分布調査と物理環境調査を行った（Fig. 5）。また、GISを用いて、取水口までの距離（各調査地点から嘉瀬川の取水口まで水の経路に沿った距離）を算出し、更に各調査地点の標高値と周囲バッファ内の土地利用の割合（建物用地、幹線交通用地）を抽出した。

野外調査の結果、嘉瀬川周辺のクリーク46地点中、15地点でハスの出現が確認され、ハスは地域で広く分布していることが分かった。この出現・非出現（1/0）情報を目的変数に、夏季・冬季水深、水路幅、流速、取水口までの距離、土地利用の割合、標高、在来魚種数、外来魚種数（国内・国外移入魚）を説明変数に多重ロジスティック回帰分析を行ったところ、下記の様なモデル式が得られ、取水口までの距離（L）と標高（a）が最もハスの出現に関係していることが示唆された。

$$\log \frac{p(x)}{1-p(x)} = 0.32609 - 0.29388 L - 0.12562 a$$

このうち、取水口までの距離が有意な負の効果を示し（ $p < 0.001$ ）、モデル式のAUC値は0.88と高い適合性を示した。このことから、クリークにおけるハスの出現には、局所的な環境要因よりも、河川との連結性の影響が大きい可能性が高く、今後、在来魚種の保全を考える上で考慮する必要があると考える。このモデル式を、筑後川周辺のクリークデータに当てはめて検証したところ、AUC値は0.79に減少したものの依然と高い値を示し、筑後川周辺でのハスの出現予測にも適用できると考えられた。

また、モデル式に選択された説明変数を使い、嘉瀬川周辺のクリーク全域（250m メッシュ）で出現確率を計算し、ハスの出現予測マップを構築したところ（Fig.6）、実際のハスの出現・非出現と概ね結果が一致し、出現確率が30%を超えるとハスが出現しやすくなることが分かった。また、出現予測マップにより将来的にハスが出現する危険エリアの推測が可能となった。希少種の分布や行政管理など、他の地図情報と重ねることでハスの管理地域や希少種の保全地域の選択に利用できると考える。

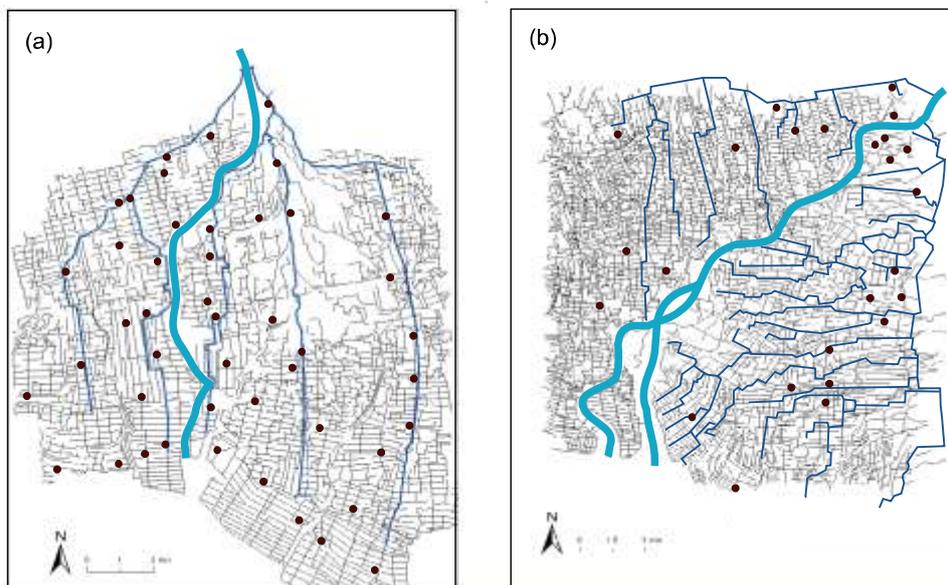


Fig. 5. 有明海沿岸域のクリーク地帯（左：嘉瀬川周辺；右：筑後川周辺）におけるハスの調査地点（●）。太線は幹線クリーク、細線は連結する小クリークを示す。

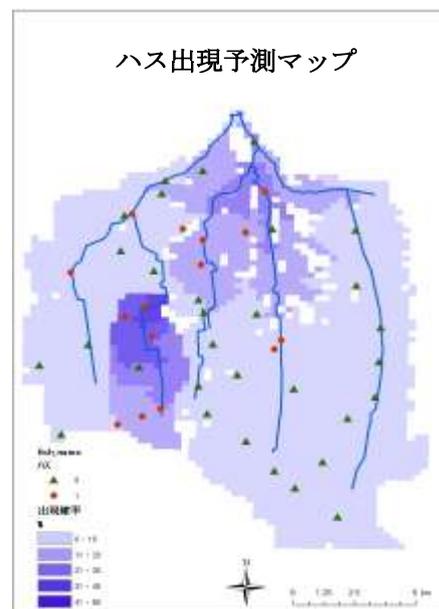


Fig. 6. 佐賀平野におけるハスの出現（●）、非出現地点（▲）と嘉瀬川周辺の出現確率（%）。色の濃い場所ほど出現確率が高い。

### (3) 国内移入魚による遺伝的多様性攪乱メカニズムの究明とモニタリング手法の構築に関する研究

国内移入魚の侵入プロセスと遺伝的攪乱の現状を明らかにするために、サブテーマ1と並行してDNA解析用の標本を収集し、コイ科魚類のハス・ゼゼラ・オイカワ・モツゴのDNA解析によって九州北部への国内移入魚の侵入と分布拡大についての現状を明らかにした。

ハスについては、九州の5県10地点から採集した35個体のmtDNA部分塩基配列を決定し、琵琶湖産21個体と比較した。その結果、琵琶湖では頻度の少ないハプロタイプが広域に分布していることが明らかになった(Fig. 7)。それらは、大分自動車道や九州自動車道によるアクセスのしやすい地域の河川・ダム湖や、筑後川下流域から佐賀平野の水路のつながった地域で分布が広がっていたことから、人為的影響や水系沿いの二次的分布拡大が示唆される。

ゼゼラ・オイカワ・モツゴについては、全国各地のサンプルのmtDNA部分塩基配列の解析によって、九州在来系統と琵琶湖等の他地域系統のmtDNAの識別が可能になったことが明らかになった。その結果をもとに九州北部における他地域産mtDNAの侵入状況を調査したところ、主として福岡県のゼゼラ個体群には高頻度で琵琶湖産mtDNAが侵入しており、その一方で佐賀平野には琵琶湖産の侵入していない個体群が残されている可能性が示唆された(Table 1)。

オイカワの場合、全国に広く琵琶湖産mtDNAが分布しているものの、九州の在来オイカワ分布域における琵琶湖産mtDNAの分布は一部に留まっていた。モツゴについては、福岡県に九州在来系統と大陸系統のmtDNAが分布し、佐賀県と熊本県の有明海沿岸地域には九州在来系統と関東・東海系統のmtDNAが分布していた(Table 2)。モツゴの近畿系統のmtDNAは九州に侵入しておらず、霞ヶ浦などのコイの種苗への混入個体が侵入した可能性がある。

上記のmtDNA解析は、いずれも部分塩基配列の決定によって各種の地理的分化を解明した上で九州への国内移入の現状を明らかにしたが、今後の遺伝的攪乱のモニタリングのために簡便な国内移入魚の判別法としてmtDNAのマルチプレックスPCRとPCR-RFLPをおこなった。その結果、同時に複数の系統を判別するためのマルチプレックスPCRのプライマー設計と条件検討は難しく、国内移入魚の判別のためにはPCR-RFLPが簡便で普及させやすいことが明らかになった。

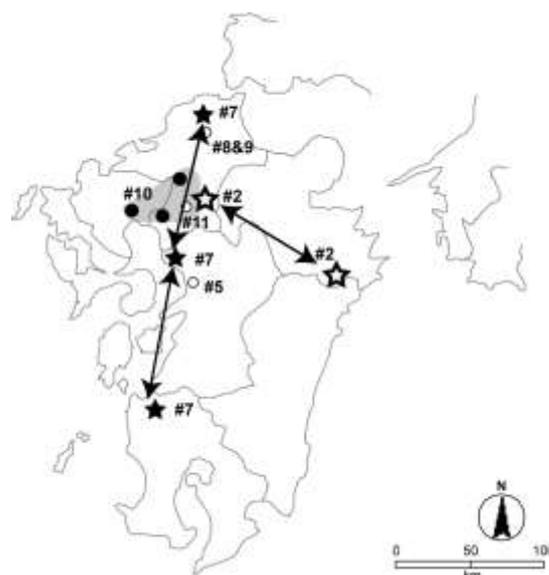


Fig. 7 九州におけるハスのmtDNAハプロタイプの分布。ハプロタイプ#2、#7、#10は琵琶湖では頻度が少ないが、九州では頻度が高く、広域に分布する。

Table 1 九州北部におけるゼゼラの在来・非在来mtDNAの分布

	福岡					佐賀			
	今川	遠賀川水系	那賀川	筑後川	矢部川	松浦川	嘉瀬川	金立	牛津
非在来	3	20	4	9	2	1	2	0	0
在来	2	0	29	2	0	4	9	9	9
侵入率(%)	60	100	12	82	100	20	18	0	0

Table 2 九州北部におけるモツゴのmtDNA系統の分布

	福岡							熊本	佐賀		
	二ツ川	遠賀川	穂波川	山田川	水崎川	太刀洗川	釣川	長野川	菊池川	牛津	北茂安
大陸系統	13	4	1	3	2	2					
関東東海系統								1	7	12	
九州系統	9	7	3	3	3	4	1		6	3	1

#### 4. 考察・まとめ

以上、国外、国内外来魚を含め、多くの移入魚類が九州北部に分布すること、要注意種ハスは従来の定説とは異なり小規模な細流にも適応する一方、河川スケールでは流路延長が50 kmを超える大河川で出現確率が高いこと、在来生物への食害、近縁種との交雑という2つの生態学的なインパクトを在来生態系に与えている可能性を持つことが確認された。生物多様性保全の観点から、ハスに関しては長期的なモニタリング等を通して監視していく必要があると考察する。国内移入魚の遺伝子解析については、九州産ゼゼラとオイカワに琵琶湖由来のミトコンドリアDNAが確認され、モツゴは関東地方のコイへの混入による分布攪乱が起きていることが明らかとなった。これらの国内移入の影響には地域差があり、九州北部においても福岡県と佐賀県の間で顕著な違いが見られた。また、国内移入魚の分布拡大について、ハスとゼゼラは侵入定着後に九州内で二次的に拡散していることが示された。

本研究の最終目標は単に国内移入魚による生態系攪乱の現状を把握するだけでなく、今後の攪乱を監視し対策を取るための技術を構築することである。本年度の研究によって攪乱の現状はある程度把握できたので、今後は移入魚の分布と遺伝子攪乱の進行状況等から地域ごとにリスクを評価する。また、わずか2年と限られた研究期間であり、実現は難しいかもしれないが、遺伝子攪乱に関する監視システムを構築すること、移入魚類の分布情報を生物多様性、地史、環境構造等から解析して適応条件を抽出し、今後の移入・定着の可能性を予測することにも挑戦したい。

#### 5. 本研究により得られた成果

##### (1) 科学的意義

1000地点を超える野外調査の実践により、精度が高い国内移入魚の分布の現状を把握するとともに、種間関係と出現パターンから国内・国外外来魚の中でどの種がどの在来魚の分布に影響を及ぼしているか、判断することができた。また、要注意種ハスについて在来生物に対する食害と雑種化に関する生態学的インパクトを得ることができた。特に、雑種化はこれまで研究が進んでいる国外外来魚では生じなかった国内移入ならではの問題であり、国外外来生物とは異なった対策を講じる必要性を裏付ける科学的根拠と位置づけられる。

要注意種ハスの出現傾向として、大河川での出現確率が高いことが本研究によって明らかとなり、従来の定説を科学的に裏付ける結果となった。一方、有明海沿岸域では農業用水路のような細流においてハスの出現が確認された。大河川だけでなく細流にも適応できるという事実は、今後の施策を講じる上で重要な科学的知見である。この農業用水路に適応するハスについては、その出現パターンをGIS上でモデル化することが可能となった。また、ハスを含め国内移入魚の定着種数を予測するモデルの構築も実現できた。これらのモデルにより、国内移入種の潜在的な適応環境を予測することが可能となり、今後の対策技術の実践においてこの予測モデルが果たす役割は極めて大きいと位置づける。

琵琶湖と九州北部の淡水魚を、mtDNAの解析によって識別可能であることを複数の淡水魚で明らかにした。そのため、琵琶湖と九州に同種が分布する場合でも、対象とする地域が在来個体群のみで構成されるのか、国内移入の影響を受けているのかを検出可能であることを示した。実際に、琵琶湖にも九州北部にも生息するゼゼラ、モツゴ、オイカワの解析によって、九州内に外来mtDNAを持つ個体の生息が確認された。さらに、mtDNAの多様性を原産地と移入先で比較し、個々のハプロタイプの分布を調査することによって、国内移入種の分布拡大パターンを解明できることがハスで明らかになった。mtDNAの解析は技術的には比較的容易な手法であり、その技術のみで国内移入魚の侵入・分布拡大について多くの情報が得られることを示せたのは、今後の自然環境の攪乱をモニタリングする手法としての有用性を示すものである。また、本課題研究で得られた大量の淡水魚の遺伝子情報は、日本列島の自然の成り立ちを明らかにする生物地理学的研究に有用であるのみならず、データベース化によって自然環境の現状を把握し、将来的に自然環境が変容した場合の比較検証のための情報として貢献できるものである。

##### (2) 地球環境政策への貢献

国内学会等での発表（10件）を通じて、本研究で明らかとなった国内移入魚類の分布の現状や遺伝子攪乱の現状等を提示し、成果の普及に努めた（うち、一件は日本生態学会のポスター発表賞を受賞）。また、世界水産会議（国際学会）において国内外来魚ハスによる生態系攪乱の危険性について発表した。その他、朝日新聞夕刊記事、小中学校に配布する一般向けの機関誌（福岡県河川協会発行）を含めた、成果の広報、普及を行った。

## 6. 研究者略歴

課題代表者：鬼倉徳雄

1971年生まれ、九州大学農学部卒業、博士（農学）、現在、九州大学大学院農学研究院、助教

主要参画研究者

(1) 鬼倉徳雄（同上）

(2) 河口洋一

1970年生まれ、新潟大学農学部卒業、博士（学術）、現在、九州大学大学院工学研究院、助教

(3) 向井貴彦

1971年生まれ、静岡大学理学部卒業、博士（理学）、現在、岐阜大学地域科学部、准教授

## 7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

### (1) 査読付き論文

- 1) 鬼倉徳雄，中島淳，江口勝久，三宅琢也，河村功一，栗田喜久，西田高志，乾隆帝，向井貴彦，河口洋一：水環境学会誌，31, 395-401(2008)“九州北西部，有明海・八代海沿岸域のクランクにおける移入魚類の分布の現状”
- 2) 中島淳，鬼倉徳雄，兼頭淳，乾隆帝，栗田喜久，中谷祐也，向井貴彦，河口洋一：日本生物地理学会報，63, 177-188(2008)“九州北部における外来魚類の分布状況”

### (2) 査読付論文に準ずる成果発表（社会科学系の課題のみ記載可）

なし