

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

4RF-1902

森・里・川・海連関の評価手法構築に向けた小型通し回遊魚の生態解明
(JPMEERF20194R02)

令和元年度～令和3年度

Evaluating Land River and Sea Connectivity through the Ecology of Small Diadromous Fishes

〈研究代表機関〉

公立大学法人 長野大学

〈研究分担機関〉

新潟大学

〈研究協力機関〉

東京大学大気海洋研究所

目次

I. 成果の概要	3
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究目標	
4. 研究開発内容	
5. 研究成果	
5-1. 成果の概要	
5-2. 環境政策等への貢献	
5-3. 研究目標の達成状況	
6. 研究成果の発表状況	
6-1. 査読付き論文	
6-2. 知的財産権	
6-3. その他発表件数	
7. 国際共同研究等の状況	
8. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II-1 森・里・川・海連関の評価手法構築に向けた小型通し回遊魚の生態解明 （公立大学法人 長野大学、新潟大学）	10
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
III. 研究成果の発表状況の詳細	21
IV. 英文Abstract	23

I. 成果の概要

課題名 4RF-1902 森・里・川・海連関の評価手法構築に向けた小型通し回遊魚の生態解明

課題代表者名 満尾 世志人 (公立大学法人長野大学環境ツーリズム学部 准教授)

重点課題 主：【重点課題⑬】 森・里・川・海のつながりの保全・再生と生態系サービスの持続的な利用に向けた研究・技術開発

副：【重点課題⑫】 生物多様性の保全とそれに資する科学的知見の充実にに向けた研究・技術開発

行政要請研究テーマ（行政ニーズ） (4-10) 河川環境の長期的変遷の把握に向けた生息水生生物に基づく評価法の開発

研究実施期間 令和元年度～令和3年度

研究経費

18,000千円（合計額）

（各年度の内訳：令和元年度：6,000千円、令和2年度：6,000千円、令和3年度：6,000千円）

研究体制

（サブテーマ1）森・里・川・海連関の評価手法構築に向けた小型通し回遊魚の生態解明（新潟大学、令和3年度より公立大学法人 長野大学）

他のサブテーマはない

研究協力機関

東京大学大気海洋研究所

本研究のキーワード 両側回遊、ハゼ科、河川加入、回遊履歴、汽水域

1. はじめに（研究背景等）

サケやウナギなどに代表される川と海を往来する回遊性淡水魚（通し回遊魚）は、海から川への遡上や陸生・水生昆虫の捕食によって森・川・海の栄養塩循環に影響を及ぼすなど、河川にとどまらず生態系間の相互作用においても重要な役割を果たしている。こうした知見は多くがサケ科魚類を対象とした研究に基づいているものの、実際は、通し回遊魚の大部分はハゼ科など小型魚類によって構成されているだけでなく、沿岸部の小規模河川では多くの場合にハゼ科魚類が主要構成種となっている。

通し回遊魚の回遊生態については、月齢や河川の流量の増大が河川への加入の引き金となることが明らかにされており、また保全管理の点からはダム等の移動障害による影響について多くの研究が進められてきている。一方で近年、タイセイヨウサケの海洋における生存率に対して河川生活期における生息状況が大きな影響を及ぼす（Carryover effect）事例が確認されるなど、移動性生物の保全に関しては

生息地間の接続性だけでなくそれぞれの生息環境の質の重要性が認識され始めている。また申請者らによるこれまでの研究から、通し回遊魚の回遊パターンは個別の河川といった比較的小さなスケールの環境条件に応じて変化する可能性が示唆されているものの、ハゼ科等の小型魚類について各生息環境の特性と回遊生態の関連について評価した事例はない。加えて、特に小規模な沿岸河川は、森林施業など土地利用変化や気候変動による影響をより強く受けることから、通し回遊魚を中心とした生態系の変質が今後急速に進行していくことが予想される。

そこで本研究では、小型通し回遊魚を対象とし、各生活史段階の成長に注目することで回遊メカニズム及び関連要因の特定を行い、これにより回遊生態に基づく流域環境の類型化を試みる。

2. 研究開発目的

ハゼ科を中心とする小型通し回遊魚に関する回遊生態の解明とその関連要因の特定を研究の目的とする。そのため、沿岸河川群における網羅的調査によって次の個別課題に取り組む。

個別課題1：通し回遊魚による海から河川への加入状況と変動要因の解明。各河川における小型通し回遊魚の河川加入量や加入時の体サイズを把握し、河口周辺の河床勾配や水質など、加入に影響を及ぼしうる要因について明らかにする。**個別課題2**：河川内における定着率の評価と変動要因の解明。河川加入後の個体による成長段階別の餌資源利用様式を把握し、これに基づき河川内における潜在餌資源量について評価を行う。加えて河川周辺の土地利用や河床構造についても把握し、これらと河川内における定着率（加入数あたりの生存数）との関係について明らかにする。**個別課題3**：産卵量の把握及び変動要因の解明。卵塊調査により各河川における産卵量を把握し、各河川における河床構造等の河川環境や成長率等との関係について明らかにする。**個別課題4**：海・汽水・川の回遊履歴と成長量の推定。耳石中の微量元素と酸素同位体の分析により、個体ごとの海・汽水の利用期間を特定する。さらに耳石輪紋を用いた解析により、各水域での成長速度を推定する。これらの結果から、河川や地域ごとの回遊状況とその関連要因について把握するとともに、特に海・汽水の利用状況と河川加入の関係について明らかにする。**個別課題5**：通し回遊魚の資源量及び回遊パターンの変動要因の解明。各河川における通し回遊魚の資源量に対する3プロセス（河川加入、定着、産卵）や回遊履歴及び各関連要因との関係や相対的重要性について解析を行い、沿岸河川における通し回遊魚の資源量や回遊パターンに影響を及ぼす生物学的・非生物学的要因について俯瞰的に評価を試みる。

研究成果に基づく目標：すべての個別課題達成によって把握された知見に基づき、森川海連関に関する類型化と評価手法の提案を目指す。これにより、森川海について一体的にその多様性を評価することが可能となり、地域特性を活かした国土計画の策定に寄与する。

3. 研究目標

全体目標	ハゼ科を中心とする小型通し回遊魚を対象に河川間比較によって回遊生態を解明し、人為的影響を含む河川・流域環境との関係を明らかにするとともに、回遊パターンや資源量に影響を及ぼす関連要因を特定しその相対的重要性について評価を行う。
個別目標 1	小型通し回遊魚による海洋から河川への加入個体数や加入時の体サイズを条件の異なる複数河川で把握し、河口周辺の河床勾配や河川水質など、河川加入に影響を及ぼしうる要因を特定する。
個別目標2	加入個体の河川内における定着率を推定し、河川内の環境構造や餌資源量、周辺土地利用との関係について明らかにする。
個別目標3	卵塊調査により各河川における産卵量を把握し、各河川における河床構造等の河川環境や成長率等との関係について明らかにする。

個別目標4	耳石中の微量元素（Sr, Ba, Ca）と酸素同位体の分析により、海・汽水の利用期間を特定する。これを基に、回遊履歴が河川加入やその後の定着とどのような関係にあるか解析を行う。
-------	--

4. 研究開発内容

研究計画書及びアドバイザー会合や中間ヒアリングでの議論を踏まえ、佐渡島内の30河川を調査対象として選定し、ハゼ科魚類を対象として海洋から河川への加入状況と関連要因及び産卵量について調査・解析を行った。加えて、河川内における食性及び潜在餌資源量、耳石による年齢推定についても一部前倒しで調査・解析を実施し、これらに基づき加入個体による河川内での定着率についても解析を行った。

加入状況については、対象河川の最下流部に調査区間を設定し、2019年6月以降月に2回の頻度で加入個体の採捕を行い、合わせて河川の流量及び水質（水温、溶存酸素量、電気伝導度、硝酸イオン濃度）、海水温について記録を行った。

定着状況に関しては、2019年9月、2020年1月及び4月において、加入状況調査で設定された調査区間において電気ショッカーを用いて魚類相を把握し、体サイズ分布を基に年齢級群の推定を行い、加入個体数に対する当年生まれの個体数を各河川における定着率として評価を行った。定着に関連する要因として、食性については、加入状況調査で採捕された個体の一部を冷凍保存し、後日全長と体重を計測のうえ胃内容物を取り出し実体顕微鏡下で内容物の同定を行った。また潜在餌資源量については、6月以降上記同様の区間においてコドラート法によって底生無脊椎動物を月に一度の頻度で採集した。

産卵量については、各河川の調査区間において河床の礫を無作為に選択し産着卵の有無について確認し、卵保護を行っている個体が認められた場合は種の同定を行った。また、DNA解析による産着卵の種同定も実施した。

2019年7月から2020年1月に採集した個体の耳石から薄層切片を作成し、Sr, Caを分析し、回遊パターンを推定した。また酸素同位体による予備的な分析を行い、Sr同位体比分析による新たな回遊パターン推定手法を構築した。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

①海洋から河川への加入

2019年6月から2019年11月までに実施した調査の結果、対象としたウキゴリ属（スミウキゴリ、シマウキゴリ）及びヨシノボリ属（シマヨシノボリ、ルリヨシノボリ）の8,819個体が採捕された。スミウキゴリでは調査を開始した6月時点で加入個体が確認されたのに対し、シマウキゴリとヨシノボリ属では7月から加入個体が採捕され、いずれの種も10月には概ね加入個体は見られなくなった。また、加入時の体サイズは種間で有意に異なっており、シマウキゴリはスミウキゴリより大型となって加入する傾向が確認された。加えて、各地域で十分な数の加入個体が確認されたスミウキゴリについてみると、加入時の体サイズが島の東側で有意に大きいことが明らかとなった。同程度の体サイズの個体を対象に耳石を用いた年齢推定を行った結果、島の東側で有意に年齢が若いことが示され、加入時の体サイズの違いは海洋生活期間中の成長率の差を反映している可能性が示唆された。

また、各河川における加入個体数に影響を及ぼしうる要因について考察するため、加入個体数を目的変数として各環境要因との関連について一般化線形混合モデル（GLMM）を用いて解析を行った。その結果、加入個体数と河口周辺の河床勾配の間に負の関係が認められ、遊泳力の乏しい加入個体にとって河床勾配の大きさが障害になっていると考えられた。一方で周辺の河川数が多いほど加入個体が増加する傾向が確認され、周辺河川からの移入可能性が示された。

②産卵量

2019年6月から11月まで、2週間に1回の頻度で産卵調査を実施した結果、全対象河川で合計158の卵塊を確認した。確認された卵塊のうち約97%が7月までに確認されており、9月後半以降にハゼ科魚類の卵塊は確認されなかった。また、卵塊のうち保護親から種の同定に至ったのは63であり、さらにこのうちヨシノボリ属の卵塊が約87%を占めた。ヨシノボリ属の卵塊数を目的変数として河床材料の多様性など河口周辺の河川環境との関連についてGLMMを用いて解析した結果、河口周辺の河床勾配が有意な負の関係を示し、勾配の大きな河川では産卵・卵保護時に必要となる砂礫など掘潜可能な河床が不足する可能性が考えられた。さらに、DNA解析による卵の種査定を実施し、112卵塊について配列を決定した。査定結果から、3月下旬よりスミウキゴリの産卵が開始し、次いで4月上旬からシマウキゴリの産卵が認められるなど、同所的に生息するウキゴリ属間において産卵時期に違いがあることが明らかとなった。

③河川加入後の定着と関連要因

各河川における底生無脊椎動物を対象としたコドラート調査の結果、すべての河川でハエ目幼虫が確認され、そのうち約83%をユスリカ科が占めていた。また、トビケラ目、カゲロウ目及びコウチュウ目もほぼすべての河川で出現しており、カワゲラ目についても約60%の河川で生息が確認された。採集個体の多いスミウキゴリの加入個体を対象に胃内容物分析を行った結果、約9割の個体からユスリカ科を中心とするハエ目幼虫が確認され、Manly's Selection ratiosを用いた解析からハエ目幼虫に対してのみ有意な正の選択性を示す結果となった。これらのことから、河川加入後の小型個体にとってはユスリカ幼虫が重要な餌資源となっていると考えられた。

2019年初夏に加入した個体について、11月時点の各河川における当歳個体（加入個体）の生息数を基に定着率を算出し、上記③までの解析結果を踏まえ、河川環境や餌生物量、加入時の体サイズ等との関係についてGLMMにより解析を行った。その結果、河川加入後の定着率と河口から魚止めまでの距離、河床材料の多様性及び加入時の体サイズとの間で正の関係が認められ、河川定着の成否には河川内の環境だけでなく海洋生活期間中の成長状態も影響を及ぼすことが明らかとなった。

④海・汽水の利用期間

耳石のSr/Ca比により、95個体について回遊パターンを推定しすべの個体が海と川とを行き来していたことを確認した。また、新たにSr同位体比を用いた解析手法を確立し、分析した28個体について海水、汽水、淡水での滞在期間を分け、海水と汽水について相対的な滞在期間を推定することが出来た。推定された汽水利用期間についてGLM解析を行った結果、加入期間中の河川水温と有意な負の関係が認められ、河川水温が高いほど汽水利用期間が短くなる傾向が明らかとなった。一方で、海洋生活期間と河川水温の間に有意な関係は認められず、汽水利用期間と河川水温の負の関係は、水温上昇が代謝向上による馴致期間の短縮に寄与していることを示唆していると考えられた。

⑤回遊パターンとその変動要因

上記①～④の結果を基に河川・流域環境についてPCAによる類型化を行い河川加入個体数との関連について評価を行った結果、規模が大きく周辺土地利用における人工度が低い流域で河川加入が多くなる傾向にあることが明らかとなった。しかし、小規模な流域は周辺の河川数が多くなる傾向にあるが、一方で河口から魚止めまでの距離は短くなる傾向にあるなど、ハゼ科魚類による河川加入と河川規模の関係は複雑であることも示唆された。

5－2．環境政策等への貢献

本研究により、通し回遊魚の回遊パターンと河川・流域環境の関係が明らかとなり、これに基づく森川海環境の類型化・評価について一定の知見を得ることが出来た。これは国土の多様性の再評価及び広域的土地利用計画の策定に資するものであり、地域特性を活かした地域循環共生圏の創造に寄与する基礎的知見となる。特に、河床勾配や河川水温と回遊パターンが関連していることが見いだされことから、河川水温に影響を及ぼす下流域における土地利用や河口部の地形は森里川海連関の視点から重要な流域指標とみなすことが出来る。また、水温が汽水利用を含む回遊パターンに強い影響を及ぼしている

ことが明らかとなったことは、気候変動に伴う水温上昇等によってもたらされる河川生態系への直接・間接的影響について評価するための基礎的知見として極めて重要であると考えられ、森里川海連関とその機能維持のため積極的な適応策の構築に寄与するものと考えられる。

河川内の環境条件と回遊パターンについても関連が見いだされ、特に遡上障害となる堰などの横断構造物の河川内における設置位置（河口からの距離）が通し回遊魚の生息に強く関わっていることが示唆された。移動障害が淡水魚類にもたらす影響についてはこれまでも知られていたものの、本研究は河川下流域における構造物の設置位置によってその影響が変化しうることを示したものであり、対策実施の優先性判断といった意思決定支援に寄与する知見であると考えられる。

＜行政等が既に活用した成果＞

特に記載すべき事項はない。

＜行政等が活用することが見込まれる成果＞

IPBESでは、アジア圏における温暖化やそれに伴う極端な気象条件の影響と対策が重要課題として挙げられている。小規模沿岸河川を対象とする本研究から得られた成果は、地域情報の補完・再評価にとどまらず、気候変動が生態系サービスに及ぼす影響の予測に対して重要な指針となる。特に河川水温について得られた成果からは、4℃の気温上昇によってもたらされる河川水温の上昇は海から河川への加入数の大きな減少をもたらすことが予測される。このことから、気候変動に対する適応策として、河川水温が比較的低温に保たれやすいと予測される自然度の高い流域における積極的な保全管理が考えられる。また、本研究では河口部の川幅が1m程度の小規模河川においても多数の加入が認められたこと、周辺河川から回遊も示唆されたことなども踏まえれば、小規模であっても流域の自然度の高い場合は積極的な保全管理の対象となりうる。一方で、特にスミウキゴリに関しては、河口部周辺の河床勾配が8%を超えるような河川で加入が大きく低下すると推察される点も留意する必要がある。また、一時的なものであっても河口閉塞が加入を低下させることも明らかとなったことから、森里海連関を維持するための積極的な河川管理として春季の通水を確保するための河口浚渫を上げることが出来る。

5－3．研究目標の達成状況

個別目標1：加入時期や加入時の体サイズが近縁な種間で異なることを明らかにしただけでなく、加入に影響を及ぼしうる河川環境についても定量的に特定された。加えて、本州側河川においても同様に調査を実施し、佐渡島で確認された結果について検証することが出来た。

個別目標2：底生無脊椎動物を専門とするポスドクを雇用できたことにより、河川内での潜在的餌資源量等について効率的に調査・解析を行うことができ、河川内での定着率についても初年度中に解析・考察を行うことが出来た。

個別目標3：産卵量とその変動要因については、アドバイザー一合会での意見も踏まえDNA解析による種同定も導入したことにより、産卵時期の高精度な評価など、当初計画以上の成果を得ることが出来た。

個別目標4：当初予定していた酸素同位体による評価手法は加入個体の耳石が想定外に小さく脆かったことから断念せざるを得なかったが、Sr同位体比を用いた新たな評価手法を確立することが出来た。

全体目標：上記1～4から得られた成果を基に各要因と回遊パターンとの関連について評価を行った結果、規模が大きく周辺土地利用における人工度が低い流域で河川加入が多くなる傾向が明らかとなり、小型通し回遊魚の回遊生態や資源動態に基づく河川・流域環境の類型化指標が抽出することが出来た。

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

1件

<主な査読付き論文>

- 1) Iida, M., K. Kido and K. Shirai: Marine and Freshwater Research 72, 8, 1243–1249 (2021) (IF: 2.07)
Migratory pattern and larval duration of an amphidromous goby, *Rhinogobius nagoyae*, at Sado Island, in northern Japan.

6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	1件
その他誌上発表（査読なし）	0件
口頭発表（学会等）	16件
「国民との科学・技術対話」の実施	2件
マスコミ等への公表・報道等	0件
本研究に関連する受賞	0件

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究者略歴

研究代表者

満尾 世志人

東京農工大学農学研究科修了、博士（農学）、現在、長野大学環境ツーリズム学部 准教授

研究分担者

1) 飯田 碧

東京大学大学院農学生命科学研究科修了、博士（農学）、現在、新潟大学佐渡自然共生科学センター 准教授

Ⅱ．成果の詳細

Ⅱ－１ 森・里・川・海連関の評価手法構築に向けた小型通し回遊魚の生態解明

長野大学環境ツーリズム学部
新潟大学佐渡自然共生科学センター
〈研究協力者〉

満尾 世志人
飯田 碧

東京大学大気海洋研究所

白井 厚太朗

〔要旨〕

本申請研究では、生態系間をつなぐ存在として川と海とを往来する小型の通し回遊魚に注目し、これらの回遊メカニズムとその関連要因を明らかにすることを目的とした。通し回遊魚の河川加入、河川内における定着、産卵、海洋生活期間の各プロセスに注目し、近接した地域に多数の独立河川が形成されている新潟県佐渡島の河川群における比較調査から、各プロセスに影響を及ぼす要因を特定した。調査・解析の結果、河川加入には河川水温だけでなく河口部の勾配や閉塞といった河川構造が強い影響を及ぼしていることが明らかとなった。一方、河川内における加入個体の定着に関しては河川コンクリート護岸割合や河口から魚止めまでの距離だけでなく、河川加入時の体サイズが関連していることが明らかとなり、小型通し回遊魚として初めてCarryover effectの影響を示した。産卵プロセスについては、ウキゴリ属間においても種間で産卵時期に違いがあることが明らかとなり、産卵量に影響を及ぼす河川環境についても特定された。さらに、耳石中のSr同位体比による推定手法を確立した。これにより、汽水利用期間を明確に特定することが可能となり、スミウキゴリの汽水利用には河川の水温が強く関連していることを明らかにした。

1. 研究開発目的

ハゼ科を中心とする小型通し回遊魚に関する回遊生態の解明とその関連要因の特定を研究の目的とする。そのため、沿岸河川群における網羅的調査によって次の課題に取り組む。

個別課題1：通し回遊魚による海から河川への加入状況と変動要因の解明。各河川における小型通し回遊魚の河川加入量や加入時の体サイズを把握し、河口周辺の河床勾配や水質など、加入に影響を及ぼしうる要因について明らかにする。**個別課題2：**河川内における定着率の評価と変動要因の解明。河川加入後の個体による成長段階別の餌資源利用様式を把握し、これに基づき河川内における潜在餌資源量について評価を行う。加えて河川周辺の土地利用や河床構造についても把握し、これらと河川内における定着率（加入数あたりの生存数）との関係について明らかにする。**個別課題3：**産卵量の把握及び変動要因の解明。卵塊調査により各河川における産卵量を把握し、各河川における河床構造等の河川環境や成長率等との関係について明らかにする。**個別課題4：**海・汽水・川の回遊履歴と成長量の推定。耳石中の微量元素（Sr, Ba, Ca）と酸素同位体の分析により、個体ごとの海・汽水の利用期間を特定する。さらに耳石輪紋を用いた解析により、各水域での成長速度を推定する。これらの結果から、河川や地域ごとの回遊状況とその関連要因について把握するとともに、特に海・汽水の利用状況と河川加入の関係について明らかにする。**個別課題5：**通し回遊魚の資源量及び回遊パターンの変動要因の解明。各河川における通し回遊魚の資源量に対する3プロセス（河川加入、定着、産卵）や回遊履歴及び各関連要因との関係や相対的重要性について解析を行い、沿岸河川における通し回遊魚の資源量や回遊パターンに影響を及ぼす生物学的・非生物学的要因について俯瞰的に評価を試みる。研究成果に基づく目標：すべての個別課題達成によって把握された知見に基づき、森川海連関に関する類型化と評価手法の提案を目指す。これにより、森川海について一体的にその多様性を評価することが可能となり、地域特性を活かした国土計画の策定に寄与する。

2. 研究目標

研究の全体目標：ハゼ科を中心とする小型通し回遊魚を対象に河川間比較によって回遊生態を解明し、人為的影響を含む河川・流域環境との関係を明らかにするとともに、回遊パターンや資源量に影響を及ぼす関連要因を特定しその相対的重要性について評価を行う。そのため、沿岸河川群における網羅的調査によって次の個別目標を設定した。

個別目標 1：小型通し回遊魚による海洋から河川への加入個体数や加入時の体サイズを条件の異なる複数河川で把握し、河口周辺の河床勾配や河川水質など、河川加入に影響を及ぼしうる要因を特定する。個別目標 2：加入個体の河川内における定着率を推定し、河川内の環境構造や餌資源量、周辺土地利用との関係について明らかにする。個別目標 3：卵塊調査により各河川における産卵量を把握し、各河川における河床構造等の河川環境や成長率等との関係について明らかにする。個別目標 4：耳石中の微量元素（Sr, Ba, Ca）と酸素同位体の分析により、海・汽水の利用期間を特定する。これを基に、回遊履歴が河川加入やその後の定着とどのような関係にあるか解析を行う。

ここで各目標はアドバイザリー会合等における議論を基に再整理されたものであり、個別目標 1 及び 3 は研究計画中の課題 1（資源量の把握と関連要因の特定）に、個別目標 2 は同課題 2（成長段階別の食性と栄養状態の把握）、個別目標 4 は同課題 3（海・汽水・川の回遊履歴と成長の解明）、そして全体目標は同課題 4（回遊パターンの類型化及びその変動要因の解明）に対応する。

研究成果に基づく目標：すべての課題達成によって把握された回遊パターンに基づき、森川海連関に関する類型化と評価手法の提案を目指す。これにより、既存手法は森林や河川など個別生態系の状態に基づくものが中心であるが、森川海について一体的にその多様性を可視化することが可能となり、地域特性を活かした国土計画の策定に寄与する。また、課題 1 からは主に河床構造や護岸などの河川環境について、課題 2 からは周辺土地利用など流域環境について、それぞれ通し回遊魚の回遊及び資源量に影響を及ぼす環境条件が示される。これにより、沿岸河川における通し回遊魚の資源保全を実現する具体的な流域管理方策に対して指針を示す。

3. 研究開発内容

3.1 調査対象河川の選定

河川の規模や人工度、流域内の土地利用状況などを基に佐渡島内の5つの海岸地域（内海府、外海府、小佐渡、真野、加茂湖）から30河川を調査対象として選定した。当該地域の2019年における年平均気温及び降水量は、それぞれ14.6℃、1456.5mmであり、対象とした河川の河口周辺における平均の水面幅及び流量はおよそ450cm、0.2 m³/s程度である。

3.2 通し回遊魚による海から河川への加入状況と変動要因

対象とした30河川の最下流部に延長50 mの調査区間を設定し、2019年6月以降2週間おきに手網を用いた魚類の採捕を行った。採集した魚類はその場で計数、種同定、全長と体重の計測を行い、放流した。一部の個体は後の胃内容物解析のために冷凍して持ち帰った。各河川では、単位面積当たりの努力量が等しくなるよう、採集時間を調節した。また、河川加入に影響を及ぼしうる要因として、河川流量や水質（水温、溶存酸素量、pH、電気伝導度、硝酸体窒素）、河口の閉塞状況についても魚類採捕に合わせて記録した。加えて、河口から5 km圏内の河川数についても地図上で計数を行った。各河川におけるサンプリングイベントごとの加入個体数及び平均体サイズを目的変数とし、河川の流量、水質、河口の閉塞状況、周辺河川数を説明変数とした一般化線形混合モデル（GLMM）を構築し、関連要因の抽出を行った。この際、サンプリングイベントID及び河川が位置する海岸地域をランダム変数とした。さらに、比較検証のため同様の調査を2020年7月に上越地域の5河川において実施した。

3.3 河川内における定着率の評価と変動要因

上記調査で設定した調査区間において、2019年11月に手網及び電気ショッカーを用いた網羅的な魚類

採捕を行い、各区分における魚類の生息状況（魚類相）を詳細に把握した。上記の加入状況調査で採集された加入個体の体サイズ及びその経時的推移を基に11月時点での年齢級群を推定し、11月時点での加入個体由来の当歳個体（同年の初夏の加入個体に由来する個体群）について生息数を推定した。

加入状況調査で採捕された個体について、後日全長と体重を計測のうえ胃内容物を取り出し実体顕微鏡下で内容物の同定し餌料を把握した。また潜在餌資源量を明らかにするため、2019年6月以降、毎月1回、同区分においてコドラート法により、底生無脊椎動物を採集した。餌項目及び潜在餌資源量からManly's Selection ratioを用いた解析を行い、餌生物に対する加入個体の選択性を評価した。

河川内の生息状況に影響を及ぼしうる要因として、各調査区分における河床材料の粒度分布について調査時に6段階で記録した。加えて、GISを用いて流域内の土地利用状況（具体的な項目を追加）について把握し、主成分分析（PCA）によって流域特性を示す合成変数を作成した。

上記の年齢級群推定より、2019年11月時点における全長50～70 mmの個体を当歳個体（加入個体）とし、各河川における総加入個体数に対する当歳個体数を定着率を示す指標とした。各河川について算出された定着率を目的変数としたGLMM解析により定着に影響を及ぼす要因について推定を行った。説明変数は河川内における流量、ハエ目幼虫生息量、水深、河床材料多様度、コンクリート河床割合、河床勾配、流域環境について算出された合成変数、各河川における加入個体の平均体サイズとし、ランダム変数は海岸地域とした。

3. 4 産卵量の把握及び変動要因

各河川の調査区分において河床の礫を無作為に選択し産着卵の有無を確認し、卵保護を行っている個体が認められた場合は種の同定を行った。卵塊調査は2019年6月以降2週間に1度の頻度で実施し、各河川におけるサンプリング時間は面積当たりの努力量が等しくなるよう調節した。各河川におけるサンプリングイベントごとの卵塊数を目的変数とし、河川の流量、水質、河床勾配、水深、河床材料多様度を説明変数とした一般化線形混合モデル（GLMM）を構築し、関連要因の抽出を行った。この際、サンプリングイベントID及び海岸地域をランダム変数とした。

種ごとの産卵期を詳細に調べるため、2021年2月～7月に同様の調査を実施し、採集時には遺伝子による種査定用に全卵塊についてその一部を99%エタノールに保存し持ち帰った。卵は、全DNAを抽出し、ミトコンドリアDNAのcyt b領域の全長をPCRにより増幅し、シーケンス反応を行って、塩基配列を決定した。また、参照となる配列を得るため、佐渡島のスミウキゴリ、シマウキゴリ、ウキゴリ、シマヨシノボリ、ルリヨシノボリの成魚それぞれ2個体について、胸鰭を用いて、卵と同様に、塩基配列を決定した。塩基配列のアライメントを行って、近隣結合法により系統樹を作成し、種査定を行った。

3. 5 海・汽水・川の回遊履歴と成長量の推定

耳石による加入個体の年齢推定を実施した。食性解析に供した個体から耳石を摘出し、ガラスプレパラートに封入・研磨し、実体顕微鏡下で日輪の計数し日齢を推定した。

2019年7月から2020年1月に調査対象河川で採集したスミウキゴリ計109個体について、耳石を摘出して樹脂に包埋し、研磨、琢磨して薄層切片試料とした。耳石は、魚類の頭部にある炭酸カルシウムの結晶から成る感覚器官で、体成長を反映する。また、生まれてから再吸収が起こらないため、孵化から死亡時までの生息環境の水の組成を反映する。Srは、一般に海水に多く含まれ、淡水にはほとんど含まれていない。これらの特性を用いて、各個体が生息していた塩分環境と回遊パターンの推定を行った。109個体について、SrとCaの値を電子プローブマイクロアナライザ（EPMA）により、耳石の核から縁辺まで長軸方向に5 μmごとに定量線分析し、生まれてから死ぬまでの塩分環境と回遊パターンを推定した。回遊パターンが推定できた個体については、耳石を、海洋生活期間中に形成された部分（海洋生活期間）、汽水滞在中に形成された部分（汽水での滞在期間）、淡水へ加入後に形成された部分（淡水での生活期間）に分けた。河川への加入生態に、海水や汽水での滞在期間が影響するのか、それらは河川や地域ごとに異なるのか検討するため、耳石の表面上の距離を計測して、それぞれの水域における相対的

な滞在期間を推定した。

Sr/Ca比による回遊パターンの推定は、手法が確立しており比較的分析が行いやすい。一方、Sr値は、海水と淡水を分けるには有効だが、汽水における値が河川や個体によって一定でないなど、必ずしも明瞭とはいえない。そこで本研究では、近年、新たな塩分の推定手法として用いられはじめた酸素同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ 、通常の ^{16}O に対する ^{18}O の存在比）に着目した。 $\delta^{18}\text{O}$ は、同一水域、海域であれば、塩分との間に相関関係がある。これを利用して、生息環境の塩分の推定を行った。酸素同位体比は、海域、地域によって異なる。佐渡島のサンプルでの利用可能性について検討するため、予備的な分析として、佐渡島のアユ6個体を用いて、回遊パターンや汽水滞在について推定できるか検討した。あらかじめSr, Caを分析した耳石薄層切片サンプルの表面を、1サンプルにつき、2から5点、マイクロドリルで削り試料を得た。安定同位体比質量分析計（IRMS）により、分析し、得られた $\delta^{18}\text{O}$ の値から生息環境の塩分を推定した。この結果を基に、本研究のスミウキゴリ4個体について、同様の方法で、各サンプルから2から3点ずつ試料を得て分析に供した。

4. 結果及び考察

4.1 通し回遊魚による海から河川への加入状況と変動要因の解明

2019年6月から2019年11月までに実施した調査の結果、対象としたウキゴリ属及びヨシノボリ属計8,819個体が採捕された。採捕された個体の全長分布をみると、各種について加入個体で構成される明確なピークが認められた（図4.1.1左）。ウキゴリ属は成魚の体サイズに違いは認められないにもかかわらず、加入個体の体サイズは種間で有意に異なっていた（GLM、 $p<0.001$ 、図4.1.1右）。確認された全長分布を基に、これ以降はスミウキゴリ、シマウキゴリ、ヨシノボリ属それぞれについて全長35mm以下、45mm以下、25mm以下の個体を加入個体として扱うこととする。加入の時期についても種間で異なっており、スミウキゴリでは調査を開始した6月時点ですでに加入個体が確認されたのに対し、シマウキゴリではおよそ1か月後の7月から加入が認められ、ヨシノボリ属では8月に加入のピークが認められた（図4.1.2）。ウキゴリ属の比較では、加入が遅くかつ大型となっていることから、シマウキゴリはスミウキゴリに比べ海洋生活期間が長い可能性があると考えられた。

各海岸地域における加入状況を見ると、ヨシノボリ属については概ねいずれの海岸地域でも加入が確認されたのに対し、スミウキゴリでは小佐渡及び加茂湖流入河川でほぼ加入が認められず、シマウキゴリの加入は概ね外海府及び真野に限定されていた（図4.1.2）。これ以降の解析では、島内の比較的広い範囲で十分な数の加入が認められたスミウキゴリを主な対象とする。

各河川における加入個体数に影響を及ぼしうる要因について考察するため、加入個体数を目的変数として各環境要因との関連について一般線形混合モデルを用いて解析を行った（表4.1.1）。その結果、加入個体数と河口周辺の河床勾配の間に負の関係が認められ（図4.1.3）、河床勾配と加入時の平均体サイズの間に有意な正の関係が認められたことから（図4.1.4）、遊泳力の乏しい加入個体にとって河床勾配の大きさが障害になっていると考えられた。また、河口部の閉塞期間も加入個体数に強い負の影響を与えていることが明らかとなった（図4.1.5）。一方で周辺の河川数が多いほど加入個体が増加する傾向が確認され、周辺河川からの移入可能性が示された。

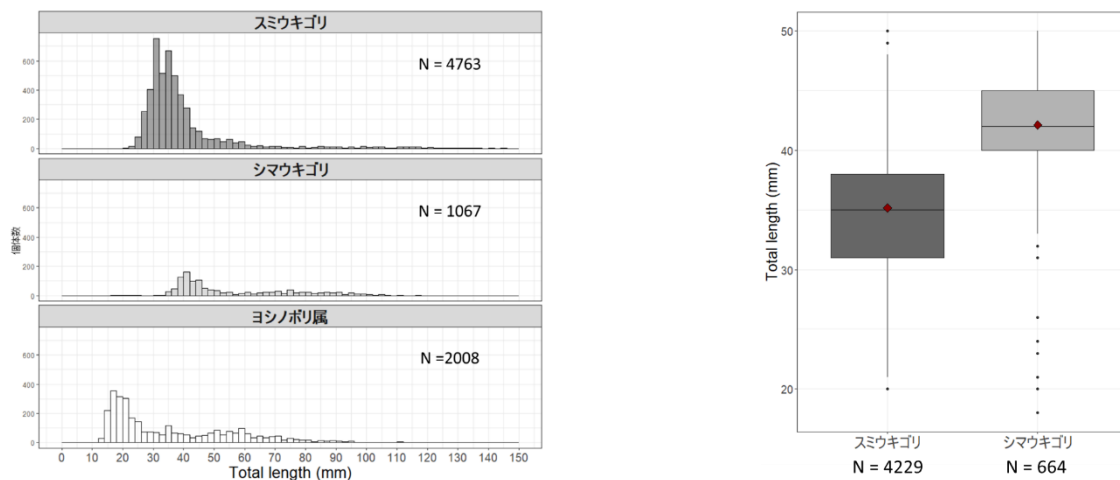


図4.1.1 加入状況調査により採捕された個体の全長分布（左）、全長50mm以下を加入個体とした際のウキゴリ属二種の体サイズ比較（右）

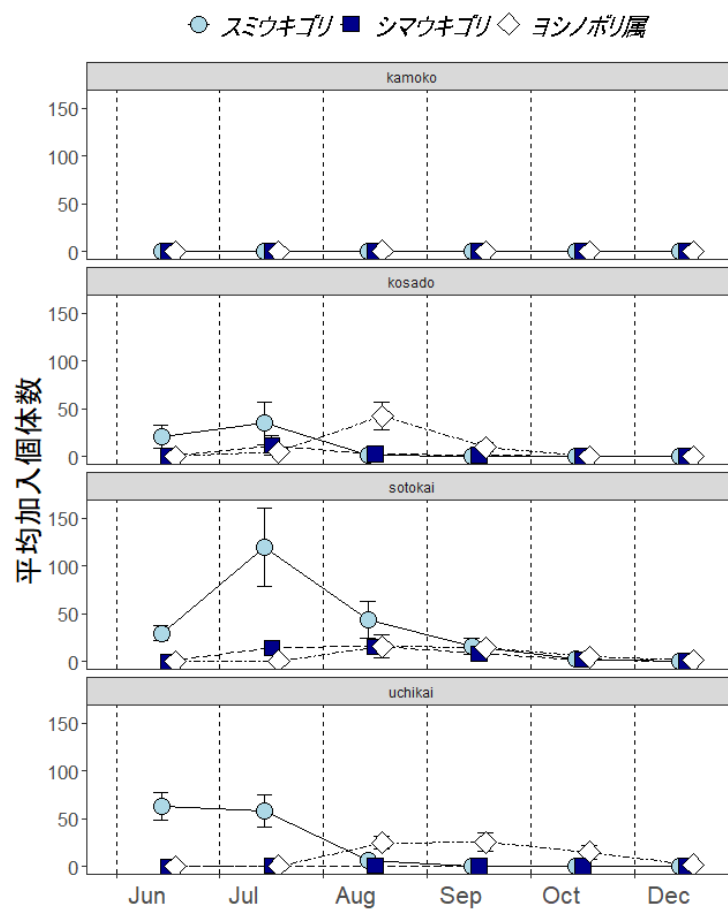


図4.1.2 加入個体数の経時的変化

表4.1.1 GLMMによって抽出された加入個体数と関連する要因

Variable	Estimate	Adjusted SE	z	P
スミウキゴリ				
河口閉塞期間	-0.667	0.035	-18.93	< 0.001
河床勾配	-0.038	0.003	-11.075	< 0.001
周辺河川数	0.124	0.013	9.466	< 0.001
河川水温	-0.122	0.012	-10.311	< 0.001
シマウキゴリ				
流量	0.066	0.076	0.866	0.386
河口閉塞期間	-0.661	0.036	-18.287	< 0.001
河床勾配	-0.037	0.004	-10.446	< 0.001
周辺河川数	0.128	0.014	9.236	< 0.001
河川水温	-0.121	0.012	-10.035	< 0.001

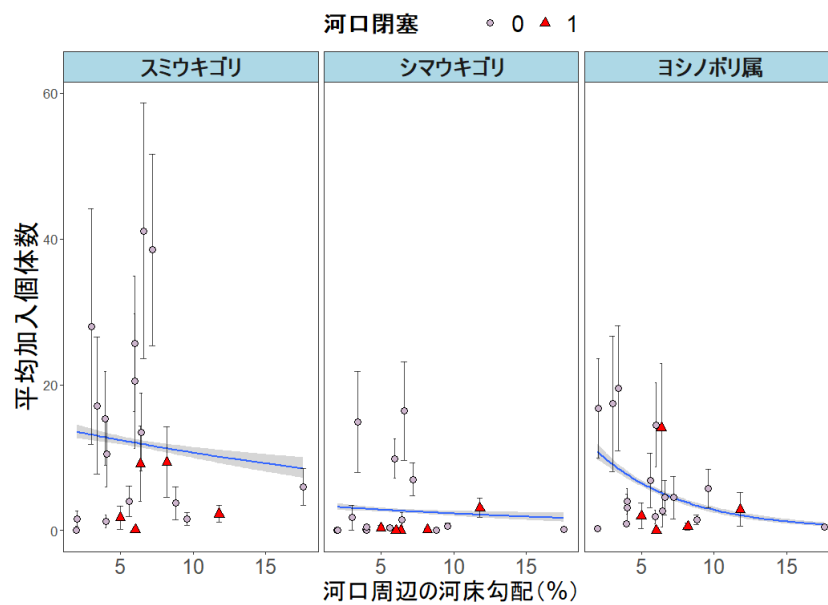


図4.1.3 加入時の平均全長と河床勾配

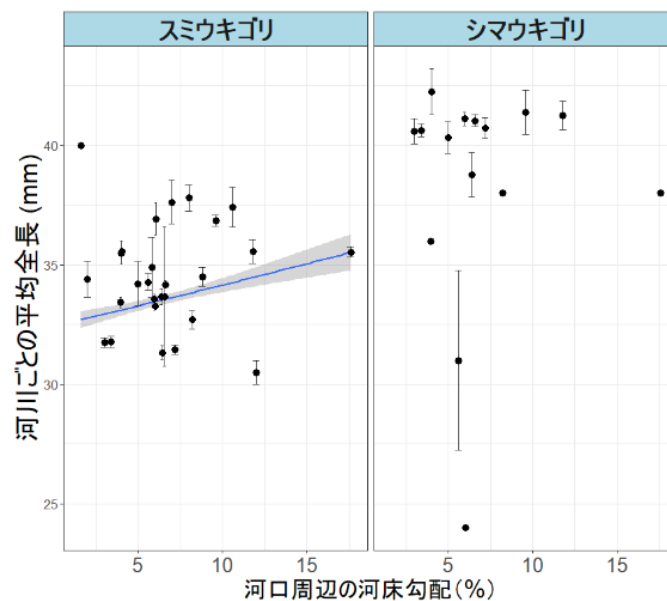


図4.1.4 平均加入個体数と河床勾配

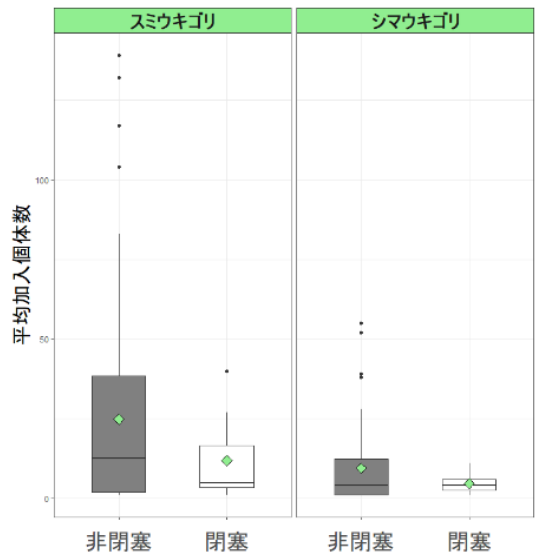


図4. 1. 5 河口閉塞の有無と加入個体数

4. 2 河川内における定着率の評価と変動要因の解明

各河川におけるコドラート調査の結果、すべての河川でハエ目幼虫が確認され、そのうち約83%をユスリカ科が占めていた。また、トビケラ目、カゲロウ目及びコウチュウ目もほぼすべての河川で出現しており、カワゲラ目についても約60%の河川で生息が確認された。スミウキゴリの加入個体を対象に57個体について胃内容物分析を行った結果、全ての個体からユスリカ科を中心とするハエ目幼虫が確認され、胃内容物中の個体数割合においても約93%をハエ目幼虫が占める結果となった（図4. 2. 1）。主要餌項目を対象としたManly’s Selection ratioを用いた解析からは、ハエ目幼虫に対して有意な正の選択性を示す傾向が確認され（表4. 2. 1）、河川加入後の小型個体にとってはユスリカ幼虫が重要な餌資源となっていると考えられた。

各河川における加入個体の定着率を目的変数としたGLMM解析の結果、定着率と河口から魚止めまで距離との間で正の関係が認められた（表4. 2. 2、図4. 2. 2左）。このことは、海から河川へと加入した個体が生息場として利用しうる河川の範囲が定着に影響を与えていることを示しており、河川内における横断構造物等の影響はその位置によっても異なることを示唆していると考えられる。また、一方で流量及びコンクリート河床割合が負の関係を示しており、特に加入後の小型個体にとっての緩流域の重要性を示唆している（表4. 2. 2）。さらに、加入時の体サイズも定着率に対して正の関係を示した（表4. 2. 2、図4. 2. 2右）。この結果は、河川定着の成否には河川内の環境だけでなく海洋生活期間中の成長状態も関連していることを示しており、ハゼ科魚類の通し回遊においてもCarryover effectが重要な影響を及ぼすことが明らかとなった。

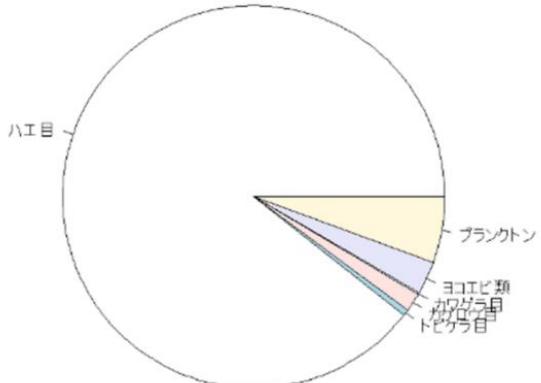


図4. 2. 1 代表的餌項目の胃内容物中における個体数比。

表4.2.1 算出されたManly's Selection ratio。Wiの値が1を超えると正の選択性を持つことを表し、0～1は負の選択性を持つことを示す。

	Available	Used	Wi	SE	IClower	ICupper
ハエ目	0.614	0.930	1.516	0.137	1.164	1.868
トビケラ目	0.172	0.011	0.066	0.045	-0.048	0.181
カゲロウ目	0.193	0.019	0.099	0.038	0.000	0.197
カワゲラ目	0.009	0.001	0.146	0.201	-0.373	0.665
ヨコエビ類	0.013	0.038	2.840	2.922	-4.687	10.366

表4.2.2 GLMMによって抽出された河川内における定着率と関連する要因。

Variable	Estimate	Adjusted SE	z	P
コンクリート河床割合	-0.759	0.368	-2.059	< 0.05
流量	-1.135	0.315	-3.6	< 0.001
魚止めまでの距離	0.757	0.215	3.525	< 0.001
加入時平均体サイズ	0.809	0.184	4.386	< 0.001

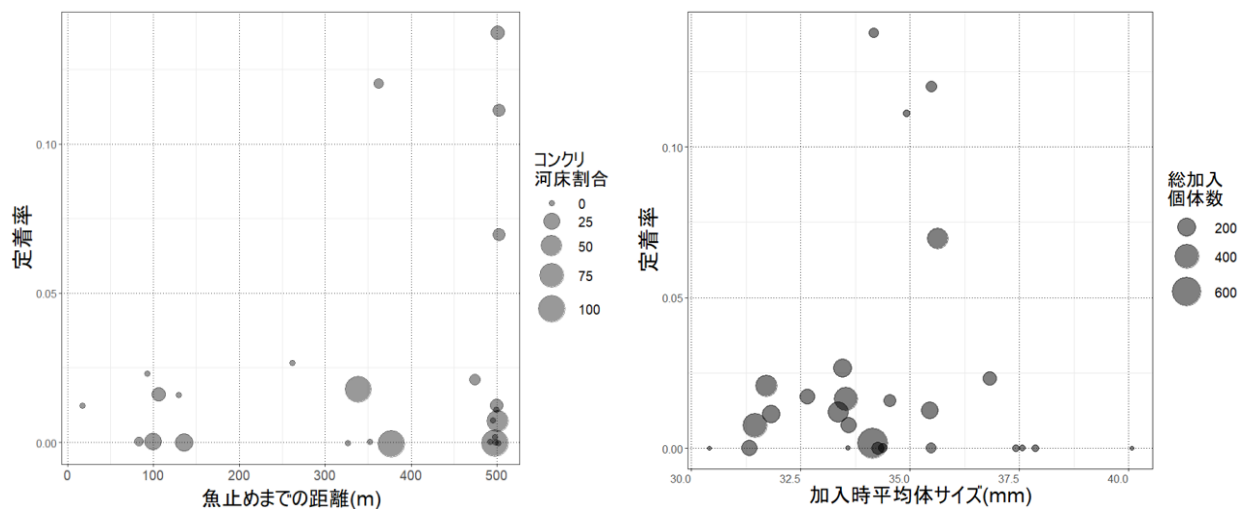


図4.2.2 定着率と河口から魚止めまでの距離（左）及び加入時の平均体サイズ（右）の関係

4.3 産卵量の把握及び変動要因の解明

2019年6月から2週間に1度の頻度で産着卵調査を実施した結果、全対象河川で合計158の卵塊を確認した。確認された卵塊のうち約97%が7月までに確認されており、9月後半以降にハゼ科魚類の卵塊は確認されなかった。また、卵塊のうち保護親から種の同定に至ったのは63であり、さらにこのうちヨシノボリ属の卵塊が約87%を占めた。ヨシノボリ属の卵塊数を目的変数として河床材料の多様性など河口周辺の河川環境との関連についてGLMMを用いて解析した結果、河口周辺の河床勾配が有意な負の関係を示し（表4.3.1）、勾配の大きな河川では産卵・卵保護時に必要となる砂礫など掘潜可能な河床が不足する可能性が考えられた。

2021年に採集された卵塊のDNA解析による卵の種査定の結果、計164卵塊のうち、112卵塊について配列を決定した。110卵塊について、系統樹から、5種のいずれであるか種査定結果を得た。なお、2卵塊についてはいずれにも当てはまらなかった。査定結果を用いて産卵量の経時的な変化をみると、3月下旬よりスミウキゴリの産卵が開始し、次いで4月上旬からシマウキゴリの産卵が認められ、いずれも6月以降の産卵は認められなかった（図4.3.1）。一方ヨシノボリ属については、5月から産卵が認められ、調査期間中では6月に産卵のピークが認められた。

表4.3.1 GLMMによって抽出された河川内におけるヨシノボリ属卵塊数と関連する要因。

Variable	Estimate	Adjusted SE	z	P
河床材料多様度	-0.637	0.394	-1.618	0.10572
河床勾配	-0.144	0.048	-2.972	0.00296

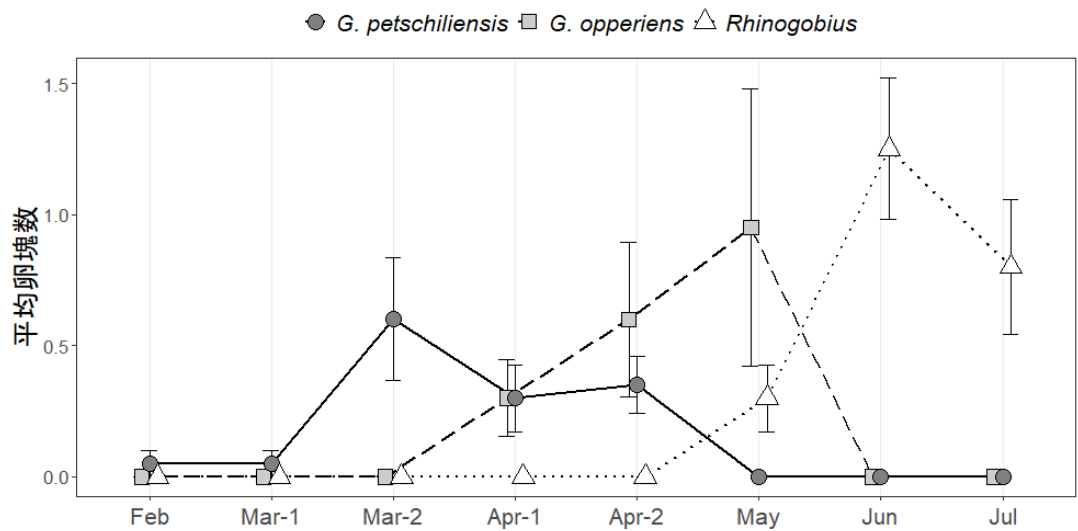


図4.3.1 DNA解析による種査定により明らかとなったハゼ科魚類の産卵タイミング

4.4 海・汽水・川の回遊履歴と成長量の推定

スミウキゴリとシマウキゴリの加入個体を対象に、それぞれ72個体と17個体について耳石輪紋による日齢査定を行った。その結果、スミウキゴリが 48.7 ± 13.1 、シマウキゴリが 53.6 ± 9.0 となり、これまでに知られている他のハゼ科魚類に関する海洋生活期間と大きく異ならなかった。また、加入個体の日齢はウキゴリ属二種で有意に異なっており（GLMM、 $p < 0.01$ 、図4.4.1）、シマウキゴリの海洋生活期間がより長いことが明らかとなった。

スミウキゴリの加入個体についてみると、体サイズが外海府及び真野に比べ内海府で有意に大きくなることが明らかとなった（GLM、 $p < 0.001$ 、図4.4.2）。同程度の体サイズの個体を対象に耳石を用いた日齢推定を行った結果、内海府で有意に日齢が若く（GLM、 $p < 0.001$ ）、海岸地域間における加入時の体サイズの違いは海洋生活期間中の成長率の差を反映していると考えられた。

Sr/Ca比による推定の結果、109個体の内95個体はいずれも生活史初期を海で過ごしその後河川へ加入する両側回遊型であることが確認された。これらについて、海水、汽水、淡水それぞれにおける滞在期間を推定した。14個体については、回遊パターンが明確でなかった。これは、これらの個体が採集された河川（北部の東西に渡る一部の河川、大川、五十浦川、浦川）において、地質的な要因によりSrが例外的に高いためと推察された。

Sr同位体比の結果から、分析した28個体について海水、汽水、淡水での滞在期間を分け、海水と汽水について相対的な滞在期間を推定された。これらの推定はSr/Ca比によるものと比較してより明確であっただけでなく、さらに、ほとんどの個体（28個体中24個体）について、汽水滞在を2（または3）区間に分けることができた（図4.4.3）。より詳細な検討が必要だが、これは、汽水の利用を海洋と河川河口域とに分けることができる可能性を示したもののいえ、どのような水域が加入個体の生息に重要なのかを明らかにする上で、汽水域の詳細に利用の解明につながる有用な知見と考えられる。28個体のうち8個体は、Sr/Ca比では回遊パターンや汽水滞在期間の推定ができない個体であったが、Sr同位体比を用いた本手法ではこのような個体についても上記の推定を行うことができた。このことから、Sr同位体比分析が回遊研究に新たな進展をもたらす手法になると考えられた。

Sr同位体比によって推定された汽水利用期間（高値最終点～低値始めの距離）についてGLM解析を行った結果、加入期間中の河川水温と有意な負の関係が認められ、河川水温が高いほど汽水利用期間が短くなる傾向が明らかとなった（図4.4.4左）。一方で、海洋生活期間と河川水温の間に有意な関係は認められず（図4.4.4右）、汽水利用期間と河川水温の負の関係は、水温上昇が代謝向上による馴致期間の短縮に寄与していることを示唆していると考えられる。

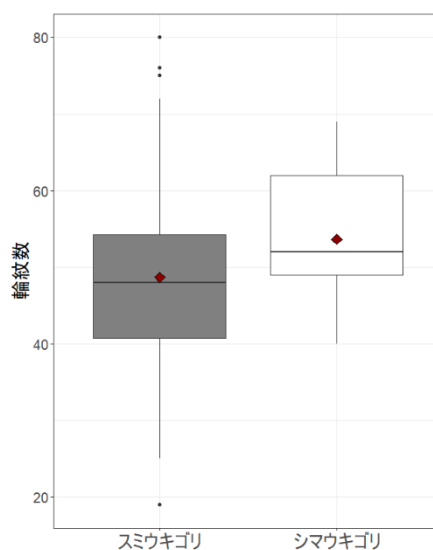


図4.4.1 同海岸地域におけるウキゴリ属二種の加入時輪紋数(海洋生活期間の日数)の比較。

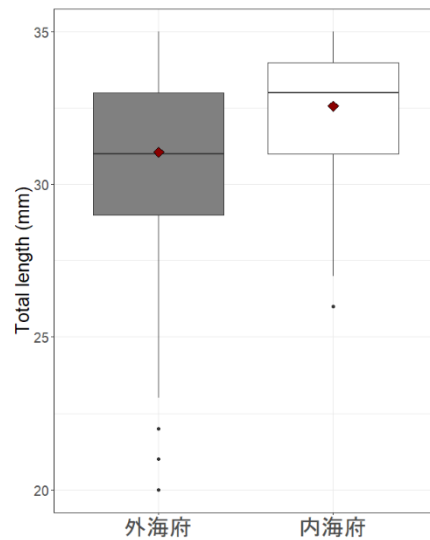


図4.4.2 スミウキゴリの海岸地域間における加入時体サイズ比較。

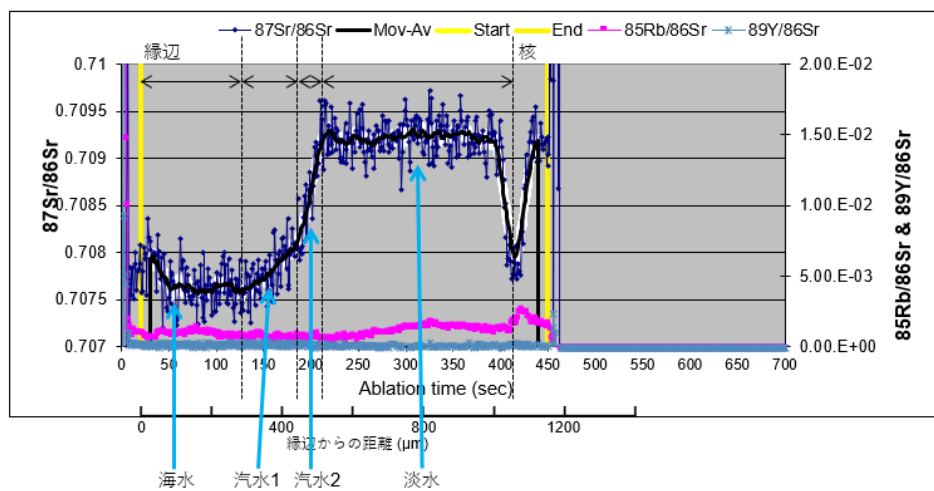


図4.4.3 Sr同位体比による解析結果の例

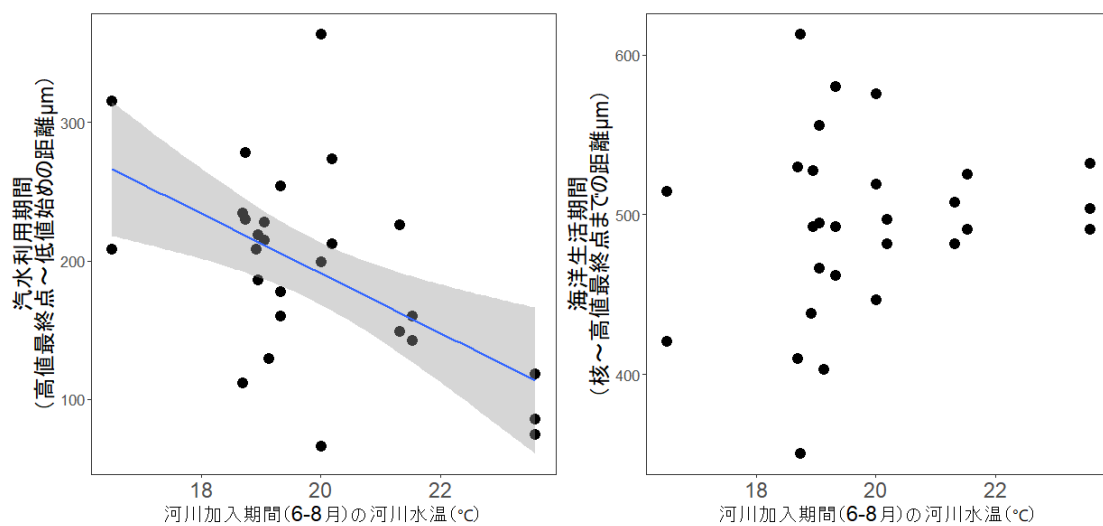


図4.4.4 河川水温が汽水利用期間（左）及び海洋生活期間（右）に及ぼす影響

4.5 流域環境の類型化と回遊生態

上記4.4までの結果により、ハゼ科魚類の通し回遊パターンは河川の水温や河口部の河床勾配などいくつかの環境要因から影響を受け変動していることが明らかとなり、本州河川における同手法での調査結果においても加入と河口地形の類似した関係を確認できた（図4.5.1）。また、河川水温は、汽水利用状況にもかかわるなど回遊生態と密接に結びついていることが示唆されただけでなく、流域における土地利用の改変といった人間活動の影響も強く受けることが予測される。そこで、河川加入が活発に認められた6月－8月期における河川水温を目的変数とし、流量及び水深、河床勾配、流域の最高標高、流域面積、流域における水田割合と宅地割合を説明変数、海岸地域をランダム変数としてGLMM解析を行った。その結果、AICに基づくトップモデル中において有意な関係を示した説明変数は流域における宅地割合であった（図4.5.2）。これらを基に河川・流域環境についてPCAによる類型化を行い河川加入個体数との関連について評価を行った結果、規模が大きく周辺土地利用における人工度が低い流域で河川加入が多くなる傾向にあることが明らかとなった（図4.5.3、表4.5.1）。しかし、小規模な流域は周辺の河川数が多くなる傾向にあるが、一方で河口から魚止めまでの距離は短くなる傾向にあるなど、ハゼ科魚類による河川加入と河川規模の関係は複雑であることも示唆された。

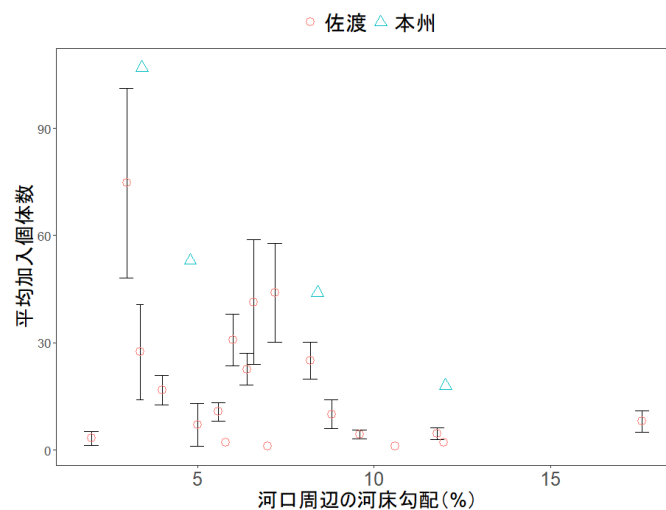


図4.5.1 本州河川を含めた河床勾配と加入個体数の関係

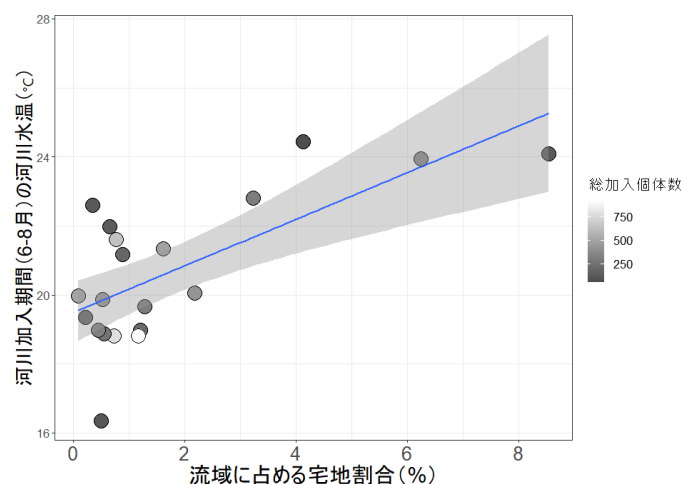


図4.5.2 加入期間における河川の平均水温と宅地割合の関係

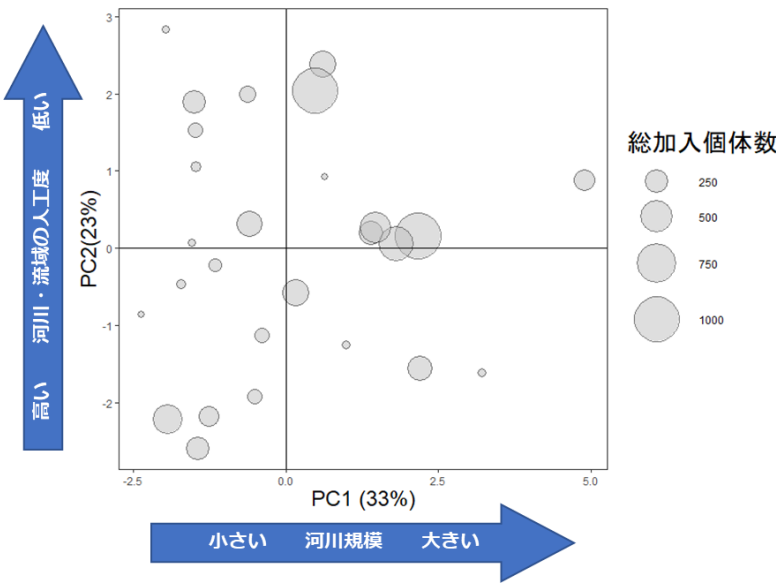


図4.5.3 PCAによる流域・河川環境の類型化と河川加入状況

表4.5.1 図4.5.3のPCAに係る因子負荷量

	PC1	PC2
流量	0.94	-0.05
河川水温	-0.39	-0.73
河床材料	0.59	0.45
河口部勾配	-0.50	0.61
河口閉塞期間	-0.20	-0.17
流域面積	0.87	-0.27
周辺河川数	-0.65	-0.35
コンクリ割合	-0.33	-0.11
河口から魚止めまでの距離	0.55	-0.65
流域の宅地割合	-0.11	-0.74

5. 研究目標の達成状況

研究計画書においては、生息数・産卵数を把握し関連要因の抽出を行うとしており、これらの作業はいずれも予定通り取り組むことができた（個別課題1、個別課題3）。特に海洋から河川への加入に関しては、加入時期や加入時の体サイズが近縁な種間で異なることを明らかにしただけでなく、加入に影響を及ぼしうる河川環境についても定量的に特定された。加えて、本州側河川においても同様に調査を実施し、佐渡島で確認された結果について検証することが出来た。また、河川内での定着率など新たな項目についても初年度中に解析・考察を行うことが出来た（個別課題2）。個別目標4で設定した耳石の微量元素解析による回遊履歴の把握に関しては、新型コロナウイルスに由来する移動自粛や地震による機器トラブルの影響はあったものの、研究期間内に解析手法の確立と回遊履歴の推定を行うことができ、通し回遊魚による汽水利用の新たな知見を得ることが出来た。そしてこれらにより明らかとなった加入・定着・産卵の各プロセスにおける変動要因を踏まえ、各要因と回遊パターンとの関連について評価を行った結果、規模が大きく周辺土地利用における人工度が低い流域で河川加入が多くなる傾向が明らかとな

り、小型通し回遊魚の回遊生態や資源動態に基づく河川・流域環境の類型化指標が抽出することが出来た。（個別課題5）。

さらに研究を進めるなかで河川における構造物の存在が当初の想定よりも強く影響すると考え、河川加入の有無が河川の底生無脊椎動物群集に及ぼす影響など、計画にはない発展的研究としてハゼ科魚類の回遊からもたらされる波及的効果についても本研究課題と並行して調査を実施した。

以上のように、当初計画（目標）以上の内容を達成したと自己評価する。

6. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

- 1) Iida, M., K. Kido and K. Shirai: Marine and Freshwater Research 72, 8, 1243–1249 (2021) (IF: 2.07)
Migratory pattern and larval duration of an amphidromous goby, *Rhinogobius nagoyae*, at Sado Island, in northern Japan.

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 満尾世志人、飯田 碧：「野生生物と社会」学会第 25 回大会（2019）
「ハゼ科魚類による河川加入とその変動要因」
- 2) 浅田稜二、木戸杏香、飯田 碧：2019 年度日本魚類学会年会（2019）
「佐渡島の河川におけるハゼ科ウキゴリ属の微小生息環境利用」
- 3) 浅田稜二、木戸杏香、飯田 碧：第 67 回日本生態学会大会（2020）
「河川におけるハゼ科ウキゴリ属魚類の微小生息環境利用」
- 4) 木戸杏香、白井厚太郎、飯田 碧：第 67 回日本生態学会大会（2020）
「対馬暖流域の島嶼におけるヨシノボリ属の仔魚期の海洋生活期間」
- 5) 満尾世志人、飯田 碧、山本直、中島智志：生態学会第 67 回大会（2020）
「ウキゴリ属魚類による河川加入と餌資源利用」
- 6) 飯田 碧、H. D. Tran、H. P. Palla、小林大純、白井厚太郎、前田 健：第 67 回日本生態学会大会（2020）
「東南アジアの河川における通し回遊性魚類の回遊規模の推定」
- 7) Iida, M., H. Kobayashi, H. D. Tran, and K. Maeda: 2nd National Conference on Ichthyology in Vietnam. Vinh University, Nghe An Province, Vietnam / online, 2021
“Diadromous migration of gobies in Vietnam in comparison with other Asian regions”.
- 8) 満尾世志人、鳥羽乾太、飯田 碧：応用生態工学会 第 24 回 札幌大会、(2021)
「河口地形は両側回遊魚の河川加入をどのように変えるか」
- 9) 藤田陽、川崎敬心、満尾世志人：応用生態工学会 第 24 回 札幌大会、(2021)
「佐渡島の小河川におけるサケ科魚類の生息状況」
- 10) 川崎敬心、藤田陽、満尾世志人：応用生態工学会 第 24 回 札幌大会、(2021)
「通し回遊魚の集団加入が底生無脊椎動物群集にもたらす影響」
- 11) 夏川高輔、浅田稜二、島田健太郎、豊田賢治、白井厚太郎、飯田 碧：2021 年度日本魚類学会年会、(2021)
「佐渡島におけるカンキョウカジカの流程分布と初期生態」
- 12) 飯田 碧：2021 年日本ベントス学会・日本プランクトン学会 合同大会シンポジウム 分野横断で挑む海洋幼生生態学（2021）
「通し回遊性魚類の幼生の分散と滞留」
- 13) 渡部侑果、長谷川雅美、飯田 碧、伊藤翔、阿部晴恵：第 68 回日本生態学会大会岡山（オンライン）（2021）
「佐渡島における魚食を行うシマヘビの頭部形態及び採餌行動に関する研究」

- 14) 飯田碧：新潟大学佐渡自然共生科学センターシンポジウム 2021 環境変動と生物集団（2021）
「環境変動と魚類」
- 15) 川崎敬心、藤田陽、満尾世志人：第 69 回日本生態学会大会（2022）
「小型通し回遊魚の集団加入が底生無脊椎動物群集にもたらす影響」

（３）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 市民向けイベント「佐渡市環境フェア」（主催：佐渡市、2019年11月10日、佐渡市 トキのむら元
気館、参加者約80名）にて成果紹介
- 2) 令和3年度市民環境講座（主催：佐渡市、2021年11月30日、佐渡市アミューズメント佐渡、参加者
約40名）にて講演

（４）マスコミ等への公表・報道等＞

特に記載すべき事項はない。

[Abstract]

Evaluating Land River and Sea Connectivity through the Ecology of Small Diadromous Fishes

Principal Investigator: Yoshito MITSUO

Institution: Nagano University, Ueda, JAPAN

Tel: +81-268-39-0001 / Fax: +81-268-0002

E-mail: yoshito-mitsuo@nagano.ac.jp

Cooperated by: Niigata University

Key Words: Amphidromous, Goby, Recruitment, Migration pattern, Brackish

Migration patterns and mechanisms of diadromy in fishes are poorly known, especially for amphidromous goby taxa. We assess factors that influence migration patterns by comparison among multiple watersheds. Goby migration from the sea into rivers is significantly negatively associated with environmental conditions around the river mouth, such as water temperature, gradients, and the extent of river-mouth closure. Conversely, establishment of gobies in rivers is affected by proportions of concrete river bed and the distance from the river mouth to a barrier that may prevent fish movement. We also showed establishment of gobies in rivers to be significantly positively related to their body size when entering that river, which, for the first time, identifies a carryover effect from dwelling in sea and/or brackish environments on subsequent goby growth and establishment. A new approach is developed to estimate larval goby duration in oceanic and brackish environments using Sr stable isotope ratios in otoliths. With this new approach we demonstrate that the length of time that larval *Gymnogobius petschiliensis* spend in brackish waters is significantly associated with river water temperature.