

【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

○満尾 世志人（長野大学 環境ツーリズム学部）

飯田 碧（新潟大学 佐渡自然共生科学センター 臨海実験所）

# 背景と目的

## 森里川海における通し回遊魚

- 生活史の中で川と海を往来する魚

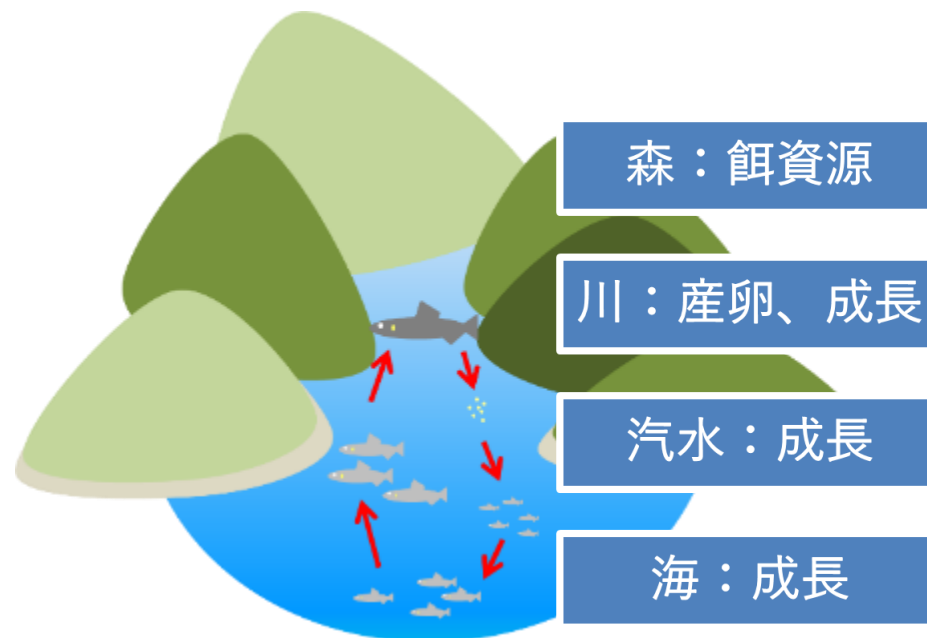
→ 森川海連関に寄与 (Engman et al. 2018)

- サケ科など水産上重要種が中心

→ ハゼ科などの小型通し回遊魚は大きく見過ごされてきた

小型通し回遊魚は  
森里川海それぞれの環境と強く関連

→ 小型通し回遊魚に注目することで森里川海の俯瞰的評価が可能



|        | サケ科   | ハゼ科   |
|--------|-------|-------|
| 主な回遊型  | 遡河回遊  | 両側回遊  |
| 川内の餌利用 | ほぼ無し  | 有り    |
| 分布域    | 主に寒冷地 | 熱帯～寒帯 |
| 生息河川   | 大規模   | 小～大規模 |
| 回遊範囲   | 主に外洋  | 主に沿岸  |

# 背景と目的

## ハゼ科魚類の回遊に関するこれまでの研究

- 熱帯島嶼を中心に分布や回遊型について整理されつつある (e.g. Keith 2003)
  - 海洋生活期間の違いなど、**同種内の回遊型の中にもバリエーション**がある (Engman et al. 2017; Iida et al. 2017)
- 通し回遊魚の資源動態や森里川海連関と密接に関わると予測される

どのような要因が回遊パターンを変化させるかは未解明



シマウキゴリの回遊履歴



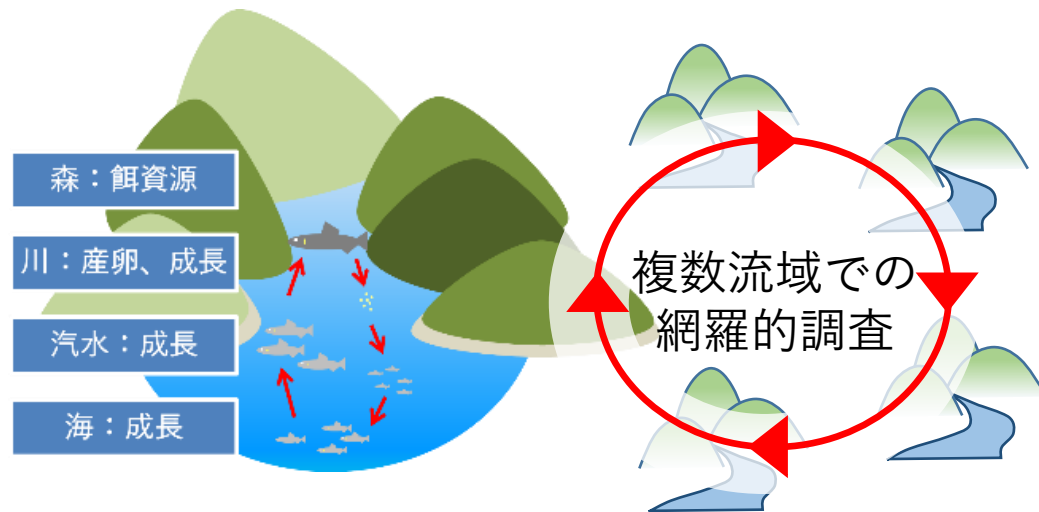
土地利用



河川改修

# 背景と目的

## 研究開発目的



各水域・成長段階の定量的把握

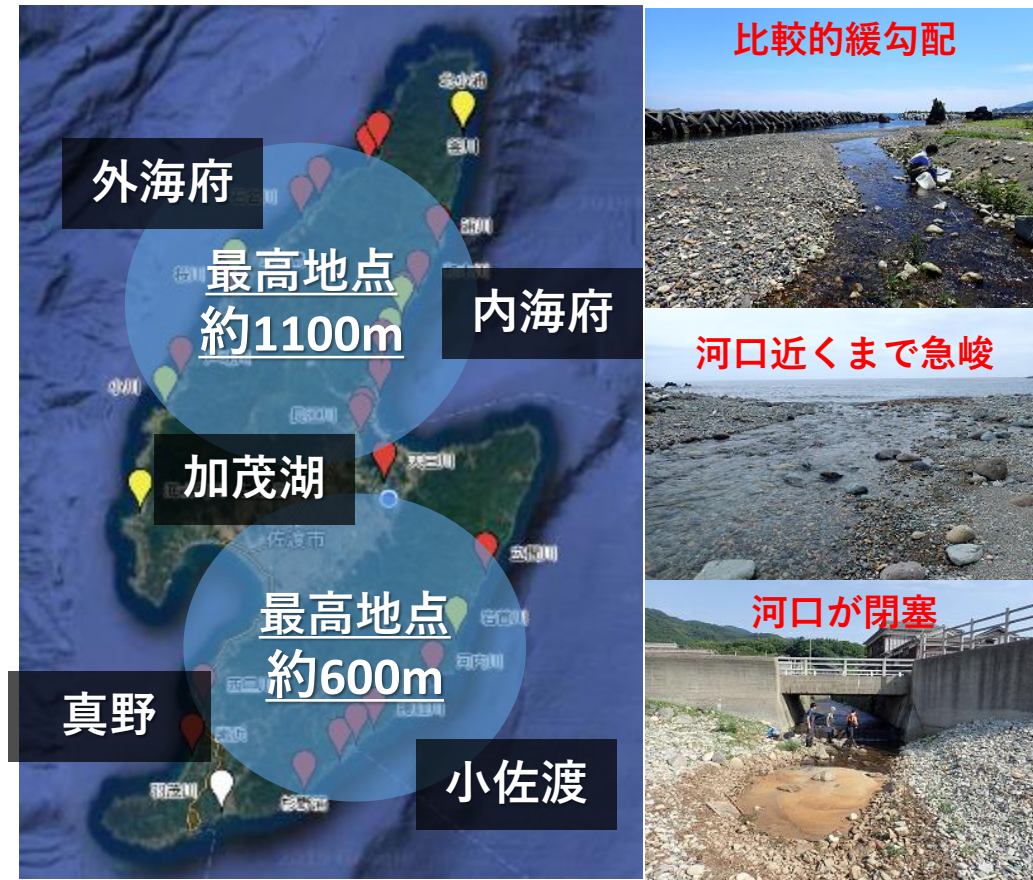
小型通し回遊魚の回遊生態及びその変動要因の解明

# 背景と目的

## 研究開発目標

|        |                                                                                                                                    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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、 <b>回遊パターン</b> や <b>資源量に影響を及ぼす関連要因を特定</b> しその相対的重要性について評価を行う。 |
| 個別目標 1 | 海洋から河川への <b>加入</b> 個体数や加入時の体サイズ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 <b>定着</b> 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 <b>産卵</b> 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、 <b>海・汽水の利用期間</b> を特定する。                                                                        |

# 調査地概要



- 対象河川は5つの海岸地域に計30河川
- 河口部における水面幅と流量の平均はそれぞれ約400cm、約0.2m<sup>3</sup>/s

# 対象種概要

- いずれも両側回遊性（川で産卵→海へ降下→川へ遡上・成長）  
のハゼ科魚類で、成魚の全長は10cm程度

## ウキゴリ属：吸盤状構造ナシ



スミウキゴリ

*Gymnogobius petschiliensis*



シマウキゴリ

*Gymnogobius opperiens*

## ヨシノボリ属：腹部の鰭が吸盤状に発達



ルリヨシノボリ

*Rhinogobius mizunoi*



シマヨシノボリ

*Rhinogobius nagoyae*

# 注目するプロセス

流域

海

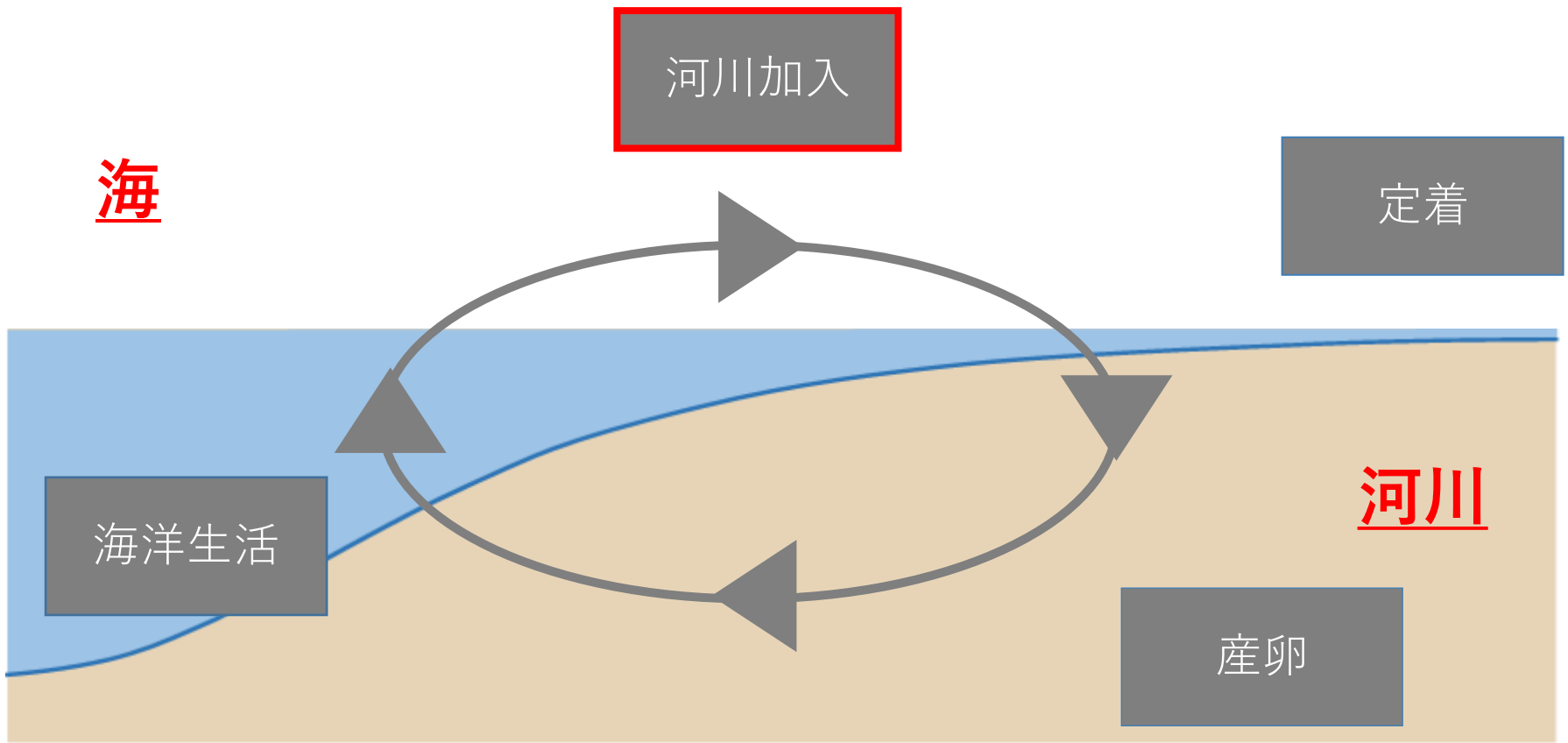
河川加入

定着

海洋生活

河川

産卵



# 加入

## ■ 方法

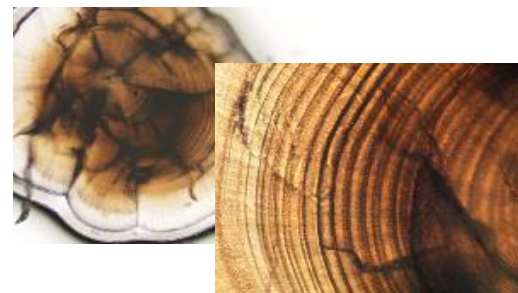
### ✓ 加入状況

- ・対象とした30河川において、最下流部に50mの調査区間を設定し、手網によって加入個体を採捕
- ・2019年6月以降2週間に1回の頻度で実施



### ✓ 海洋生活期間の推定

- ・加入個体の一部から耳石を摘出し、計数された日輪数を日齢を示す指標とした

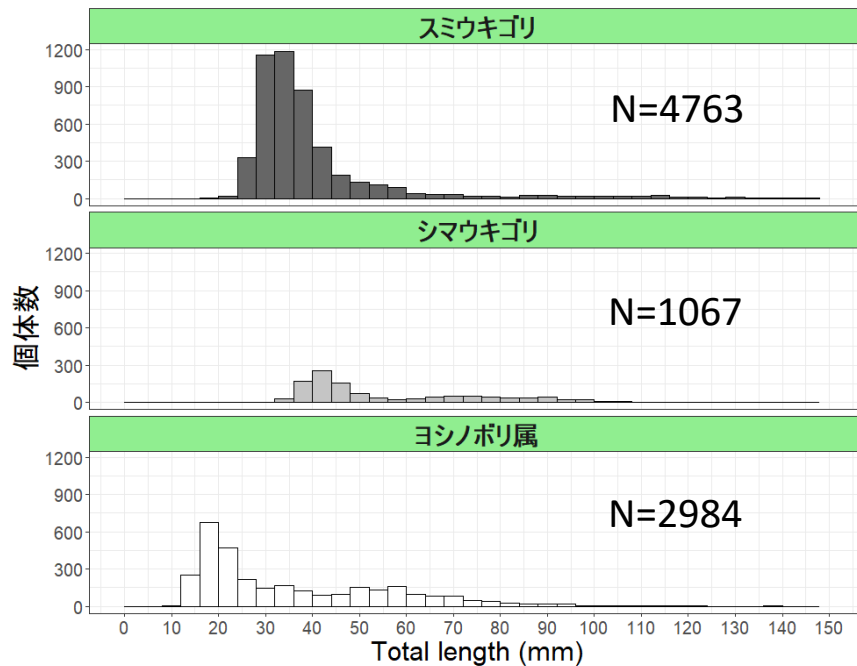


### ✓ 河川環境

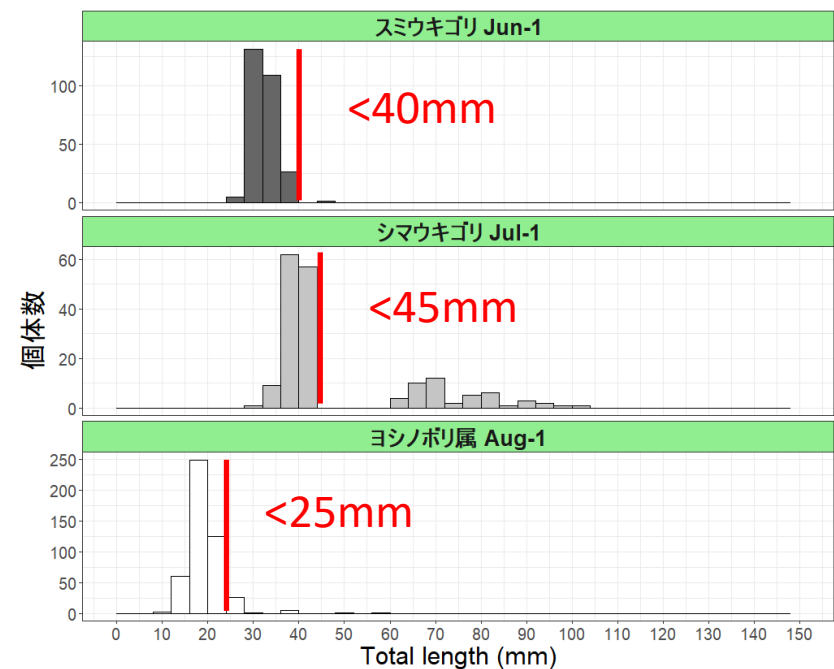
- ・採捕に合わせ、流量、水深、水温、河口閉塞の有無を記録
- ・河口周辺の河床勾配、5km以内の河川数についても計測

# 加入：加入時の体サイズと時期

## ■ 体サイズ



採捕個体の全長分布



ウキゴリ属の体サイズは  
既知の他のハゼ科より大型



吸盤を持たず比較的中層を泳ぐ  
生態などが影響か

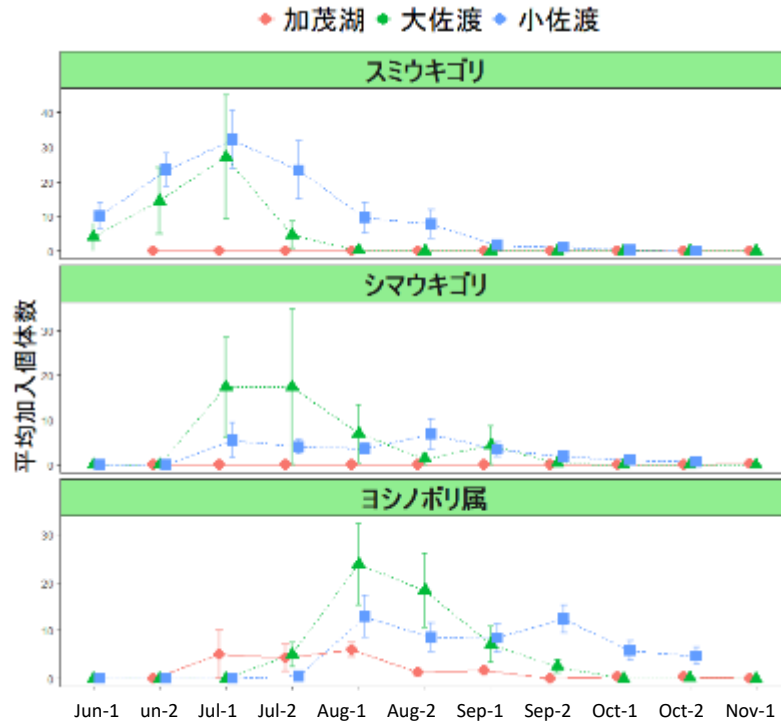
ウキゴリ属間においても  
有意な体サイズの違い



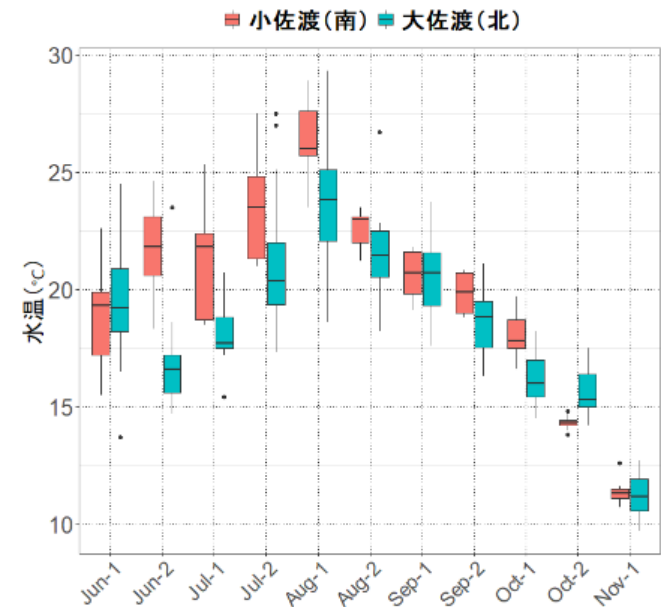
生活史戦略の違い（小型・多数  
or 大型・少数で加入）を示唆

# 加入：時期と体サイズ

## ■ 加入時期



加入個体数の推移



河川水温の推移と南北の違い

年間を通して加入する熱帯と異なり、  
短い期間にまとまって加入

大佐渡（北）・小佐渡（南）間  
で顕著時期の差異はない

水温の季節変化  
に起因したパターン

河川への加入を決定するのは  
海洋生活期？

# 加入：加入個体数と変動要因

## 何が加入個体数に影響を与えるのか？

| Variable      | Estimate | Adjusted SE | z       | P       |
|---------------|----------|-------------|---------|---------|
| <u>スミウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |
| <u>シマウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |

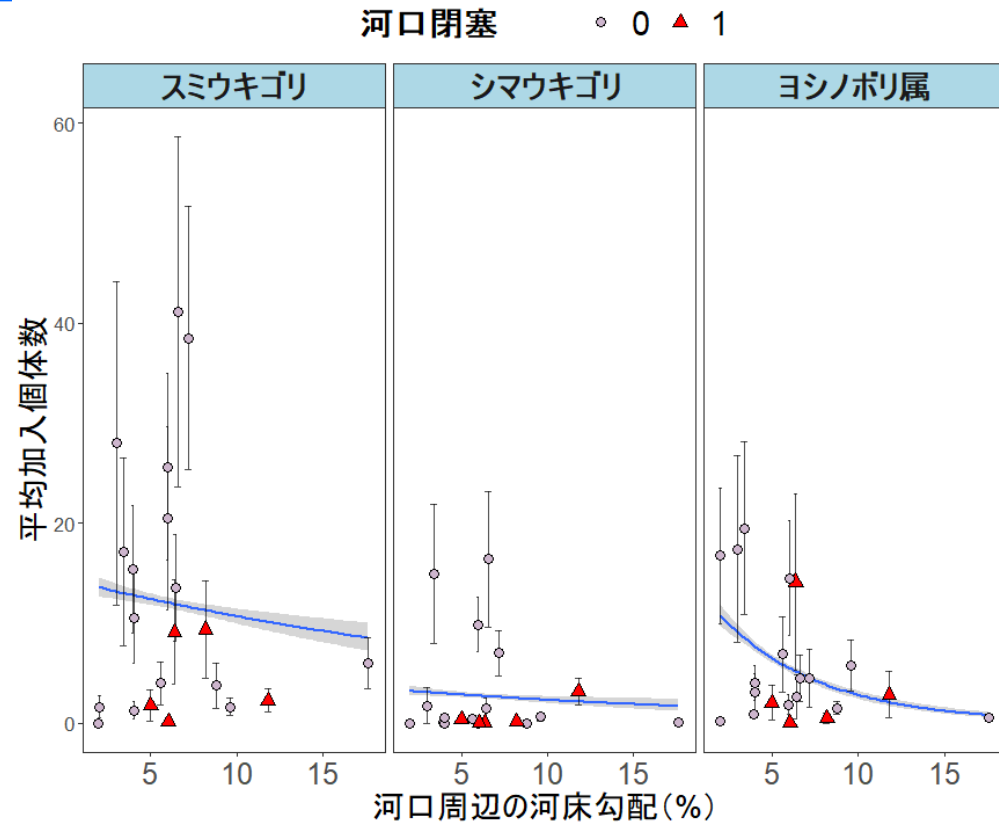
### 【解析方法】

- 各河川におけるサンプリングごとの加入個体数を目的変数としたGLMM
- 固定変数：流量、河川水温、河床勾配、河口閉塞期間、周辺河川数
- ランダム変数：サンプリングイベントID、海岸地域
- AICに基づくトップモデルにおける各係数の推定値

# 加入：加入個体数と変動要因

## 何が加入個体数に影響を与えるのか？

| Variable      | Estimate | Adjusted SE | z       | P       |
|---------------|----------|-------------|---------|---------|
| <u>スミウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |
| <u>シマウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |

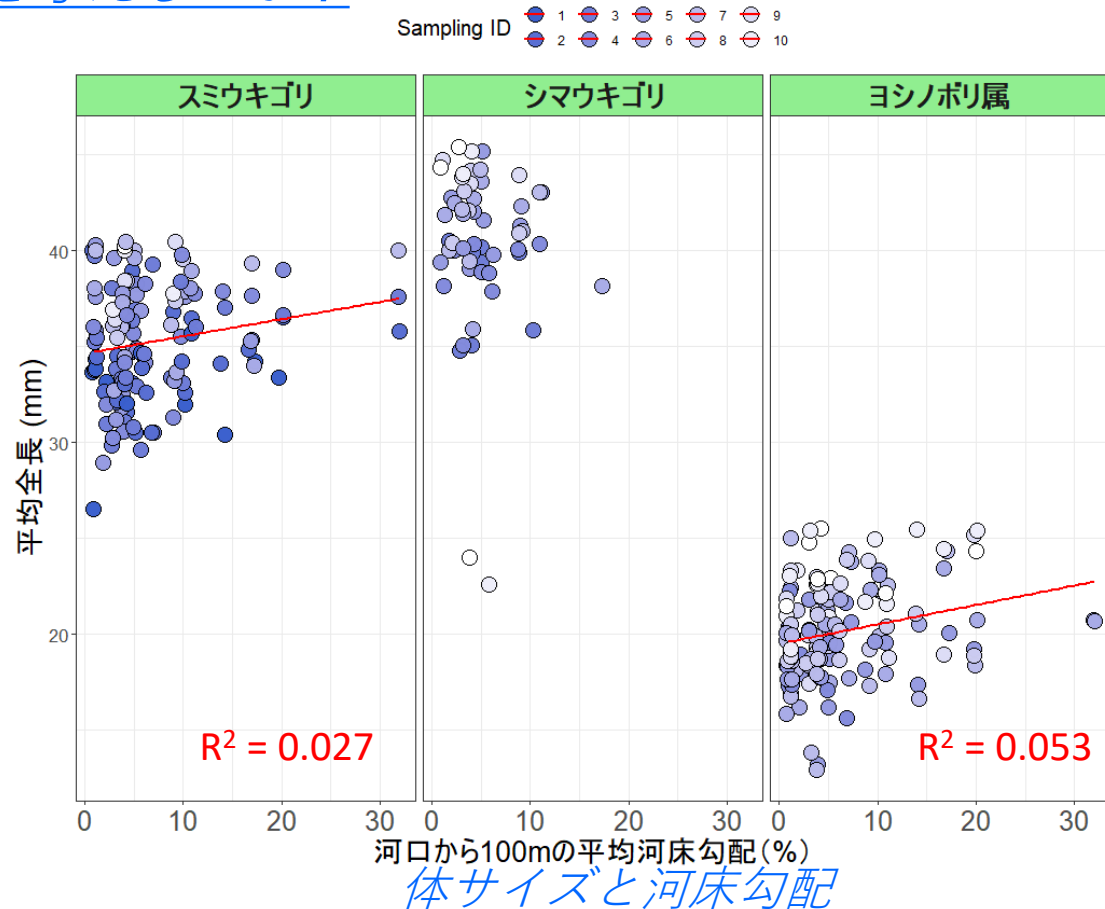


## 加入個体数と河床勾配・河口閉塞の有無

# 加入：加入個体数と変動要因

何が加入個体数に影響を与えるのか？

| Variable      | Estimate | Adjusted SE | z       | P       |
|---------------|----------|-------------|---------|---------|
| <u>スミウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |
| <u>シマウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |

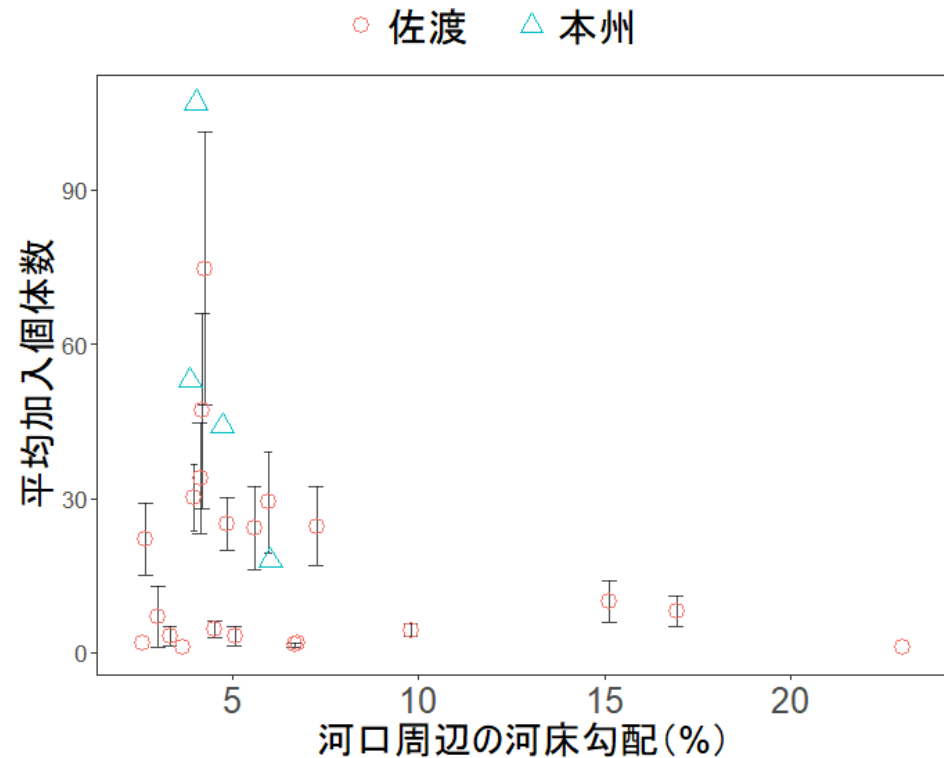


✓ 河口周辺の急峻な勾配が小型魚にとって加入の障壁となる？

# 加入：加入個体数と変動要因

何が加入個体数に影響を与えるのか？

| Variable      | Estimate | Adjusted SE | z       | P       |
|---------------|----------|-------------|---------|---------|
| <u>スミウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |
| <u>シマウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |



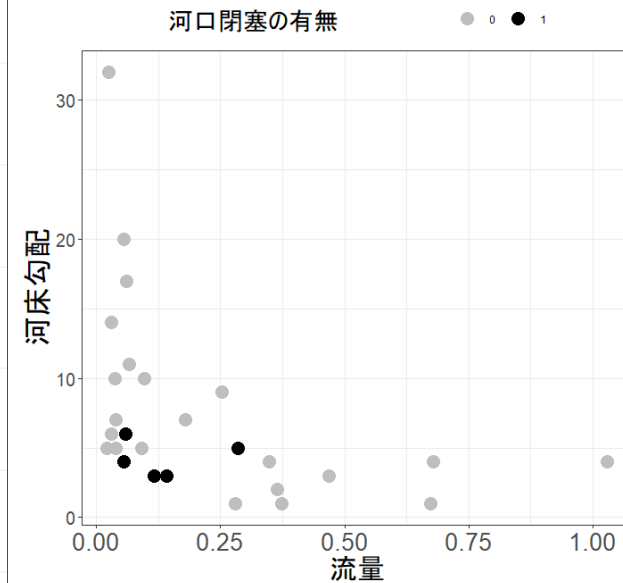
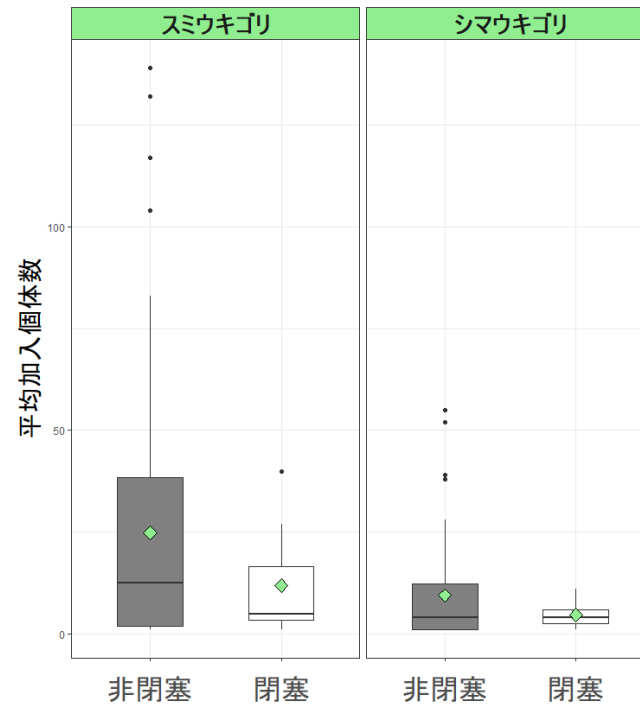
加入個体数と河床勾配

✓ 河口周辺の急峻な勾配が小型魚にとって加入の障壁となる？

# 加入：加入個体数と変動要因

## 何が加入個体数に影響を与えるのか？

| Variable      | Estimate | Adjusted SE | z       | P       |
|---------------|----------|-------------|---------|---------|
| <u>スミウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |
| <u>シマウキゴリ</u> |          |             |         |         |
| 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 |



## 河口閉塞の有無と加入個体数

## 河川流量及び河床勾配と 河口閉塞の有無

- ✓ 河口周辺の急峻な勾配が小型魚にとって加入の障壁となる？
- ✓ 一時的な閉塞でも加入を大きく制限。特に春季の閉塞は連関と密接？

# 注目するプロセス

流域

海

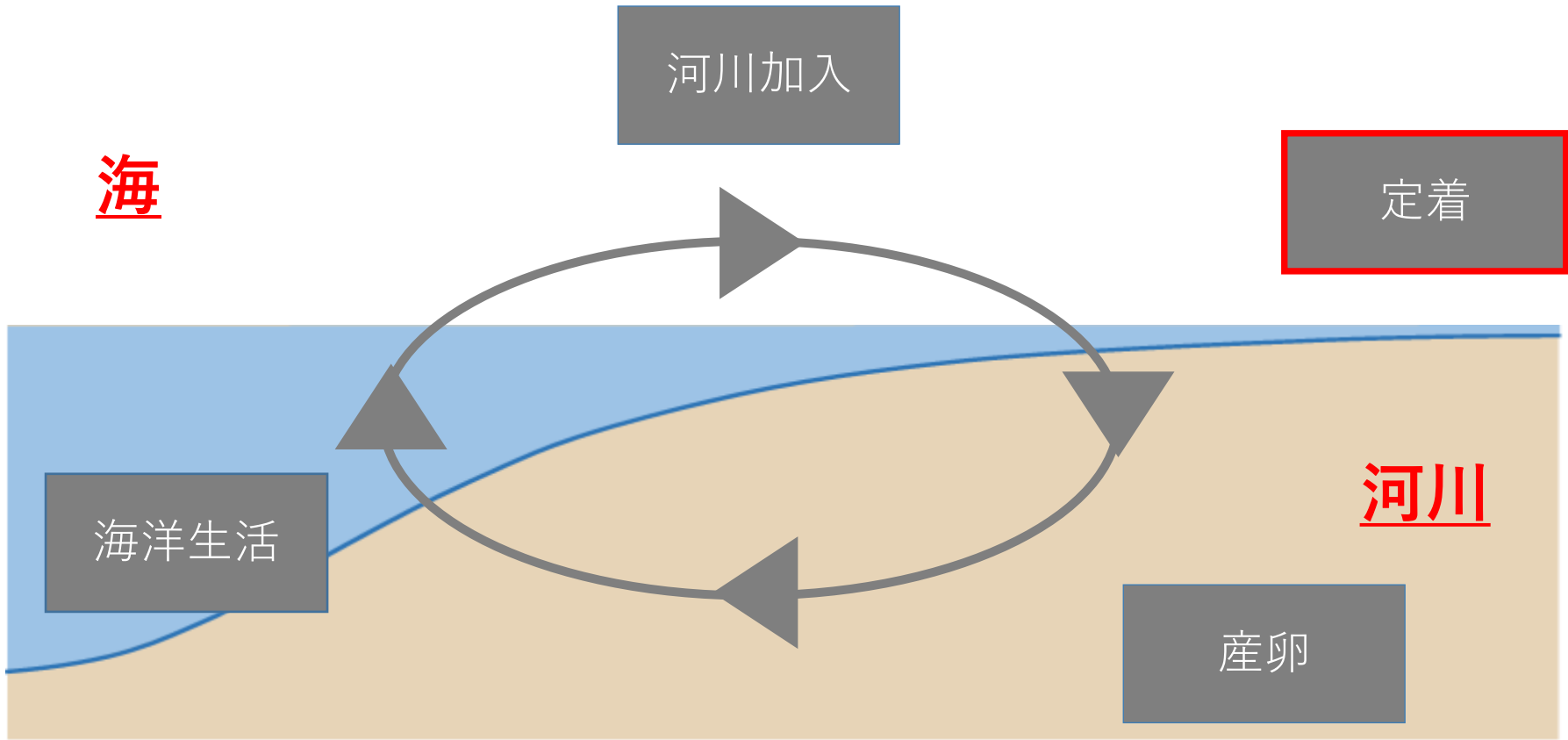
河川加入

定着

海洋生活

河川

産卵



# 定着

## ■ 方法

### ✓ 加入個体にとって重要な餌資源の特定と河川内における餌生物量

- ・ 胃内容物解析による食性把握
- ・ コドラート法による底生無脊椎動物相の把握

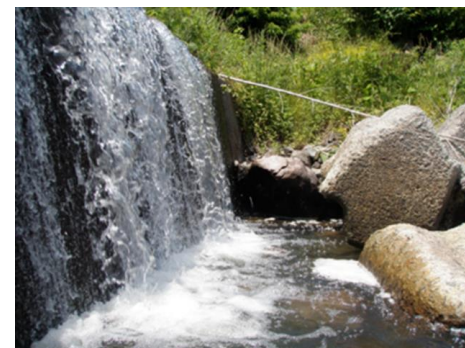


### ✓ 河川環境

- ・ 河口から500mまでの範囲について、落差数、積算落差高、魚止め（1m以上の落差）までの距離、コンクリート河床割合について記録

### ✓ 定着状況

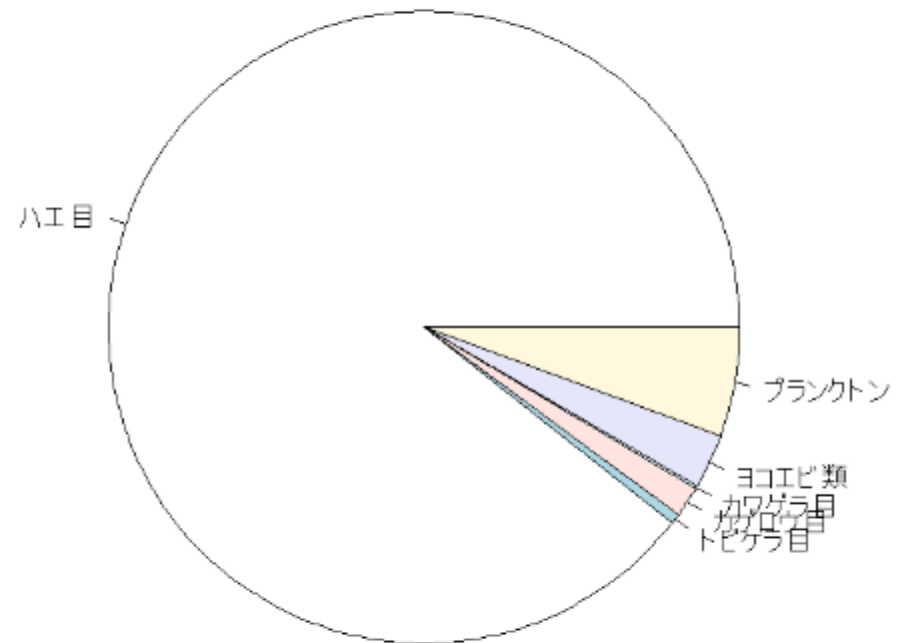
- ・ 2020年4月時点における2歳魚の個体数を  
2019年加入個体の定着状況を示す指標とした



# 定着：河川内における餌資源利用

## ウキゴリ属加入個体の胃内容物 における上位出現率の項目 (11河川、110個体)

| 項目          | 出現率   |
|-------------|-------|
| ハエ目ユスリカ科    | 98.20 |
| カゲロウ目コカゲロウ科 | 28.83 |
| ケンミジンコ      | 26.13 |
| カイミジンコ      | 20.72 |
| ヨコエビ        | 15.32 |



## ウキゴリ属加入個体 胃内容物の個体数比

加入個体の胃内容物は  
出現率・個体数比ともにハエ目（ユスリカ科）が中心

# 定着：河川内における餌資源利用

## ウキゴリ属加入個体による餌選択

|       | Available    | Used         | Wi           | SE           | IClower      | ICupper      |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ハエ目   | <b>0.614</b> | <b>0.930</b> | <b>1.516</b> | <b>0.137</b> | <b>1.164</b> | <b>1.868</b> |
| 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       |

### 【解析方法】

- 胃内容物と潜在餌資源量（河川ベントス）の調査結果に基づく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

ハエ目（ユスリカ科）にのみ有意な正の選択性を示し  
ウキゴリ属の河川加入直後における主要な餌資源となっている

# 定着：河川における定着と変動要因

加入個体の定着には何が影響を与えるか？

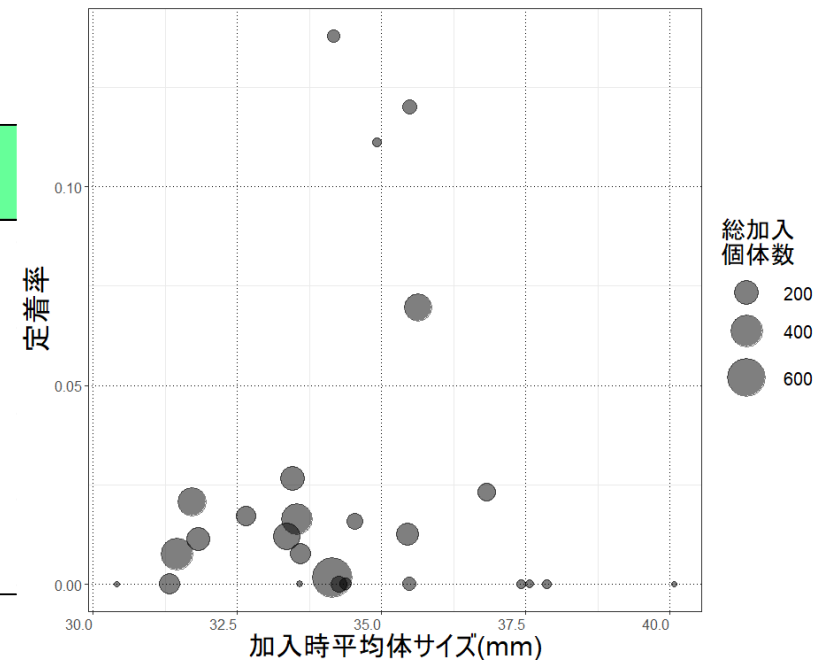
## 【解析方法】

- 各河川における 2020年4月における2歳魚数 / 加入数 を 目的変数としたGLMM
- 固定変数：河床材料多様度、コンクリート河床割合、水深、流量、河床勾配、落差数、積算落差高、魚止めまでの距離、加入時平均体サイズ
- ランダム変数：海岸地域
- AICに基づくトップモデルにおける各係数の推定値

# 定着：河川における定着と変動要因

加入個体の定着には何が影響を与えるか？  
(スミウキゴリ)

| 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 |



定着率と加入時平均体サイズの関係

- ✓ 横断構造物は下流ほど影響が大きい
- ✓ 海域での成長度合いが加入後の定着に影響を及ぼしている (Carryover effect) 可能性を示唆

# 注目するプロセス

流域

海

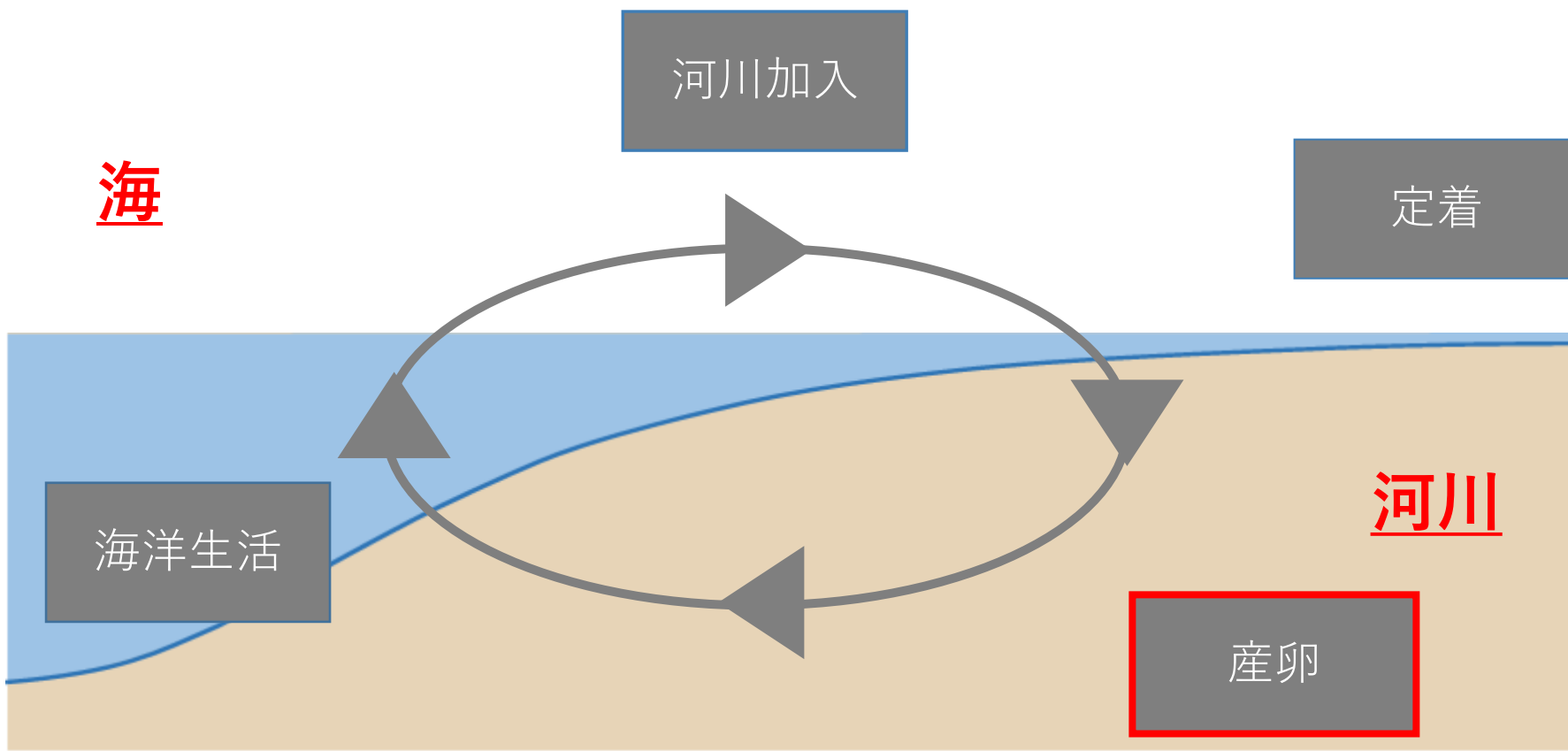
河川加入

定着

海洋生活

河川

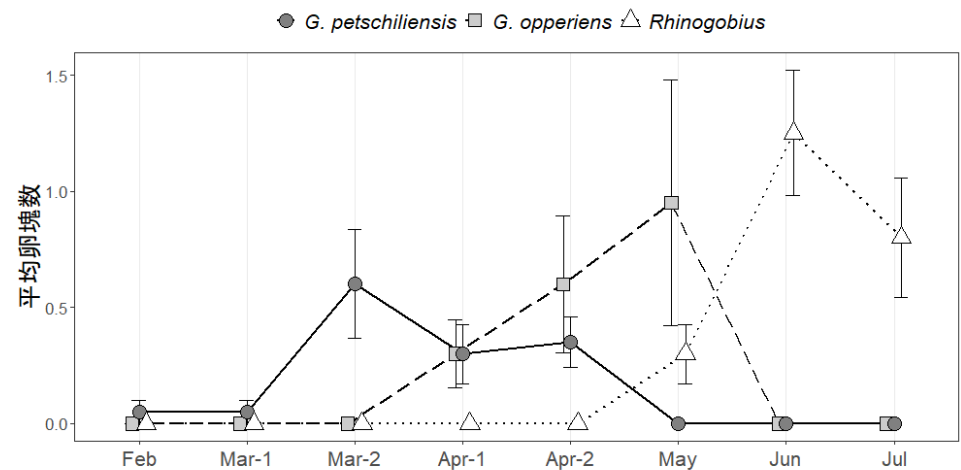
産卵



# 産卵

## 何が産卵に影響を与えるのか？

| 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 |



- ✓ 急勾配では産卵・卵保護時に必要となる掘潜可能な河床が不足？
- ✓ ウキゴリ属間においても種間で産卵時期に違いがある

# 注目するプロセス

流域

海

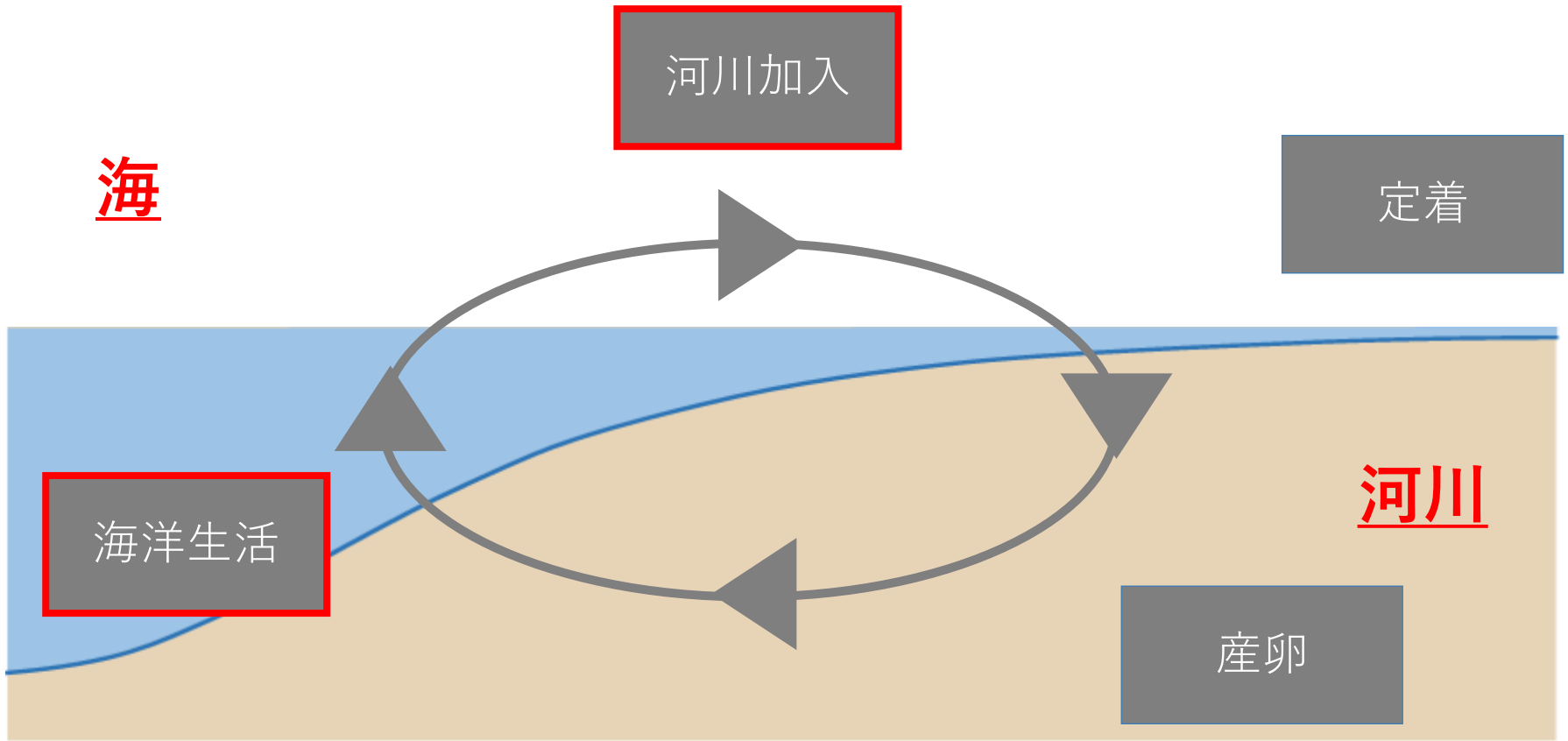
河川加入

定着

海洋生活

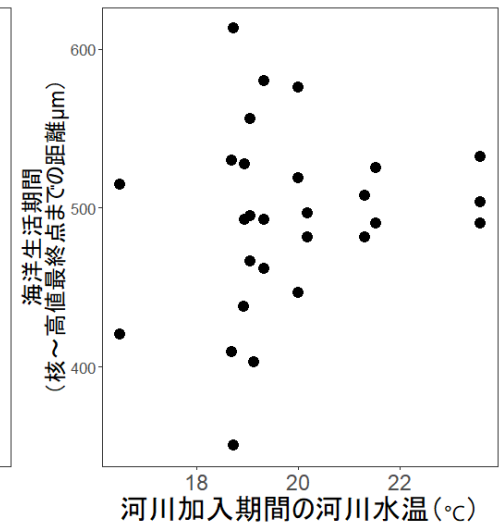
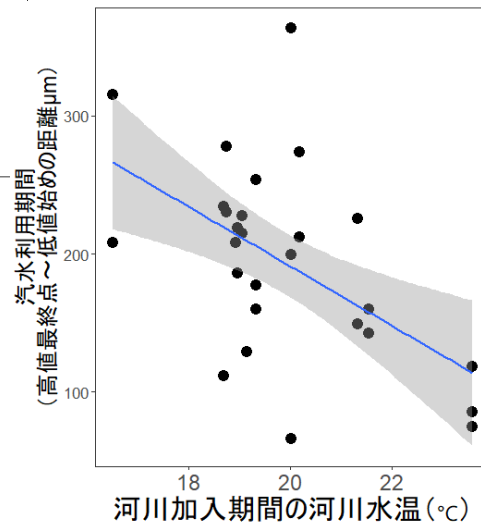
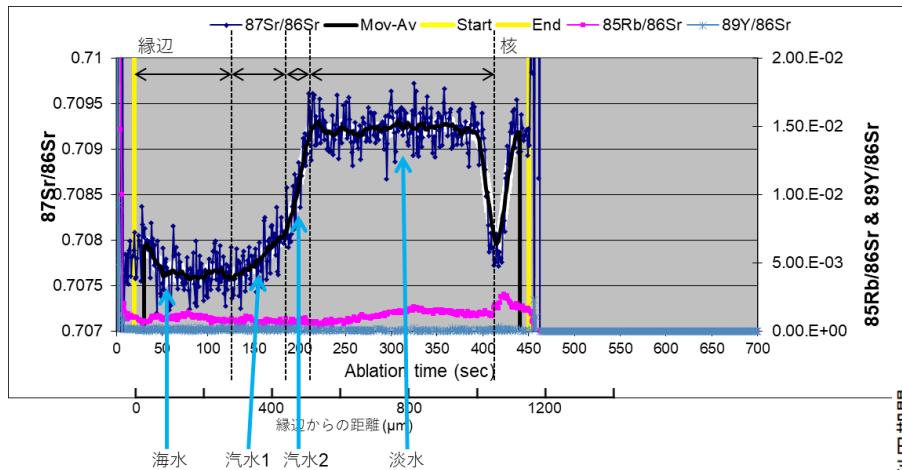
河川

産卵



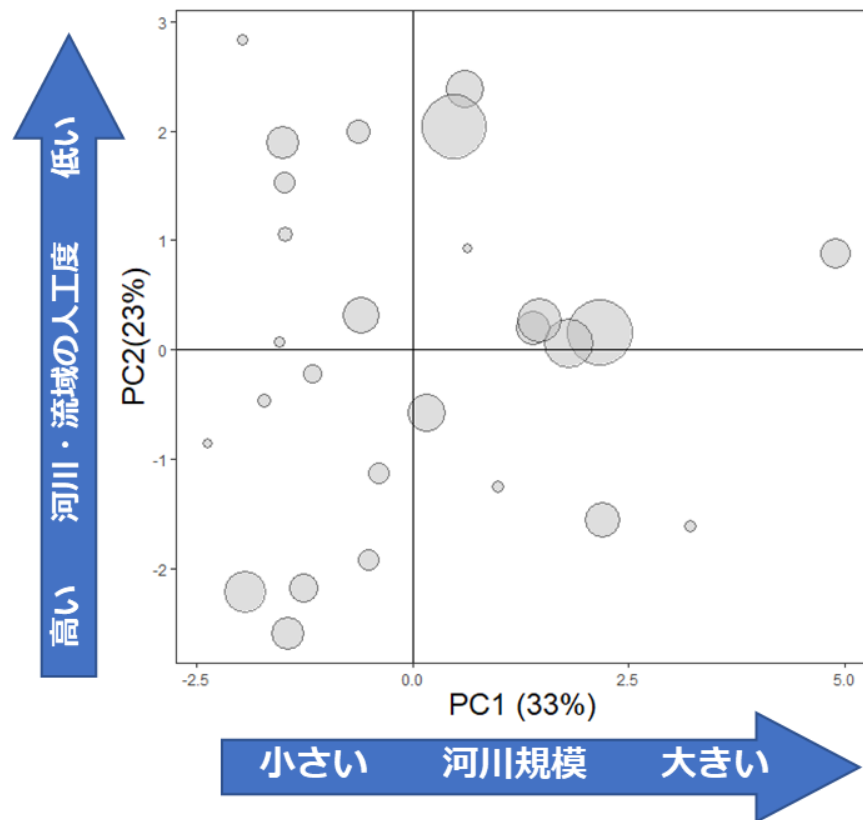
# 海洋・汽水の利用パターン

## Sr同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) を用いた汽水・海水利用の判別



- ✓ 明確に汽水の利用時期を特定可能
- ✓ 河川水温が高いほど汽水利用期間が短くなる

# 流域の類型化



## 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 |

✓ 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加入が多い

# 環境政策等への貢献

## ✓ 河口地形と河川加入の関係に関する成果

河口部における8%を超えるような勾配や閉塞は加入個体数を大きく低下させる。早春季における河口浚渫は森里海連関を効率的に維持することにつながる。

## ✓ 水温と河川加入の関係、流域環境の類型化

佐渡の事例では、水温が $1.5^{\circ}\text{C}$ 上昇すると加入個体数が平均70%程度に減少すると予測される。気候変動への適応策として、河川水温が比較的低く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。