

少人数でも、頻繁に釣り場へ通う釣り人が釣獲日誌を記録すれば、多数の釣り人への聞き取り調査結果と同程度に漁場の変化や利用資源の多寡を把握できると考えられた。2021年以降の上流域（9-16区）では、釣獲日誌と聞き取り調査の結果が異なる場合があった。この区間では2020年の秋に支流から流出した大量の土砂により多くの淵が埋まり、魚類の生息環境が消失したため、釣獲日誌と聞き取り調査ともに釣獲個体数が極端に減少しており、データ数が乏しいことで生じるバイアスが影響した結果と考えられる。2022年の13-16区においては上述した土砂流入に加え、河川工事も実施されたことで聞き取り調査における当区の釣獲個体数のデータは得られなかった。ブラウントラウトの本格的な駆除活動が実施される以前（2019年と2020年）の釣獲魚の種組成（堰堤ごと）を見ると、調査区の上流域ではブラウントラウトの個体数割合が高かった。当調査河川の12堰堤より上流域では、魚道が設置されている堰堤はなく、下流から上流への魚類の遡上は困難である。このため、ブラウントラウトが上流域で優占していたことは、上流域で繁殖したブラウントラウトが下流へと生息域を拡大したことを示唆している。古くから本調査区域に通う釣り人は、昔の上流域ではブラウントラウトではなくイワナが釣れる川であったと話す。ブラウントラウトについては、北海道千歳川支流において在来種であるイワナから外来種のブラウントラウトへの置き換わりが報告されており（鷹見ら2002）、本調査区域についても過去に上流域で生息していたイワナからブラウントラウトへ置換され、上流域で増えたブラウントラウトが下流域へと生息域を拡大させたと考えられる。このように釣獲日誌には漁場における魚種の変化を把握するだけでなく、外来魚の侵入経路や分布を理解する上で重要な情報も得られることが明らかとなった。日誌の釣獲個体数をもとに漁場における釣獲対象魚の多寡に注目する際は、記録者の人数を増員することで釣りの様式や対象魚の違いによるバイアスを緩和させる必要があると考えられた。また、釣獲個体数が極めて少ない場合も、バイアスの影響を注意する必要がある。一方、釣獲個体数の大幅な減少については、そのデータそのものが有益であり、本調査では土砂流入等が魚類の資源量へ及ぼす影響を考察するための貴重なデータとなった。釣獲日誌のデータは、複数年記録することにより、河川工事や洪水等の環境変化の影響を評価する際にも有用と考えられた。全ての漁場で組合員が聞き取り調査を行うことは難しいが、まずは代表的な漁場を対象に漁協や釣り人が協力して釣獲日誌を作成することで、漁場の把握が可能となることを期待したい。

- （4） 標識放流と釣獲日誌の結果をまとめると、調査区間の12堰堤（魚道なし）より上流では、釣獲した野生イワナの個体数は極めて少なかった。当区域で電気ショッカーによる採捕調査を実施した際も野生イワナが採捕されることは稀であった（宮本 私信）。このため、野生イワナの生息個体数が少なかったことが、釣獲個体数に反映されたと考えられる。さらに、当区域では、外来魚であるブラウントラウトの生息が確認されて

おり、ブラウントラウトの個体数割合は調査区上流域で高かった。(3)で述べた通り、上流域で繁殖したブラウントラウトが下流へと生息域を拡大させた際、野生のイワナは減少したと考えられる。一方、5 堰堤では、比較的に数多くのイワナが釣獲されていた。この地点では、長年にわたり発眼卵放流が継続して実施されており、これが資源造成に貢献していると考えられた。このように、釣獲日誌と標識放流の組み合わせにより、漁場における野生魚の存在や放流効果の考察が可能となった。これらの結果が複数年にわたり蓄積されることで、効果的な増殖方法を検討する材料となることが期待される。最近の研究により、河川での生き残りについては、放流魚よりも野生魚のほうが高いことが明らかとなっており、資源を増やすためには野生魚の活用が効果的と考えられている(水産庁 2020)。しかし野生魚の管理を検討するには、まずは漁場における野生魚の存在や資源状況の把握が必要となるため(宮本ら 2019)、漁協組合員や釣り人でも作成が可能な釣獲日誌の活用が期待される。

- (5) 標識放流と釣獲日誌の記録をもとに、C&R区間から下流への放流魚の移動を調べた結果、C&R区へ放流した魚が下流の一般漁場へと移動し、釣り資源となっていた。一般漁場で行われる成魚放流について、アマゴでは解禁から10日間のうちに56.7~91.7%が釣獲されるため(徳原ら2009)、短期間のうちに魚が釣り切られてしまうことが問題視されている。本調査で得られた釣獲日誌の結果では、C&R区での放流日から10日以上が経過しても、一般漁場で放流魚が頻繁に釣獲されていた。これはC&R区で放流した魚が時間をかけて徐々に一般漁場へ移動したためと考えられる。このように、C&R区が一般漁場への資源供給の役割担っており、その供給過程が一時的ではないことから、下流の一般漁場でも長期的に釣りを楽しめる漁場づくりに貢献できたと考えられる。C&R区内においては、釣獲日誌の結果から約4割の釣獲個体が野生魚であった。調査河川沿いの住民からは、C & R 区を設置したことで川から魚影を確認できるようになったと聞いている。これはC & R 区の設置により、これまで持ち帰られていた野生魚や放流魚の生き残りが高まったことや、C & R 区の上流に設置した禁漁区からのしみ出しによって(水産庁2021)、漁場内における魚類の生息個体数が増加したためと考えられる。野生魚については、体サイズから主に当歳魚か1歳魚であると予想されるが、翌年はこれらの魚が産卵親魚として資源に貢献することが期待される。このような支流や上流域への禁漁区やC&R区の設置による野生魚の活用は、加藤(1990)が提唱する「天然魚と放流魚の使い分けによる釣り場管理」の有用性を支持するものである。さらに加藤(1982)は溪流魚の放流事業とは、放流河川の好・不適を検討し、あるいは放流尾数の算定にあたってその川の溪流魚の生息許容量を考慮して行われるべきとしている。同様に山本(1991)も、河川のイワナを増やすためには、放流が効果的であるかを判断し、実施された放流の効果を判断するためには、漁

獲量や資源尾数を知ることが重要としている。しかし資源量の推定を実施するには専門的な装置や知識が必要となることから、ほとんどの漁協は実施が困難と考えられ
(加藤1982)、それが漁協や釣り人による溪流魚管理の大きな障壁となっていた。本
調査では(3)、(4)の結果も含め、釣獲日誌が漁場における魚類の生息個体数の多
寡や種組成の変化を把握する際に有効な手段であり、かつ漁協組合員や釣り人にも実
施可能な手法であることから、今後、溪流漁場での漁場管理手法としての活用が期待
される。なお、釣獲データについては釣り人にとって秘匿したいデータであること
や、それによって資源の乱獲を招く恐れもあるため、データの管理や公表には十分に
気を付ける必要がある。一方、釣獲日誌のデータはSNS等で公表することで高い集客
効果が得られることから、持ち帰りによる減耗が生じないC&R区間での導入が合理的
と考える。以上の知見と本研究成果から、今後、「天然魚と放流魚の使い分けによる
釣り場管理」(加藤1990)と釣獲日誌による野生魚の釣獲数モニタリングを行うこと
で、野生魚の再生産能力を最大限活用した漁場づくりを行うことが漁協の経営を含め
た意味での持続可能な漁協・漁場づくりにつながると考える。

参考文献

- 徳原哲也, 桑田知宣, 荻谷哲治, 藤井亮吏, 原徹, 熊崎隆夫, 岸大弼 (2009) 「アマゴの成魚放流における放流日およびスモルト・パーの違いが釣獲効率に与える影響」 水産増殖 57 (3) 423-428.
- 鷹見達也, 吉原拓志, 宮腰靖之, 桑原連 (2002) 「北海道千歳川支流におけるアメマスから移入種ブラウントラウトへの置き換わり」 日本水産学会誌 68 (1) 24-28.
- 沢田賢一郎 (1988) 「日本の巨大溪流魚」 双葉社 142頁
- 宮本幸太, 岸大弼, 菅原和宏, 高木優也, 松澤峻, 山下耕憲 (2019) 「溪流魚の漁場管理の今と未来」 海洋と生物41号 443-446.
- 水産庁 (2021) 「放流だけに頼らない! 天然・野生の溪流魚 (イワナやヤマメ・アマゴ) を増やす漁場管理」 水産庁
- 山本聡 (1991) 「イワナその生態と釣り」 つり人社 203頁
- 加藤憲司 (1990) 「ヤマメ・アマゴその生態と釣り」 釣り人社 195頁
- 加藤憲司 (1982) 「釣魚としてのヤマメ・アマゴ—その資源管理への道—」 木村英造 (編) pp. 48-55 淡水魚増刊 ヤマメ・アマゴ特集 財団法人淡水魚保護協会 大阪

担当者

平成30～令和4年度 水産技術研究所 内水面グループ 宮本幸太

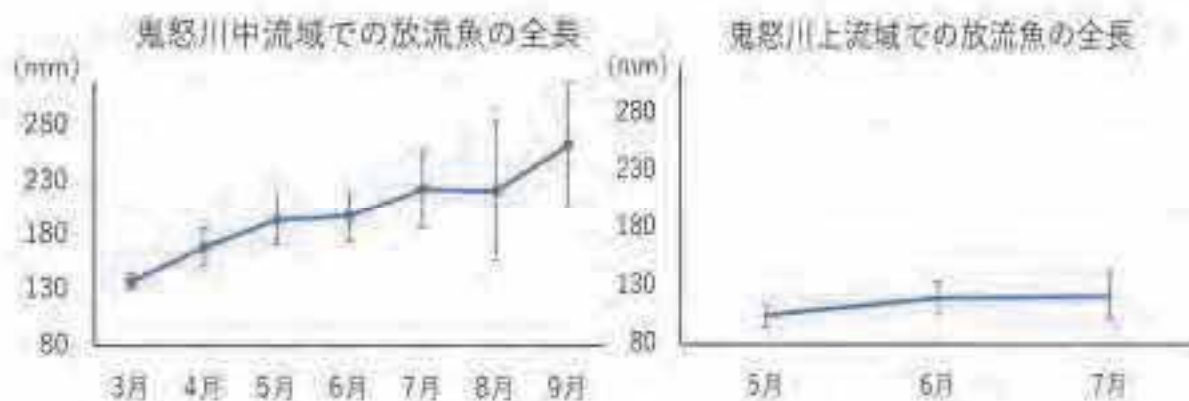


図1. 鬼怒川の中流域と上流域に設置した調査区で釣獲した放流ヤマメの全長の変化



写真1. 鬼怒川の中流域で釣獲した放流ヤマメの様子

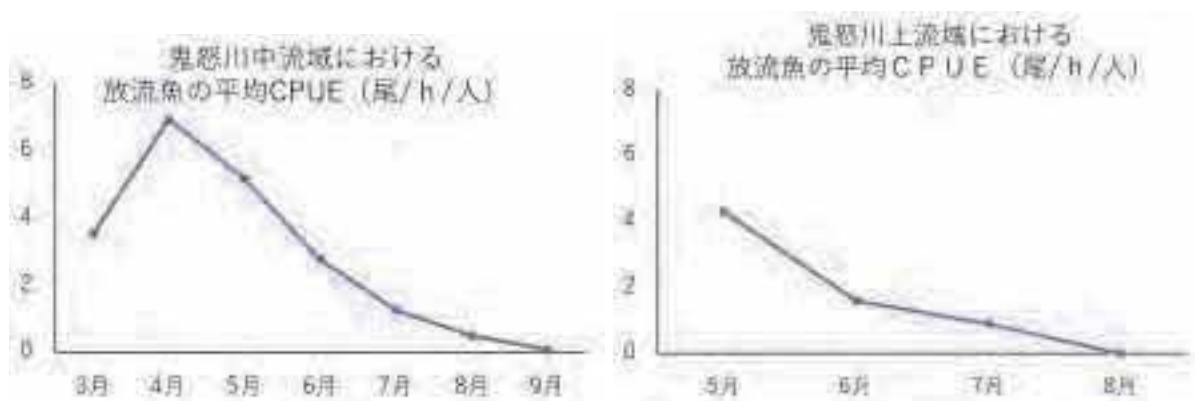


図2. 鬼怒川の中流域と上流域に設置した調査区間における月毎のCPUE（1時間当たり、1名の釣獲個体数）の変化



図3．A区で採集した魚類の種組成の変化（2018年と2019年の調査後にイワナ稚魚を放流）



図4．B区で採集した魚類の種組成の変化（2018年の調査後にイワナ稚魚を放流、2019年の調査後に先住魚除去と稚魚放流を実施）

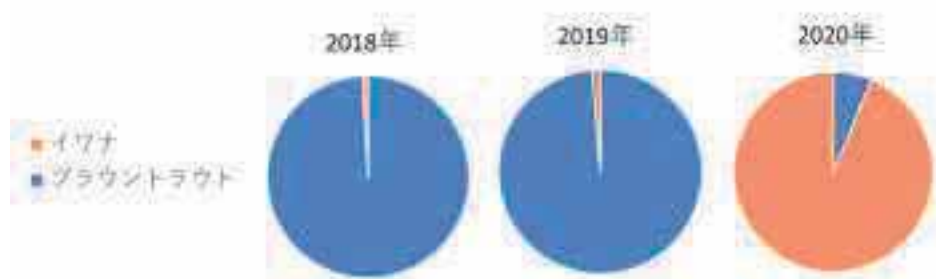


図5．C区で採集された魚類の種組成の変化（2018年の調査後にイワナ稚魚を放流、2019年の調査後に先住魚除去と稚魚放流を実施）



図6. 2019年の釣獲日誌と釣り人（398名）への聞き取り調査で得られた釣獲魚の魚種組成。左図が全体、右図は堰堤ごとの結果（番号が増えるほど上流域に位置する堰堤となる）



図7. 2020年の釣獲日誌と釣り人（350名）への聞き取り調査で得られた釣獲魚の魚種組成。左図が全体、右図は堰堤ごとの結果

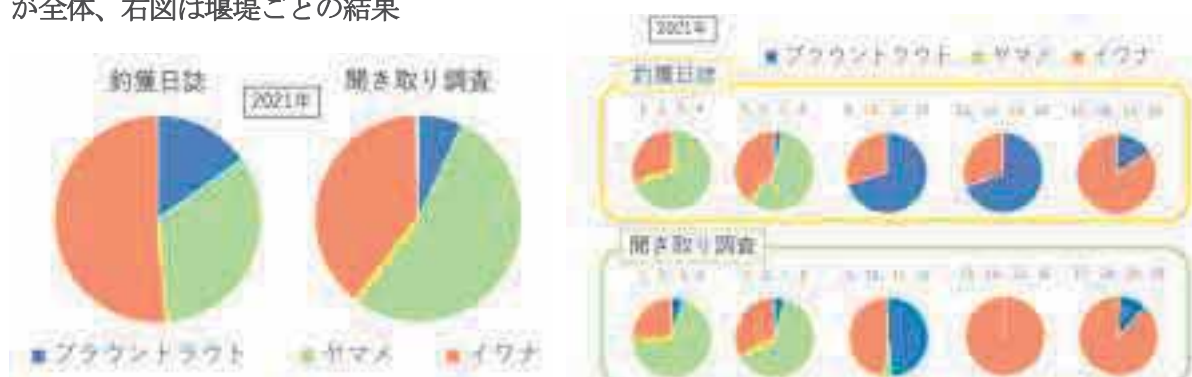


図8. 2021年の釣獲日誌と釣り人（257名）への聞き取り調査で得られた釣獲魚の魚種組成。左図が全体、右図は堰堤ごとの結果



図9. 2022年の釣獲日誌と釣り人（252名）への聞き取り調査で得られた釣獲魚の魚種組成。左図が全体、右図は堰堤ごとの結果

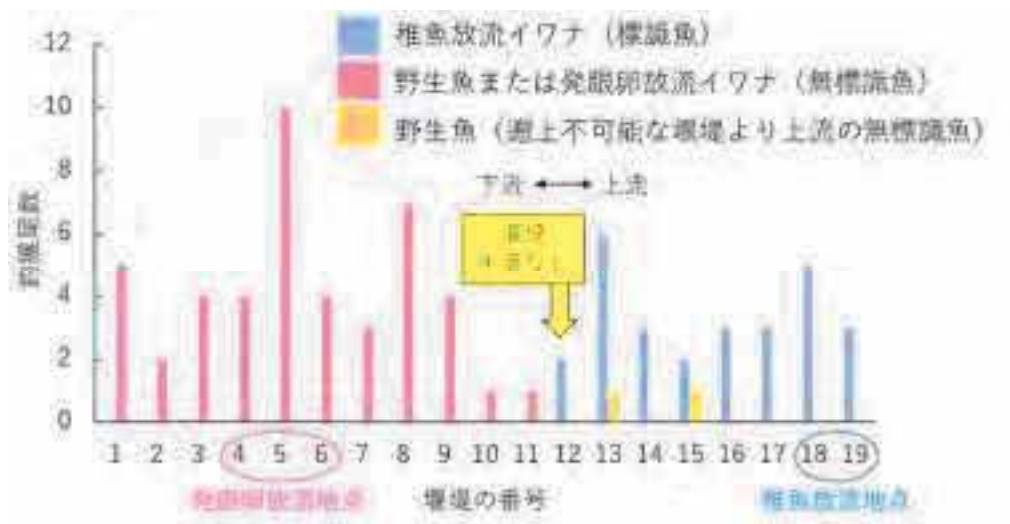


図10. 釣獲日誌より明らかとなったイワナ野生魚の存在と放流効果の概要

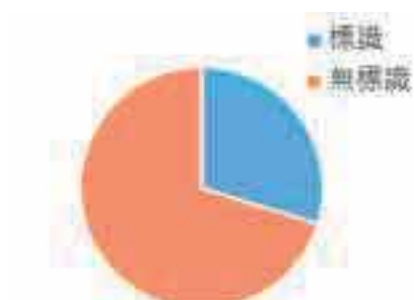


図11. 釣獲日誌より明らかとなった一般漁場で釣獲したヤマメの個体数組成

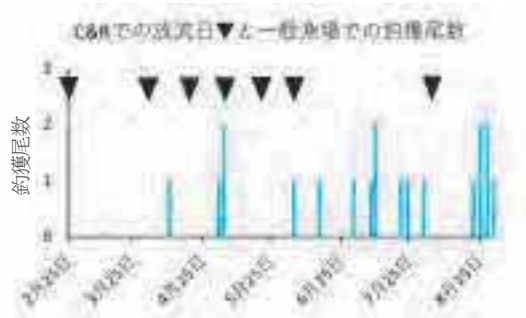


図12. C&R区での放流日と一般漁場での釣獲尾数との関係

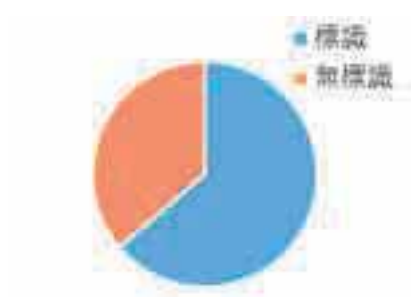


図13. 釣獲日誌より明らかとなったC&R区内で釣獲したヤマメの個体数組成

3. (3) 漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発

群馬県水産試験場 川場養魚センター

要旨

イワナの春稚魚放流の適正サイズを明らかにするため、継代養殖イワナの放流試験を春に行い、放流後生残尾数の推移を調査した。その結果、大型種苗の方が放流後の生残率が高かった。一方、放流されたイワナ稚魚は種苗サイズと河川にかかわらず放流の数か月後にはサイト内にはほぼ生残していなかった。これらのことから、小型のイワナが野生魚との競争で負けて調査サイトから流下したことにより、大型のイワナは相対的に生残率が高くなったと考えられた。また、放流地点付近を漁場にすることを目的として春にイワナの種苗放流を行う場合、その増殖効果は極めて低いことが示唆された。

これまで国内の溪流魚において評価されていない、稚魚の定着性における先住性および孵化生育環境の影響を明らかにするために、実験水路を用いた試験を行った。その結果、ヤマメの先住魚は同じサイズの放流魚よりも残存性が高く、一方、限られたサイズ差であってもより大型の個体の方が残存性が高かった。また、系統が同じ継代養殖魚であっても、人工孵化魚よりも自然繁殖魚の方が定着性が高かった。

これまで定量化されていない溪流魚漁場における漁業管理の効果を明らかにするため、溪流魚漁場に設定された禁漁区およびキャッチアンドリリース区における資源量調査および環境測定を行った。その結果、禁漁区およびキャッチアンドリリース区における溪流魚の生息密度はそれぞれ通常の入漁区の約 2.2 倍および 1.5 倍になることが示された。

全期間を通じた課題目標及び計画

溪流魚の稚魚放流後の生残率向上を目的として、春稚魚放流における適正サイズを、実河川への放流試験により検証する。また、稚魚放流時における先住効果および孵化生育環境等が放流魚の定着性に及ぼす影響を、実験装置を用いた試験および実河川への放流試験により評価する。加えて、漁業管理区（禁漁区およびキャッチアンドリリース区（以下、C&R 区））の設定による増殖効果の定量化を目的として、実河川における調査を行うことで禁漁区および C&R 区の条件と増殖効果の関係を評価する。

方法

1. イワナ春稚魚同時放流における適正サイズの検証

河川型のサケ科魚類は一般的に大型個体や高成長個体の方が競争に有利となり、結果的に生残率が高いことが明らかにされている (Wiley et al., 1993; Tatara and Berejikian, 2012)。一方、鳥類による捕食圧が大きい場合には、小型個体や低成長個体の方が生残に有利であることも示唆されて

いる (Biro et al, 2004; Álvarez and Nicieza, 2005; Miyamoto et al., 2017)。しかしながら、国内の溪流魚の稚魚放流における時期毎の好適な種苗サイズは明らかになっていない。そこで、イワナをはじめとする溪流魚の稚魚放流後の生残率向上を目的として、イワナの春稚魚放流をモデルとした実河川における放流試験を行うことで、放流種苗の適正サイズを解明することを試みた。

供試魚には群馬県水産試験場川場養魚センター（以下、川場養魚センター）で飼育している継代養殖イワナの0+歳魚を用いた。供試魚は全長が5 cm から9 cm の個体を1 cm 毎に計5群に分けた。各群の放流時の平均体重を表1に示す。2018年の試験では全長5 cm から8 cm の4群、2019年と2020年の試験では全長6 cm から9 cm の4群に分けた。各群の標識は脂鰭の切除と左右の腹鰭一方の切除の組み合わせによって行った。

放流試験は、2018年は群馬県桐生市内の桐生川支流の朝日沢川（サイト1）と忍山川（サイト2）、2019年は朝日沢川（サイト3；2018年と別地点）と高沢川（サイト4）、および2020年は群馬県多野郡上野村内の神流川支流の葡萄沢川（サイト5）と住居附沢川（サイト6）で行った。各サイトにおける各群の放流尾数と平均体重およびサイトの区間長と水表面積を表1に示す。供試魚は、サイト1とサイト2では2018年5月30日、サイト3とサイト4では2019年6月6日およびサイト5とサイト6では2020年5月29日に、各サイトで全ての群を同じ場所に同時に放流した。採捕調査はエレクトリックショッカーを用いて行い、採捕したイワナは標識の確認と計測の後、採捕された場所に再放流した。生残尾数の推定は、2回除去法を行い、Program CAPTURE のmbh-Pollock estimator (Pollock and Otto, 1983) により行った。なお、サイト3からサイト6では放流の1週間前に2回除去法による採捕調査を行った。そのうち、サイト3とサイト4では元々生息していたイワナとヤマメの野生魚の生息尾数推定を行い、サイト5とサイト6では採捕された野生魚を全て除去した。

放流群間の生残率比較は、ベイズモデルの一種である状態空間モデルを構築することで行った。ある時点における推定生残尾数は同じ時点における真の生残尾数をパラメータとするポアソン分布に従い、真の生残尾数は、パラメータを1単位時間（2週間）前の真の生残尾数と単位時間あたり生残率とする二項分布に従うと仮定した。単位時間あたり生残率は0から1の値をとるロジスティック関数で表され、ロジスティック関数のパラメータは各放流群特有の効果 α と調査サイト特有の効果を含む線形モデルで表されると仮定した。放流種苗サイズによる生残への影響の違いを評価するため、大型サイズの α に対しての小型サイズの α の差の事後分布を求め、種苗サイズ間で α に差があるかを検討した。状態空間モデルの各パラメータの推定はMCMCによって行った。独立したチェーンを3つとし、各チェーン最初の51,000回の試行を棄却した。棄却後に試行を400,000回行い、自己相関を防ぐために試行20回毎にサンプリングを行ってパラメータの事後分布とした。

表 1 調査サイトの概要

調査 サイト	放流時全長 (cm)					区間長 水表面積	備考
	5	6	7	8	9		
サイト1	192尾 1.30 g	213尾 1.85 g	240尾 2.71 g	250尾 3.94 g	–	180 m 262 m ²	イワナ単独域
サイト2	250尾 1.17 g	250尾 1.86 g	250尾 2.72 g	250尾 3.91 g	–	120 m 591 m ²	ヤマメ混生域
サイト3	–	250尾 2.06 g	250尾 3.18 g	250尾 4.53 g	250尾 6.30 g	205 m 212 m ²	イワナ単独域
サイト4	–	250尾 2.05 g	250尾 3.33 g	250尾 4.60 g	250尾 6.37 g	190 m 563 m ²	ヤマメ混生域
サイト5	–	245尾 1.93 g	240尾 3.00 g	248尾 4.28 g	250尾 5.88 g	135 m 525 m ²	イワナ単独域 先住魚除去
サイト6	–	250尾 2.03 g	250尾 2.94 g	250尾 4.16 g	250尾 5.89 g	210 m 757 m ²	ヤマメ混生域 先住魚除去

2. 放流魚の定着条件

放流魚と野生魚の競争の結果に影響する要因として、主に先住性、孵化生育環境（系統を含む）および体サイズに分類され、これらは複雑に相互作用する（Weber and Fausch 2003; Metcalfe et al. 2003; Takara and Berejikian, 2012）。例えば、河川に先住している魚は後から侵入してきた魚の体サイズが大きかったとしても競争に優位になる場合もある（先住効果；Huntingford and deLeaniz, 1997；Rhodes and Quinn, 1998；Cutts et al, 1999）。これらの要因が放流種苗に与える影響については、国外のサケ科魚類では多く研究されている（Rhodes and Quinn, 1998; Cutts et al., 1999; Johnsson et al., 1999; Metcalfe et al., 2003）。一方、イワナやヤマメといった国内の渓流魚において先住効果について直接調べた研究はない。また、既存のヤマメにおける系統と競争との関係に関する研究においては、孵化生育環境と系統の影響を分離して評価していなかった（Yamamoto and Reinhardt, 2003）。そこで、河川に生息するサケ科魚類のうち競争に負けた個体は定着せず下流に移動することを利用して（Chapman, 1962; Nakano, 1995; Keeley, 2001），本研究では人工河川で実験を行うことで、先住性および系統の影響を除いた生育環境が国内の渓流魚放流種苗における定着性に与える影響を検証した。

2-1. 先住効果が稚魚の定着性に与える影響の検証

供試魚には、先住魚と放流魚共に川場養魚センターで飼育している継代養殖ヤマメの0+歳魚を用いた。試験直前に供試魚の魚体測定を行い、その際に個体識別のためイラストマータグによる標識を施した。供試魚は飼育池からランダムに選択したため、尾叉長 $\pm$ 標準偏差は先住魚と放流魚でそれぞれ 12.6 ± 0.6 cm および 12.5 ± 0.6 cm であり、サイズに差はなかった。

土木工事用のポリエチレン製U字溝と水中ポンプを用いて、幅 0.45 m、長さ 8.3 m、勾配 10%の流水式実験水路を作製し、川場養魚センターの屋外に設置した。実験水路は発泡スチロール建材

を堰板に用いて長さ約 1 m ずつの 7 のプールに区切り、上から順に 1 区、2 区・・・7 区とした（図 1）。7 区の下には生け簀を設置し、水路から移出した供試魚を保持できるようにした。試験用水には、川場養魚センターの湧水（水温：約 12.0℃）を使用し、水中ポンプで毎秒 3.38 L の湧水を 1 区の上流に導入した。

試験は 2018 年 7 月から 9 月にかけて行った。試験の 1 日目は 7 区の下を網で区切り、水路から供試魚が移出しない状態にした。その後、11:00 に先住魚を各区に 1 尾ずつ投入し、24 時間馴致を行った。2 日目の 11:00 に放流魚を各区に 1 尾ずつ投入後、7 区の下の網を取り外し、水路から供試魚が移出できるようにした。3 日目の 11:00 に全ての試験魚を取り揚げて各区と水路から移出した供試魚の尾数と標識を記録した。試験は 6 回繰り返した。

生息場所をめぐる個体間競争のため、試験終了時には各区に先住魚もしくは放流魚が 1 尾しか残らないと仮定し、また、後述のとおり実際にそのような結果が得られた。したがって、試験終了時にいずれかの供試魚が残存していた区（計 42 区中 37 区）のうち、先住魚が残存した区の割合を先住効果の解析に用いた。前述の先行研究により、先住魚は放流魚よりも残存する確率が高い、もしくは同等であると仮定されることから、右側片側二項検定を行った。帰無仮説は、先住魚が残存した区の割合 ≤ 0.5 、であった。また、個体間競争におけるサイズ効果の有無についても明らかにするため、残存した先住魚と水路から移出した先住魚との間で尾叉長について t 検定を行った。前述の先行研究により、大型の個体の方が残存する確率が高い、もしくは残存する確率は同等であると仮定される。したがって帰無仮説は、水路内に残存した先住魚の尾叉長 $\leq$ 水路から移出した先住魚の尾叉長であった。検定の有意性は有意水準 $\alpha = 0.05$ により判断した。

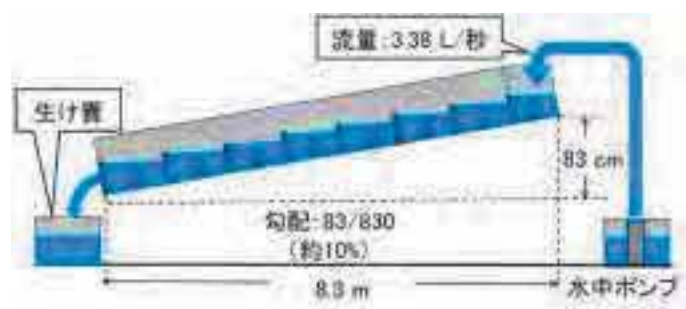


図 1 先住効果の評価試験に用いた人工水路の概略

2-2. 生育環境が稚魚の定着性に与える影響の検証

供試魚は系統が同じかつ生育環境が異なる次の 2 種類のヤマメとした。2020 年に群馬県内の神流川支流で行った親魚放流由来のヤマメを 8 月に採捕し、このヤマメを自然繁殖魚とした。また、2020 年の秋に川場養魚センターにおいて生産したヤマメを人工孵化魚とした。自然繁殖魚と人工孵化魚の尾叉長 $\pm$ 標準偏差はそれぞれ $8.1 \pm 0.9\text{cm}$ および $7.8 \pm 0.8\text{cm}$ であり、有意差は認められなかった (t -test, $t = 1.29$, $df = 40.0$, $p = 0.21$)。試験は、先住効果が稚魚の定着性に与える影響の検証において用いた実験水路を用いて、2021 年 8 月 6 日から 19 日にかけて行った。7 つのプール

のうち、隣接した2つのプール（1区と2区、3区と4区および5区と6区）をペアにし、上流区と下流区とした。各プールの間には網を設置し、供試魚がプール間を移動できないようにした。自然繁殖魚と人工孵化魚をそれぞれ1尾ずつ計2尾の供試魚を上流区に投入し、90分馴致させた。馴致後、ペアになっている上下のプールの間に設置された網を外して試験を開始した。90分後の魚の位置を記録し、上流区にいた個体が定着したと見做した。試験は25回行い、どちらか片方の個体のみが上流に定着した21回分のデータを解析に供した。

3. 漁業管理区の設定による増殖効果の定量化

自然繁殖由来魚の再生産を利用した増殖手法の1つとして、禁漁区やC&R区といった漁業管理区の設定がある。日本国内の溪流魚漁場における禁漁区設定による増殖効果については先行研究において評価が行われており、禁漁措置による溪流魚の生息密度、平均体サイズ、高齢魚の割合の増加、およびそれらに伴う漁獲可能資源の増加が認められている（Nakamura et al., 2001; Kubota et al., 2010; 川嶋, 2013; 重倉ら, 2014）。しかしながら、上述の先行研究における禁漁の増殖効果はそれぞれ1もしくは2河川の限られた環境条件で得られたデータから推定されたものに留まる

（Tsuboi et al., 2020）。これらの結果は環境条件による影響を調整できておらず、バイアスを含む増殖効果を推定していた可能性がある。また、内水面漁業協同組合は漁業管理のために禁漁区を設定する際は、管轄する漁場の一部が漁場として直接利用できなくなるデメリットと禁漁区設定による資源の増加というメリットを比較することになる。加えて、溪流魚漁場におけるC&R区設定の増殖効果に関する知見は全くない。これらのことから、自然繁殖由来の溪流魚の再生産を増進させる手法である禁漁区およびC&R区の設定を内水面漁業協同組合が積極的に選択するためには、禁漁区やC&R区の設定による増殖効果の定量化が不可欠である。そこで本研究では、環境条件が異なる複数の河川において、禁漁区およびC&R区設定の有無、環境条件および溪流魚の生息密度に関するデータを収集し、環境条件の影響を調整したうえでの純粋な禁漁区およびC&R区設定による生息密度への影響を評価することで、禁漁区およびC&R区の設定による溪流魚の純粋な増殖効果の定量化を試みた。

3-1. 禁漁区設定による増殖効果の定量化

禁漁区の増殖効果の定量化に関する調査では、群馬県多野郡上野村内を流れる利根川水系神流川の支流域に上野村漁業協同組合（以下、上野村漁協）が設定している禁漁区の一部区間を調査サイトとして計10か所選定した。また、対照区として、同支流域の通常の入漁区（以下、入漁区）の一部区間を調査サイトとして計11か所選定した。調査サイトの選定は、禁漁区設定の有無の割付けが環境条件に影響されることを防ぐため、禁漁区と入漁区との間で環境条件が大きく異なることがないように留意して行った。これらの禁漁区は全て設定から調査時までに8年以上が経過している（上野村漁協、私信）。イワナは禁漁開始後2-3年で個体数が増加して安定すること

が知られている (Nakamura et al., 2001)。したがって、本研究における禁漁区の資源量は釣獲による減少から十分に回復し、安定していると考えられた。

調査は2018年の10月10日から11月20日のうちの4日間および2020年の9月23日から11月24日のうちの8日間に行った。調査期間は群馬県漁業調整規則および上野村漁業協同組合遊漁規則により指定されている禁漁期（9月21日から翌年2月末日）かつ上野村内のイワナおよびヤマメの産卵期（9月から11月）に該当する。産卵期に調査を行ったのは、調査年において再生産に寄与し、かつ大部分が調査年の釣獲サイズに達していたと考えられた成熟魚を未成熟魚と判別するためである。

調査においては、エレクトリックショッカーを用いてサイト内の生息魚を採捕した。採捕は連続して2回行い、Program CAPTURE の mbh-Pollock estimator (Pollock and Otto, 1983) により生息魚の尾数を推定した。調査サイト内の生息魚類はイワナおよびヤマメのみであり、これらはそれぞれ単独もしくは混生して生息していた。採捕した個体は全てその場でオイゲノール (FA100; 田辺製薬株式会社, 日本) を用いて麻酔後、全長を 0.1 cm 単位で計測した。成熟魚と未成熟魚の判別は各個体の腹部を触ることで行った。精子が排出された個体をオス成熟魚、卵の排出された個体や腹腔に卵があることがわかる個体をメス成熟魚とし、これらをまとめて成熟魚とした。また、これらに該当しない個体を未成熟魚とした。イワナとヤマメは競争種であり、混生する場合には互いに干渉行動の影響を受ける (Nakano, 1995)。したがって、イワナとヤマメの推定生息尾数の合計値を生息尾数とした。採捕された魚は麻酔から覚醒後、全て採捕場所に再放流した。各調査サイトの環境条件については、採捕魚の計測の後に禁漁の有無、調査サイト長、河床勾配、川幅、流量および河畔植生の6項目を測定した。

溪流魚の成熟魚生息密度に禁漁区の設定が与える効果を定量化するため、傾向スコアによる逆確率重み付け法を用いた一般化線形モデルを構築し、共変量を調整することで、禁漁区の設定による純粋な増殖効果を推定した。共変量は調査サイトの環境条件データである河床勾配、川幅、流量および河畔植生とした。これらの共変量における禁漁区設定の有無の傾向スコア（入漁区：0，禁漁区：1）、すなわち各調査サイトが環境条件によって禁漁区に割り付けられる確率を、誤差分布として二項分布を仮定し、リンク関数をロジット関数とした一般化線形モデルにより推定した。その後、推定された傾向スコアを用いて、成熟魚生息密度について傾向スコアによる逆確率重み付け推定を行った。逆確率重み付け法による増殖効果の推定は、誤差分布にポアソン分布を仮定し、リンク関数を対数関数とした一般化線形モデルを構築することで行った。従属変数を成熟魚生息尾数、独立変数を禁漁区設定の有無と前述の共変量（河床勾配、川幅、流量および河畔植生）とし、水表面積をオフセット項とすることで、成熟魚生息密度を推定した。本モデルの従属変数は対数変換されていることから、成熟魚における禁漁区設定の平均処置効果 (Average treatment effect, ATE) を、推定された禁漁区設定の有無の偏回帰係数を自然指数変換することで求め、禁漁区設定の ATE を禁漁区設定の増殖効果とした。禁漁区設定の増殖効果の有意性は有意水準 $\alpha = 0.05$ の Wald 検定により判断した。

3-2. C&R 区設定による増殖効果の定量化

C&R 区の増殖効果の定量化に関する調査は、群馬県の吾妻地域を流れる利根川水系吾妻川で行った。吾妻川の東部地区は東日本大震災に伴う原子力災害対策特別措置法に基づくヤマメ・イワナの出荷制限水域に指定されており、吾妻川流域のうち、吾妻郡内を管轄する吾妻漁業協同組合（以下、吾妻漁協）はこの東部地区を事実上の C&R 区として扱っている。そこで、吾妻漁協が管轄する吾妻川のうち、東部地区を本調査における C&R 区、出荷制限の指定のない西部地区を入漁区とし、吾妻漁協から聞き取ったそれぞれの区における典型的な溪流魚漁場各 10 か所、計 20 か所を調査サイトとして選定した。調査は 2021 年の 9 月 27 日から 10 月 29 日のうちの 8 日間および 2022 年の 9 月 27 日から 10 月 28 日のうちの 6 日間に行った。調査サイト内で採捕されたのはイワナ、ヤマメ、ブラウントラウトおよびカジカであり、その内カジカ以外を解析に供した。リリースが実際にどの程度行われているかについて明らかにするため、2022 年の調査で採捕されたイワナおよびヤマメの成熟魚全個体について、釣獲に由来する吻部の傷の有無を確認し、C&R 区と入漁区それぞれの吻部傷率を求めた。その他の方法については上述の禁漁区の増殖効果の定量化に関する調査の方法に従った。

結果

1. イワナ稚魚同時放流における適正サイズの検証

α の差の事後分布を図 2 に示す。 α の差の事後分布 95%信用区間は、放流サイズが 5 cm と 6 cm の群の差以外で全て正の値であったことから、5 cm と 6 cm の群の間以外は有意により大型の群の方が生残率が高いと推定された。サイトの効果を一定にした場合の単位時間あたりの生残率の比の中央値は、5 cm 群を 1 とすると 5 cm : 6 cm : 7 cm : 8 cm : 9 cm = 1.0 : 1.3 : 2.6 : 4.2 : 6.0 であった。また、調査年度毎の各群の放流時の平均体重と 5 cm 群の単位時間あたり生残率を 1 としたときの各群の相対単位時間あたり生残率の関係をみると、これらは正に相関する傾向があることが示唆された（図 3）。

採捕調査で得られた推定生残尾数および状態空間モデルにより推定された真の生残尾数を図 4 に示す。放流されたイワナ稚魚の推定生残尾数は種苗サイズに関わらず、放流後 1 か月以内に放流尾数の半分以下まで減耗しており、また、放流 4 か月後にはどのサイトのどの群においても放流されたイワナ稚魚はほとんど生残していないと推定された。一方、放流前にサイト内の野生魚の生息尾数を推定していたサイト 3 とサイト 4 では、稚魚放流後に野生魚の生息尾数は大きく変化しなかった。また、放流前にサイト内の野生魚を除去したサイト 5 とサイト 6 では、放流 1 週間後の採捕調査の時点で野生魚の生息尾数が回復しており、かつその後の調査で生息尾数は大きく変化しなかった。

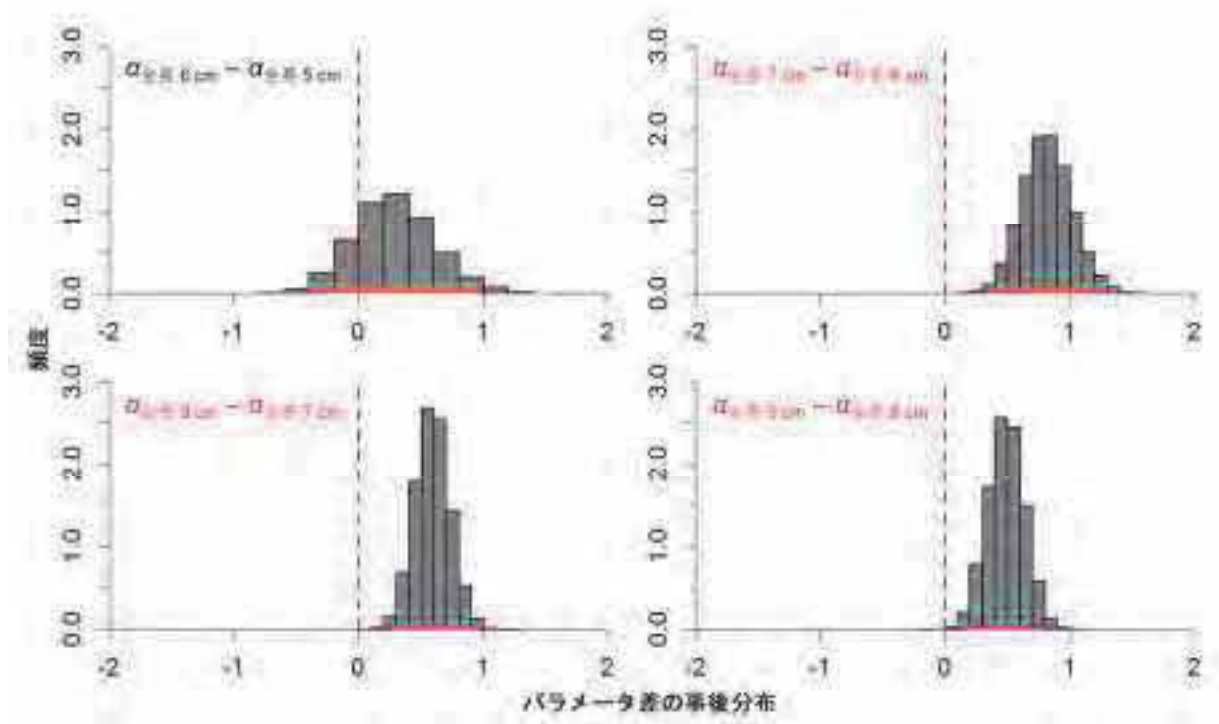


図2 各放流群特有の効果 α の差の事後分布（赤実線は95%信用区間，赤点線は0点を示す）

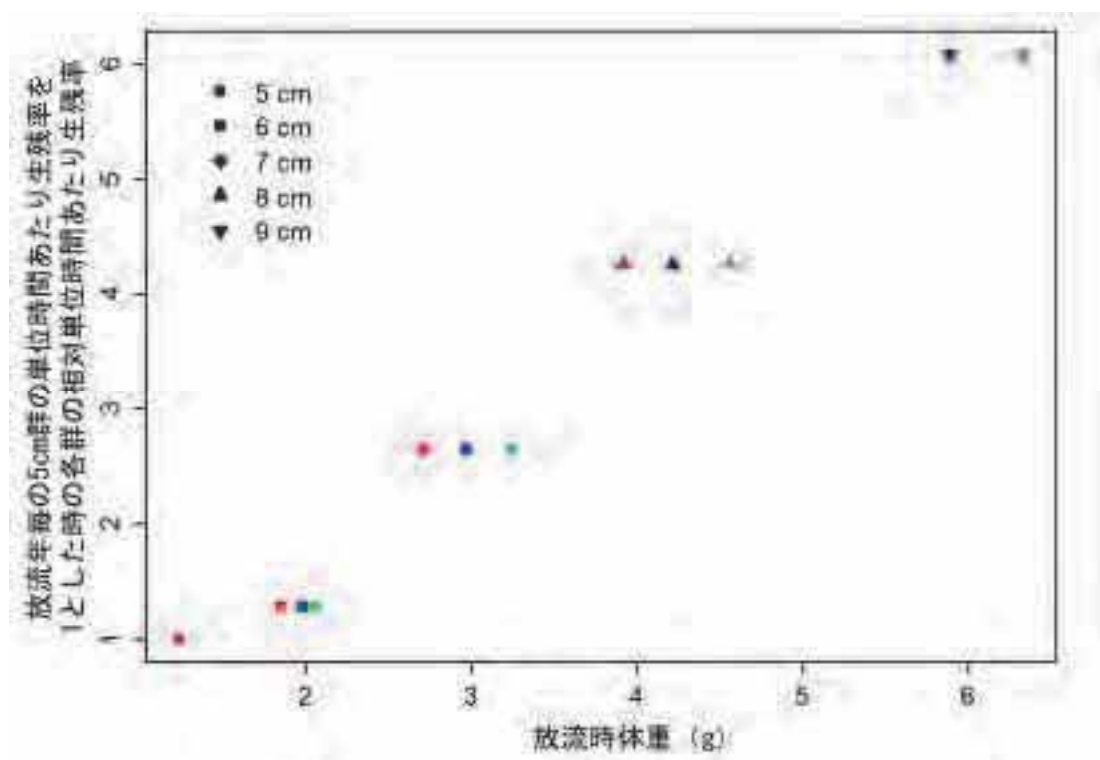


図3 調査年度毎の各群の放流時の平均体重に対しての全長5 cm 群の単位時間あたり生残率を1としたときの各群の相対単位時間あたり生残率（赤，緑および青の点はそれぞれ2018年，2019年および2020年の放流群を示す）

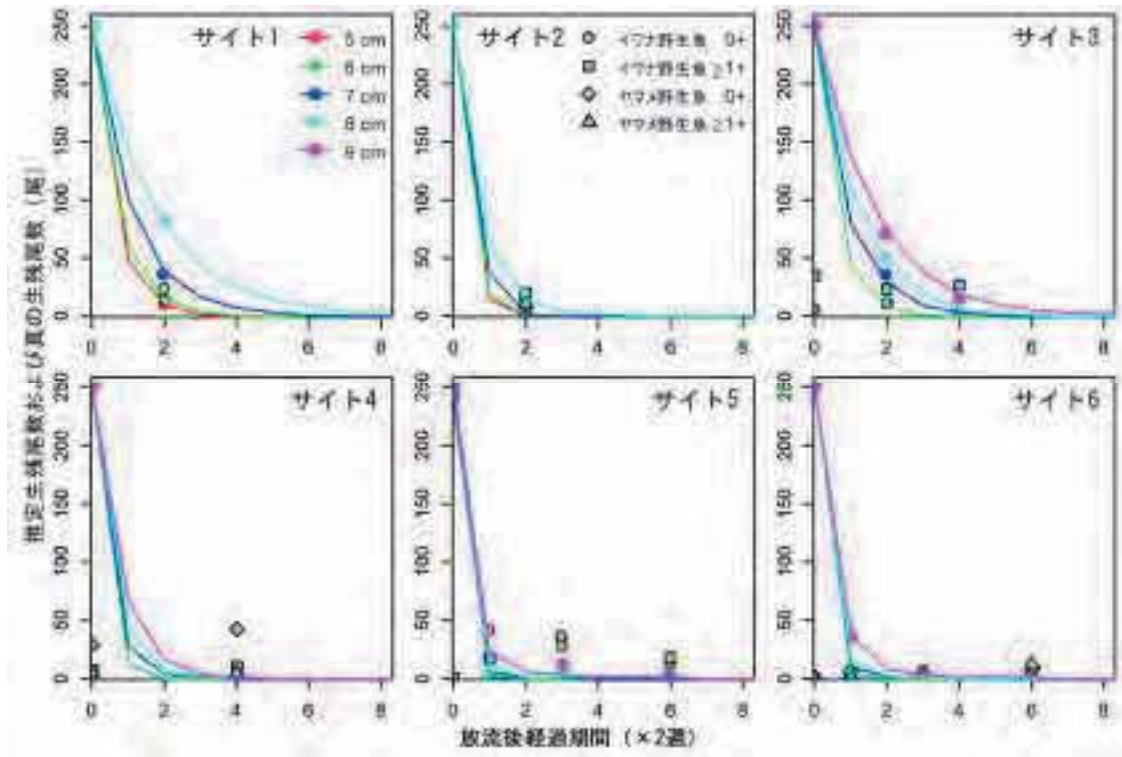


図4 採捕調査の推定生残尾数（点）と状態空間モデルによる真の生残尾数の中央値（線）

2. 放流魚の定着条件

2-1. 先住効果が稚魚の定着性に与える影響の検証

二項検定により推定された先住魚が各区いずれかに残存する確率の平均（片側 95%予測区間）は 0.649（0.501）であり、有意に 0.5 より大きかった（ $p = 0.049$ ）。したがって、先住魚は放流魚よりも水路内に残りやすいことが示唆された。また、各区いずれかに残存した先住魚および流下した先住魚の平均尾叉長 ± 標準偏差はそれぞれ 12.7 ± 0.7 cm および 12.3 ± 0.5 cm であり、前者の方が有意にサイズが大きかった（ t -test, $t = 2.31$, $df = 39.79$, $p = 0.013$ ）。

2-2. 生育環境が稚魚の定着性に与える影響の検証

一般的にサケ科魚類の競争には相対サイズが影響する（Yamamoto and Reinhardt, 2003）。そこで、相対サイズ差と定着した魚の種類の相関を確認したところ、今回の試験で用いた自然繁殖魚と人工孵化魚のペア間では相関は認められなかった（Pearson's $r = 0.28$, $df = 19$, $p = 0.22$ ）。したがって、相対サイズ差を調整せずに二項検定を行ったところ、自然繁殖魚の方が有意に定着性が高いことが示唆された（Binomial test, $p = 0.86$, 95%予測区間: 0.71-1.00）。

3. 漁業管理区設定による増殖効果の定量化

3-1. 禁漁区設定による増殖効果の定量化

各区における生息密度、河床勾配、川幅、流量それぞれの平均 ± 標準偏差、および各河畔植生

の数を表2に示す。成熟魚生息密度について、傾向スコアによる逆確率重み付け推定を用いて環境条件による影響を除去した禁漁区設定のATEとその95%信頼区間を表3に示す。成熟魚の生息密度における禁漁区設定のATEは有意であり（Wald-test, $z = 6.90, p = 0.00$ ），禁漁区の設定は成熟魚の生息密度を平均2.2倍増加させる効果があると推定された。

表2 入漁区と禁漁区における各データの平均±標準偏差

区	成熟魚生息密度 (尾/㎡)	河床勾配 (%)	川幅 (m)	流量 (L/s)	河畔植生 (区)	
					DB	BP
入漁区	0.040±0.028	12.2±5.9	2.9±1.0	87.4±77.8	7	4
禁漁区	0.089±0.077	11.5±6.7	2.8±1.1	77.5±68.4	4	6

表3 入漁区の生息密度に対する禁漁区設定の平均処置効果（ATE），95%信頼区間および p 値

2.5%	ATE	97.5%	p 値
1.73	2.15	2.69	0.00

3-2. C&R 区設定による増殖効果の定量化

各区における生息密度、河床勾配、川幅、流量それぞれの平均 ± 標準偏差、および各河畔植生の数を表4に示す。成熟魚の生息密度について、傾向スコアによる逆確率重み付け推定を用いて環境条件による影響を除去した禁漁区設定のATEとその95%信頼区間を表5に示す。成熟魚の生息密度におけるC&R区設定のATEは有意であり（Wald-test, $z = 3.24, p = 0.00$ ），C&R区の設定は成熟魚の生息密度を平均1.5倍増加させる効果があると推定された。採捕された成熟魚の吻部傷率の平均 ± 標準偏差はC&R区と入漁区それぞれで42.7 ± 24.6%と2.0 ± 4.0%であり，C&R区の方が遊漁者にリリースされる割合が高かったと推察された。

表4 入漁区とC&R区における各データの平均±標準偏差

区	成熟魚生息密度 (尾/㎡)	河床勾配 (%)	川幅 (m)	流量 (L/s)	河畔植生 (区)	
					DB	BP
入漁区	0.022±0.018	6.0±2.8	4.0±1.9	264.6±212.5	6	4
C&R区	0.047±0.022	7.0±2.6	2.8±1.2	110.7±105.9	4	6

表5 入漁区の生息密度に対するC&R区設定の平均処置効果（ATE），95%信頼区間およびp値

2.5%	ATE	97.5%	p 値
1.18	1.53	1.98	0.00

考察

1. イワナ春稚魚同時放流における適正サイズの検証

一般的に河川型のサケ科魚類の継代養殖魚は同種の野生魚よりも攻撃性と摂餌活性が高く，捕食者回避性が低いため，成長が早いものの外敵に捕食されやすい（永田, 2004）。しかしながら，イワナの春稚魚放流においては大型種苗の方が放流後の短期間における生残率が高かった。また，河川型のサケ科魚類における密度依存的な種内競争は大型個体の方が有利であり，競争に負けた個体は生息場所から流下する（Chapman, 1962; Nakano, 1995; Keeley, 2001）。加えて，放流の前後で野生魚の生息尾数は大きく変化していない，もしくは野生魚の除去後2週間で上流からの染み出しにより生息尾数は回復していた。これらのことから，調査サイトに放流された継代養殖イワナは外敵からの捕食で減耗したのではなく，より小型の種苗ほど野生魚との競争で負けた結果，調査サイトから流下したことにより減耗した可能性が高いと考えられた。

一方，放流試験を実施したどの調査サイトにおいても，放流されたイワナ稚魚は群にかかわらず放流の数か月後にはサイト内にほぼ生残していなかったことが明らかになった。この結果は，中村（2018）のイワナの秋放流に関する先行研究の結果を支持するものであった。中村（2018）は，同じ調査サイトで5年間にわたり毎年秋にイワナ0+歳魚を4,000尾同時放流したにもかかわらず調査サイト内で22尾しか再捕されなかったことを報告している。したがって，放流地点付近を漁場にすることを目的としてイワナの種苗放流を行う場合，一般的に行われる春放流と秋放流どちらにおいてもイワナの種苗放流による増殖効果は極めて低いことが示唆された。

2. 放流魚の定着条件

先住効果が稚魚の定着性に与える影響の検証については，ヤマメ個体間競争において勝敗に影響するサイズ効果や生育環境効果を調整したうえで，競争によって生じる流下移動を再現することによって，ヤマメの種内競争においても先住効果が存在し，放流魚の定着性に負の影響をもたらすことを実証することができた。また，供試魚間のサイズ差は極力小さくしたにも関わらず，水路内に残存していた個体は供試魚の平均尾叉長よりも大きかったことから，他のサケ科魚類における先行研究と同様に（Abbott et al., 1985; Berejikian et al., 1996），ヤマメの定着性はサイズ効果に敏感であることも明らかになった。

生育環境が稚魚の定着性に与える影響の検証については，同じ系統の人工孵化由来ヤマメおよび自然繁殖由来ヤマメを実験に用いることで，生育環境効果と系統効果を分離したうえで，純粋な生育環境効果がヤマメ稚魚の定着性に与える影響を明らかにした。その結果，人工孵化環境下

で飼育されたヤマメは自然繁殖由来かつ稚魚サイズまでの自然環境下におけるセレクションを受けたヤマメよりも種内競争に弱く、定着性が低いことを検証することができた。このことは、同じ系統のヤマメであっても、稚魚放流よりも発眼卵放流の方が生残率が高いという先行研究（中村ら, 2022）の結果を支持していたと考えられた。

3. 漁業管理による増殖効果の定量化

成熟魚の生息密度は禁漁区および C&R 区において入漁区よりも高かった。このことは、上野村漁協管内および吾妻漁協管内に訪れた多くの遊漁者が遊漁規則を遵守していたことを示唆している。すなわち、入漁区において漁獲可能サイズである成熟魚の生息密度は持ち帰られることにより減少した一方、遊漁者が規則を遵守し、禁漁区では遊漁が行われず、また、C&R 区では持ち帰りが行われなかったことにより、成熟魚の資源が減少しなかったと考えられた。したがって、既往の知見と同様に、支流域における禁漁区の設定は上野村漁協管内の神流川支流域においても、実際に遊漁者に対して遊漁を行わず、溪流魚資源を増加させる効果があったと考えられた。また、これまで効果が検証されてこなかった C&R 区の設定についても、実際に遊漁者に対して持ち帰りを制限し、溪流魚資源を増加させる効果があることが示唆された。

禁漁区設定の効果は平均で約 2.2 倍であった一方、C&R 区設定の効果は約 1.5 倍であった。この結果の差はいくつかの要因が考えられた。まず、持ち帰りや釣獲に伴うダメージによる死亡率の差である。禁漁区は遊漁自体が制限されているが、C&R 区では遊漁自体は行うことが可能である。釣獲方法、フッキングした場所、フッキングしたハリの処理方法およびハンドリング方法によって異なるものの、イワナおよびヤマメの C&R 後の累積死亡率は 21 日間で最大 55% に達する（土居, 2004）。本研究では、C&R 区の方が吻部傷率が高かったため、リリースされた成熟魚の割合が高かった。本研究における C&R 区では成熟魚が複数回釣獲されたことにより一部個体が死亡したため、C&R 区設定の ATE が禁漁区設定の ATE よりも低下した可能性がある。また、別の要因として、河川の調査範囲の違いも挙げられる。C&R 区設定に関する調査を行った吾妻漁協管内では、支流域の一部を禁漁区としていた上野村漁協管内と異なり、一部の支流だけではなく支流と繋がっている本流を含む広い範囲で釣獲魚のリリースが義務付けられていた。溪流魚の生息密度は本流よりも支流で高い（Tsuboi et al., 2020）。C&R 区設定に関する調査では、支流域のみで調査を行っていた禁漁区設定に関する調査と異なり、比較的下流で規模の大きい河川を含めて調査を行った。このことから、C&R 区では禁漁区と比較して漁業管理区設定の ATE が低くなったとも考えられた。

都道府県の内水面漁場管理委員会は、第 5 種共同漁業権に基づく次年度の増殖の目標量をその前年度の漁業による資源の減耗量を基に求める。実際には遊漁による資源の減耗量を測定することは困難であり、増殖の目標量は遊漁料収入や増殖の実績を基に算出されることが一般的である。本研究の結果は、入漁区および漁業管理区において溪流魚の生息密度を推定することによって遊漁による減耗量、すなわち本来増殖すべき資源量を測定することが可能であることも示唆し

ている。本研究では、調査を行った環境条件下における溪流魚資源に対する漁業管理区設定の ATE（増殖効果）を禁漁区および C&R 区の導入それぞれについて定量化した。このことは、本研究の調査サイトと同様の環境条件下では、遊漁の効果により溪流魚の生息密度は漁業管理区設定と比較して平均で $1/ATE$ 倍に減少することを意味する。したがって、本研究を行った漁場と類似した環境条件の漁場においては、溪流魚の生息密度を推定したうえで禁漁区設定の ATE を利用することで、遊漁による溪流魚資源の減耗量を推定することが可能になり、また、C&R 区の ATE を利用することで、C&R 区では入漁区よりも少ない努力量で漁場の溪流魚の生息密度を高く維持することが可能になると考えられる。加えて、本研究を行った漁場と大きく異なる環境の漁場においては、近隣の禁漁区や C&R 区を利用して本研究と同様の手法によって各漁業管理区設定の ATE を求めることによって、より漁場の現状に即した増殖を行うことが可能になる。

河川型のイワナにおいて、生息個体の 9 割以上が除去された場合でも、上流の禁漁区の生息魚が染み出すことによって、わずか 1 年で生息密度が禁漁区と同程度まで回復した事例が報告されている（河野ら, 2006）。また、釣りによる漁獲は、一般的に大型で活動的な大型の魚を優先的に集団から除去するため、小型で臆病な魚が生残し、結果として釣れにくい、所謂スレた個体群になってしまうことが近年の研究で明らかにされている（Young and Hayes, 2004; Tsuboi et al., 2016; Monk et al., 2021）。一方、海面の禁漁区に生息する魚は成長して大型になるだけでなく、警戒心が薄いため釣られやすく、禁漁区から漁場へ移動する傾向があることから、結果として禁漁区の設定は漁場の資源増加および釣れにくさの緩和に貢献している可能性が指摘されている（Sale, 2013）。また、イワナはリリース直後に死亡しなければ、釣れやすさ、成長および生残率は低下しないことが知られている（坪井ら, 2002）。以上のことから、溪流魚においても同様に、漁業管理区の設定は漁場の減少というデメリットに対して、漁業管理区内の単なる資源の増加という直接的なメリットだけではなく、下流の漁場への資源添加や釣れにくさの緩和といった間接的なメリットをもたらすと考えられた。

まとめ

種苗放流について、イワナの春稚魚放流においては、より大型の種苗を放流に用いることによって放流後短期間における生残率を向上させることが可能である一方、イワナの種苗放流は定着性が極めて低いことが明らかになった。また、ヤマメ先住魚が生息している河川において、先住魚と同等もしくは小さい人工孵化由来のヤマメを種苗放流した場合、他のサケ科魚類における先行研究と同様に、先住効果、サイズ効果および生育環境効果によって、大部分が競争に負け、定着せずに流下してしまうことが示唆された。以上のことから、種苗放流は環境が良く、環境収容力が大きい一方、過去の攪乱等により先住魚の資源量が大きく減少してしまい、自然繁殖のみでは十分な資源増加が見込めない河川においてのみ行うべきであると考えられた。今後は、種苗放流後の実際の減耗要因や、減耗が実際に流下によって生じている場合における流下した個体の動態（流下先での定着性や流下距離等）について解明する必要がある。

漁業管理について、溪流魚漁場における禁漁区および C&R 区の設定による増殖効果が定量化された。今後は禁漁区における溪流魚の生息密度や面積、環境条件に対しての禁漁区からの流下移動資源量の関係の定量化や、実際の漁場レベルにおける禁漁区による釣られにくさの緩和効果についての研究が待たれる。また、禁漁区および C&R 区設定の効果は遊漁者が規則を遵守することによって生じる。したがって、各漁業管理手法の遊漁者の規則遵守実態、および各規則周知手法が遊漁者の規則遵守意識へ与える影響についても今後は検討が必要である。

参考文献

- Abbott JC, Dunbrack RL, Orr CD (1985) The interaction of size and experience in dominance relationships of juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Behav.* 92, 241–253.
- Álvarez D, Nicieza AG (2005) Is metabolic rate a reliable predictor of growth and survival of brown trout (*Salmo trutta*) in the wild?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62, 643–649.
- Berejikian BA, Mathews SB, Quinn TP (1996) Effects of hatchery and wild ancestry and rearing environments on the development of agonistic behavior in steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53, 2004–2014.
- Biro PA, Abrahams MV, Post JR, Parkinson EA (2004) Predators select against high growth rates and risk-taking behaviour in domestic trout populations. *Proc. Royal Soc. Lond. Ser. B: Biol. Sci.* 271, 2233–2237.
- Chapman DW (1962) Aggressive behavior in juvenile coho salmon as a cause of emigration. *J. Fish. Board Can.* 19, 1047–1080.
- Cutts CJ, Brembs B, Metcalfe NB, Taylor AC (1999) Prior residence, territory quality and life-history strategies in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J. Fish Biol.* 55, 784–794.
- 土居隆秀・中村智幸・横田賢史・丸山隆・渡邊精一・野口拓史・佐野祐介・藤田知文 (2004) 実験池においてキャッチアンドリリースされたイワナ、ヤマメの生残と成長. *日本水産学会誌* 70, 706–713.
- Huntingford FA, Garcia De Leaniz C (1997) Social dominance, prior residence and the acquisition of profitable feeding sites in juvenile Atlantic salmon. *J. Fish Biol.* 51, 1009–1014.
- Johnsson JI, Nöbbelin F, Bohlin T (1999) Territorial competition among wild brown trout fry: effects of ownership and body size. *J. Fish Biol.* 54, 469–472.
- Keeley ER (2001) Demographic responses to food and space competition by juvenile steelhead trout. *Ecol.* 82, 1247–1259.
- Metcalfe NB, Valdimarsson SK, Morgan IJ (2003) The relative roles of domestication, rearing environment, prior residence and body size in deciding territorial contests between hatchery and wild juvenile salmon. *J. Appl. Ecol.* 40, 535–544.
- Miyamoto K, Squires TE, Araki H (2017) Experimental evaluation of predation of stocked salmon by riparian wildlife: effects of prey size and predator behaviours. *Mar. Freshw. Res.* 69, 446–454.

- Monk CT, Bekkevold D, Klefoth T, Pagel T, Palmer M, Arlinghaus R (2021) The battle between harvest and natural selection creates small and shy fish. *Proc. National Acad. Sci.* 118, e2009451118.
- 永田光博 (2004) サケ属魚類における「人工孵化」の展望. サケ・マスの生態と進化, pp. 213–241.
- 中村智幸 (2018) 天竜川水系中田切川におけるイワナの増殖に対する養殖稚魚の放流効果. 水産増殖 66, 85–87.
- 中村智幸・岸大弼・徳原哲也・片岡佳孝・亀甲武志・菅原和宏 (2022) ヤマメ・アマゴの種苗放流の増殖効果の検証. 水産技術 15, 17–38.
- Nakano S (1995) Individual differences in resource use, growth and emigration under the influence of a dominance hierarchy in fluvial red-spotted masu salmon in a natural habitat. *J. Anim. Ecol.* 64, 75–84.
- Pollock KH, Otto MC (1983) Robust estimation of population size in closed animal populations from capture-recapture experiments. *Biometrics* 39, 1035–1049.
- Rhodes JS, Quinn TP (1998) Factors affecting the outcome of territorial contests between hatchery and naturally reared coho salmon parr in the laboratory. *J. Fish Biol.* 53, 1220–1230.
- Sale PF (2013) Older but less wise. *Nat.* 493, 167–168.
- Tatara CP, Berejikian BA (2012) Mechanisms influencing competition between hatchery and wild juvenile anadromous Pacific salmonids in fresh water and their relative competitive abilities. *Environ. Biol. Fish.* 94, 7–19.
- 坪井潤一・森田健太郎・松石隆 (2002) キャッチアンドリリースされたイワナの成長・生残・釣られやすさ. 日本水産学会誌 68, 180–185.
- Tsuboi J, Morita K, Klefoth T, Endou S, Arlinghaus R (2016) Behaviour-mediated alteration of positively size-dependent vulnerability to angling in response to historical fishing pressure in a freshwater salmonid. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73, 461–468.
- Tsuboi J, Morita K, Koseki Y, Endo S, Sahashi G, Kishi D, Kikko T, Ishizaki D, Nunokawa M, Kanno Y (2020) Spatial covariation of fish population vital rates in a stream network. *Oikos* 129, 924–937.
- Weber ED, Fausch KD (2003) Interactions between hatchery and wild salmonids in streams: differences in biology and evidence for competition. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 60, 1018–1036.
- Wiley RW, Whaley RA, Satake JB, Fowden M (1993) Assessment of stocking hatchery trout: a Wyoming perspective. *North Am. J. Fish. Manag.* 13, 160–170.
- Yamamoto T, Reinhardt U (2003). Dominance and predator avoidance in domesticated and wild masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Fish. Sci.* 69, 88–94.
- Young RG, Hayes JW (2004) Angling Pressure and Trout Catchability: Behavioral Observations of Brown Trout in Two New Zealand Backcountry Rivers. *North Am. J. Fish. Manag.* 24, 1203–1213.

担当者

平成30～令和4年度	群馬県水産試験場	川場養魚センター	主任	山下	耕憲
平成30～平成31年度			独立研究員	松原	利光
令和2～令和3年度			独立研究員	神澤	裕平
令和4年度			技師	井下	眞

要旨

河川型イワナについて「種川」からのしみ出し効果を明らかにするために、山岳溪流を降下するイワナを定量的に捕獲するトラップを開発し、降下データの集積と解析を行った。さらにイワナが降下する要因を知るために水槽実験を行った。6河川でトラップ調査を行い全ての河川で降下するイワナを確認し「しみ出し」は山岳溪流のイワナにおいて一般的な現象であることがわかった。河川によって降下時期、個体数、サイズに違いがあることもわかり、水槽実験で得られた個体間攻撃と降下についての結果も合わせると、降下現象は個体群の状況と成長段階別の生息場所の状況の相対的關係によって起こると考える。「種川」を選定するための目安とするために、降下数を0+年魚に換算した「しみ出し指数」と、環境要因等の6項目との関係を分析したが相関する項目はなかった。現状では浮上直後の稚魚の確認によって種川を選定することが妥当であり、観察手法も含めて技術を普及することが望まれる。

全期間を通じた課題目標及び計画

イワナなど溪流魚の生息河川では、増殖を目的として支流、上流に禁漁区が設定されている場所がある。禁漁区を「種川」として増殖した資源が下流の遊漁区へしみ出すことを期待するものであるが、先行研究から河川型のイワナ成魚は定住性が強いことが知られており（Nakamura et al 2002, 山本ら 2004）資源添加効果は必ずしも明確ではない。稚魚の移動についても、ダム湖流入河川で降下したとの知見（山本ら 1992）があるものの、捕獲技術が確立されていないため山岳溪流での調査事例はなく、降下についての情報はほとんどない。そこで我々は「種川」からのイワナのしみ出し効果について明らかにするために、以下の3課題について研究を行った。

1. 山岳溪流を降下するイワナの捕獲技術開発
2. イワナの降下データの集積と解析
3. イワナが降下する要因の解明

方法

1. 山岳溪流を降下するイワナの捕獲技術開発

山岳溪流において流下するイワナを、稚魚を含めて捕獲するためのトラップを検討した。図1に示した捕獲網を試作し、河川流下物（主に落葉）の多い時期に24時間以上耐久できるかを検証した。2018年11月7日10時50分に千曲川水系鎖川の支流である中俣沢に流入する小西沢に設置し11月8日14時06分に回収した。使用した材料は、ネット×1個、単管パイプ8本（1.5m×4本、1.0m×4本）、直交クランプ×8個、自在クランプ×4個、ネット固定用ロープである。捕獲

トラップはS型淵の下端を横切るように設置し、目詰まりによって濾過流量が変化しないよう配慮した（図2）。2019年には単管パイプをメッキパイプに変えて軽量化したトラップについても同様に耐久性を調べた。

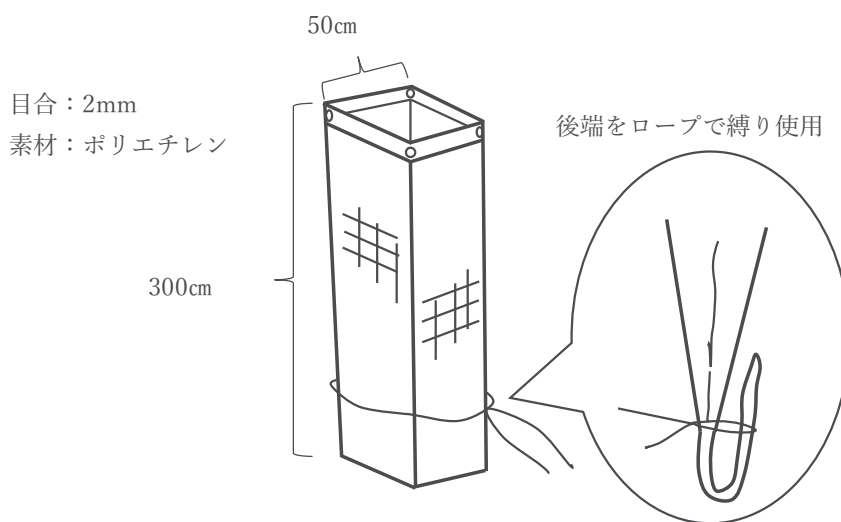


図1 捕獲網の模式図

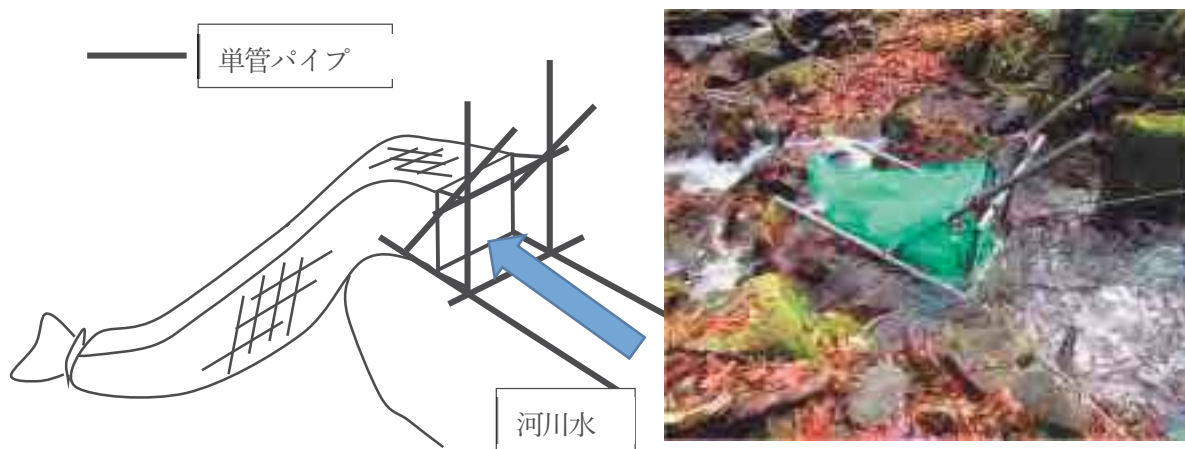


図2 捕獲トラップ設置図（左図：模式図、右図：小西沢設置図）

2. イワナの降下データの集積と解析

表1に示した6河川で、開発したトラップを用いて降下するイワナの採捕を行った。調査河川の選定にあたっては、調査の前年の春にイワナ稚魚を目視にて確認できた河川を選んだ。各河川のトラップ調査の期間は表1に示したとおりで、7日から10日に1回の頻度で実施した。1回の採捕時間は24時間とし、10:00から11:00の間にトラップを設置し、翌日の同時刻に回収した。トラップはS型淵の下端を横切るように設置し、目詰まりによって濾過流量が変化しないよう配慮した。採捕されたイワナは、全長と体重を測定し、全長5cm以下を年齢0+、5cm超を1+以上

に区分した。なお、損傷が激しい個体についてはマイクロサテライト領域（Sfo-12）のPCR（澤本ら 2005）でイワナであることを確認した。設置・回収時には流速を測定して、河川全体及びトラップ内へ入る流量を計算し、濾水率（%） $\{ \text{トラップ内流量(L/秒)} / \text{河川流量(L/秒)} \}$ を算出した。イワナの採捕数と濾水率から河川全体量に引き伸ばしたイワナの推定降下尾数を0+と1+以上についてそれぞれ求め、調査日間の降下数が直線的に推移すると仮定して調査期間中の総降下尾数を算出した。さらに調査河川から下流への「しみ出し効果」＝資源添加効果を評価するために「しみ出し指数」を計算した。「しみ出し指数」は、0+の総降下尾数に、1+以上の総降下尾数を0+の尾数に換算して加算したもので、計算式は下記のとおりである。生残率は中村(2013)に従い、卵から0+夏までを5.22%、1+夏までを1.86%とした。この生残率から計算すると「1+以上」1個体は「0+」個体2.8尾に相当する。

しみ出し指数（尾）＝0+の降下数＋{1+以上の降下数×（0+夏までの生残率／1+夏までの生残率）}

イワナが降下する時間帯の特性を知るために、予備調査から降下数が多いことが想定される時期に昼間と夜間に分けてイワナを採捕した。小西沢にて2020年5月4日から5日に、本沢では2020年4月27日から28日にかけて調査を行った。小西沢のある東筑摩群朝日村における5月4日の日の出時刻は4:53、日没時刻は18:39、5月5日の日の出時刻は4:52であった。本沢のある塩尻市における4月27日の日の出時刻は5:00、日没時刻は18:32、4月28日の日の出時刻は4:59であった。そのためトラップを、小西沢では昼間4:50-18:00、夜間18:00-5:30、本沢では昼間5:00-18:20、夜間18:20-5:00に分けて設置・回収した。

表1 イワナの降下実態調査河川

年	調査河川 (降下先の釣場)	トラップ 設置地点	調査期間	調査 回数	親魚について の資源調査日	備考
2020	小西沢 (中俣沢)	N36° 4' 43"0 E137° 48' 57"3	4/3-6/30	14	2019/10/9-10	
2020	本沢 (小曾部川)	N36° 3' 11"3 E137° 51' 32"9	4/8-6/30	13	2019/8/26-27	禁漁
2021	大倉沢 (雑魚川)	N36° 46' 1"7 E138° 32' 14"4	4/13-7/20	15	2020/9/15-16	禁漁
2021	ガキ沢 (雑魚川)	N36° 46' 42"2 E138° 32' 56"7	4/13-7/26	16	2020/9/15-16	禁漁
2022	藤沢川 (土尻川)	N36° 36' 10"5 E137° 53' 17"7	3/22-6/10	7	2021/10/19-20	
2022	裏の沢 (土尻川)	N36° 36' 12"0 E137° 53' 16"9	3/15-6/10	8	2021/10/19-20	

降下するイワナの性比を知るために、小西沢では2020年5月5日に、本沢では2020年4月28日に採捕されたイワナ0+の性比を調査した。採捕されたイワナ稚魚の体組織から Instagene

Matrix (BioRad 社) を用いて DNA 精製した。その後、サケ科魚類の雌雄判別 PCR (雄決定遺伝子 sdY を対象, 木南ら 2016) を行い各サンプルの性別を確認した。

しみ出し効果を期待した種川を選定する簡単な指標となるかを検討するために、「しみ出し指数」と河川環境等の相関関係を分析した。指標の候補として調査対象とした要因は、産卵期待数、河川幅、川幅水深比、屈曲度、勾配、結節網状態の 6 項目である。

産卵期待数は再生産の豊度を示す指標として分析の対象とした。降下調査の前年 (表 1 参照) に、トラップ設置地点上流において電気ショッカーで親魚の標識再捕調査を行って資源尾数を求めるとともに、採捕個体の雌雄、全長、体重を計測した。これらのデータを用いて重倉ら (2014) の手法により面積あたり期待される産卵粒数を計算した。発眼卵放流由来のイワナ稚魚 (体重 0.3g) は下流 250m の範囲に移動したとする知見 (新妻ら 1988) を参考に、各調査河川の河川長 250m での産卵期待数を計算して指標とした。

河川幅は川の規模を示す指標としてとりあげた。産卵期待数と同じく調査範囲をトラップ設置地点の上流 250m の区間とし、25m 毎に 10 の横断線を設けて河川幅を測定し、河川毎の平均値を指標とした。

川幅水深比は河川形態の特徴を示す指標として、川幅を計測した横断線上で最大水深を同線の河川幅に対する比率を算出して河川ごとに平均した値を指標とした。

屈曲度は河道の複雑さを示す指標として、勾配は河川形態の特性のひとつとして、トラップ設置地点の上流 250m について国土地理院地図からそれぞれ計算して指標とした。

結節網状態は分流が増えることでイワナ稚魚の微小生息場所が増加することを想定して指標とした。調査範囲は 250m とし浅野ら (2004) に従い目視により計数し、河川毎の総数を指標とした。

3. イワナが降下する要因の解明

イワナの降下行動を促す要因として、個体間競争が関与していることを確認するために水槽実験を行った。実験は、2019 年 4 月 11 日から 6 月 28 日に行った。牛乳パックを用いて 7 cm × 7 cm × 10 cm の区画を作成し、それを 9 段の階段状 (落差 1 cm に設定) に連結させた (図 3)。最上段から 6.6 ml/秒の注水を行った。この水槽を 6 基作成し、水槽 A から F とした。水槽 A、B は 4 月から、水槽 C、D は 5 月から、水槽 E、F は 6 月から実験を開始した。中央にあたる 5 段目に長野県水産試験場木曾試験地産のイワナ稚魚 (投入時の平均全長 ± SD は 4 月 (A) 29.1 mm ± 2.3、4 月 (B) 29.3 mm ± 2.3、5 月 (C) 34.6 mm ± 3.1、5 月 (D) 34.8 mm ± 4.1、6 月 (E) 41.3 mm ± 4.5、6 月 (F) 42.3 mm ± 5.1) を投入して行動を観察した。この供試尾数は、実際の禁漁河川と同程度の密度となるよう次のように算出した。禁漁区である満水川でのイワナ産卵期待数は 24 粒/m² と報告されている (重倉ら 2014)。満水川の河川幅は 3.5 m なので、河川長 1 m の面積は 3.5 m² であり、河川長 1 m の産卵数は約 84 粒となる。この卵の発眼率を 90%、発眼から浮上までの生残率を 90% (飼育下での最高値) とすると浮上する稚魚は 68 尾となる。稚魚が産卵床から浮上後、両岸に均等に移動したとして、岸延長 1 m あたりの尾数は 34 尾となる。水槽の長さは 7 cm × 9 個 = 0.63 m な

ので、 $34 \text{ 尾/m} \times 0.63 \text{ m} = 21.4 \text{ 尾}$ となり、供試尾数を 22 尾とした（図 4）。

観察は 1 週間に 4 回もしくは 5 回行った。観察日に、最下段の個体が採餌できる量の配合飼料を最上段から給餌した。死亡した個体は速やかに取り除いた。



図3 牛乳パックを使った水槽

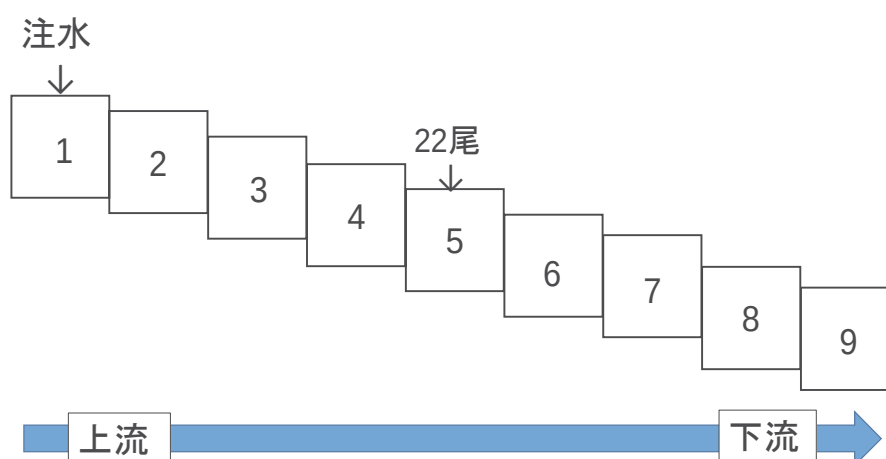


図4 水槽実験の概要図

結果

1. 山岳溪流を降下するイワナの捕獲技術開発

2018年の試験では、24時間以上経過しても捕獲網が破損、流出、目詰まりすることはなかった。取水割合 {濾過水量(L/秒)/河川流量(L/秒)} は開始時が86.1%。終了時が79.6%で、その平均は82.9%であった。2019年の軽量型においても問題はなく、本手法により降下するイワナを定量的に捕獲できる見通しを得た。

2. イワナの降下データの集積と解析

6河川全てで降下するイワナが採捕された。採捕されたイワナの全長を調査日毎に図5に示し

た。小西沢、本沢、藤沢川では降下個体は0+のみであったが、大倉沢、ガキ沢、裏の沢では1+以上の個体も降下していた。推定降下尾数の季節的推移をみると（図6）0+については小西沢、大倉沢、藤沢川、裏の沢では春にピークが1回あるが、本沢では春と初夏に、ガキ沢では初夏と夏にそれぞれピークがあり、統一した傾向はみられなかった。1+についても、大倉沢では初夏以降、ガキ沢では期間を通して恒常的に降下している傾向がみられる一方で、裏の沢では春に1回のピークがあった以降は降下しておらず、統一した傾向はみられなかった。

調査日の流量と推定降下尾数の関係をみると（図7）全ての河川で0+、1+以上とも相関はなく、流量が多い時、あるいは少ない時に降下するといった傾向は認められなかった。イワナが降下する時間帯について小西沢では昼間に1尾、夜間に10尾、本沢では昼間に1尾、夜間に14尾が採捕された。捕獲された個体は0+のみであり、稚魚に限った結果であるが、どちらの河川においても夜間の方が多く降下していた（図8）。降下個体の性比については小西沢では雌6尾に対して雄5尾、本沢では雌7尾、雄8尾であり（図9）、性比に偏りがなかった。

各河川の「しみ出し指数」は186から1,177尾の範囲にあった。「しみ出し指数」と河川環境等の相関関係を分析したところ、指標の候補として対象とした6項目全てで有意な相関はなかった（図10）。

3. イワナが降下する要因の解明

供試魚は区画間を容易に移動できていた。全ての水槽で個体間でのつつき合いなどの攻撃行動が観察され、敗北した個体の下流側へ降下する行動が見られた。終了時は、全水槽において最下段（9段目）の区画まで降下した個体が多くなり、その割合は供試魚数に対して55から59%となった。最下段を除いた1～8段目の区画（計48区画）における区画毎の尾数の頻度は、0尾が12区画、1尾が32区画、2尾が2区画、3尾が2区画となり、降下しなかった個体は単独で区画を独占することが多かった（図11）。

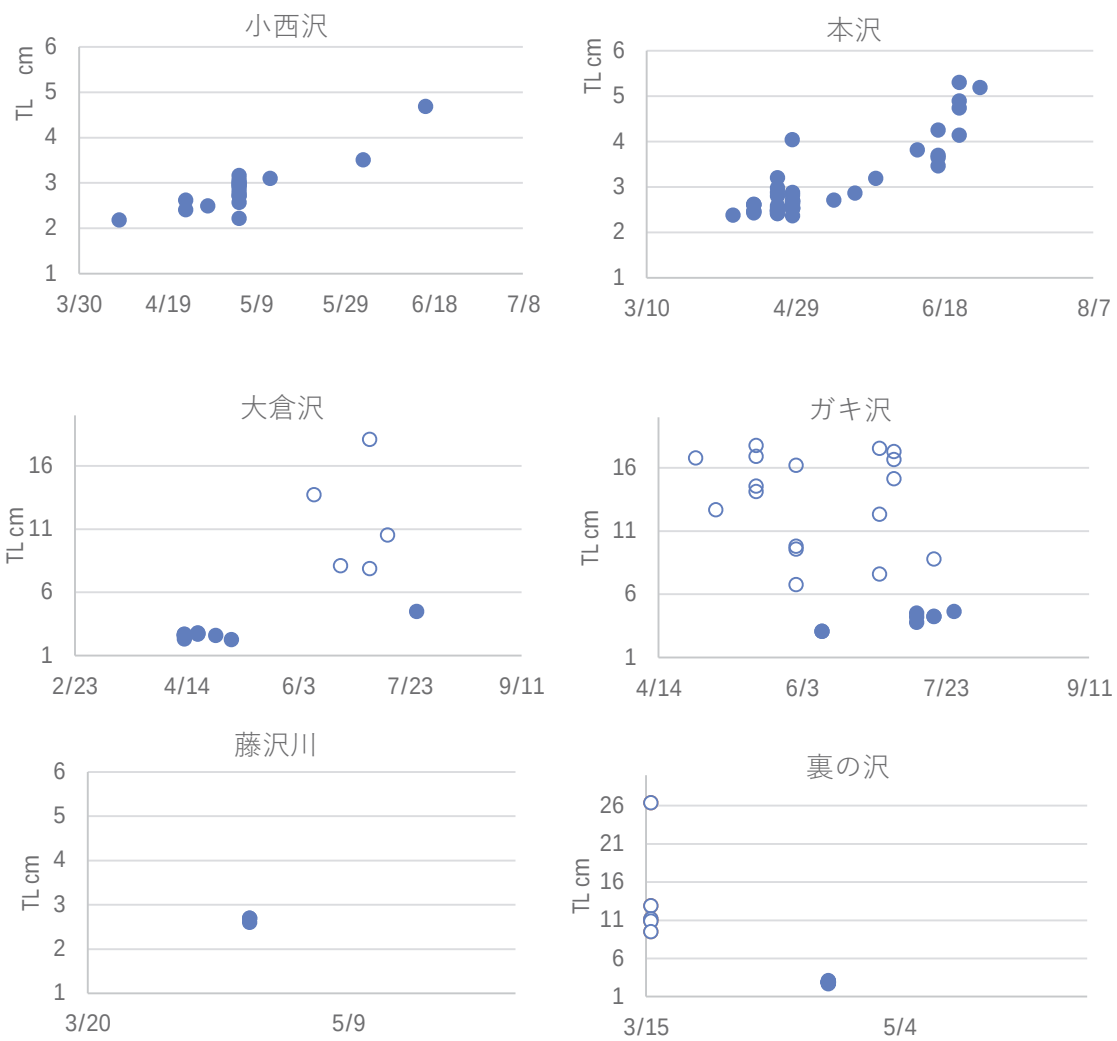


図5 降下したイワナの採捕日と全長。●は0+、○は1+以上を示す。

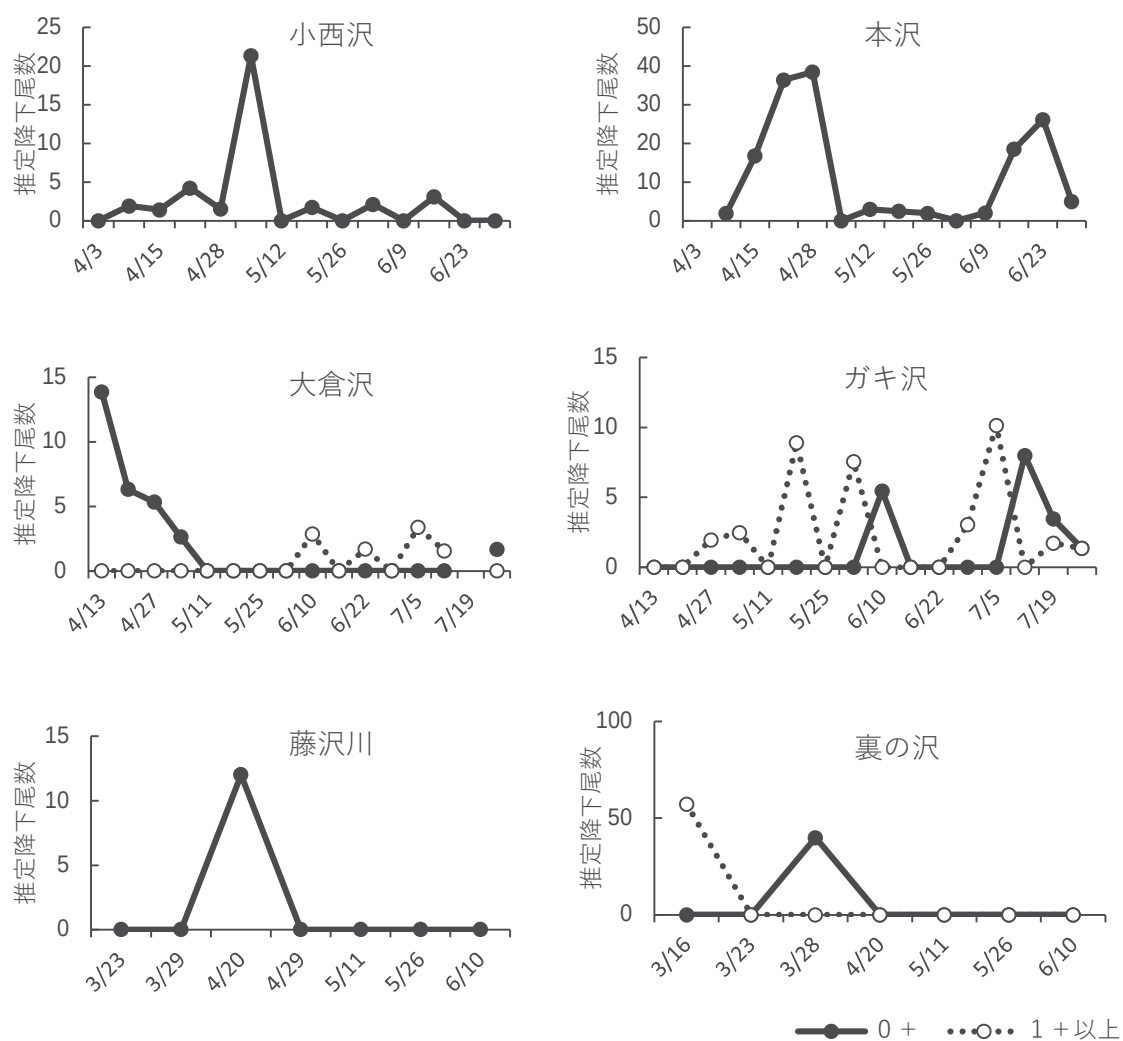


図6 イワナの推定降下数の季節推移

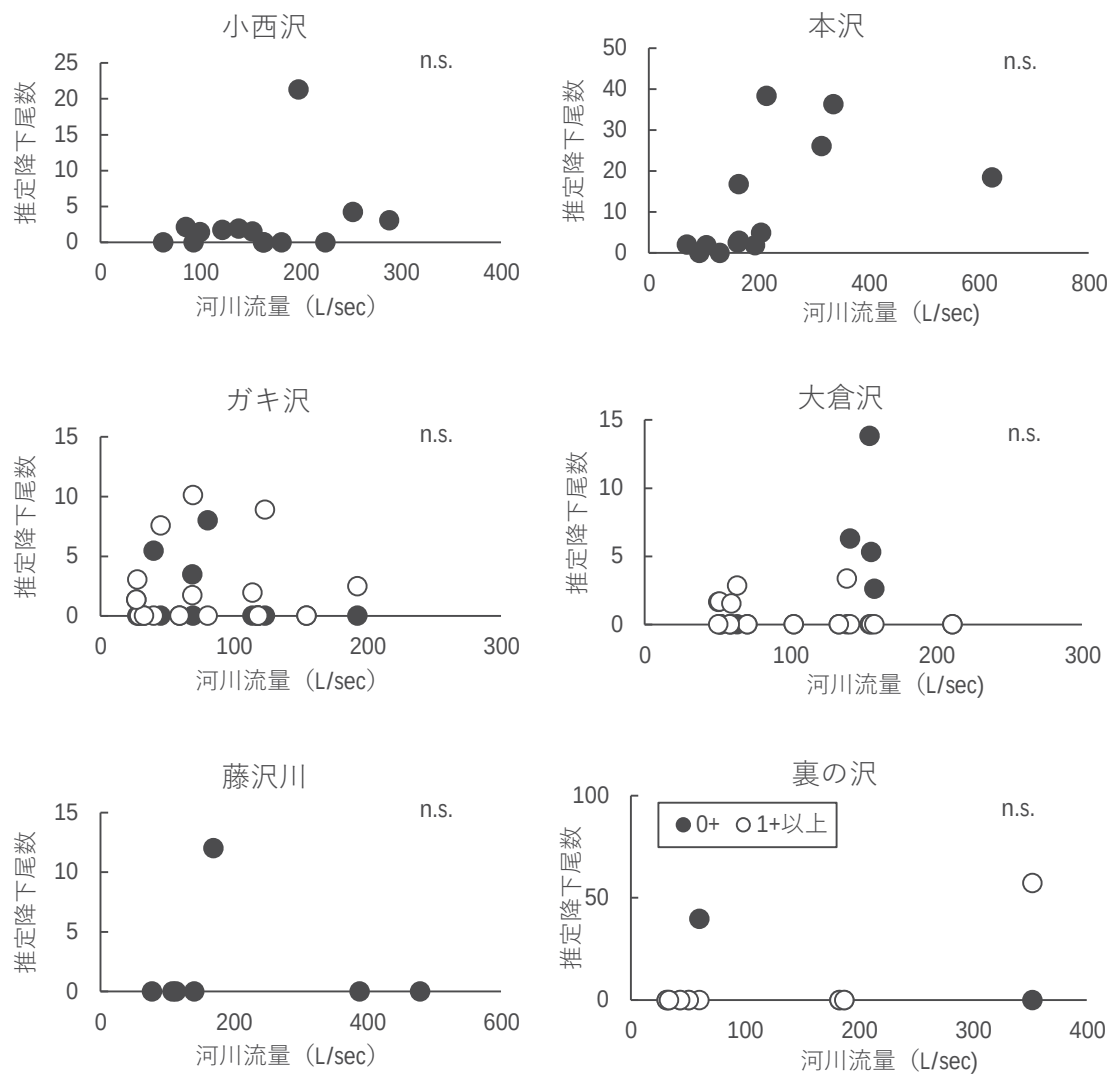


図7 イワナの推定降下数と流量の関係

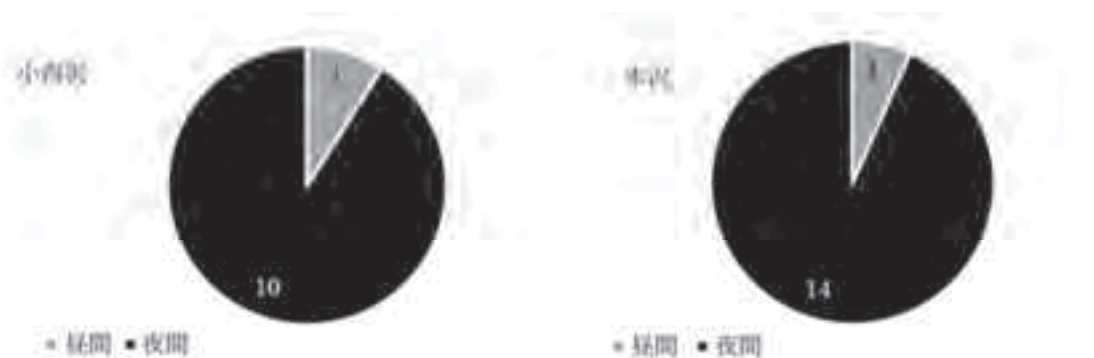


図8 昼夜別のイワナの推定降下数



図9 イワナ降下個体の性比

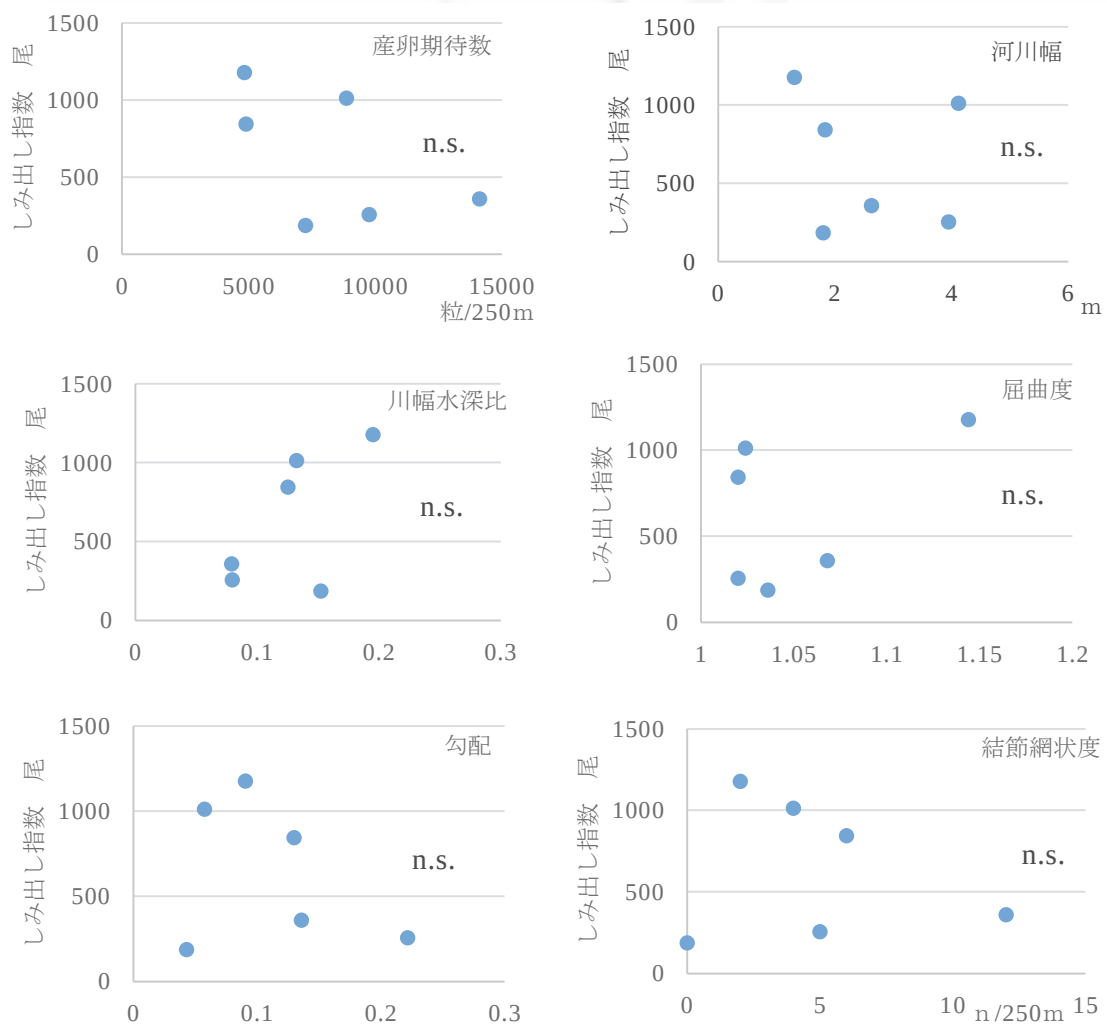


図10 しみ出し指数と産卵期待数、河川幅、川幅水深比、屈曲度、勾配、結節網状度の関係

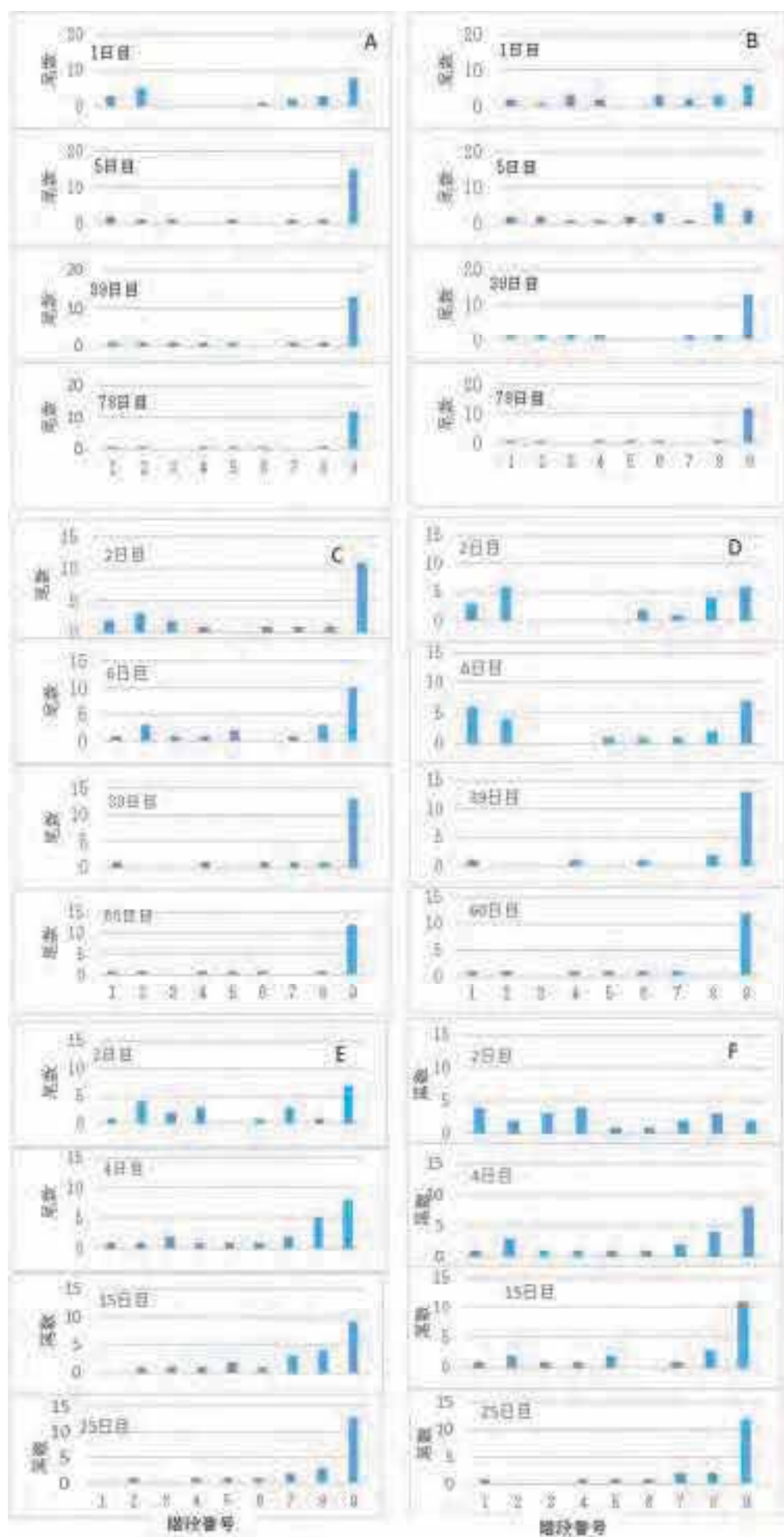


図11 水槽実験でのイワナ稚魚の移動傾向。A-Fは水槽名を示す

考察

山岳溪流におけるイワナ稚魚の降下についてはほとんど知見がない状況にあったが、本研究において全ての河川で降下が確認され、一般的な事象であることがわかった。さらに定住性が強いとされていた1+以上の個体にあっても、河川によっては降下していることもわかった。これらのことから、支流等の種川から本流の釣り場への資源添加＝「しみ出し」は実存することが明確となった。河野ら(2007)は「しみ出し効果」を検証するために、禁漁河川の木曽川水系尾頭沢（おとざわ）においてイワナを人為的に除去した試験区を設けて、その後の資源回復状況を調査している。実験は年を変えて2回行っているが、2回とも1年で全ての年級群が回復したと報じている。除去区の直下には遡上できない堰堤があるので上流から資源添加があったと消去法的に考察しているが、本研究での0+だけでなく1+以上でも降下することがあるという新たな知見は、河野ら(2007)の結論を支持するものである。

イワナの降下行動の特徴をみると、いずれの河川とも流量とは相関しないことがわかった。定位置で流されているのではないということである。稚魚では夜間に降下が集中するということが単に流されているのではないことを示しており、降下は能動的行動であることが伺える。降下個体の性比について、降海型のアメマスでは雌に偏っていることが知られている（山本ら1996）が、今回の結果での性比は偏重しておらず、ダム湖流入河川の陸封型（山本ら1992）と同様であった。山岳溪流のイワナ稚魚の降下は能動的ではあるものの、アメマスにおけるスモルト化を伴った降下のように生活史の一定の段階で発現する行動ではないと推察する。

イワナでは採餌場所、生息場所を巡っての同種間での競争行動をとることが知られている（石城 1984）が、本研究での水槽実験においても競争行動がみられ、敗北個体は降下することが確認された。自然河川でもイワナの降下が起こる原因として、生息場所を確保するための個体間競争があると考え、イワナの降下が起こる概念を図12にまとめた。イワナは成長に伴って生息場所を変える（山本ら 2001）ため、競争は成長段階のどのタイミングでも起こる。図12の上段の川では0+での生息場所が潤沢にあるのでこの段階での降下数は少なく、1+、2+と成長するにつれて徐々に降下すると予想される。本研究で言えば大倉沢やガキ沢がこのパターンにあてはまる。図12の下段の川では0+での生息場所が少なく、このタイミングで多くの個体が降下する。その後は個体数が減少しているので降下は起こらない。本研究で言えば小西沢や藤沢川がこれにあたる。大倉沢とガキ沢は、資源が高位な状態で持続的利用ができていた雑魚川（山本ら 2013, 松澤 2018, 松澤 2019）の支流であり、図12の上段のような状態が「種川」として好ましいことが示唆される。下段の状態を上段のようにするためには、0+の生息場所、浮上直後の稚魚の生息場所を保全、造成する技術の開発が課題と考える。

どのような支流を種川にすることが望ましいか、その選択の目安とするため「しみ出し指数」と環境要因等との関係を調べたが、「期待される産卵数」でさえ相関はなかった。これは前述のとおり降下が起こる要因がイワナの個体数だけでなく、成長段階別の生息場所の状況といった複雑な要因によるためと推察する。本研究では調査河川を選定する際に、浮上直後の稚魚がいること

を目視で観察し、結果として全河川で「しみ出し」を確認した。よって、環境要因から種川の選定はできない現状では稚魚の確認によって選定するのが妥当であり、観察手法も含めて管理技術を普及することが望まれる。

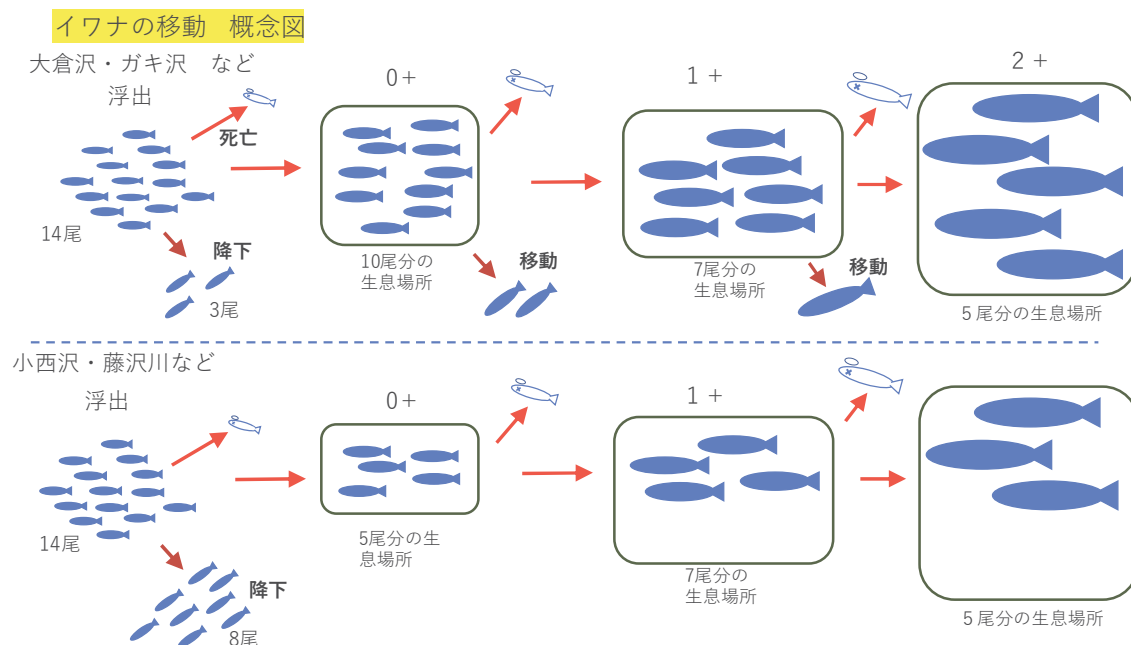


図 12 河川型イワナの降下行動の概念図

参考文献

- 浅野誠一郎・豊田政史・北村聡・富所五郎・杉原直樹（2004）横断測量データおよび航空写真を用いた千曲川中流域における河道の縦横断面形状の変化に関する研究．応用測量論文集15，109－116.
- 石城謙吉（1984）イワナの謎を追う．岩波新書272，1-216.
- 木南竜平・松山 創・渡邊 清・植松久男（2016）さけます類の遺伝的雌雄を簡便に判別する手法の開発．第40回全国養鱒技術協議会要録，83-86.
- 河野成実・細江昭・山本聡・小川滋（2007）禁漁河川で人為的にイワナを除去した区域の資源回復．長野水試研報（9），1-4.
- 松澤俊（2018）雑魚川本流におけるイワナの資源変動.平成28年度長野水試事報,5.
- 松澤俊（2019）雑魚川本流におけるイワナの資源変動-Ⅱ.平成29年度長野水試事報,8.
- Nakamura T, Maruyama T, Watanabe S (2002) Residency and movement of stream-dwelling Japanese charr, *Salvelinus leucomaenis*, in a central Japanese mountain stream. Ecology of freshwater fish 11, 150-157.
- 中村智之（2013）文献データからの河川型イワナ個体群の生残率の推定．水産増殖61（1），121-

125.

新妻賢政・柳内直一・山口教雄・鈴木宏・松本忠俊（1988）イワナ発眼卵埋設放流試験並びに追跡調査. 昭和62年度新潟県内水面水産試験場事業報告, 84-87.

沢本良宏・傳田郁夫・小原昌和・細江昭・河野成実・降幡充（2005）ニジマス四倍体との交雑による異質三倍体の作出. 長野水試研報（7）, 1-9.

重倉基樹・傳田郁夫・小川滋・熊川真二・築坂正美・上島剛・北野聡・山本聡（2014）上流河川に設けた禁漁区におけるイワナ産卵量の増加. 長野水試研究報（15）, 12-20.

山本聡・三城勇・小原昌和（2001）千曲川水系の山地溪流におけるイワナの微小生息場所の物理的環境. 長野水試研報（5）, 1-8.

山本聡・沢本良宏・井口恵一朗・北野聡（2004）千曲川水系の山地溪流における出水後のイワナの停留と移動. 長野水試研報（6）, 1-3.

山本聡・傳田郁夫・重倉基希・河野成実・小川滋・上島剛・北野聡（2013）雑魚川におけるイワナ資源評価. 長野水試研報（14）, 1-6.

山本祥一郎・中野繁・徳田幸憲（1992）人造湖におけるイワナ *Salvelinus leucomaenis* の生活史変異とその分岐. 日本生態学会誌42, 149-157.

山本祥一郎・高橋芳明・北野聡・後藤晃（1996）北海道南部の河川におけるアメマスの河川残留型雌. 魚類学雑誌43（2）101-104.

担当者

平成30～令和元年度 長野県水産試験場 下山 諒、山本 聡

令和2年度 // 下山 諒、熊川真二

令和3年度 // 下山 諒、上島 剛

令和4年度 // 山本 聡

3. (3) アマゴ等における支流から本流への資源供給機能の解明

岐阜県水産研究所

要旨

岐阜県内の溪流 218 地点で溪流魚の個体数推定を行い、入漁区と禁漁区における溪流魚の生息密度の差異、ならびに禁漁区の看板の効果について解析した。溪流魚の生息密度は、入漁区より看板がある禁漁区のほうが高いことが確認された。また、看板がある禁漁区は、看板がある禁漁区より生息密度が高く、看板を設置することの重要性が示された。

産卵場所の調査では、ヤマメ・アマゴが 165 地点およびイワナが 171 地点が産卵場所と判断され、両種の産卵場所の標高、水面幅、河床勾配が解明された。得られた知見は水系内で自然繁殖の適地を抽出する際の基準として役立つものと考えられた。

しみ出しの調査では、先行研究より規模の大きい本流を調査対象とした。そうした規模の本流においても、支流からしみ出す個体の存在が実証された。また、しみ出した個体の多くは 15cm に到達しており、漁獲対象として利用可能であることが確認された。

全期間を通じた課題目標及び計画

アマゴ等溪流魚は、その由来によって自然繁殖魚と放流魚に大別される。自然繁殖魚は希少価値が高く、遊漁者に重視される資源である。また、自然繁殖魚の数は、漁場の評価を左右するだけでなく、漁協の集客力や収益にも影響しうることから、漁業協同組合にとっても重要な存在と考えられる。ただし、自然繁殖魚の資源量には限度があるため、持続的利用を念頭に置く必要がある。自然繁殖魚の持続的利用の方法として禁漁区が挙げられる。禁漁区は乱獲を抑制するうえで不可欠な方法である。しかし、禁漁区を増やしすぎると、入漁区が減少して集客力が低下し、漁協の経営に影響するおそれがある。一方、禁漁区を設定しない場合、自然繁殖魚が減少して漁場の評価は低下するであろう。この場合、種苗放流による資源の補填が必要になり、漁協の経費面の負担が増大することが懸念される。したがって、禁漁区は漁協の経営に影響しない範囲で適度な数を設定する必要がある。そのためには、禁漁区の効果をあらためて裏付けるとともに、候補地の選定方法について基準を提示することが必要である。また、禁漁区が周辺の入漁区に及ぼす効果を提示することも必要である。今回の調査では、1：禁漁区における生息状況、2：産卵場所の立地条件、3：支流から本流への資源供給（しみ出し）の調査に取り組む。

1：禁漁区における生息状況

禁漁区における溪流魚の生息状況については、中村ほか（2001）、岸・（2012）、重倉ほか（2014）といった先行研究があるが、少数の事例に限定されており、知見をより充実させることが課題である。今回の調査では、岐阜県内の溪流で溪流魚の個体数推定を実施し、入漁区と禁漁区との間で生息密度を比較した。また、看板がない禁漁区と看板がある禁漁区の 2 通りに区分

し、看板の効果についても検証した。

2：産卵場所の立地条件

禁漁区は自然繁殖に適した溪流に設定することが望ましい。水系内からその候補となる溪流を抽出する作業では、産卵場所の標高・河床勾配・河川規模は重要な判断材料になると考えられる。これまで全国各地の溪流においてヤマメ・アマゴおよびイワナの産卵に関する研究が比較的多数実施されてきたが、大部分は産卵行動・産卵床の微環境・卵の生残状況の調査が主体であり、水系スケールで産卵場所の分布を明らかにした事例は限られている。そこで今回の調査では、岐阜県の溪流でヤマメ・アマゴおよびイワナの産卵場所を探索し、その標高、河床勾配、水面幅を集計した。

3：支流から本流へのしみ出し

溪流魚の産卵場所は、上記2で調査するが、主に支流に存在すると予想される。将来、禁漁区を設定する場合はそうした支流が候補地になると予想される。この調査では、支流を禁漁区ならびに本流を入漁区として使い分けることを想定し、禁漁区が入漁区に及ぼす効果の一例として支流から本流へのしみ出しについて検証した。溪流魚のしみ出しについては、河野ほか（2007）や Tsuboi et al.（2022）といった先行研究があるが、少数の事例に限定されており、知見をより充実させることが課題である。また、規模の小さい溪流での事例が主体であったため、より規模の大きい溪流での調査が必要である。今回の調査では、先行研究より規模が大きい溪流を対象とし、そうした場合でも支流から本流にしみ出す個体が実際に存在するかどうかを確認した。

方法

1：禁漁区における生息状況

木曽川、長良川、神通川、庄川、九頭竜川水系の入漁区および禁漁区において溪流魚の個体数推定を実施した。個体数推定はエレクトロフィッシャー（LR-24 型、Smith-Root 社）および2回除去法（モデル：Mbh、Program CAPTURE）により種ごとに実施した。この調査ではヤマメ・アマゴおよびイワナが採捕されたが、それらを統合して溪流魚として扱った。推定された個体数は、稚魚（全長 15cm 未満）、成魚（全長 15cm 以上）、全個体（稚魚＋成魚）の3通りで集計した。調査地点の水表面積は、平均水面幅に区間長を乗じて算出した。禁漁区は看板がない調査地点と看板がある地点に区分した。看板が劣化して判読できない状態の場合は、看板がない地点として扱った。解析では、応答変数に個体数、説明変数に調査地点の区分（入漁区、看板がない禁漁区、看板がある禁漁区）、オフセット項に水表面積、ランダム効果に調査年および水系、リンク関数に log、誤差構造をポワソン分布をとする一般化線形混合モデルを作成した。この調査では、すべての説明変数の線形結合によるモデルをもとに説明変数に区分を使用したモデルおよび Null モデルを作成し、赤池情報量基準（AIC）の値が小さいものをベストモデルを採用した。なお、今回の事業で得られたデータのほか、過去の関連データ（岸・徳原 2012）も解析に使用した。

2：産卵場所の立地条件

岐阜県の矢作川、木曽川、長良川、揖斐川、神通川、庄川、九頭竜川水系において溪流魚の産卵場所を探索した。この調査では、秋季に産卵個体や産卵床が確認された地点あるいは春季に浮上稚魚が確認された地点を産卵場所として扱った。また、滝や堰堤が下流側に存在する区間で、その区間内での再生産が確実と判断されるものについても、滝や堰堤の上流側を産卵場所とみなして調査対象に追加した。ただし、以上の地点のうち、親魚放流（徳原ほか 2010）に由来する産卵個体や産卵床が混在する可能性がある地点、発眼卵放流（中村・飯田 2009）や親魚放流に由来する浮上稚魚が混在する可能性がある地点、周辺に養殖場が存在する地点は除外した。

本研究では、産卵場所が確認された地点の標高を測定した。産卵場所の標高は国土交通省国土地理院の地理院地図（<http://maps.gsi.go.jp/>）を使用して測定した。また、一部の産卵場所では、河床勾配や水面幅も測定した。河床勾配は地理院地図または（公財）岐阜県建設研究センターの県域統合型 GIS ぎふ（<http://www.gis.pref.gifu.jp/search/area.php>）を使用して産卵場所付近の流路長および標高差から算出した。水面幅は、現地調査時に産卵場所付近の任意の 5 箇所以上において測定し、その平均値を算出した。今回の事業で得られたデータのほか、過去の関連データ（岸ほか 2016）も使用した。

3：支流から本流へのしみ出し

この調査は、木曽川水系の地域 A（支流 老谷、本流 馬瀬川）および E（支流 通称 937 支流、本流 一ツ梨谷）、長良川水系の地域 C（支流 足瀬洞谷、本流 那比川）、神通川水系の地域 B（支流 人工産卵河川、本流 蒲田川）、九頭竜川水系の地域 D（支流 桂清水の沢、本流 峠川）の 5 地域を対象とした。神通川水系の地域 B のみ、時期をずらして同一地点で 2 回実施した。調査は、1 年目に支流で稚魚を採捕して脂鰭を切除して標識放流し、2 年目にその標識個体を本流で探索するという手順で実施した。各支流で標識した稚魚の全長および数は表 1 の通りである。

表 1. 支流で標識した稚魚の全長および数

地域	実施日	水系	支流	魚種	全長 (mm)	標識数 (尾)
A	H30, 5/25-6/19	木曽川	老谷	イワナ	24-71	136
				アマゴ	32-87	1,057
B-1	H30, 6/24-7/11	神通川	人工産卵河川	イワナ	36-91	317
				ヤマメ	54-112	25
				イワナ×ヤマメ交雑	84-90	2
C	R 元, 5/15-7/8	長良川	足瀬洞谷	アマゴ	31-92	839
D	R2, 3/18-3/21	九頭竜川	桂清水の沢	イワナ	21-31	100
B-2	R2, 3/11-3/12	神通川	人工産卵河川	イワナ	23-52	281
				ヤマメ	28-66	234
E	R3, 6/15-6/21	木曽川	937 支流	イワナ	37-58	993