

技術論

ヤマメ・アマゴの種苗放流の増殖効果の検証

中村智幸*1・岸 大彌*2・徳原哲也*2・片岡佳孝*3・
亀甲武志*3,*4・菅原和宏*3

Evaluating the efficacy of stocking with hatchery-reared eggs and fish for effective fluvial masu salmon enhancement

Tomoyuki NAKAMURA, Daisuke KISHI, Tetsuya TOKUHARA, Yoshitaka KATAOKA, Takeshi KIKKO and Kazuhiro SUGAHARA

Stocking hatchery-reared eyed eggs, fry, and full-grown fish is carried out by fishery cooperatives in Japan to enhance the fluvial masu salmon *Oncorhynchus masou masou* and *O. m. ishikawae* resources. Most cooperatives buy eggs and/or fish from commercial hatcheries for immediate release into rivers to comply with the enhancement stocking regulations of the Japanese Fisheries Act. However, this efficacy of this supplementary stocking remains unclear. We analysed data available from reports of the Japan Fisheries Agency and prefectural fisheries' experimental stations to evaluate the efficacy of stocking hatchery-reared eyed eggs, fry and full-grown fish (15cm total length). We estimated that the prices to enhance the fishery resources are relatively lower when stocking full-grown fish (for put-and-take fishing), than those when stocking reared eyed eggs and fry. Alternatives to hatchery-based stock enhancement include fishing regulations, conservation, improvements to spawning grounds and the rehabilitation or construction of suitable habitats. Thus, the efficacy of such alternative methods will require evaluation, which could then be applied to enhance the masu salmon resources without bias for enhancement stocking.

キーワード：ヤマメ, アマゴ, 放流, 増殖
2021年7月9日受付 2022年2月18日受理

ヤマメ・アマゴはサケ科魚類であり、ヤマメはサクラマス *Oncorhynchus masou masou*, アマゴはサツキマス *O. m. ishikawae* の河川型である。サクラマスとサツキマスは亜種の関係にあり、サクラマスが基亜種である。サツキマスは日本固有の亜種である。両亜種ともに湖沼型も存在する。日本ではヤマメ・アマゴはおもに河川上流部に生息し、古くか

ら山間地の人々に食料として利用されてきた（鈴野 1993, 橋 2006, 戸門 2013）。かつて、ヤマメ・アマゴの漁獲は自家消費の他に現金収入を得るためにも行われ、地域によって専業や兼業の漁業者である職漁師が存在した（鈴野 1993, 橋 2006, 戸門 2013）。しかし、冷蔵冷凍技術や輸送技術の発達に伴う海産水産物の流通によりヤマメ・アマ

*1 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所
〒321-1661 栃木県日光市中宮祠 2482-3 (日光庁舎)

Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 2482-3, Chugushi, Nikko, Tochigi 321-1661, Japan
Email: nakamura_tomoyuki57@fra.go.jp

*2 岐阜県水産研究所

*3 滋賀県水産試験場

*4 現所属 近畿大学農学部水産学科

ゴの食料としての価値が低下したほか、養殖生産されたヤマメ・アマゴの流通により漁業は衰退し、現在では自家消費やレクリエーションとしての遊漁である釣りが盛んである。内水面の釣りで2015年に最も釣り人が多い魚種はヤマメ・アマゴでその人数は118.7万人であり(中村2019)、2017年に釣りをしたかったができなかった人(潜在釣り人)の釣りたかった魚種の第3位がヤマメ・アマゴでその人数は16.6万人である(中村2020)。

ヤマメ・アマゴの増殖方法には、種苗放流(発眼卵放流、稚魚放流)、親魚放流(産卵目的の成魚の放流)、採捕規制(禁止期間の設定、禁止区域の設定、全長制限、漁具漁法の制限・禁止)、生息場所や産卵場所とその周辺環境の保全・改善・造成等がある(中村・飯田2009)。放流には全長制限を超えたサイズの魚を放流して漁獲に供する成魚放流という方法もある。内水面の漁業協同組合(以降、内水面漁協あるいは漁協と略す)には、漁業法第百六十八条の規定により増殖の義務が課せられている。その方法や数量は都道府県の内水面漁場管理委員会により漁協ごとに示され、ヤマメ・アマゴでは種苗放流のひとつである稚魚放流が課せられていることが多い。ヤマメ・アマゴの稚魚放流は両亜種の養殖技術が確立されて養殖稚魚の流通が始まった1970年代に普及し(岸・徳原2017)、最近(2018年)の全国の内水面漁協によるヤマメ・アマゴの放流数(義務放流と自主放流の合計)は1,790万5千尾である(農林水産省大臣官房統計部2020)。同年の海面において最も放流数が多い魚種はヒラメ *Paralichthys olivaceus* でその数は1,480万尾であり(水産研究・教育機構2020)、ヤマメ・アマゴの放流数はヒラメより約1.2倍多く、海面で2番目に多いマダイ *Pagrus major* の885万3千尾の約2倍である。ちなみに、同年の内水面で漁協による放流数が最も多い魚種はサケ *Oncorhynchus keta* を除くとアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* であり、その数は1億835万6千尾である(農林水産省大臣官房統計部2020)。

世界の多くの地域でサケ科魚類の生息数は減少しており(Rhodes and Quinn 1999)、資源増殖のために養殖種苗等の放流が広く行われている(Borgström et al. 2002)。ヤマメ・アマゴの放流種苗である発眼卵や稚魚は一般に養殖生産されたものである。ヤマメ・アマゴの稚魚放流の増殖効果は漁協による放流が開始された1970年代から都道府県のおもに内水面の水産関係試験研究機関(以降、水試等と呼称する)によって研究されてきた。それらの結果は水試等の研究報告書や事業報告書、あるいは水試等により構成された全国湖沼河川養殖研究会のマス関係の部会の報告書に散見される。ただし、その多くは増殖効果の指標が混獲率(採捕個体に占める放流由来個体の割合)であったり放流後の採捕方法が投網や釣りで採捕個体数が少なかったりしたため、放流由来魚の生残率を十分に評価できなかった。発眼卵放流は稚魚放流に遅れて漁協により始められ、その増殖効果も水試等により研究されるようになった。しかし、稚魚放流の場合と同様の理由や発眼卵放流由来魚

の判別標識の難しさから放流由来魚の生残率を十分に評価できなかった。大学関係者もアマゴ稚魚の生残現象を研究したが(Nakano and Nagoshi 1985)、それは自然繁殖由来魚についてであり、研究の目的は個体群動態や個体間干渉機構の解明といった理学的なものであった。このように、ヤマメ・アマゴの稚魚放流や発眼卵放流は漁協により古くから広く行われているが、定量的な増殖効果の検証は十分でない。サケ科魚類の放流後の種苗等の生残率はそれほど高くなく(Suboski and Templeton 1989, Brown and Laland 2001, Aprahamian et al. 2003)、放流の増殖効果は期待ほど高くないという見解もある(McNeil 1991, Noemi et al. 2013)。ヤマメ・アマゴと同様に日本の河川上流部に生息するサケ科魚類の一種であるイワナ *Salvelinus leucomaenis* でも稚魚放流の増殖効果は漁協の期待を下回る(中村2018)。海産の水産資源でも種苗放流の増殖効果が認められる種はそれほど多くない(Kitada 2020)。

海外の文献をあたっても、日本のいわゆる溪流のような比較的流量が少なく河床勾配の大きい河川におけるサケ科魚類の稚魚放流と発眼卵放流の増殖効果の比較に関する確定的な見解は見当たらない。そこで、ヤマメ・アマゴの稚魚放流と発眼卵放流の増殖効果を明らかにするため、水産庁は2010年度から2012年度に「地域の状況を踏まえた効果的な増殖手法開発事業」、2013年度から2017年度に「放流用種苗育成手法開発事業」を実施した。これらの事業を国立研究開発法人水産研究・教育機構(2015年度まで水産総合研究センター)、岐阜県水産研究所(2013年度まで岐阜県河川環境研究所)、滋賀県水産試験場が受託し、著者らが研究を行い報告書を執筆した。それらの報告書(水産庁(2013)、水産庁(2018a))。以降、水産庁事業の報告書と呼称する)にヤマメ・アマゴの稚魚放流由来魚と発眼卵放流由来魚の生残率、成長、分散の調査結果が自然繁殖由来魚のものとともに記載されている。

そこで本研究では、それらの報告書の著作権者である水産庁の承諾のもと、報告書に記載されたデータや図表および図表の元になったデータを分析することにより、稚魚放流と発眼卵放流の増殖効果を検証する。検証項目は生残率(後述の残存率)、成長(肥満度を含む)、分散(移動)である。増殖効果の地理的範囲を評価するため分散についても検証した。また、水試等の報告書のデータから成魚放流の増殖効果を検証するとともに、近年方法が開発され論文として発表された親魚放流の調査結果を紹介する。そして、それらの結果に基づいてヤマメ・アマゴの効果的な増殖方法を検討する。

なお、ヤマメとアマゴで自然分布域以外の生態に相違があることを示した知見は特になく、後述のように生残率に有意差は認められなかったことから、本研究では両亜種をヤマメ・アマゴとして一緒に扱った。水産庁事業の報告書の図表の本論文への転載にあたっては、水産庁の承諾のもと、本論文に不要な情報の削除、必要に応じた調査年月日、調査河川区間名の追記等を行った。

残存率

緒言では生残率という用語を使用した。以降、残存率という用語を使用する。理由は次のとおりである。本研究で解析に使用したデータは、他の多くの研究の場合と同様に河川に調査区間を設定し、その区間における魚の個体数を追跡して求められたものである。そのような個体数のデータは区間から逸出した個体を網羅しておらず、厳密な意味で生残率でない。そのため、調査の実態に即した用語と考えられる残存率を使用した。

水産庁事業の報告書に記された稚魚放流由来魚、発眼卵放流由来魚、自然繁殖由来魚の残存率を見ると、調査開始日やその後の調査日、調査日と調査日の間隔日数がデータによって異なっており、データ間の比較が難しい。そこで、0歳初夏（6～7月。一部、5月下旬や8月初旬を含む）の個体数が起点で、その後0歳秋（10～11月）の個体数が推定され、一部、1歳以降の初夏（6～7月。一部、8月初旬を含む）、夏（8月）、秋（10～11月）の個体数が推定された付表1のデータを解析に使用した。0歳初夏から0歳秋までの残存率を「0歳秋の残存率」と呼称する（この場合の残存率（%）は、0歳秋の個体数/0歳初夏の個体数×100）。同様に、0歳初夏から1歳初夏までの残存率を「1歳初夏の残存率」と呼称し、以降同様である。以下、データの概要を説明する。

稚魚放流由来魚については、2010、2011、2012、2015、2016、2017年の0歳初夏（6月4日～7月26日）にイラストマー蛍光タグ（Visible Implant Tags, Northwest Marine Technology社）や鱗切除で標識した養殖稚魚を調査区間に放流し、それらの個体についてその年の0歳秋（放流後109～134日、10月1日～11月8日）や翌年の1歳初夏（放流後340～390日、6月4日～8月8日）の残存率を求めた。10河川区間のデータがあった。

発眼卵放流由来魚については、2009、2010年の11～12月に発眼卵として放流しその後ふ化・成長した稚魚を、翌年の2010、2011年の0歳初夏（5月25日～6月29日）に採捕した。それらの個体にイラストマー蛍光タグや鱗切除で標識して調査区間に戻し、それらの個体数やその時点の推定個体数を当初個体数（起点）としてその年の0歳秋（標識放流後114～165日、10月13日～11月26日）の残存率を求めた。7河川区間のデータがあった。発眼卵放流由来魚と自然繁殖由来魚の判別が難しいため、1例を除いてヤマメ・アマゴの未生息域や生息していても個体数が少ない水域で先住のヤマメ・アマゴを電撃漁獲具であるエレクトロフィッシャー（Electrofischer, Smith-Root社、LR-24型）で除去して発眼卵を放流した。1例とは、発眼卵放流由来魚と自然繁殖由来魚を遺伝子分析で判別して行った調査であった。翌年の1歳初夏（標識放流後345～377日、5月23日～6月8日）の残存率のデータもあったが、データ数が4と少ないため解析から除外した。ただし、今後貴重なデータになる可能性があるため付表1に記載した。

自然繁殖由来魚については、2010、2011、2012、2013、2014、2015、2016、2017年の0歳初夏（6月1日～8月2日）に稚魚放流由来魚や発眼卵放流由来魚の調査区間で採捕した自然繁殖由来の稚魚にイラストマー蛍光タグや鱗切除で標識して調査区間に戻した。それらの個体数やその時点の推定個体数を当初個体数（起点）として、その年の0歳秋（標識放流後110～151日、10月6日～11月8日）や翌年の1歳初夏（343～389日後、6月4日～8月2日）、1歳夏（421～444日後、8月17日～8月24日）、1歳秋（485～503日後、10月17日～11月22日）、翌々年の2歳初夏（727～754日後、6月4日～6月29日）、2歳夏（806～810日後、8月21日～8月24日）、2歳秋（870～878日後、10月22日～10月31日）の残存率を求めた。11河川区間のデータがあった。

3由来魚（稚魚放流由来魚、発眼卵放流由来魚、自然繁殖由来魚）のデータ数をなるべく多くするため、残存率の起点である0歳初夏の範囲を5月25日～8月2日と長めに採った。その後の歳季のデータについては、上記のように3由来魚でなるべく時期を揃え、調査期間の幅も小さくなるようにデータを選択した。

いずれの調査でも、採捕にはエレクトロフィッシャーを使用した。個体数推定にはPetersen法のChapmanの修正式（Chapman 1951）か2回除去法（White *et al.*, 1982; Program CAPTURE www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/capture.htmlのmodel M(bh))を使用した。表1に調査河川区間の情報を記した。

調査年が異なる同じ河川区間の残存率データが複数みられた（付表1）。そのような場合は平均値を求め、それをその河川区間のデータとした。調査年が同じで、同じ河川の異なる区間のデータもみられた。そのようなデータは区間によって平均水面幅や河床勾配が異なり（表1）、例えば2010年初夏から同年秋にかけての犬上川区間2～7における0歳の自然繁殖由来魚の残存率は22.2～73.7%（付表1）と最小値と最大値の間に約3.3倍の差があることから独立したデータとみなした。調査区間長が河川によって異なるが、後述するように稚魚放流由来魚で区間長と残存率の間に有意な相関が認められないことから、区間長の相違は無視して解析を行った。同じく後述するように、稚魚放流由来魚で亜種間（ヤマメとアマゴ）についても残存率に有意差が認められないので亜種の相違も無視した（発眼卵放流由来魚と自然繁殖由来魚ではヤマメのデータが少なく、亜種間の比較はできなかった）。

稚魚放流由来魚、発眼卵放流由来魚、自然繁殖由来魚の0歳初夏からの残存率の散布図は図1のaのとおりであり、調査時期ごとの各由来魚の残存率の平均値と標準偏差は同図のbのとおりであった。0歳秋の残存率（%）は発眼卵放流由来魚（ 63.3 ± 31.3 , $n=7$ ）と自然繁殖由来魚（ 53.7 ± 21.1 , $n=10$ ）がほぼ同等で、それらより稚魚放流由来魚（ 19.6 ± 11.4 , $n=8$ ）が低いようにみえる（図1b）。ただし、データによって0歳初夏から0歳秋の調査日までの日

表 1. 付表 1 の調査河川区間の情報

都道府県	水系	調査河川・区間	水系と調査河川の関係	対象亜種	区間長 (m)	平均水面幅 (m)	河床勾配 (%)	先住 同亜種	先住 イワナ	備考
栃木県	利根川	キリズシ沢上流区	利根川支流鬼怒川の支流	ヤマメ	90	1.9	19.2	無	無	
栃木県	利根川	キリズシ沢下流区	利根川支流鬼怒川の支流	ヤマメ	90	1.7	10.1	有	有	
栃木県	利根川	荒井川上流区	利根川支流渡良瀬川, 渡良瀬川支流思川, 思川支流大芦川の支流	ヤマメ	330	2.2	4.5	有	有	
栃木県	利根川	荒井川下流区	利根川支流渡良瀬川, 渡良瀬川支流思川, 思川支流大芦川の支流	ヤマメ	330	4.5	6.4	有	有	
栃木県	利根川	御沢川	利根川支流渡良瀬川, 渡良瀬川支流思川, 思川支流大芦川, 大芦川支流荒井川の支流	ヤマメ	330	2.4	4.5	有	有	
岐阜県	木曾川	大谷	木曾川支流飛騨川の支流	アマゴ	230	2.39	11.94	有	有	
岐阜県	神通川	山田川	神通川支流宮川, 宮川支流高原川の支流	ヤマメ	1,000	2.84	1.0	無	有	岐阜県河川環境研究所(2013)の稚魚放流由来魚の調査区間
岐阜県	神通川	山田川	神通川支流宮川, 宮川支流高原川の支流	ヤマメ	729	2.46	2.74	無	有	岐阜県河川環境研究所(2013)の稚魚放流由来魚の調査区間
岐阜県	神通川	山口谷川	神通川水系大八賀川の支流	ヤマメ	482	2.0	9.34	無	有	
岐阜県	神通川	米溪川	神通川水系大八賀川の支流	ヤマメ	544	2.09	3.68	有 (アマゴ)	有	
滋賀県	淀川	犬上川区間2	琵琶湖に流入	アマゴ	98	5.7	0.2	有	有	
滋賀県	淀川	犬上川区間3	琵琶湖に流入	アマゴ	829	4.4	7.1	有	有	滋賀県水産試験場(2018)では「区間①」
滋賀県	淀川	犬上川区間4	琵琶湖に流入	アマゴ	363	5.4	2.2	有	有	滋賀県水産試験場(2018)では「区間②」
滋賀県	淀川	犬上川区間5	琵琶湖に流入	アマゴ	201	5.0	1.8	有	有	滋賀県水産試験場(2018)では「区間③」
滋賀県	淀川	犬上川区間6	琵琶湖に流入	アマゴ	368	4.1	3.8	有	有	滋賀県水産試験場(2018)では「区間④」
滋賀県	淀川	犬上川区間7	琵琶湖に流入	アマゴ	746	6.7	2.7	有	有	
滋賀県	淀川	須赤谷	琵琶湖に流入する姉川支流高時川, 高時川支流杉野川の支流	アマゴ	1,125	3.8	1.8	有	有	
滋賀県	淀川	西俣谷	琵琶湖に流入する姉川支流草野川の支流	アマゴ	1,309	4.0	3.0	有	有	

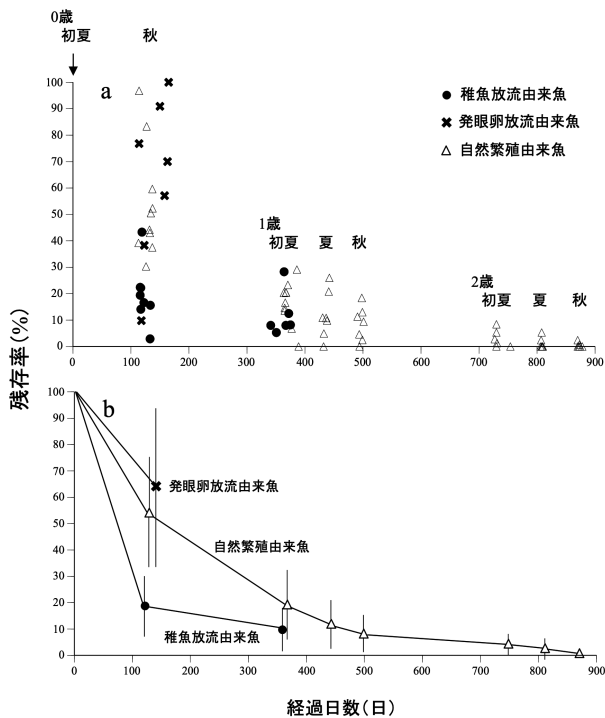


図1. ヤマメ・アマゴの稚魚放流由来魚, 発眼卵放流由来魚, 自然繁殖由来魚の残存率
aは残存率の散布図, bは各由来魚の歳季ごとの平均値と標準偏差

数が異なる。そこで、データごとに1日当たりの残存率(%/日)を求め(付表1), 由来魚間で比較した。1日当たりの残存率は発眼卵放流由来魚 0.439 ± 0.208 , 自然繁殖由来魚 0.422 ± 0.189 , 稚魚放流由来魚 0.164 ± 0.097 であり, 平均値に発眼卵放流由来魚と自然繁殖由来魚の間で有意差は認められず ($p > 0.05$), 発眼卵放流由来魚と自然繁殖由来魚に比べて稚魚放流由来魚の残存率は有意に小さかった(一元配置の分散分析: $F=6.491, df=2, p=0.006$ 。Scheffeの多重比較: 発眼卵放流由来魚と自然繁殖由来魚, $p=0.981$; 発眼卵放流由来魚と稚魚放流由来魚, $p=0.019$; 自然繁殖由来魚と稚魚放流由来魚, $p=0.016$)。発眼卵放流由来魚と稚魚放流由来魚の残存率の平均値の比率は2.68 ($0.439/0.164$), 自然繁殖由来魚と稚魚放流由来魚の残存率の平均値の比率は2.57 ($0.422/0.164$)であった。

由来魚間の比較は1歳初夏の自然繁殖由来魚と稚魚放流由来魚で可能で, 残存率(%)は前者で 19.0 ± 6.6 ($n=8$), 後者で 10.6 ± 8.3 ($n=7$), 1日当たりの残存率(%/日)は前者で 0.051 ± 0.017 , 後者で 0.029 ± 0.023 であり, 1日当たりの残存率の平均値の差の p 値は0.054であった(t 検定: $t=-2.115, df=13$)。自然繁殖由来魚と稚魚放流由来魚の1日当たりの残存率の平均値の比率は1.76 ($0.051/0.029$)であった。

比較的データ数が多い稚魚放流由来魚について稚魚放流の効果的な方法を検討するため, 0歳初夏から0歳秋までの1日当たりの残存率を目的変数, 亜種, 放流時の全長,

調査区間の区間長・平均水面幅・河床勾配を説明変数として重回帰分析(強制投入法)を行った(表2)。亜種については亜種名を名義変数として扱った。調査年が異なる同じ河川区間の放流時の全長については, 平均値を代表値とした。分析の結果, R^2 値は0.726, p 値は0.184であり, いずれの説明変数も有意でなかった($p > 0.05$)。

表2. ヤマメ・アマゴの稚魚放流由来魚の0歳初夏から0歳秋にかけての残存率に関する重回帰分析の結果

説明変数	係数	標準誤差	t値	p値
亜種	-0.031	0.076	-0.410	0.722
調査区間長(m)	0.000	0.000	3.602	0.069
平均水面幅(m)	-0.001	0.027	-0.055	0.961
河床勾配(%)	-0.025	0.009	-2.715	0.113
調査開始全長(mm)	-0.020	0.008	-2.325	0.146
定数	1.641	0.581	2.825	0.106

成長, 肥満度

図2は前項の残存率の調査の際のヤマメについての結果であり, aは2010, 2011年の荒井川における稚魚放流由来魚と自然繁殖由来魚, 2010年のキリズシ沢における発眼卵放流由来魚と稚魚放流由来魚, 2011年の御沢川における発眼卵放流由来魚と自然繁殖由来魚の0歳の6~10月の体重の平均値の変化である(縦棒は標準偏差, 以降同様)。bは2011年の荒井川のものを除くaの統計検定の結果であり, いずれの河川でも相対成長率(Specific growth rate)の平均値に由来魚間で有意差は認められなかった($p > 0.05$)。cは肥満度の統計検定の結果であり, 2010年のキリズシ沢で平均値は発眼卵放流由来魚より稚魚放流由来魚の方が有意に大きい, それ以外の河川では由来魚間で有意差は認められなかった。

表3は水産庁事業の報告書(水産庁2013)の中の岐阜県河川環境研究所(2013)のヤマメについての結果であり, a, b, c, dは2010, 2011, 2012年の岐阜県の神通川水系高原川支流山田川における稚魚放流由来魚と自然繁殖由来魚の全長, 体重, 肥満度の比較結果, eは2010年の同水系宮川支流宮谷, f, g, h, iは2010, 2011, 2012年の宮川支流五升ヶ谷における稚魚放流由来魚と発眼卵放流由来魚の全長, 体重, 肥満度の比較結果である(数値は平均±標準偏差)。統計検定を行わなかったh以外をみると, c(2011年の山田川における0歳の7月開始・2か月後の9月採捕の調査)で全長, 体重, 肥満度のいずれも平均値は自然繁殖由来魚より稚魚放流由来魚の方が有意に大きい($p < 0.05$), それ以外の調査では由来魚間で有意差は認められなかった。

図3は残存率の調査の際の結果であり, 2015, 2016, 2017年の犬上川区間4, 5, 6におけるアマゴの放流時(0

歳6月) から1か月後, 2か月後, 3か月後, 4か月後, 一部1年後の各由来魚の尾叉長と体重の平均値の変化である(縦棒は標準偏差)。これらについては統計検定を行わなかったが, いずれの図でも尾叉長, 体重ともに自然繁殖由来魚と稚魚放流由来魚の間で大きな違いはないように見える。

図4も残存率の調査の際の結果であり, 対象亜種はアマゴである。aは犬上川区間3, 6における2010年の0歳の6月から1歳の10月までの各由来魚の肥満度の平均値, bは同じく犬上川区間3, 6における2011年の0歳の6月から1歳の8月までの各由来魚の肥満度の平均値の変化を示し

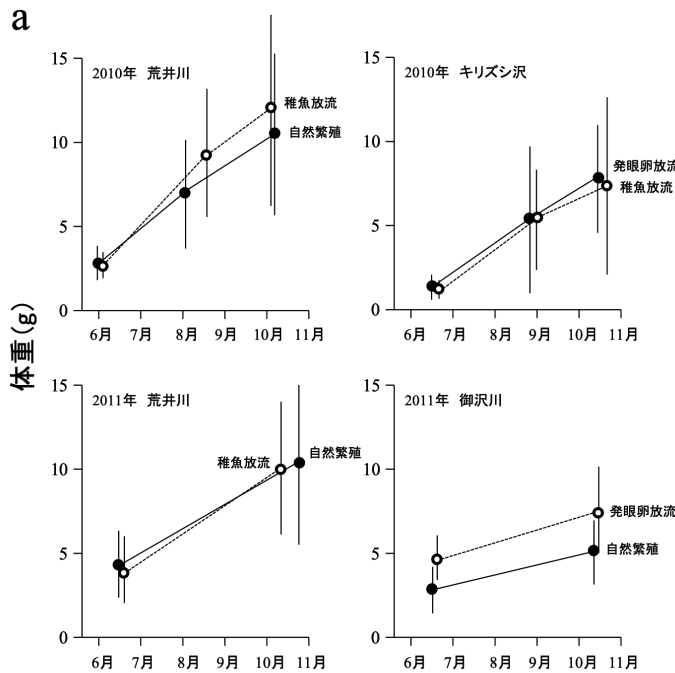


図10 稚魚放流由来魚, 発眼卵放流由来魚, 自然繁殖由来魚の成長(増体重)の比較

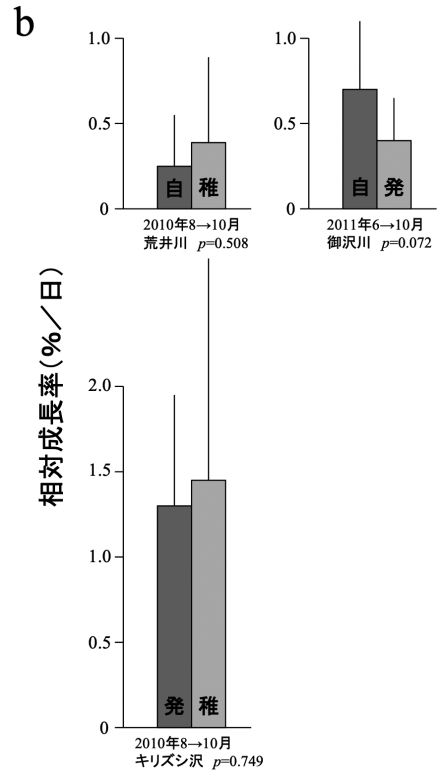


図11 稚魚放流由来魚, 発眼卵放流由来魚, 自然繁殖由来魚の体重の相対成長率の比較

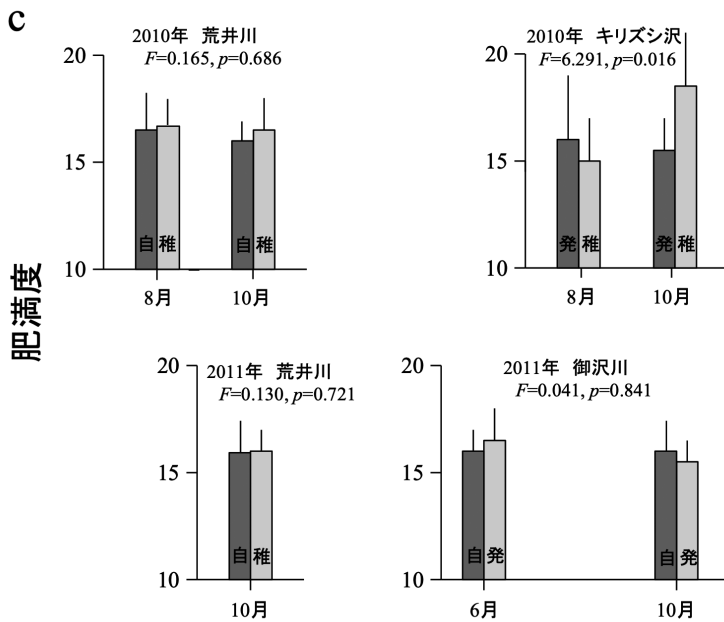


図12 稚魚放流由来魚, 発眼卵放流由来魚, 自然繁殖由来魚の肥満度の比較

図2. ヤマメの稚魚放流由来魚, 発眼卵放流由来魚, 自然繁殖由来魚の成長, 肥満度の比較

増養殖研究所内水面研究部 (2013) のaはp. 77・図10, bはp. 77・図11, cはp. 78・図12を転載。元図では図中の文字や数字が標準偏差の縦棒と重なっている箇所があり, 重ならないように修正。図番号のアルファベットは著者らが付記。

表 3. ヤマメの稚魚放流由来魚, 発眼卵放流由来魚, 自然繁殖由来魚の成長 (全長, 体重), 肥満度, 分散の比較

岐阜県河川環境研究所 (2013) の a は p. 9・表 4, b は p. 10・表 6, c は p. 13・表 10, d は p. 14・表 12, e は p. 17・表 15, f は p. 20・表 20, g は p. 21・表 22, h は p. 22・表 24, i は p. 22・表 26 をそのまま転載。「稚魚放流個体」は稚魚放流由来魚、「発眼卵埋設放流個体」は発眼卵放流由来魚、「野生個体」は「自然繁殖由来魚」。表番号のアルファベットは著者らが付記。

a

表 4. 1 回目の残存状況調査時 (平成 22 年 10 月 8 日) の稚魚放流個体および野生個体の体サイズの平均値±標準偏差および t 検定による解析結果

項目	稚魚放流	野生	解析結果
全長 (mm)	112.1±9.8	108.5±10.8	t=0.9, df=30.0, p=0.36
体重 (g)		(データなし)	
肥満度		(データなし)	

b

表 6. 2 回目の残存状況調査時 (平成 23 年 5 月 23 日) の稚魚放流個体および野生個体の体サイズの平均値±標準偏差および t 検定による解析結果

項目	稚魚放流	野生	解析結果
全長 (mm)	143.8±9.9	141.3±16.4	t=0.3, df=9.0, p=0.79
体重 (g)	32.18±7.59	30.51±12.09	t=0.2, df=9.0, p=0.81
肥満度	1.067±0.063	1.000±0.057	t=0.9, df=9.0, p=0.39

c

表 10. 1 回目 (平成 23 年 9 月) の残存状況調査時の稚魚放流個体および野生個体の体サイズと採捕地点の距離の平均値±標準偏差および t 検定による解析結果

項目	稚魚放流	野生	解析結果
全長 (mm)	115.2±15.6	103.2±18.6	t=3.4, df=99.0, p=0.001
体重 (g)	16.78±7.52	11.59±7.04	t=3.5, df=99.0, p=0.001
肥満度	1.026±0.086	0.939±0.078	t=5.3, df=99.0, p<0.001
採捕地点の位置 (m)	236.5±127.7	246.9±118.5	t=0.4, df=78.0, p=0.71

d

表 12. 2 回目 (平成 24 年 8 月) の残存状況調査時の稚魚放流個体および野生個体の体サイズと採捕地点の距離の平均値±標準偏差および t 検定による解析結果

項目	稚魚放流	野生	解析結果
全長 (mm)	228.5±17.7	177.4±31.2	t=3.3, df=2.0, p=0.08
体重 (g)	150.15±41.08	67.18±34.06	t=2.7, df=1.0, p=0.23
肥満度	1.241±0.056	1.090±0.074	t=3.4, df=2.0, p=0.08
採捕地点の位置 (m)	259.0±56.6	436.0±211.2	t=-2.2, df=7.0, p=0.07

e

表 15. 1 回目の残存状況調査時 (平成 22 年 10 月 15 日) の発眼卵埋設放流個体および稚魚放流の体サイズの平均値±標準偏差および t 検定による解析結果

項目	発眼卵埋設	稚魚放流	解析結果
全長 (mm)	94.8±9.4	98.9±12.8	t=0.8, df=20.0, p=0.43
体重 (g)		(データなし)	
肥満度		(データなし)	

ている (縦棒は標準偏差)。これらについても統計検定を行わなかったが、図 3 と同様いずれの図でも肥満度の平均値に自然繁殖由来魚と稚魚放流魚の間に大きな違いはないように見える。

表 4 も残存率の調査の際の結果であり、対象亜種はヤマメである。a は 0 歳の 6 月に放流した魚のうち、その年の 10 月までに一度でも再捕された個体を「残存個体」、全く再捕

f

表 20. 1 回目の残存状況調査時 (平成 22 年 10 月 15 日) の発眼卵埋設放流個体および稚魚放流個体の体サイズの平均値±標準偏差および t 検定による解析結果

項目	発眼卵埋設	稚魚放流	解析結果
全長 (mm)	93.6±17.1	91.6±14.1	t=0.4, df=47.0, p=0.67
体重 (g)		(データなし)	
肥満度		(データなし)	

g

表 22. 2 回目 (平成 23 年 5 月 23 日) の残存状況調査時の発眼卵埋設放流個体および稚魚放流の体サイズの平均値±標準偏差および t 検定による解析結果

項目	発眼卵埋設	稚魚放流	解析結果
全長 (mm)	89.5±9.2	100.4±16.0	t=0.9, df=10.0, p=0.38
体重 (g)	7.40±2.83	10.13±5.01	t=0.7, df=10.0, p=0.48
肥満度	1.003±0.083	0.929±0.081	t=1.2, df=99.0, p=0.26

h

表 24. 3 回目 (平成 24 年 5 月 22 日) の残存状況調査時の発眼卵埋設放流個体および稚魚放流の体サイズの平均値±標準偏差および t 検定による解析結果

項目	発眼卵埋設	稚魚放流	解析結果
全長 (mm)	137.0±0.0	138.7±15.5	(解析を実施せず)
体重 (g)	22.70±0.00	28.27±14.72	(解析を実施せず)
肥満度	0.883±0.000	0.996±0.167	(解析を実施せず)

i

表 26. 4 回目 (平成 24 年 9 月 24 日) の残存状況調査時の発眼卵埋設放流個体および稚魚放流の体サイズの平均値±標準偏差および t 検定による解析結果

項目	発眼卵埋設	稚魚放流	解析結果
全長 (mm)	163.5±4.9	164.0±19.8	t=0.0, df=1.0, p=0.98
体重 (g)	47.75±4.17	50.05±24.40	t=0.1, df=1.0, p=0.92
肥満度	1.091±0.004	1.083±0.157	t=-0.1, df=1.0, p=0.95

されなかった個体を「非残存個体」として、自然繁殖由来魚、稚魚放流由来魚、発眼卵放流由来魚の間に調査開始時の体重を比較した結果である (体重の数値は平均±標準偏差)。2011 年の荒井川の自然繁殖由来魚で体重の中央値は残存個体より非残存個体の方が有意に大きく ($p<0.05$)、荒井川の稚魚放流由来魚とキリズシ沢の発眼卵放流由来魚で非残存個体より残存個体の方が有意に大きいが、それら以外では残存個体と非残存個体の間に有意差は認められなかった。b は残存個体と非残存個体の間に調査開始時の肥満度を比較した結果であり (数値は平均±標準偏差)、中央値は 2011 年のキリズシ沢の発眼卵放流由来魚で非残存個体より残存個体の方が有意に大きいが、それ以外では両者の間に有意差は認められなかった。

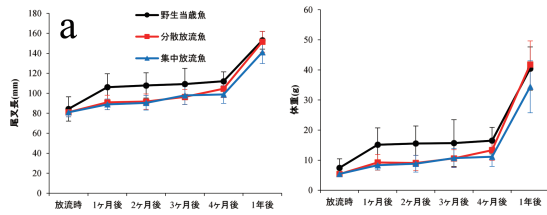


図19 平成27年の区間④における各区の尾叉長(左)と体重(右)の推移

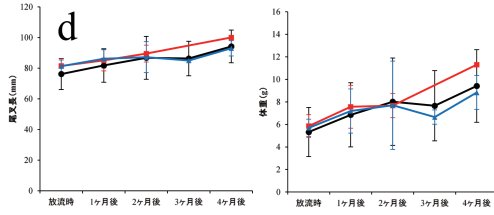


図20 平成29年の区間②における各区の尾叉長(左)と体重(右)の推移

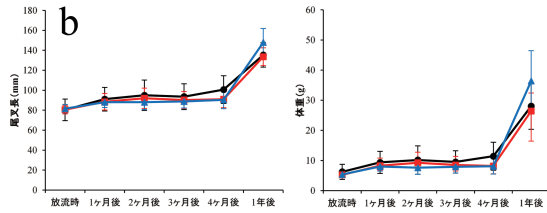


図23 平成28年の区間②における各区の尾叉長(左)と体重(右)の推移

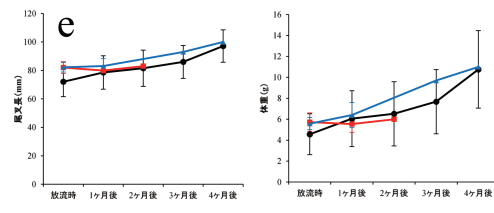


図29 平成29年の区間③における各区の尾叉長(左)と体重(右)の推移

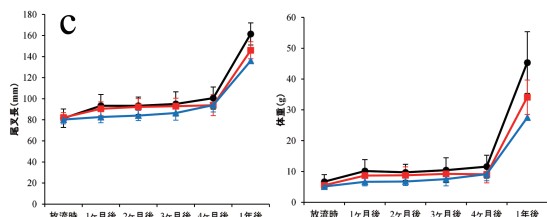


図24 平成28年の区間④における各区の尾叉長(左)と体重(右)の推移

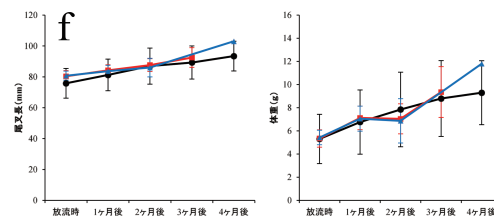


図31 平成29年の区間⑥における各区の尾叉長(左)と体重(右)の推移

図3. アマゴの稚魚放流由来魚と自然繁殖由来魚の成長(尾叉長, 体重)の比較

滋賀県水産試験場(2018)のaはp.132・図19, bはp.134・図23, cはp.135・図24, dはp.137・図29, eはp.138・図30, fはp.138・図31を転載。「野生当歳魚」は自然繁殖由来魚,「分散放流魚」は調査区間に分散して放流した稚魚放流由来魚,「集中放流魚」は調査区間の1箇所に放流した稚魚放流由来魚。「区間②」は犬上川区間4,「区間③」は犬上川区間5,「区間④」は犬上川区間6。図番号のアルファベットは著者らが付記。

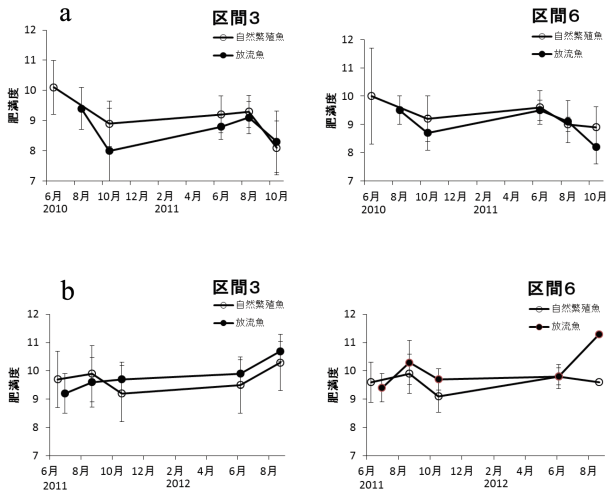


図4. アマゴの稚魚放流由来魚と自然繁殖由来魚の肥満度の比較

滋賀県水産試験場(2013)のaはp.49・図7, bはp.50・図8を転載。「放流魚」は稚魚放流由来魚,「自然繁殖魚」は自然繁殖由来魚。図番号のアルファベットは著者らが付記。

表4. ヤマメの稚魚放流由来魚, 発眼卵放流由来魚, 自然繁殖由来魚の残存個体と非残存個体の調査開始時の体重, 肥満度の比較

増養殖研究所内水面研究部(2013)のaはp.78・表9, bはp.78・表10を転載。表番号のアルファベットは著者らが付記。

a 表9 残存個体と非残存個体の調査開始時の体重の比較

年	種	河川	由来	残存個体	非残存個体	z値	p値
2010	ヤマメ	荒井川	自然繁殖	2.83±0.83(11)	2.86±0.97(15)	0.260	0.795
			稚魚放流	2.50±0.90(16)	2.59±0.68(34)	0.021	0.983
			キズシ沢	発眼卵放流	1.46±0.40(13)	1.31±0.60(42)	1.420
2011	ヤマメ	荒井川	自然繁殖	3.44±1.05(21)	4.63±2.35(46)	1.954	0.051
			稚魚放流	5.35±1.55(10)	4.04±1.82(57)	2.279	0.023
			キズシ沢	発眼卵放流	3.10±1.64(7)	1.63±0.84(59)	2.805
御沢川	自然繁殖	2.62±0.09(5)	2.60±0.74(61)	0.352	0.715		
	稚魚放流	2.38±1.41(12)	2.96±1.61(21)	1.049	0.294		
	発眼卵放流	4.55±1.57(22)	4.74±1.28(33)	0.799	0.424		

b 表10 残存個体と非残存個体の調査開始時の肥満度の比較

年	種	河川	由来	残存個体	非残存個体	z値	p値
2010	ヤマメ	荒井川	自然繁殖	15.37±2.66(11)	14.59±1.84(15)	0.441	0.659
			稚魚放流	12.56±1.62(16)	12.90±2.90(34)	0.333	0.739
			キズシ沢	発眼卵放流	16.19±2.50(13)	14.84±2.49(42)	1.407
2011	ヤマメ	荒井川	自然繁殖	16.30±1.12(21)	16.27±1.46(46)	0.237	0.813
			稚魚放流	15.98±1.30(10)	16.05±1.51(57)	0.282	0.778
			キズシ沢	発眼卵放流	17.91±2.02(7)	16.06±1.95(59)	2.646
御沢川	自然繁殖	14.77±0.66(5)	14.80±1.66(61)	0.206	0.837		
	稚魚放流	14.77±0.66(5)	14.80±1.66(61)	0.206	0.837		
	発眼卵放流	17.05±1.85(22)	16.52±0.77(33)	0.438	0.661		

分散

表3のcの最下段「採捕地点の位置 (m)」は0歳の2011年7月に調査を開始し、2か月後の9月に採捕した個体についての調査開始時の放流あるいは採捕地点から9月の採捕地点までの距離の平均値と標準偏差、dはcと同じ調査開始時から13か月後の翌2012年8月に採捕した個体についての調査開始時の放流あるいは採捕地点から13か

月後の採捕地点までの距離の平均値と標準偏差を示している（以降、放流あるいは採捕地点から後日の採捕地点までの距離を分散距離と呼称する）。c、dともに、稚魚放流由来魚と自然繁殖由来魚の間で分散距離の平均値に有意差は認められなかった ($p>0.05$)。分散距離に関する由来魚間の比較データは水産庁事業の報告書ではこれらのみであった。

図5、6は残存率の調査の際の結果であり、図5は2010、

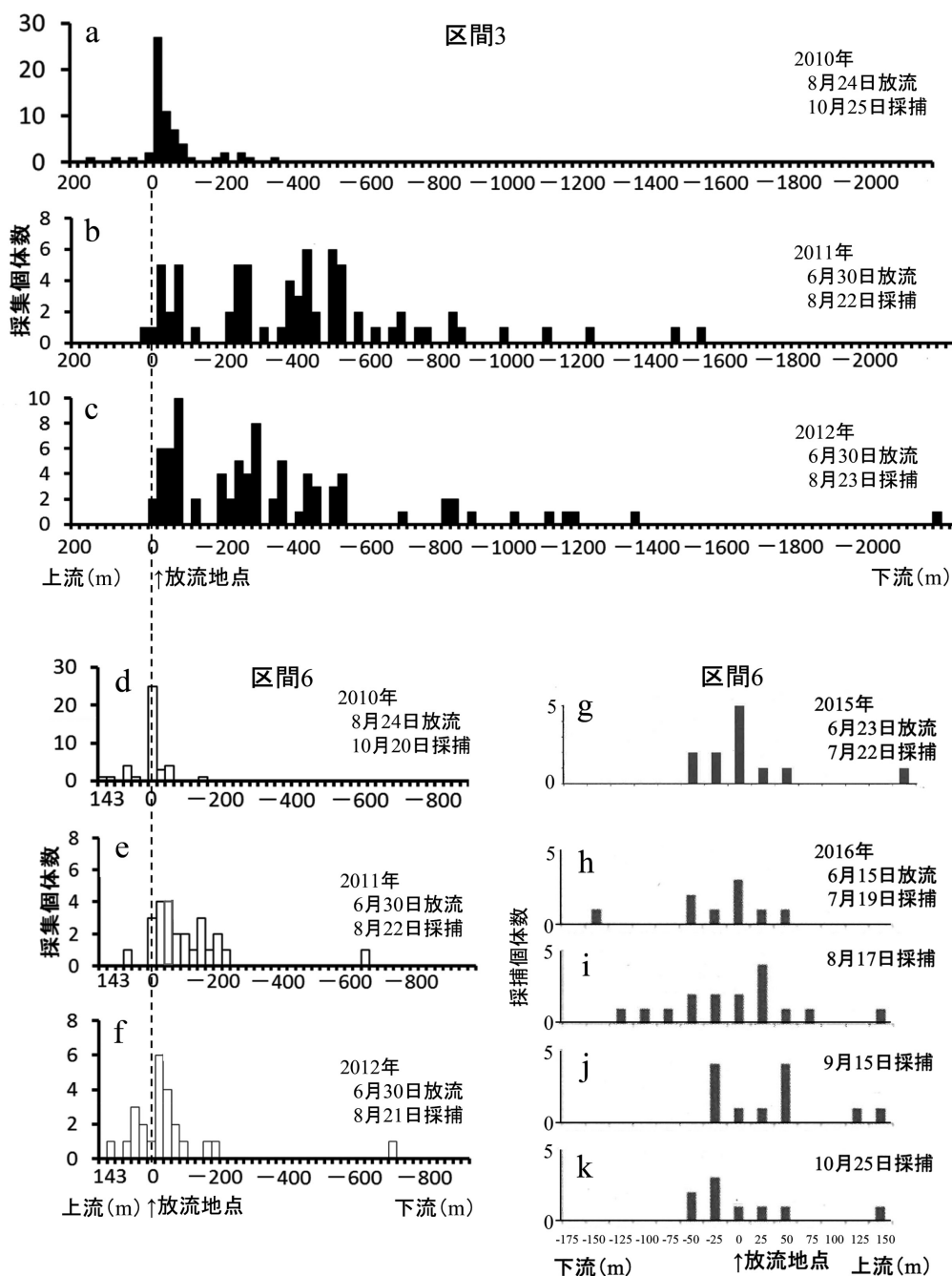


図5. 犬上川区間3、6におけるアマゴの稚魚放流由来魚の放流後の分散

a~fは滋賀県水産試験場(2013)のp.50・図9, gは滋賀県水産試験場(2018)のp.133・図20, h~kは滋賀県水産試験場(2018)のp.135・図25を転載。各図のタイトルを削除し、著者が付記したアルファベット順に図を並べ、区間番号、放流・採捕年月日を記入。a~fについては、放流地点(0m)の位置に点線を記入。g~kではy軸における上流・下流の表記がa~fと逆であることに注意。

2011, 2012, 2015, 2016年の犬上川区間3, 6, 図6は2010, 2011年の須亦谷, 西俣谷におけるアマゴの稚魚放流由来魚の放流後の分散(放流地点から25m区間ごとの採捕個体数頻度)を示している。これらの図をもとに, 6月放流・8月採捕のデータ(図5のb, c, e, f, i)を図7a, それら以外のデータを図7b, aとbを合わせたデータを図7cにまとめた。表2のように調査区間長は河川によって異なるが, 図7のように多くの個体の分散距離は放流地点の上下数100mであることから, 区間長の相違は解析にそれほど影響しないとみなした。

6月放流・8月採捕では(図7a), 219尾のうち放流地点の上流での採捕個体(上流分散個体)は16尾(7.3%), 放流地点付近での採捕個体(残留個体)は9尾(4.1%), 放流地点の下流での採捕個体(下流分散個体)は194尾(88.6%)であった。上流分散個体と残留個体の合計は25尾であり, その割合(11.4%)は下流分散個体(88.6%)より有意に低かった(Fisherの正確確率検定, $p < 0.0001$)。

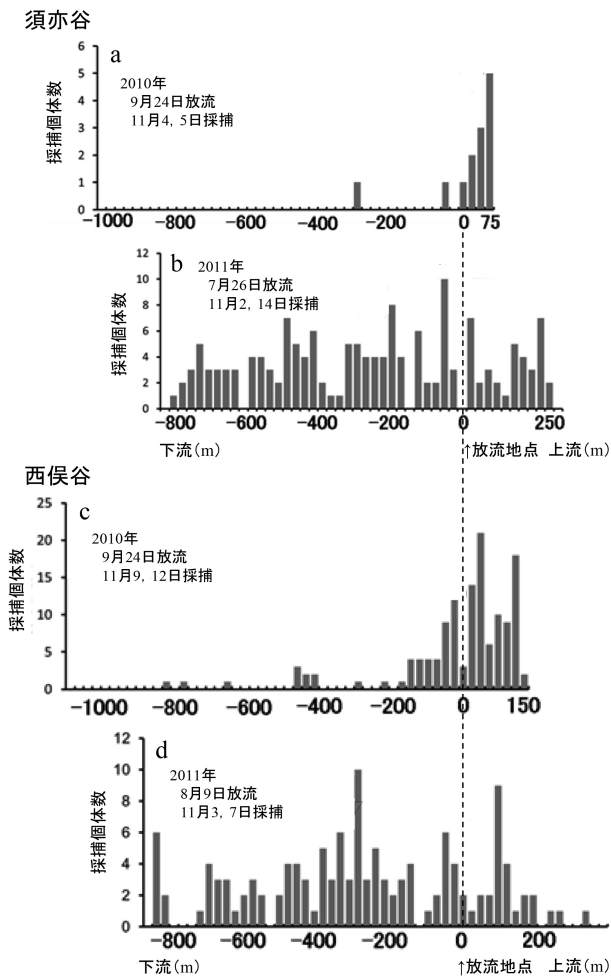


図6. 須亦谷, 西俣谷におけるアマゴの稚魚放流由来魚の放流後の分散

滋賀県水産試験場(2013)のa, bはp. 54・図20, c, dはp. 56・図24を転載。各図のタイトルを削除し, 著者らが付記したアルファベット順に図を並べ, 調査河川名, 放流・採捕年月日, 放流地点(0m)の位置に点線を記入

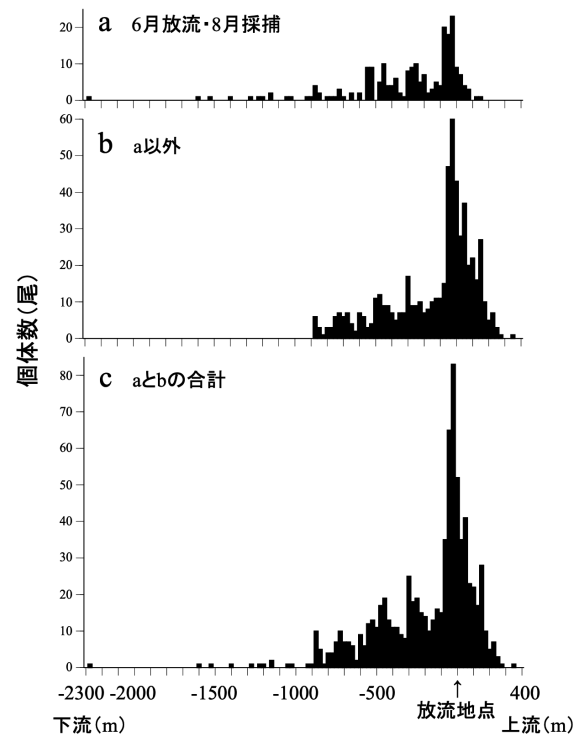


図7. 図5, 6のデータをもとにしたアマゴの稚魚放流由来魚の放流後の分散

上流分散についてみると, すべての個体の分散距離が放流地点から150m以内であった。下流分散についてみると, 半数の個体(97尾, 50%)の分散距離は放流地点から250m以内であり, 約9割の個体(175尾, 90.2%)の分散距離は放流地点から800m以内であった。分散距離の最大値は前述のように上流方向で150m(125~150m区間)であり, 下流方向で2,275m(2,250~2,275m区間)であった。

図7のaとbで個体数の頻度分布に有意差が認められたが(Kolmogorov-Smirnov検定, $p = 0.024$), bでも569尾のうち上流分散個体と残留個体の合計(220尾)の割合(38.7%)は下流分散個体(349尾, 61.3%)より有意に低かった(Fisherの正確確率検定, $p < 0.0001$)。上流分散についてみると, すべての個体の分散距離が放流地点から350m以内であった。下流分散についてみると, 約半数の個体(179尾, 51.3%)の分散距離は放流地点から225m以内であり, 9割の個体(314尾, 90%)の分散距離は放流地点から675m以内であった。分散距離の最大値は前述のように上流方向で350m(325~350m区間)であり, 下流方向で875m(850~875m区間)であった。

図8は, 2011, 2012年の犬上川区間3, 6における0歳の6月放流・8月採捕のアマゴの稚魚放流由来魚についての8月から10月にかけての分散を示している。分散距離の最大値は上流方向で175m(150~175m区間), 下流方向で300m(275~300m区間)であった。

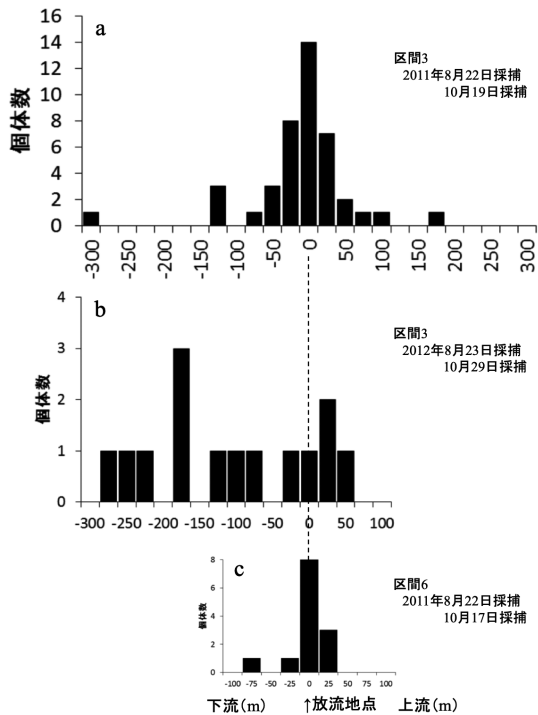


図 8. 犬上川区間 3, 6 におけるアマゴの稚魚放流由来魚の採捕放流後の分散

滋賀県水産試験場 (2013) の a は p. 52・図 11, b は p. 53・図 18, c は p. 52・図 14 を転載。各図のタイトルを削除し、著者らが付記したアルファベット順に図を並べ、区間番号, 放流・採捕年月日, 放流地点 (0m) の位置に点線を記入。

効果的な増殖方法の検討

稚魚放流と発眼卵放流の比較 残存率の分析の結果, 0 歳初夏から 0 歳秋にかけての 1 日当たりの残存率の平均値は稚魚放流由来魚より発眼卵放流由来魚の方が有意に高く, 発眼卵放流由来魚と稚魚放流由来魚の平均値の比率は 2.68 であった。つまり, 平均値で見ると 0 歳秋の時点の増殖効果は稚魚放流より発眼卵放流の方が 2.68 倍高い。以降, このような増殖効果を尾数の増殖効果と呼称する。一方, 増殖効果を評価する指標には費用対効果もある。放流に必要な費用には, 大きく分けて卵や魚を購入したり生産する費用と運搬したり放流する費用がある。ヤマメ・アマゴの稚魚放流や発眼卵放流の場合, 自身の養魚施設で生産した稚魚や卵を放流する漁協より民間等の養魚場から購入した稚魚や卵を放流する漁協の方が多。また, 購入した稚魚や卵を漁協の組合員が放流する場合もあれば, 稚魚放流では養魚場が放流まで請け負う場合もあるので, その部分の費用を算定することは難しい。そこで, 本研究では河川で 1 尾の魚を増殖するのに必要な放流用の稚魚や卵の価格 (以降, 放流稚魚費, 放流卵費と呼称する) を算定し比較する。

稚魚放流由来魚の 0 歳秋の残存率の平均値は 19.6% で

あった (図 1b)。このことから, 0 歳秋に稚魚放流由来魚が 1 尾残存するためには 0 歳初夏に 5.1 尾 (1 尾/0.196) の養殖稚魚を放流する必要がある。長野県 (2019), 全国養鱒技術協議会事務局 (2020, 2021) に基づくと, 最近 3 年 (2018 ~ 2020 年) のヤマメ・アマゴの養殖稚魚 (5g サイズ) の単価 (1 尾当たりの税込み価格) の平均値と 95% 信頼区間 (かっこ内) は 17.8 円 (16.5 ~ 19.0 円) である (著者らが計算)。これを放流用の稚魚の単価とみなす。5.1 尾の養殖稚魚の価格は平均単価 (17.8 円) に基づくと 90.8 円 (5.1 尾 × 17.8 円/尾), 平均単価の 95% 信頼区間の下限値に基づくと 84.2 円 (5.1 尾 × 16.5 円/尾), 信頼区間の上限値に基づくと 96.9 円 (5.1 尾 × 19.0 円/尾) である (以降, 90.8 円 (84.2 ~ 96.9 円) というように記す) (表 5)。これが 0 歳秋に 1 尾残存するために必要な 0 歳初夏の稚魚放流の放流稚魚費である。

次に放流卵費を算定する。発眼卵放流由来魚の 0 歳秋の残存率の平均値は 63.3% であったので (図 1b), 0 歳秋に発眼卵放流由来魚が 1 尾残存するためには 0 歳初夏に 1.6 尾 (1 尾/0.633) の発眼卵放流由来魚が残存している必要がある。次に知る必要があるのは発眼卵の放流時から 0 歳初夏までの残存率である。水産庁事業の報告書 (水産庁 2013) の中の岐阜県河川環境研究所 (2013) と増養殖研究所内水面研究部 (2013) に, 11 ~ 12 月の放流時から翌年の 0 歳初夏までの残存率の 13 河川区間・14 例のデータ (表 6) が記載されており, それらの平均 ± 標準偏差は 4.43 ± 4.12% である。この平均値 (4.43%) に基づくと, 0 歳初夏に発眼卵放流由来魚が 1.6 尾残存するために必要な発眼卵の放流卵数は 36.1 粒 (1.6 (粒) / 0.0443) である。前述の長野県 (2019), 全国養鱒技術協議会事務局 (2020, 2021) に基づくと, 2018 ~ 2020 年のヤマメ・アマゴの養殖魚の発眼卵の単価 (1 粒当たりの税込み価格) の平均値と 95% 信頼区間 (かっこ内) は 2.3 円 (2.1 ~ 2.4 円) であり (著者らが計算), これを放流用の発眼卵の単価とみなすと, 36.1 粒の発眼卵の価格は 83.0 円 (75.8 ~ 86.6 円) である (83.0 円 ÷ 36.1 粒 × 2.3 円/粒, 95% 信頼区間下限: 75.8 円 ÷ 36.1 粒 × 2.1 円/粒, 95% 信頼区間上限: 86.6 円 ÷ 36.1 粒 × 2.4 円/粒) (表 5)。平均単価 (2.3 円) に基づく 83.0 円の放流卵費は前述の平均単価に基づく放流稚魚費 (90.8 円) の 91.4% (83.0 円/90.8 円) である。なお, 「残存率」の項の 0 歳初夏の期間は 5 月 25 日 ~ 8 月 2 日であり, 前述の放流時から 0 歳初夏までの発眼卵放流由来魚の残存率の 14 例はその期間条件に合致したものであるが, それら以外に水産庁事業の報告書 (水産庁 2013) の中の岐阜県河川環境研究所 (2013) と増養殖研究所 (2013) に 8 月 3, 6, 13, 23 日までの 4 例の残存率データがある。それらを含めるとデータ数は 17 河川区間・18 例 (表 6) であり, 発眼卵放流由来魚の放流時からの残存率の平均 ± 標準偏差は 6.78 ± 10.02% である。この平均値 (6.78%) に基づくと, 8 月 23 日までを含む 0 歳初夏に発眼卵放流由来魚が 1.6 尾残存するために必要な発眼卵の放流卵数は 23.6 粒 (1.6

表 5. ヤマメ・アマゴの増殖方法ごとの特徴

増殖方法	検討項目	0歳秋まで	全長15cm	長所	短所	備考
稚魚放流	0歳初夏からの残存率	19.6%	0歳初夏から1歳初夏の残存率：10.6% (本研究)	漁協が実施に慣れている養魚場が放流まで行ってくれる場合がある	全長制限まで成長するの日に数がかかると鯉や体形等の魚の容姿が良くない場合がある	放流稚魚費だけでなく、放流に必要な諸経費を含んだ総費用を算定する必要がある
	0歳秋に1尾残存するために必要な放流稚魚費	90.8円 (84.2～96.9円) (本研究)	0歳8月からの残存率：3.13～6.25% 全長15cmの魚が1尾残存するために必要な0歳8月の放流稚魚費：206.3～806.5円 (岸・徳原2017)	増殖義務の履行方法		
発眼卵放流	0歳初夏からの残存率	63.3%	0歳8月からの残存率：1.56～4.69% 全長15cmの魚が1尾残存するために必要な放流卵費：90.4～376.5円 (岸・徳原2017)	鯉や体形等の魚の容姿が野生魚と同等 稚魚放流より安価で増殖できる高い可能性がある 持ち運びが容易なため、車から離れた場所でも放流できる 増殖義務の履行方法	全長制限まで成長するの日に数がかかると技術的に稚魚放流が難しい 鯉雪の多い地域や年にはできない 増殖義務の履行方法として認められていない都道府県がある	放流卵費だけでなく、放流に必要な諸経費を含んだ総費用を算定する必要がある
	0歳秋に1尾残存するために必要な放流卵費	83.0円 (75.8～86.6円) (本研究)	0歳8月からの残存率：6.78%の場合54.3円 (49.6～56.6円) (本研究)			
(自然繁殖由来魚)	0歳初夏からの残存率	53.7% (本研究)	(0歳初夏から1歳初夏の残存率：19.0%) (本研究)			(採捕規制・産卵場所・生息場所の保全・改善・造成で増殖できる)
成魚放流	—	—	放流直後から全長15cmの魚が1尾釣れたために必要な放流成魚費：67.5円 (立川ら(1969)、鈴木・大渡(1974)、飯野ら(1988)、徳原ら(2009)、徳原ら(2010)のデータをもとに本研究で計算)	漁協が実施に慣れている放流直後から釣れる回収率(釣獲率)が高い 養魚場が放流まで行ってくれる場合がある	短期間で釣られるので、放流の効果が長続きしない 鯉や体形等の魚の容姿が良くない場合がある 自然の川が釣り難化する	放流成魚費だけでなく、放流に必要な諸経費を含んだ総費用を算定する必要がある 厳密には増殖義務の履行方法にはあたらならないが多くの漁協により行われており、増殖義務の履行方法として認められている都道府県がみられる
	親魚放流	—	—	鯉や体形等の魚の容姿が野生魚と同等 魚が自ら産卵するので、養眼卵放流より失敗が少ない 増殖義務の履行方法	全長制限まで成長するの日に数がかかると新しい方法のため、漁協が実施に慣れていない大型の魚を放流するので、魚を積んだ車が川まで近づける必要がある 増殖義務の履行方法として認められていない都道府県がある	データは徳原ら(2010)の1例のための放流親魚費の算定には今後のデータの蓄積が待たれる
採捕規制	—	—	—	鯉や体形等の魚の容姿が良い 遺伝的多様性の保全に貢献する	増殖効果や費用対効果が定量化されおらず、増殖の効果が見えにくい 増殖義務の履行方法ではない	増殖効果や実施に必要な総費用を算定する必要がある
	産卵場所の保全・改善・造成	—	—	鯉や体形等の魚の容姿が良い 遺伝的多様性の保全に貢献する 増殖義務の履行方法	増殖効果や費用対効果が定量化されおらず、増殖の効果が見えにくい 漁協が実施に慣れていない 増殖義務の履行方法として認められていない都道府県がある	造成方法を解説したパンフレット(水産庁・中央水産研究所2008a)と映像ソフト(水産庁・中央水産研究所2008b)がある 造成費用を義務増殖の経費に換算する方法が示されたパンフレット(水産庁・中央水産研究所2010)がある
生息場所の保全・改善・造成	—	—	—	鯉や体形等の魚の容姿が良い 遺伝的多様性の保全に貢献する 増殖義務の履行方法	増殖効果や費用対効果が定量化されおらず、増殖の効果が見えにくい 漁協が実施に慣れていない 増殖義務の履行方法として認められていない都道府県がある	増殖効果や実施に必要な総費用を算定する必要がある
	—	—	—	—	—	—

—：増殖効果や費用対効果が未検証

表 6. 発眼卵放流由来魚の卵理設放流から0歳初夏までの残存率

都道府県	水系	調査河川・区間	水系と調査河川の関係	対象魚種	区間長 (m)	平均水深 (m)	河床勾配 (%)	先住 同亜種	先住 ナナ	理設放流 年月日	放流卵数 (粒)	個体数推定 年月日	経過日数 (日)	推定個体数 (尾)	残存率 (%)	個体数推定時 平均全長(mm)	備考
栃木県	利根川	キリ沢下流域	利根川支流鬼怒川の支流	ヤマメ	90	1.7	10.1	有	有	2009年11月13日	2050	2010年6月15日	214	75	3.66	52.0	
岐阜県	木曽川	大谷	木曽川支流飛騨川の支流	アマゴ	310	1.69	11.94	有	有	2009年11月19日	200	2010年6月10日	203	18	9.00	85.5	
岐阜県	木曽川	樋口調谷	木曽川支流飛騨川の支流	アマゴ	364	1.27	22.8	無	有	2009年11月19日	200	2010年6月18日	211	10	5.00	81.6	
岐阜県	木曽川	黒谷	木曽川支流飛騨川の支流	アマゴ	220	2.23	19.02	無	有	2009年11月19日	200	2010年6月25日	218	0	0	—	
岐阜県	木曽川	萩中谷	木曽川支流飛騨川の支流	アマゴ	344	1.66	13.74	無	有	2009年11月19日	200	2010年7月 6日	229	1	0.50	107.0	
岐阜県	木曽川	杉谷	木曽川支流飛騨川の支流	アマゴ	325	1.77	11.91	無	有	2009年11月19日	200	2010年7月 6日	229	8	4.00	104.7	
岐阜県	木曽川	初矢谷	木曽川支流飛騨川の支流	アマゴ	135	1.53	16.99	無	有	2009年11月20日	200	2010年6月24日	216	0	0	—	
岐阜県	木曽川	大巻谷	木曽川支流飛騨川の支流	アマゴ	257	2.05	17.47	無	有	2009年11月20日	200	2010年7月 7日	229	4	2.00	79.0	
栃木県	利根川	御沢川	利根川支流渡良瀬川, 渡良瀬川支流思川, 思川支流大芦川, 大芦川支流荒井川の支流	ヤマメ	330	2.4	4.5	有	有	2010年11月 9日	12,900	2011年6月2日	224	95.2	0.74	77.6	
栃木県	利根川	キリ沢上流域	利根川支流鬼怒川の支流	ヤマメ	90	1.9	19.2	無	無	2010年11月11日	1,840	2011年6月23日	224	66	3.59	55.4	
岐阜県	木曽川	大谷	木曽川支流飛騨川の支流	アマゴ	230	2.39	11.94	有	有	2010年11月19日	200	2011年5月25日	187	20	10.00	68.7	
岐阜県	神通川	山口谷川	神通川支流大八賀川の支流	ヤマメ	482	2.0	9.34	無	有	2010年12月 1日	200	2011年6月 7日	188	8	4.00	56.0	
岐阜県	神通川	米溪川	神通川支流大八賀川の支流	ヤマメ	544	2.09	3.68	有(アマゴ)	有	2010年12月 1日	200	2011年6月 8日	189	28	14.00	56.5	
岐阜県	神通川	山田川	神通川支流宮川, 宮川支流高原川の支流	ヤマメ	729	2.46	2.74	無	有	2010年12月 1日	200	2011年6月29日	210	11	5.50	76.4	
岐阜県	神通川	クルミ谷	神通川支流宮川の支流	ヤマメ	208	1.4	16.49	無	有	2009年11月13日	200	2010年8月 3日	263	5	2.50	89.3	個体数推定を8月3日以降に実施
岐阜県	神通川	宮谷	神通川支流宮川の支流	ヤマメ	669	1.11	14.29	無	有	2009年11月13日	200	2010年8月 6日	266	30	15.00	94.0	個体数推定を8月3日以降に実施
岐阜県	神通川	松倉谷	神通川支流宮川の支流	ヤマメ	220	2.04	9.01	無	有	2009年11月13日	200	2010年8月13日	273	0	0	—	個体数推定を8月3日以降に実施
岐阜県	神通川	五升ヶ谷	神通川支流宮川の支流	ヤマメ	301	1.66	12.0	無	無	2009年11月13日	200	2010年8月23日	283	85	42.50	92.5	個体数推定を8月3日以降に実施

(粒) /0.0678) であり, 前述の発眼卵の単価 (2.3円 (2.1 ~ 2.4円)) に基づくと, 23.6粒の発眼卵の価格は 54.3円 (49.6 ~ 56.6円) である ($54.3円 = 23.6粒 \times 2.3円/粒$, 95% 信頼区間下限: $49.6円 = 23.6粒 \times 2.1円/粒$, 95% 信頼区間上限: $56.6円 = 23.6粒 \times 2.4円/粒$) (表 5)。平均単価 (2.3円) に基づく 54.3円は放流稚魚費 (90.8円) の 59.8% (54.3円/90.8円) である。

以上のように, 平均値でみると 0歳秋の時点の尾数の増殖効果は稚魚放流より発眼卵放流の方が 2.68倍高く, 放流稚魚費・放流卵費は発眼卵放流由来魚の卵放流時から 0歳初夏までの残存率が 4.43% の場合は稚魚放流より発眼卵放流の方が 8.6% (100%-91.4%) 安く, 6.78% の場合は発眼卵放流の方が 40.2% (100%-59.8%) 安い。

ただし, 0歳秋ではヤマメ・アマゴのサイズが全長制限に達していない河川が多いと考えられる。ヤマメ・アマゴの全長制限は都道府県の漁業調整規則や漁協の漁業権行使規則, 遊漁規則に規定されており, 10cm や 12cm の場合もあるが, 多くの都道府県や漁協で 15cm である。岸・徳原 (2017) は神通川水系官川支流五升ヶ谷における同一兄弟群のヤマメの稚魚放流由来魚と発眼卵放流由来魚の調査データを解析し, 0歳の 8月から 2歳の全長 15cm 到達時期までの残存率は稚魚放流由来魚 3.13 ~ 6.25%, 発眼卵放流由来魚 1.56 ~ 4.69% で両由来魚で同等か稚魚放流由来魚の方が高く, 全長 15cm の魚が 1尾残存するために必要な放流稚魚費・放流卵費は稚魚放流由来魚では稚魚の単価が 13 ~ 25円の場合に 206.3 ~ 806.5円, 発眼卵放流由来魚では卵の単価が 1.8 ~ 2.5円の場合に 90.4 ~ 376.5円で両由来魚で同等か発眼卵放流由来魚の方が安いと算定した (表 5)。また, 水産庁事業の報告書 (水産庁 2013) において増養殖研究所内水面研究部 (2013) は, 本研究の「残存率」の項で使用したデータの一部や調査開始日等の条件が合わなかったため本研究で使用しなかったデータ, 水試等の研究報告書に記載されたデータおよびイワナのデータを使用して「溪流魚」という括りで分析し, 全長 15cm の魚が 1尾残存するために必要な放流稚魚費を 563円, 放流卵費を 106円と算定した。岸・徳原 (2017) は全長 15cm まで追跡し, 稚魚放流由来魚と発眼卵放流由来魚が同一兄弟群であることから, 結果の精度は高いと考えられる。ただし, この研究はひとつの河川区間の結果である。増養殖研究所内水面研究部 (2013) の結果は調査開始日等の条件が統一されていないデータやイワナのデータも使用しているため, 精度が低い。一方, 本研究の結果はヤマメ・アマゴについての複数の河川区間のものであるが, 全長 15cm まで追跡していない。ただし, 0歳秋以降に発眼卵由来魚の残存率が急に低下するとは考えにくい。このようにいずれの研究にも不足している点があるが, これらの研究の結果から次のことが言えると考えられる。すなわち, 稚魚放流と発眼卵放流で全長 15cm 到達時の尾数の増殖効果と放流稚魚費・放流卵費はほぼ同等か発眼卵放流の方が優れている可能性が高い。「成長, 肥満度」の項の結果

は稚魚放流, 発眼卵放流, 自然繁殖の 3由来魚で成長や肥満度に大差ないことを示している。成長・肥満度という点では稚魚放流と発眼卵放流のどちらの放流方法でも大きな問題はないと考えられる。放流後残存した稚魚放流由来魚と発眼卵放流由来魚は自然繁殖由来魚と同等の成長をするのであろう。これらの結果に基づくと, 稚魚放流より発眼卵放流を行った方が良いと言える。魚の容姿という点でも, 発眼卵放流では魚は仔魚の段階から河川で生息するため, 自然繁殖由来魚と同等の姿かたちの良い魚を増殖することができるのに対して, 稚魚放流では養魚場での飼育中に魚同士が擦れ合ったり他の個体に噛まれて鱗や眼等が損傷したりした魚が放流されることが多く, それらの魚の中には全長 15cm に達してもそのような損傷が残っている個体がいる (表 5)。ただし, 稚魚放流では依頼すれば養魚場が魚を川まで運んでくれる, あるいは放流まで行ってくれることがあるのに対して, 発眼卵放流では卵の発眼期である晩秋から冬の寒い時期に組合員が養魚場に行き卵を受け取り, それを持って川に行き, 河床にくぼみを作り, そのくぼみに発眼卵を放流し, くぼみを砂礫で埋め戻すという作業が必要であり (中村・飯田 2009), 発眼卵放流の方が手間がかかる。また, 地域や年によっては, 発眼期に積雪して組合員が川に行けず, 放流を行えないことがある。一方, 稚魚放流を養魚場に依頼する場合には漁協は養魚場に魚の運搬費や放流のための人件費を支払う必要がある場合があり, 発眼卵放流を組合員が行う場合には漁協は組合員に賃金を支払う必要がある場合がある。稚魚放流と発眼卵放流には尾数の増殖効果や放流稚魚費・卵費の相違の他にこのような長所・短所があり諸費用も必要なので, 漁協は総合的に判断して放流方法を選択するのが良い。また, 漁協に対して義務増殖の放流方法や放流数量を示す内水面漁場管理委員会も総合的な観点から放流方法を選択し, 放流数量も算定するのが良い。

効果的な稚魚放流の方法 前項で述べたように, 稚魚放流の増殖効果 (放流稚魚費・卵費を含む) は発眼卵放流より劣っている可能性がある。そこで, 稚魚放流の増殖効果を向上させる方法について検討する。「残存率」の項で述べたように, 放流時の全長, 調査区間の平均水面幅, 河床勾配のいずれも稚魚放流由来魚の 0歳初夏から 0歳秋までの 1日当たりの残存率の説明変数として有意でなかった (表 2)。有意であれば, 残存率を高める, すなわち増殖効果を向上させる方法として, 例えば全長の大きい (あるいは小さい) 稚魚の放流, 平均水面幅の小さい (大きい) 河川や区間への放流, 河床勾配の小さい (大きい) 河川や区間への放流を提言できるが, 有意でないのでできない。また, 「成長, 肥満度」の項で述べたように, 残存率と放流時の体重や肥満度の間に有意な関係が認められなかったため, 体重の大きい (小さい) 稚魚の放流や肥満度の高い (低い) 稚魚の放流も提言できない。このように, 今回のデータからは稚魚放流の増殖効果を高めるための要因を抽出することはで

きなかった。

一方、「分散」の項で述べたように、6月放流・8月採捕では、放流したアマゴの養殖稚魚の約9割（88.6%）が下流方向に分散し、放流地点付近に残るあるいは上流に分散する個体は少なかった。また、上流方向への分散についてみると、すべての個体の分散距離は放流地点から150m以内であり、下流方向については約2,300m分散する個体もいるが、5割（50%）の個体の分散距離は放流地点から250m以内であり、約9割（90.2%）の個体の分散距離は放流地点から800m以内であった。また、6月に放流し8月に採捕した稚魚放流由来魚の、8月から10月にかけての分散距離の最大値は上流方向に約175m、下流方向に約300mであり、放流後分散したあとの分散距離もそれほど長くなかった。これらのことから、稚魚放流を行う際には例えば800mおきに放流するのが良いと考えられる（「800m」は6月放流・8月採捕の約9割の個体の下流方向への分散距離。放流地点から上流に分散する個体もいるが、その数は少なく、距離も最大で150mであることから上流への分散は考慮に入れない）。

なお、養殖稚魚の放流後の短い分散距離や下流方向に偏った分散は他のサケ科魚類でもみられる現象である（例えば、ブラウントラウト *Salmo trutta* (Mortensen 1977)、タイセイヨウサケ *S. salar* (Egglishaw and Slackley 1980)、ニジマス *O. mykiss* (Hume and Parkinson 1987)）。

成魚放流の評価 成魚放流は水域の生産力により個体数や体重を増加させることを目的としていないので、厳密には漁協の増殖義務の履行方法にはあたらない。ただし、多くの漁協により行われており、増殖義務の履行方法として認めている都道府県がみられる。

成魚放流について、1尾釣れるために必要な放流成魚費を算定する。成魚放流したヤマメ・アマゴの養殖魚の釣りによる回収率（以降、釣獲率と呼称する）は立川ら（1969）のアマゴで64.0%、鈴木・大渡（1974）のヤマメで44.3%、飯野ら（1988）のヤマメで57.9%、徳原ら（2009）のパーパールのアマゴで91.7%、56.7%（この論文にはスモルト smolt のアマゴのデータもあるが、本研究では他のデータと同様のパーのデータを使用）、徳原ら（2010）のヤマメで75%であった。これらの研究では、放流魚のサイズや釣獲の努力量、調査区間の距離（区間長）、放流からの調査日数等は統一されていないが、これらのデータの平均値である64.9%をヤマメ・アマゴの成魚放流魚の釣獲率とみなす（標準偏差は±16.5%）。なお、放流後残存したすべての個体が釣獲されるわけでないので、釣獲率は残存率の過小評価値である。釣獲率が64.9%ということは、1尾釣れるためには1.5尾（1尾/0.649）放流する必要がある。前述の長野県（2019）、全国養鱒技術協議会事務局（2020, 2021）に基づくと、2018～2020年のヤマメ・アマゴの大型種苗の価格（1kg当たりの税込み価格）の平均値と95%信頼区間（かつこ内）は1504.5円（1413.9～1595.2円）であり（著者らが計算）、

これを放流用の成魚の価格とみなす。全長15cmのヤマメの野生魚の体重は約42g（高木ら2015）であり、一般に野生魚より養殖魚の方が体重が大きいのでヤマメ・アマゴの養殖魚の体重を45gと仮定すると、この価格で33.4尾（31.4～35.4尾）のヤマメ・アマゴを購入できる（33.4（尾） \div 1504.5円/kg \div 0.045kg \div 1,000, 95%信頼区間下限:31.4（尾） \div 1413.9円/kg \div 0.045kg \div 1,000, 95%信頼区間上限:35.4（尾） \div 1595.2円/kg \div 0.045kg \div 1,000）。平均価格（1504.5円）に基づくと1尾あたりの価格は45.0円（1504.5円/33.4）である。前述のように、1尾釣れるためには1.5尾放流すれば良いので、放流成魚費は67.5円（45.0円 \times 1.5）である（表5）。この価格は前述の放流稚魚費（90.8円）より低く、2つの放流卵費（54.3円, 83.0円）の間である。ただし、放流稚魚費と放流卵費はそれぞれ稚魚放流由来魚と発眼卵放流由来魚が0歳秋に1尾残存するための価格であり、両由来魚ともに個体数は0歳秋から漁獲対象サイズの全長15cmに達するまでに減少することから、全長15cmの時点で1尾残存するためには0歳秋までより多く放流する必要がある。そのため、全長15cmの魚が1尾残存するために必要な放流稚魚費と放流卵費は0歳秋までの価格より高くなる。また、前述のように残存した魚のうち釣られた魚の割合が釣獲率のため成魚放流由来魚の釣獲率は残存率の過小評価値であり、放流成魚費は釣獲率に基づいて算定されたので、残存率をベースとした放流成魚費を求めるとその値は今回の算定値より低くなる。これらのことから、全長15cmの魚が1尾残存するために必要な放流魚や放流卵の費用は稚魚放流、発眼卵放流、成魚放流の中では成魚放流で最も低いと考えられる。

ただし、放流した成魚は放流後数日以内にその多くが釣られるため（立川ら1969、鈴木・大渡1974、飯野ら1988、徳原ら2009、徳原ら2010a）、放流の効果はそれほど長く続かない。また、放流する養殖成魚は鱗が擦り切れていたり無かったり、眼がつぶれていたり白濁していることがある。また、過度に太っていたり吻部や胴部、尾部が曲がっていたりするなど、容姿が稚魚放流由来魚や発眼卵放流由来魚より劣っているため釣り人に不評であることがある。また、成魚放流による自然河川の釣り堀化やそれを望む釣り人を増加させることの是非についても検討する必要がある。

親魚放流の評価 親魚放流は産卵期直前や産卵期間中に行う成魚の放流であり、放流した魚に自発的に産卵させて資源を増殖するという方法である。稚魚放流、発眼卵放流と同様に、漁協が課せられた増殖義務の履行方法のひとつである。

徳原ら（2010b）は養殖アマゴの雌親魚14尾（平均±標準偏差:尾又長343±12mm, 体重556.6±72.2g）と雄親魚28尾（尾又長250±34mm, 体重186.3±76.8g）を放流した。そしてその後の調査で、16床の産卵床を確認し、うち調査ができた15床から4,381粒の産着卵を確認した。

親魚放流の定量的なデータはこの一例のみである。デー

タ数が増えたら放流親魚費（1尾の魚を増殖するのに必要な放流用の親魚の価格）を計算し、放流稚魚費や放流卵費、放流成魚費と比較するのが良い。

自然繁殖の促進、在来個体群の保全 ヤマメ・アマゴの成長は個体によって異なる。また、河川によっても異なり、同じ河川であっても標高によって異なり、年によっても異なるであろう。そのため、全長15cmに達する時期は一概に言えない。ただし、著者らの経験から全長15cmに達する時期は成長の早い河川で0歳夏であり、遅い河川で2歳であるが、多くの河川で1歳の春から初夏である。図3のa, b, cでもおよそその時期である。残存率の分析の結果（図1b）、0歳初夏から全長15cmに達すると想定される1歳初夏にかけての1日当たりの残存率の平均値に稚魚放流由来魚と自然繁殖由来魚の間で有意に近い差が認められ（ $p=0.054$ ）、両由来魚の残存率の平均値の比率は1.76であった。このことから、稚魚放流より自然繁殖の方が尾数の増殖効果が1.76倍高いと想定される。自然繁殖の促進方法には、採捕規制や生息場所・産卵場所とその周辺環境の保全・改善・造成がある（中村・飯田2009）。採捕規制である禁止期間（いわゆる禁漁期）の設定、禁止区域（いわゆる禁漁区）の設定、全長制限、漁具漁法の制限・禁止については、その多くがすでに都道府県の漁業調整規則や漁協の漁業権行使規則、遊漁規則に規定されて実施されているが、それらの規制をさらに充実・強化することで自然繁殖を促進できる。採捕規制の監視の強化という方法もある。採捕規制の内容を記した看板を設置して周知を強化するという方法もある（水産庁2021）。また、採捕規制には、尾数制限や人数制限という方法もある。尾数制限や人数制限はヤマメ・アマゴではあまりみられないが、漁業調整規則や漁業権行使規則、遊漁規則への規定を検討するのが良い。また、禁止区域・禁止期間の設定については、例えばいくつかの支流を毎年ひとつずつ禁漁にし、数年を経た支流や資源が増加した支流を順次解禁する輪番禁漁という方法もある（久保田ら2010）。尾数制限には、釣って良い尾数や持ち帰って良い尾数を制限するという方法の他に、キャッチ・アンド・リリース、すなわち釣っても良いが、釣った魚を持ち帰らずに川に戻すという方法もある。ヤマメ・アマゴの産卵場所の造成方法はすでに開発され（水産庁・中央水産研究所2008a, 水産庁・中央水産研究所2008b）、造成を行っている漁協がある。産卵場所の造成費用を義務増殖の経費に換算する方法も示されている（水産庁・中央水産研究所2010）。生息場所の保全・改善・造成の対象は例えば淵や瀬、隠れ家、水量、水質であり、周辺環境の保全・改善・造成の対象は例えば河畔林や河川の集水域の森林である。隠れ家の保全・改善・造成については山下ら（2016）、寺田ら（2020）が研究に取り組み、方法の一部がそれらの文献と水産庁（2018b）に示されている。ただし、増殖効果や費用対効果は算定されていない。隠れ家以外の生息場所や周辺環境の保全・改善・造成については、方法は確立されておらず、増殖効果や費用対効

果も算定されていない。また、放流についても、本研究で算定したのは放流する魚や卵の費用であり、放流にかかる諸費用を算定していない。そのため、現時点では増殖方法の間での総費用の比較はできない。しかし、前述のように自然繁殖由来魚の残存率は稚魚放流由来魚より高いと想定されるので、自然繁殖の促進は重要であると考えられる。また、ヤマメ・アマゴの放流では、自然繁殖由来魚より大型の養殖稚魚が放流されることが多い。放流時点で養殖稚魚の方が養魚場で多くの餌を与えて飼育され、サイズが大きいためである。イワナでは、放流された大型養殖稚魚が放流先の河川に生息する小型の自然繁殖由来魚を生態的に圧迫して個体数の減少や成長の抑制を引き起こす（Nakamura and Doi 2014）ので、ヤマメ・アマゴについても自然繁殖由来魚の残存や成長を悪化させないように大型の養殖稚魚を放流しないという選択もある。

ヤマメ・アマゴ等の在来のマス類には、遊漁や漁業の価値の他に、進化遺産、生態的機能、社会経済益等の価値がある（Fausch *et al.* 2009）。一般に放流用のヤマメ・アマゴは養殖場で継代飼育されてきた魚やその卵である。それらは放流先の河川に生息している魚とは生態や遺伝子に違いがあり（永田・山本2004）、養殖魚やその卵を放流することは在来個体群、すなわち地域遺伝子の保全上問題がある。すでに放流が十分に行われて在来個体群と放流魚の交雑が進んだ水域では放流を行っても地域遺伝子への影響は小さいかもしれないが、放流が未実施で在来個体群が生息しているあるいは放流の数量や回数が少ない水域については放流を行わないという選択も必要である。

まとめ

本研究の結果に基づくと、漁協等は放流する魚や卵の費用の点から稚魚放流より発眼卵放流、発眼卵放流より成魚放流を行おうとするであろう。しかし、「効果的な増殖方法の検討」の項で述べたように放流には方法ごとに魚や卵の費用の他に諸費用が必要であり、短所もある。また、増殖には放流以外の方法もあるので、漁協等はそれらも採用して放流に偏重せずに増殖を行うのが良いと考えられる。また、放流を含む増殖方法ごとの増殖効果・費用対効果は河川によって異なる可能性があるため、漁協等は対象とする河川について様々な増殖方法を試すなどして、より効果の高い方法を見つけることも必要である。

また、都道府県や内水面漁場管理委員会、国は次のことを実施あるいは検討するのが良いと考えられる。①ヤマメ・アマゴの増殖活動を行っている機関や団体で最も多いのは漁協であると考えられるので、漁協の指導監督を担う都道府県は上記のような方針で漁協を指導する。②内水面漁場管理委員会は放流に偏重しない義務増殖の内容を漁協に示す。③漁協による効果的な増殖方法の探索のための調査活動が促進されるように、都道府県は漁協に対して技術的指導や金銭的支援を行う。④都道府県と国は、増殖方法

を探索する漁協の調査活動を増殖義務の履行方法のひとつとして認める、あるいは調査活動を行う漁協については調査活動の費用を減じた額の義務増殖の内容を漁協に示すという方法を検討する。⑤以上のことが実現するように、国は都道府県に対して技術的助言や財政的支援を行う。

なお、「残存率」の項で述べたように、本研究で分析に使用した残存率の中には調査年が同じで同じ河川の異なる区間のデータがあり、それらのデータは厳密には互いに独立していない。本研究ではデータ数をなるべく多くするため、それらのデータを分析に使用したが、今後さらに既存のデータや新規のデータを収集して付表1に加え、今回分析に使用した互いに独立していないデータについては平均値を求めるとしてそれを代表データにするのが良いと考えられる。また、本研究ではヤマメとアマゴで残存率に有意差が認められなかったため両亜種を一緒に扱ったが、データ数が増えて亜種間で残存率に有意差が認められた場合は亜種を分けて分析するのが良い。これらのことは成長・肥満度、分散の分析についても同様である。また、本研究ではデータ収集河川区間の先住魚種は統一されておらず、その生息量も不明である。特に発眼卵放流由来魚については、自然繁殖由来魚との判別が困難なためヤマメ・アマゴの未生息域や先住のヤマメ・アマゴを除去した未生息域に近い水域で行った調査では先住魚との相互作用がなくて残存率が過大評価された可能性がある。また、ヤマメ・アマゴより上流に生息するイワナの単独生息域で行った調査では、イワナによる被食やヤマメ・アマゴにとって水温が低い、河床勾配が大きいという条件のために、残存率が過小評価された可能性がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所内水面研究部（当時）、岐阜県河川環境研究所（当時）、滋賀県水産試験場の職員の方々にお世話になった。ここに感謝の意を表します。また、本研究の元となる地域の状況を踏まえた効果的な増殖手法開発事業と放流用種苗育成手法開発事業を実施し、報告書のデータや図表等の使用を承諾してくださった水産庁に感謝します。

文 献

- Aprahamian MW, Smith KM, McGinnity P, McKelvey S, Taylor J (2003) Restocking of salmonids-opportunities and limitations. *Fish. Res.*, **62**, 211-227.
- Borgström R, Skaala Ø, Aastveit AH (2002) High mortality in introduced brown trout depressed potential gene flow to a wild population. *J. Fish Biol.*, **61**, 1085-1097.
- Brown C, Laland K (2001) Social learning and life skills training for hatchery reared fish. *J. Fish Biol.*, **59**, 471-493.
- Chapman DG (1951) Some properties of hypergeometric distribution with application to zoological census. *Univ. Calif. Publ. Stat.*, **1**, 131-160.
- Egglishaw HJ, Slackley PE. (1980) Survival and growth of salmon, *Salmo salar* (L.), planted in a Scottish stream. *J. Fish Biol.*, **16**, 565-584.
- Fausch KD, Rieman BE, Dunham JB, Young MK, Peterson DP (2009) Invasion versus isolation: trade-offs in managing native salmonids with barriers to upstream movement. *Cons. Biol.*, **23**, 859-870.
- 岐阜県河川環境研究所 (2013) ヤマメ・アマゴの放流効果の検証調査。「地域の状況を踏まえた効果的な増殖手法開発事業研究報告書」, 水産庁, 5-38.
- Hume JM, Parkinson EA (1987) Effect of stocking density on the survival, growth and dispersal of steelhead trout fry (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **44**, 271-281.
- 飯野哲也・田中繁雄・田中深貴男 (1988) 入間川における放流イワナの再捕調査. 埼玉水試研報, **47**, 1-4.
- 岸 大弼・徳原哲也 (2017) ヤマメ稚魚放流個体および発眼卵放流個体の残存状況と費用対効果の比較. 岐阜水研研報, **62**, 1-7.
- Kitada S (2020) Lessons from Japan marine stock enhancement and sea ranching programmes over 100 years. *Review Aquacult.*, **12**, 1944-1969.
- 久保田仁志・酒井忠幸・土居隆秀 (2010) 溪流魚の資源増殖に対する輪番禁漁の効果. 日水誌, **76**, 1048-1055.
- McNeil WJ (1991) Expansion of cultured Pacific salmon into marine ecosystems. *Aquacult.*, **98**, 173-183.
- Mortensen E (1977) The population dynamics of young trout (*Salmo trutta* L.) in a Danish brook. *J. Fish Biol.*, **10**, 23-33.
- 長野県 (2019) 第43回全国養鱒協議会要録. 長野県水産試験場, 139 p.
- 永田光博・山本俊昭 (2004) 第6章 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」(前川光司編), 文一総合出版, 東京, pp. 213-241.
- 中村智幸・飯田 遥 (2009) 守る・増やす溪流魚 イワナとヤマメの保全・増殖・釣り場作り. 農山漁村文化協会, 東京, 134 p.
- Nakamura T, Doi T (2014) Do stocked hatchery-reared juveniles ecologically suppress wild juveniles in white-spotted charr? *J. Fish Biol.*, **84**, 1289-1299.
- 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 (2019) 日本における海面と内水面の釣り人数および内水面の魚種別の釣り人数. 日本水産学会誌, **85**, 398-405.
- 中村智幸 (2020) 日本における海面, 内水面および内水面の魚種別の潜在釣り人数. 日本水産学会誌, **86**, 214-220.
- Nakano S, Nagoshi M (1985) Density regulation and growth of a redspot masu-trout, *Oncorhynchus rhodurus*, in a mountain stream. *Physiol. Ecol.*, **22**, 1-16.

- Noemi C, Maruxa Á, Isabel P (2013) Stocking efficiency and the effects of diet preconditioning on the post-release adaptation of hatchery-reared juveniles of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in an Atlantic temperate stream. *Env. Biol. Fish.*, **96**, 33–44.
- 農林水産省大臣官房統計部 (2020) 2018年漁業センサス第7巻 内水面漁業に関する統計. 375 p.
- Rhodes JS, Quinn TP (1999) Comparative performance of genetically similar hatchery and naturally reared juvenile coho salmon in streams. *North Am. J. Fish. Manag.*, **19**, 670–677.
- 滋賀県水産試験場 (2013) アマゴを対象とした稚魚放流と自然繁殖の増殖効果の比較. 「地域の状況を踏まえた効果的な増殖手法開発事業研究報告書」, 水産庁, 39–61.
- 滋賀県水産試験場 (2018) 2. 溪流魚の放流用種苗育成手法の開発にかかる調査研究 (3-2) アマゴ等についての調査研究. 「放流用種苗育成手法開発事業研究成果報告書」, 水産庁, 124–142.
- Suboski MD, Templeton JJ (1989) Life skills training for hatchery fish: social learning and survival. *Fish. Res.*, **7**, 343–352.
- 水産庁・水産総合研究センター中央水産研究所 (2008a) 溪流魚の人工産卵場のつくり方 (パンフレット). <https://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/pdf/jinko6.pdf>, 2021年5月7日.
- 水産庁・水産総合研究センター中央水産研究所 (2008b) 溪流魚の人工産卵場の効果的な造成方法 (付録) 発眼卵の放流方法 (映像ソフト).
- 水産庁・水産総合研究センター中央水産研究所 (2010) 溪流魚, アユ, コイ・フナ, ウグイ, オイカワの人工産卵床の増殖指針 (パンフレット). <https://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/pdf/zoushoku7.pdf>, 2021年5月7日.
- 水産庁 (2013) 地域の状況を踏まえた効果的な増殖手法開発事業研究報告書. 170 p.
- 水産庁 (2018a) 放流用種苗育成手法開発事業研究成果報告書. 201 p.
- 水産庁 (2018b) 溪流魚の簡易魚道の作り方, 隠れ家のまもり方・作り方 (パンフレット). <https://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/pdf/naisuimeninfo-15.pdf>, 2021年5月7日.
- 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 (パンフレット). <https://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/attach/pdf/naisuimeninfo-31.pdf>, 2021年5月7日.
- 水産研究・教育機構 (2020) 平成30年度栽培漁業・海面養殖種苗の生産・入手・放流実績 (全国) ~総括編・動向編~. 108 p.
- 鈴木 栄・大渡 齊 (1974) ヤマメの河川放流効果試験 (第Ⅲ報) - ヤマメとニジマスと同時に放流した時の釣獲による回収率の違い -. 埼玉水試研報, **33**, 47–51.
- 鈴野藤夫 (1993) 山漁 溪流魚と人の自然誌. 農山漁村文化協会, 東京, 552 p.
- 橋 礼吉 (2006) 手取川源流域におけるマス・イワナ漁について-奥山人の溪流資源の利用例-その2. 石川県白山自然保護センター研報, **33**, 47–55.
- 立川 互・本荘鉄夫・岡崎 稔・森川 進・熊崎隆夫 (1969) 在来マス類の放流に関する研究-2 河川に放流した養殖アマゴの釣りによる短期回収について. 岐阜水試研報, **16**, 63–69.
- 高木優也・網川孝俊・久保田仁志 (2015) 小溪流における長期資源モニタリング調査Ⅳ-イワナ・ヤマメの全長と体重の換算式-. 栃木水試研報, **58**, 45.
- 寺田佳祐・中村智幸・横田賢史 (2020) 人工河川の淵におけるイワナのカバーの物理的条件に関する実験的研究. 日水誌, **86**, 460–465.
- 戸門秀雄 (2013) 職漁師伝 溪流に生きた最後の名人たち. 農山漁村文化協会, 東京, 326 p.
- 徳原哲也・桑田知宣・苅谷哲治・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・パールの違いが釣獲効率に与える影響. 水産増殖, **57**, 423–428.
- 徳原哲也・岸 大弼・熊崎隆夫・苅谷哲治 (2010a) 成魚放流されたヤマメの釣獲特性. 岐阜河環研報, **55**, 1–4.
- 徳原哲也・岸 大弼・原 徹・熊崎 博 (2010b) 河川放流した養殖アマゴ成熟親魚の産卵床立地条件と卵の発眼率. 日水誌, **76**, 370–374.
- White GC, Anderson DR, Burnham KP, Otis DL (1982) Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations. Los Alamos National Laboratory LA-8787-NERP, Los Alamos, 235 p.
- 山下耕憲・中村智幸・鈴木直樹・櫻本和美 (2016) 淵におけるイワナのカバー選択性解明の試み. 水産技術, **8**, 73–80.
- 全国養鱒技術協議会事務局 (2020) 第44回全国養鱒協議会要録. 長野県水産試験場, 122 p.
- 全国養鱒技術協議会事務局 (2021) 令和2年度第44回全国養鱒協議会資料集. 長野県水産試験場, 111 p.
- 増養殖研究所内水面研究部 (2013) マス類の効果的な増殖手法の開発. 「地域の状況を踏まえた効果的な増殖手法開発事業研究報告書」, 水産庁, 62–86.

付表 1. 残存率の分析に使用した水産庁事業の報告書 (2013, 2018a) に記載されたヤマメ・アマゴの残存率データ 1

系統	期間	都道府県	水系	河川・区間	対象亜種	標識放流日	標識放流時全長 (mm)	再捕日	経過日数 (日)	残存率 (%)	1日当たり残存率 (%/日)	報告書の中の出典		
稚魚放流由来魚	0歳初夏標識放流・0歳秋再捕	栃木県	利根川	荒井川上流区	ヤマメ	2010年6月 4日	67.8	2010年10月 1日	119	43.3	0.3639	増養殖研究所内水面研究部 (2013)		
						2010年6月21日	52	2010年10月16日	117	22.2	0.1897	増養殖研究所内水面研究部 (2013)		
		栃木県	利根川	荒井下流区	ヤマメ	2011年6月17日	74.4	2011年10月11日	116	22.4	0.1931	増養殖研究所内水面研究部 (2013)		
						2011年6月24日	65.4	2011年10月19日	117	14.1	0.1205	増養殖研究所内水面研究部 (2013)		
		滋賀県	0歳初夏標識放流・1歳初夏再捕	滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2011年6月30日	85	2011年10月19日	111	27.1	0.2441	滋賀県水産試験場 (2013)
								2011年6月30日	85	2011年10月17日	109	29.1	0.2670	滋賀県水産試験場 (2013)
				滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2012年6月30日	83	2012年10月29日	121	11.7	0.0967	滋賀県水産試験場 (2013)
								2012年6月30日	83	2012年10月24日	116	2.3	0.0198	滋賀県水産試験場 (2013)
				滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2015年6月23日	81	2015年10月23日	122	25.0	0.2049	滋賀県水産試験場 (2018)
								2016年6月15日	81.5	2016年10月26日	133	26.2	0.1970	滋賀県水産試験場 (2018)
				滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2016年6月15日	80.2	2016年10月25日	132	21.7	0.1644	滋賀県水産試験場 (2018)
								2017年6月26日	82.2	2017年11月 6日	133	2.9	0.0218	滋賀県水産試験場 (2018)
				滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2017年6月27日	81.3	2017年11月 8日	134	5.0	0.0373	滋賀県水産試験場 (2018)
								2017年6月27日	80.8	2017年11月 7日	133	5.0	0.0376	滋賀県水産試験場 (2018)
				滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2010年6月 4日	67.8	2011年 6月14日	375	8.2	0.0219	増養殖研究所内水面研究部 (2013)
								2010年6月21日	52	2011年 6月23日	367	8.0	0.0218	増養殖研究所内水面研究部 (2013)
				滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2011年6月30日	85	2012年 6月 5日	341	8.0	0.0235	滋賀県水産試験場 (2013)
								2011年6月30日	85	2012年 6月 4日	340	10.9	0.0321	滋賀県水産試験場 (2013)
岐阜県	0歳初夏標識放流・0歳秋再捕			滋賀県	神通川	山田川	ヤマメ	2011年7月15日	85.5	2012年 8月 8日	390	3.8	0.0097	岐阜県河川環境研究所 (2013)
								2011年7月26日	87	2012年 8月 1日	372	12.5	0.0336	滋賀県水産試験場 (2013)
滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	須亦谷	アマゴ	2015年6月23日	81	2016年 6月 6日	349	3.3	0.0095	滋賀県水産試験場 (2018)		
						2016年6月15日	81.5	2017年 6月14日	364	28.3	0.0777	滋賀県水産試験場 (2018)		
滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	犬上川区間6	アマゴ	2016年6月15日	80.2	2017年 6月13日	363	1.7	0.0047	滋賀県水産試験場 (2018)		
						2016年6月15日	52	2010年10月16日	123	38.3	0.3114	増養殖研究所内水面研究部 (2013)		
栃木県	0歳初夏標識放流・0歳秋再捕	滋賀県	利根川	キリズミ沢下流区	ヤマメ	2010年6月15日	68.7	2011年11月 4日	163	70.0	0.4294	岐阜県河川環境研究所 (2013)		
						2011年5月25日	56	2011年11月19日	165	100	0.6061	岐阜県河川環境研究所 (2013)		
岐阜県	0歳初夏標識放流・0歳秋再捕	滋賀県	神通川	山口谷川	ヤマメ	2011年6月 7日	56.5	2011年11月13日	158	57.1	0.3614	岐阜県河川環境研究所 (2013)		
						2011年6月 8日	68.8	2011年10月13日	114	76.8	0.6737	増養殖研究所内水面研究部 (2013)		
栃木県	0歳初夏標識放流・0歳秋再捕	滋賀県	利根川	御沢川	ヤマメ	2011年6月21日	55.4	2011年10月19日	118	9.8	0.0831	増養殖研究所内水面研究部 (2013)		
						2011年6月23日	76.4	2011年11月26日	150	90.9	0.6060	岐阜県河川環境研究所 (2013)		
岐阜県	0歳初夏標識放流・0歳秋再捕	滋賀県	神通川	山田川	ヤマメ	2011年6月29日	68.7	2012年 6月 5日	377	3.0	0.0080	岐阜県河川環境研究所 (2013)		
						2011年5月25日	56	2012年 5月23日	351	1.0	0.0028	岐阜県河川環境研究所 (2013)		
岐阜県	0歳初夏標識放流・0歳秋再捕	滋賀県	神通川	山口谷川	ヤマメ	2011年6月 7日	56.5	2012年 6月 1日	359	2.5	0.0070	岐阜県河川環境研究所 (2013)		
						2011年6月 8日	76.4	2012年 6月 8日	345	2.0	0.0058	岐阜県河川環境研究所 (2013)		

付表 1. 残存率の分析に使用した水産庁事業の報告書 (2013, 2018a) に記載されたヤマメ・アマゴの残存率データ. 2

系統	期間	都道府県	水系	河川・区間	対象垂種	標識放流日	標識放流時全長 (mm)	再捕日	経過日数 (日)	残存率 (%)	1日当たり残存率 (%/日)	報告書中の出典
自然繁殖由来魚	0歳初夏標識放流・ 0歳秋再捕	栃木県	利根川	荒井川下流区	ヤマメ	2010年6月 1日	67.8	2010年10月 6日	127	83.3	0.6559	増養殖研究所内水面研究部(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2010年6月 5日	75	2010年10月22日	139	41.7	0.3000	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2010年6月 5日	72	2010年10月20日	137	73.7	0.5380	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間7	アマゴ	2010年6月 5日	79	2010年10月20日	137	30.8	0.2248	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間2	アマゴ	2010年6月 6日	71	2010年10月28日	144	50.0	0.3472	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2010年6月 9日	71	2010年10月25日	138	22.2	0.1609	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2010年6月 9日	80	2010年10月22日	135	45.8	0.3393	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間7	アマゴ	2011年6月 7日	79	2011年10月17日	132	50.0	0.3788	滋賀県水産試験場(2013)
		栃木県	利根川	荒井川上流区	ヤマメ	2011年6月14日	74.5	2011年10月24日	132	44.2	0.3348	増養殖研究所内水面研究部(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2011年6月15日	77	2011年10月17日	124	69.2	0.5581	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2011年6月16日	84	2011年10月19日	125	61.3	0.4904	滋賀県水産試験場(2013)
		栃木県	利根川	御沢川	ヤマメ	2011年6月21日	64.4	2011年10月13日	114	96.8	0.8491	増養殖研究所内水面研究部(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2011年6月27日	85	2011年10月18日	113	25.0	0.2212	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2011年6月29日	91	2011年10月18日	111	56.0	0.5045	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間2	アマゴ	2011年6月30日	85	2011年10月18日	110	22.7	0.2064	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	須赤谷	アマゴ	2011年7月12日	89	2011年11月 2日	113	39.2	0.3469	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2012年6月 4日	79	2012年10月26日	144	63.2	0.4389	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2012年6月 4日	82	2012年10月24日	142	63.9	0.4500	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2012年6月 5日	79	2012年10月29日	146	61.1	0.4185	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2012年6月 8日	78	2012年10月26日	140	53.1	0.3793	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間7	アマゴ	2012年6月15日	85	2012年10月22日	129	48.1	0.3729	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間2	アマゴ	2012年6月29日	92	2012年10月31日	124	18.2	0.1468	滋賀県水産試験場(2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2013年6月13日	70	2013年10月18日	127	47.1	0.3709	滋賀県水産試験場(2018)
		滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2013年6月16日	76	2013年11月 1日	138	37.7	0.2732	滋賀県水産試験場(2018)
		滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2014年6月12日	73.8	2014年10月17日	127	61.3	0.4827	滋賀県水産試験場(2018)
		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2014年6月12日	66.5	2014年10月17日	127	63.6	0.5008	滋賀県水産試験場(2018)
		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2015年6月 5日	84.3	2015年10月23日	140	53.1	0.3793	滋賀県水産試験場(2018)
滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2015年6月 9日	80.6	2015年10月26日	139	70.3	0.5058	滋賀県水産試験場(2018)		
滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2015年6月10日	80.4	2015年11月 6日	149	70.2	0.4711	滋賀県水産試験場(2018)		
滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2016年6月 6日	81.5	2016年10月25日	141	63.7	0.4518	滋賀県水産試験場(2018)		
滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2016年6月 7日	80.3	2016年10月26日	141	44.9	0.3184	滋賀県水産試験場(2018)		
滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2017年6月 8日	72	2017年11月 6日	151	19.9	0.1318	滋賀県水産試験場(2018)		
滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2017年6月13日	75.8	2017年11月 7日	147	29.8	0.2027	滋賀県水産試験場(2018)		
滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2017年6月14日	76.2	2017年11月 8日	147	36.4	0.2476	滋賀県水産試験場(2018)		

付表 1. 残存率の分析に使用した水産庁事業の報告書 (2013, 2018a) に記載されたヤマメ・アマゴの残存率データ 3

系統	期間	都道府県	水系	河川・区間	対象亜種	標識放流日	標識放流時全長 (mm)	再捕日	経過日数 (日)	残存率 (%)	1日当たり残存率 (%/日)	報告書の中の出典				
0歳初夏標識放流・ 1歳初夏再捕		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2010年6月5日	75	2011年6月27日	387	29.2	0.0755	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間6	アマゴ	2010年6月5日	72	2011年6月15日	375	42.1	0.1123	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間7	アマゴ	2010年6月5日	79	2011年6月7日	367	27.0	0.0736	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間2	アマゴ	2010年6月6日	71	2011年6月30日	389	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間3	アマゴ	2010年6月9日	71	2011年6月16日	372	30.6	0.0823	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間4	アマゴ	2010年6月9日	80	2011年6月29日	385	13.3	0.0345	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間7	アマゴ	2011年6月7日	79	2012年6月15日	374	19.6	0.0524	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間6	アマゴ	2011年6月15日	77	2012年6月4日	355	15.4	0.0434	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間3	アマゴ	2011年6月16日	84	2012年6月5日	355	9.9	0.0279	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間5	アマゴ	2011年6月27日	85	2012年6月4日	343	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間4	アマゴ	2011年6月29日	91	2012年6月8日	345	22.0	0.0638	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間2	アマゴ	2011年6月30日	85	2012年6月29日	365	13.6	0.0373	滋賀県水産試験場 (2013)				
				須亦谷	アマゴ	2011年7月12日	89	2012年8月1日	386	29.1	0.0754	滋賀県水産試験場 (2013)				
				西俣谷	アマゴ	2011年8月2日	97	2012年8月2日	366	16.6	0.0454	滋賀県水産試験場 (2013)				
				犬上川区間6	アマゴ	2015年6月5日	84.3	2016年6月6日	367	17.8	0.0485	滋賀県水産試験場 (2018)				
				犬上川区間6	アマゴ	2016年6月6日	81.5	2017年6月13日	372	6.8	0.0183	滋賀県水産試験場 (2018)				
				犬上川区間4	アマゴ	2016年6月7日	80.3	2017年6月14日	372	26.0	0.0699	滋賀県水産試験場 (2018)				
				利根川 荒井川下流区	ヤマメ	2010年6月1日	67.8	2011年8月17日	442	26.0	0.0588	増養殖研究所内水面研究部 (2013)				
				0歳初夏標識放流・ 1歳初夏再捕		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2010年6月5日	75	2011年8月23日	444	9.7	0.0218	滋賀県水産試験場 (2013)
								犬上川区間6	アマゴ	2010年6月5日	72	2011年8月22日	443	15.8	0.0357	滋賀県水産試験場 (2013)
犬上川区間7	アマゴ	2010年6月5日	79					2011年8月19日	440	26.4	0.0600	滋賀県水産試験場 (2013)				
犬上川区間2	アマゴ	2010年6月6日	71					2011年8月23日	443	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)				
犬上川区間3	アマゴ	2010年6月9日	71					2011年8月22日	439	15.3	0.0349	滋賀県水産試験場 (2013)				
犬上川区間4	アマゴ	2010年6月9日	80					2011年8月22日	439	21.7	0.0494	滋賀県水産試験場 (2013)				
犬上川区間7	アマゴ	2011年6月7日	79					2012年8月22日	442	15.2	0.0344	滋賀県水産試験場 (2013)				
犬上川区間6	アマゴ	2011年6月15日	77					2012年8月21日	433	3.8	0.0088	滋賀県水産試験場 (2013)				
犬上川区間3	アマゴ	2011年6月16日	84					2012年8月23日	434	6.3	0.0145	滋賀県水産試験場 (2013)				
犬上川区間5	アマゴ	2011年6月27日	85					2012年8月21日	421	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)				
滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2011年6月29日	91	2012年8月24日	422	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)						
滋賀県	淀川	犬上川区間2	アマゴ	2011年6月30日	85	2012年8月24日	421	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)						

付表 1. 残存率の分析に使用した水産庁事業の報告書 (2013, 2018a) に記載されたヤマメ・アマゴの残存率データ 4

系統	期間	都道府県	水系	河川・区間	対象亜種	標識放流日	標識放流時全長 (mm)	再捕日	経過日数 (日)	残存率 (%)	1日当たり残存率 (%/日)	報告書の中の出典
0歳初夏標識放流・ 1歳秋再捕		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2010年6月5日	75	2011年10月18日	500	4.2	0.0084	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2010年6月5日	72	2011年10月17日	499	36.8	0.0737	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間7	アマゴ	2010年6月5日	79	2011年10月17日	499	14.5	0.0291	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間7	アマゴ	2010年6月6日	71	2011年10月18日	499	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2010年6月9日	71	2011年10月19日	497	16.0	0.0322	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2010年6月9日	80	2011年10月18日	496	20.5	0.0413	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間7	アマゴ	2011年6月7日	79	2012年10月22日	503	4.3	0.0085	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2011年6月15日	77	2012年10月24日	497	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2011年6月16日	84	2012年10月29日	501	9.9	0.0198	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2011年6月27日	85	2012年10月26日	487	5.0	0.0103	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2011年6月29日	91	2012年10月26日	485	2.0	0.0041	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間2	アマゴ	2011年6月30日	85	2012年10月31日	489	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	須氷谷	アマゴ	2011年7月12日	89	2012年11月22日	499	2.5	0.0050	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2010年6月5日	75	2012年6月4日	730	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
0歳初夏標識放流・ 2歳初夏再捕		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2010年6月5日	72	2012年6月4日	730	5.3	0.0073	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間7	アマゴ	2010年6月5日	79	2012年6月5日	731	1.3	0.0018	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間2	アマゴ	2010年6月6日	71	2012年6月29日	754	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2010年6月9日	71	2012年6月5日	727	2.8	0.0039	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2010年6月9日	80	2012年6月8日	730	8.4	0.0115	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2010年6月5日	75	2012年8月21日	808	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2010年6月5日	72	2012年8月21日	808	5.3	0.0066	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間7	アマゴ	2010年6月5日	79	2012年8月22日	809	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間2	アマゴ	2010年6月6日	71	2012年8月24日	810	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2010年6月9日	71	2012年8月23日	806	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2010年6月9日	80	2012年8月24日	807	2.4	0.0030	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間5	アマゴ	2010年6月5日	75	2012年10月26日	874	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間6	アマゴ	2010年6月5日	72	2012年10月24日	872	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
		滋賀県	淀川	犬上川区間7	アマゴ	2010年6月5日	79	2012年10月22日	870	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)
滋賀県	淀川	犬上川区間2	アマゴ	2010年6月6日	71	2012年10月31日	878	0	0	滋賀県水産試験場 (2013)		
滋賀県	淀川	犬上川区間3	アマゴ	2010年6月9日	71	2012年10月29日	873	0.7	0.0008	滋賀県水産試験場 (2013)		
滋賀県	淀川	犬上川区間4	アマゴ	2010年6月9日	80	2012年10月26日	870	2.4	0.0028	滋賀県水産試験場 (2013)		