

## (2) 省コストふ化放流技術開発

### ① 本州日本海沿岸におけるサケ省コストふ化放流技術開発試験

執筆者 水産資源研究センター 飯田真也

#### 実施機関及び担当者

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター底魚資源部：飯田真也、藤原邦浩、八木佑太、白川北斗

富山県農林水産総合技術センター 水産研究所：野村幸司、南條暢聡

#### 【目的】

日本では、ふ化放流事業によるサケの資源管理が行われてきたが、サケの漁獲量がそれほど多くない本州では、増殖事業経費の縮減や電気・餌代の高騰などを理由にその継続が困難な地域が増えてきた。今後、サケ資源を持続的に利用していくためには、従来のふ化放流事業の継続を図りつつ、より省コストな増殖手法も導入する必要がある（飯田 2018）。

省コストな増殖手法の1つとして発眼卵放流がある。発眼卵放流とは、発眼卵を河床に埋設する増殖手法であり、卵期までは飼育するが仔魚期以降を自然界に委ねることで増殖コストを削減出来る（飯田 2018）。ただし、発眼卵放流は主にヤマメ・イワナなど内水面魚種を対象に行われてきたため、大規模な放流手法は検討されてこなかった。本課題では数十～数百万粒の大規模な発眼卵放流を行うための手法を開発し、また、発眼卵放流を導入することによるコスト削減率を確かめ、発眼卵放流の有効性を検討する。

#### 【方法】

##### 大規模な発眼卵放流手法の開発

富山県庄川（北緯 36.7258、東経 137.0356）で調査を実施した。庄川で捕獲したサケ親魚から採卵・受精し、庄川沿岸漁業協同組合連合会（以下、庄川ふ化場）が飼育する発眼卵のうち、2021年11月18～19日に採卵した5万粒（単重 0.239 g/粒、総重量 12.0 kg）を試験に用いた。発眼卵には、200 ppm のアリザリン・コンプレキソン（ALC）溶液に24時間浸漬して ALC 標識を施した。

2021年12月16日、以下①～⑥の手順で発眼卵放流を行った。

1. 三つ叉鍬を使って河床に深さ 20 cm 程度の穴を掘る（図 1 a）
2. その穴を囲うようにステンレス製の自作フレーム（縦 540 mm、横 900 mm、深さ 400 mm）を設置する（図 1 b）。
3. フレームと河床に生じた隙間を砂利で埋めて、フレーム内を完全な止水状態にする（図 1 c）
4. フレーム内の河床に発眼卵を散布する。散布密度は養魚池と同様に 12.5 千粒/m<sup>2</sup> とした。止水状態であるため、発眼卵がフレーム外に流出することはない（図 1 d）。
5. 小石を使って散布した発眼卵を埋設する。初めは手作業で砂利を並べるように埋設し、続いてザルに入れた砂利で一挙に埋設する（図 1 e）。
6. フレームを撤去して放流完了（図 1 f）。

手順①～⑥を11箇所で行い、合計5万粒を放流した。なお、放流場所の選定にあたっては、河床内の高い通水性を維持し、卵が稚魚に育つまでの生残率を低下させないように、砂・泥が多く、水深が深くて流速が遅い場所を避けた（Iida et al. 2017）。

##### 発眼卵が稚魚に育つまでの成長予測および生残率の推定

放流した発眼卵が稚魚に育つまでの生残率を把握するため、250粒の卵を収容したパイパートボックスを10個用意し、それらを放流場所に分散して埋設した。庄川の表層水温を1時間ごとに観測し（Onset Tidbit v2、Bourne MA、USA）、各日の平均値を求め、その積算水

温から発眼卵放流群の成長を予測した。

本来、積算水温が 900°C に達し、発眼卵が稚魚に育つと見込まれる時点での生残率を調べる予定であった。2022 年 2 月 14 日、護岸工事に伴う流路変更が行われ、放流場所に河川水が十分供給されない事態となり、低酸素による生残率の低下が懸念された。そこで、流路変更から 7 日後の 2 月 21 日、バイバートボックスを急遽回収し、残存した斃死個体を計数して生残率『(250-斃死個体数) / 250』を求めた。

### 発眼卵放流によるコスト削減の試算

庄川ふ化場におけるサケふ化放流事業の収入として、富山県水産漁港課や富山県鮭鱒部会によるサケ稚魚の買上費（以下、稚魚買上費）が全体の約 8 割を占める。また、放流総数（約 630 万尾）のうち約 8 割が稚魚買上費の対象となり、残りの約 2 割（約 126 万尾）が買上対象外の自主放流となる（庄川ふ化場 私信）。仮に稚魚買上費の対象群を発眼卵放流した場合、それらは買上対象から外れ、その結果、収入額は減少する。そこで、収入額を維持した上で発眼卵放流を導入することを念頭に、自主放流分を全て発眼卵放流した場合の電気・餌代の削減率を試算することを試みた。

#### 【結果及び考察】

#### 大規模な発眼卵放流手法の開発

今回開発した発眼卵放流手法（図 1）の放流効率は 1 チーム（4 名）1 時間あたり 6 万粒だった（図 2）。この効率は一般的な直まき放流（パイプを用いて河床に発眼卵を埋設、図 2 の挿絵、2018・2019 年級で実施）に比べて約 6 倍高かった。本手法を用いることにより、従来の直まき放流に比べて作業効率は大きく向上し、数十～数百万規模の発眼卵放流は十分実施可能と考えられた。

#### 発眼卵の成長予測と稚魚に育つまでの生残率

庄川の平均水温は 9～4°C の範囲で変動しながら推移し（図 3a）、バイバートボックスを回収した 2022 年 2 月 21 日時点における積算水温は 813°C だった（図 3b）。この値は、浮上時期の目安（900°C）より 87°C 低かった。ボックス回収時における庄川の平均水温は約 6°C であり、今回は浮上時期の約 15 日前（ $87/6=14.5$ ）の生残を確認したことになる。生残率の平均値および中央値はそれぞれ 88.2%、94% だった（図 4）。庄川ふ化場の同期間における生残率は 95% 程度であり、今回開発した大規模発眼卵放流手法に関する稚魚生産効率はふ化場と大差ないと考えられた。なお、斃死個体の内訳を発育段階別に見ると、斃死個体数の多かったボックス（番号 1、2、4、10）において、さいのうの吸収が進み積算水温 800°C 程度と推察される仔魚が大半を占めていた（図 5）。これら死仔魚の中には河川水の供給が不十分になったことが原因で死亡した個体が含まれている可能性があり、その場合、今回の生残率は通常に比べて過小評価された値となる。

将来的には庄川に回帰したサケ親魚に含まれる ALC 標識魚の混入率を確かめ、発眼卵放流の回帰率を推定する方針である。なお、岸・徳原（2017）はヤマメの稚魚放流群と発眼卵放流群の増殖効果（漁獲可能サイズの魚を 1 尾生産する費用）を比較し、発眼卵放流群の方が優れていたことを報告している。これを踏まえるとサケ発眼卵放流の増殖効果も低いことが期待される。

### 発眼卵放流によるコスト削減の試算

庄川では、2020 年度までウライによる一括採捕が行われ、年間約 1 万尾のサケが捕獲されていた（2016～2020 年平均）。しかし、捕獲経費を削減することを目的に、2021 年度からウライによる一括採捕が急遽中止となり、投網および釣獲による捕獲が行われるようになった。これにより、2021 年度の捕獲数は 671 尾、採卵数は 46.3 万粒とそれぞれ過去平均の 1 割以下まで減少した。この採卵数は稚魚買上数（約 500 万尾）を大きく下回っている。よ

って、自主放流となる発眼卵放流分の種卵を確保するに至らず、2021 年度においては発眼卵放流の導入によるコスト削減は出来ないと判断した。収入を維持しつつ発眼卵放流を導入してコストを削減するには、十分な種卵を確保する必要があると考えられた。

【引用文献】

Iida et al. (2017) Effect of riverbed conditions on survival of planted eyed eggs in chum salmon *Oncorhynchus keta*. Fish. Sci., 83: 291-300.

飯田真也 (2018) 省コストなサケ増殖手法「発眼卵放流」の導入を目指した研究の紹介. 日本海リサーチ&トピックス, 23: 3-5.

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. 岐阜県水産研究所研究報告, 1-7.

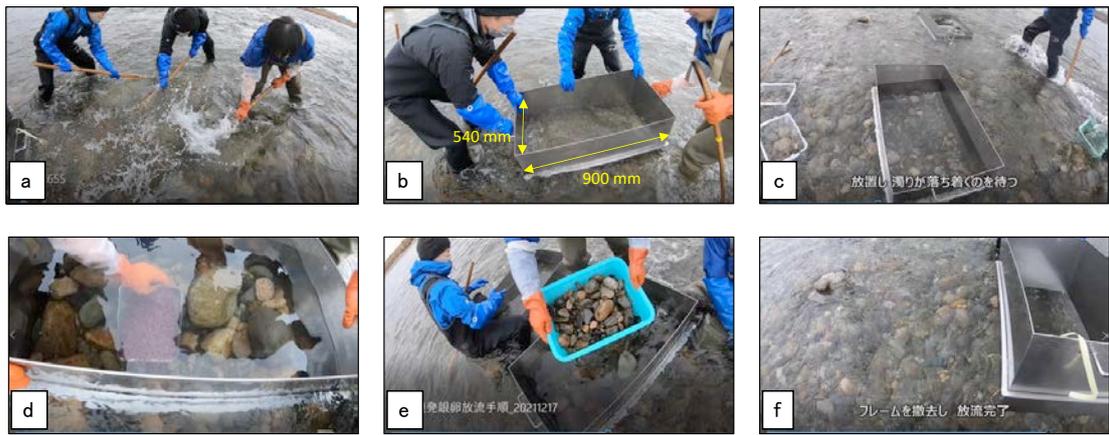


図 1. 開発した大規模産卵卵放流作業手順 a～fの詳細は本文の方法を参照のこと。

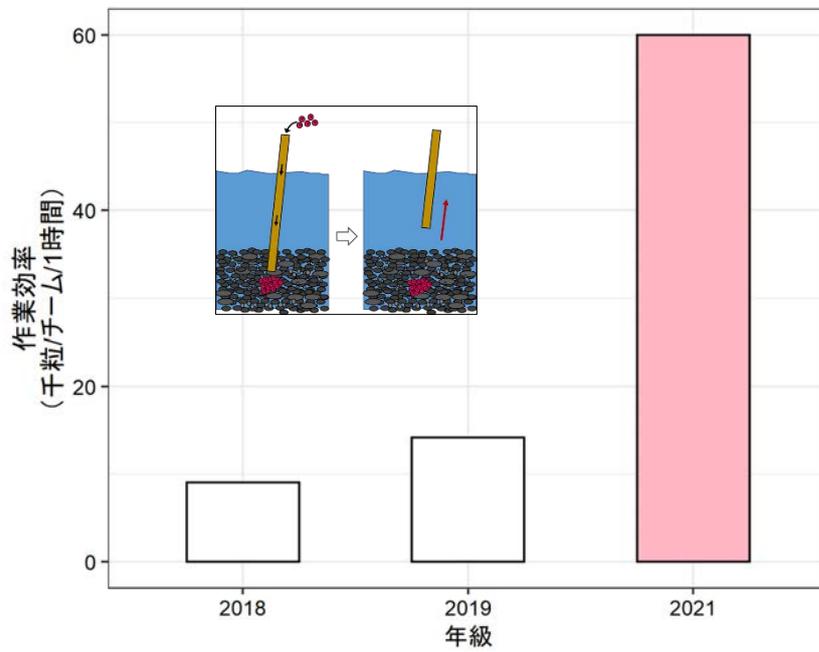


図 2. 産卵卵放流の手法別作業効率 2018～2019 年級：直まき放流、2021 年級：今回開発した大規模産卵卵放流（図 1）。

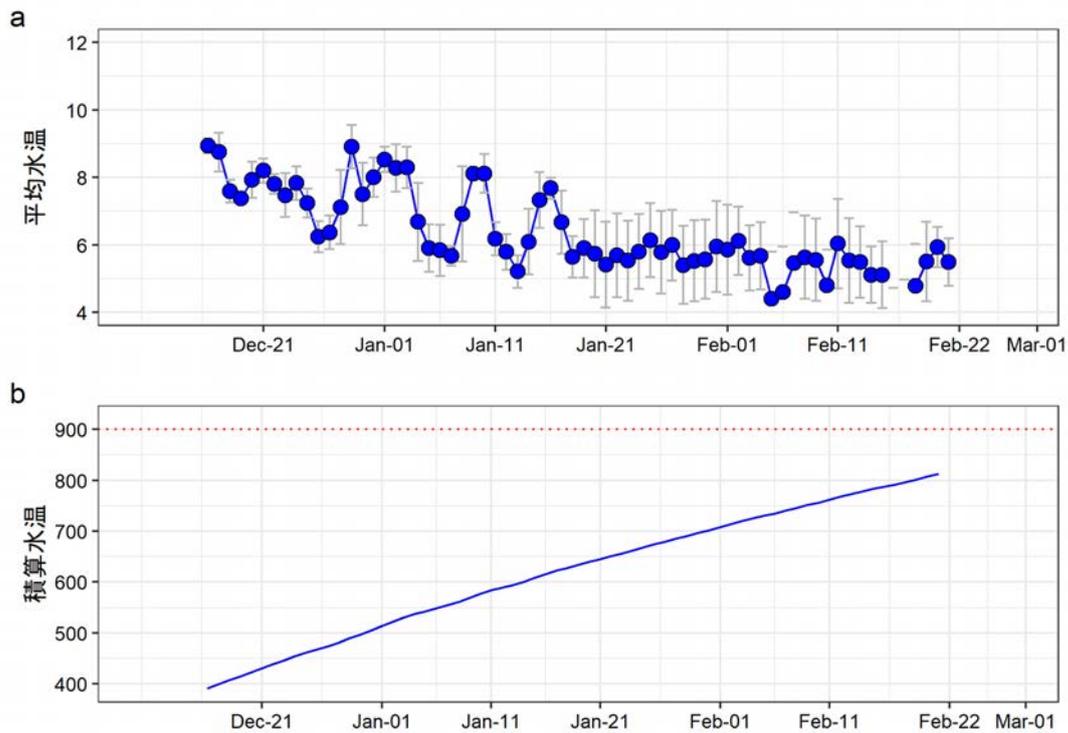


図3. 庄川本流の平均水温（±1標準偏差）(a) および発眼卵放流時（2021年12月16日、382°C）を起点とした庄川本流の積算水温（b）

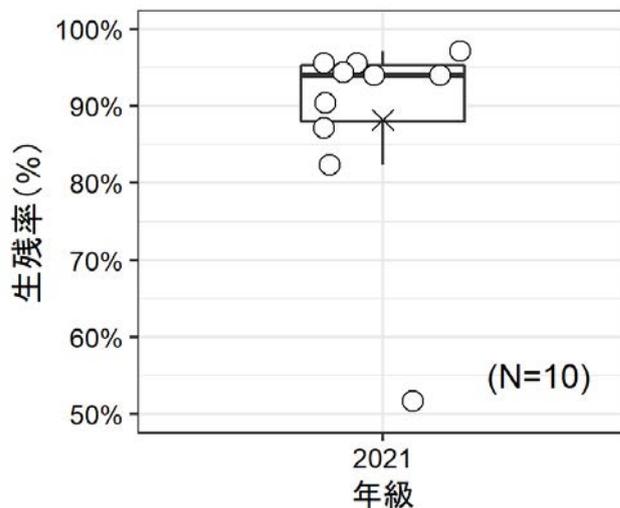


図4. 2021年級発眼卵放流群が稚魚に育つまでの生残率 白丸は観測値、バツは平均値、太横線は中央値、箱は第1、3四分位数、ひげは第1四分位数-1.5×(第3四分位数-第1四分位数)以上もしくは第3四分位数+1.5×(第3四分位数-第1四分位数)以下の範囲で、最も大きいデータ点および最も小さいデータ点を指す。

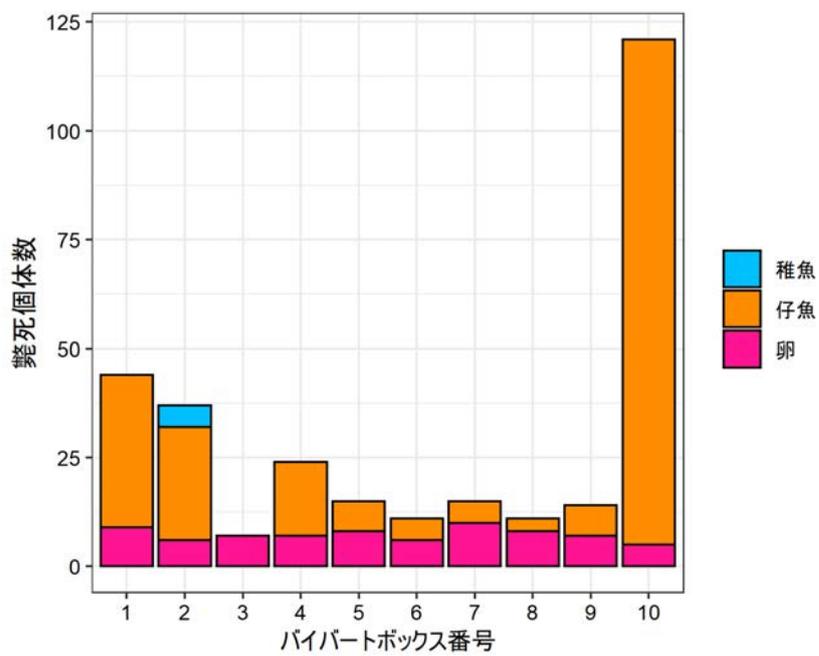


図 5. バイバートボックスに残存した発育段階別斃死個体数

## ② 本州日本海沿岸におけるサクラマス省コストふ化放流技術開発試験

執筆者（富山県農林水産総合技術センター 水産研究所 野村幸司）

### 実施機関及び担当者

富山県農林水産総合技術センター 水産研究所内水面課：野村幸司、南條暢聡、浦邊清治  
水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター底魚資源部：飯田真也

### 【目的】

富山県ではサクラマス資源維持のため、稚魚放流やスマルト放流を継続しているが、河川、海面ともに漁獲量の低迷が続いている。サクラマスは河川生活期間が長く、スマルト放流を行う場合は1年半もの期間飼育する必要があり、多大な労力とコストを要していることから、増殖手法の抜本的な見直しが必要である。このことから、ヤマメでは一定の増殖効果が確かめられた発眼卵放流（岸・徳原 2017）をサクラマスに応用することを検討する。

### 【方法】

試験には富山県農林水産総合技術センター水産研究所が養成するサクラマス親魚から得たサクラマス発眼卵を用いた。

#### (1) 2018 年埋設群

2021 年は、2018 年 11 月に神通川水系山田川に埋設放流したサクラマスの河川回帰年であるため、2021 年秋に神通川で増殖用に採捕されたサクラマス親魚 35 尾の頭部を入手した。

#### (2) 2019 年埋設群

2021 年は、2019 年 11～12 月に神通川水系黒川および井田川に埋設放流したサクラマスの降海年であるため、2021 年 3～4 月に神通川河口付近の沿海市場（四方地区）で水揚げされたサクラマススマルト 14 尾を入手し、耳石を解析した。

#### (3) 2020 年埋設群（2021 年追跡調査）

2020 年 11～12 月に神通川水系黒川に埋設放流したサクラマス発眼卵（試験区：小卵（A1H）および大卵（A2H））ならびに 2021 年 4 月に黒川に放流したサクラマス稚魚（対照区：3H））について、エレクトロフィッシャーを用いたサクラマスの捕獲により追跡調査を実施した。2021 年 3～6 月および 9 月、下流側から上流側へ移動しながら水中に通電し、浮き上がった魚類をタモ網で捕獲した。捕獲を行った流程を測定し、1 m<sup>2</sup>当たりの捕獲尾数を算出した。捕獲したサクラマスは尾叉長および体重を測定し、耳石標識の有無を確認した。

また、両試験区の放流コストの経時変化を比較した。放流コストは、流域面積を放流地点から上流側最初の堰堤～熊野川合流点までの距離×川幅（10 m と仮定）、総放流コストを種苗単価×放流尾数（各区同尾数放流と仮定して補正）＋人件費とし、総放流コスト／1 m<sup>2</sup>当たりの捕獲尾数×流域面積を 1 尾当たりの放流コストとして、月別に算出した。

#### (4) 2021 年埋設群

埋設放流地点選定のため、神通川水系黒川の図 4 に示した地点に記録式水温計を設置し、1 時間当たり 1 回水温を記録した。選定した地点において、サクラマス発眼卵（試験区：A1H）を河床に直まき放流（パイプを通じて発眼卵を河床に埋設）または容器放流（発眼卵を容器に収容し、容器ごと埋設）した。

対照区は稚魚放流群（耳石温度標識 3H）とし、試験区と同一採卵群の発眼卵を稚魚まで育成し、埋設場所付近において放流した。

## 【結果及び考察】

### (1) 2018 年埋設群

入手したサクラマス親魚（魚体測定済）の頭部から耳石を採取し、解析したところ、当該試験による放流魚の標識は確認されなかった。

### (2) 2019 年埋設群

入手したサクラマススモルトの耳石を解析した結果、4月30日に四方地区の定置網で漁獲された1尾（FL 22.0cm、BW 141.1g）が耳石温度標識 3H（2019 年級黒川対照区（2020 年3月稚魚放流群））であった。

### (3) 2020 年埋設群（2021 年追跡調査）

3～9月に黒川で実施した追跡調査において、0.07 尾/m<sup>2</sup>（前年 0.54 尾/m<sup>2</sup>）のサクラマスが捕獲された。そのうち発眼卵放流由来は 0.01 尾/m<sup>2</sup>（前年 0.10 尾/m<sup>2</sup>）、稚魚放流由来は 0.05 尾/m<sup>2</sup>（前年 0.08 尾/m<sup>2</sup>）、無標識（天然魚）は 0.01 尾/m<sup>2</sup>（前年 0.37 尾/m<sup>2</sup>）であった（表 1）。いずれも前年よりも低い値であったが、とくに無標識の低下が著しかった。割合でみると、2021 年は無標識の割合が大きく減少し、放流由来の割合が増加した（図 1）。2020 年は遡上親魚数が極めて少なく（図 2）、2020 年生まれの天然魚が大きく減少したことが推測されることから、放流由来魚が相対的に増加したことが考えられる。

捕獲魚の尾叉長は、6月時点で発眼卵放流由来（12.7cm）が稚魚放流由来（8.6cm）よりも有意に高い値であった（ $p < 0.01$ ）。4月には、放流点よりも下流側で取水される用水の排水溝で捕獲された1尾が発眼卵放流由来であり、放流後に堰堤の取水口に取り込まれる個体が一定数存在することが示唆された。捕獲された埋設由来魚の内訳は、合計で小卵9尾、大卵4尾であった。小卵は4月に1尾（排水溝）、6月に6尾（全て最上流地点）、9月に1尾捕獲された。大卵は4月に2尾、6月と9月に各1尾であった。

1尾当たりの放流コストを試算したところ、2020年、2021年とも9月時点では埋設放流が稚魚放流よりも低コストであった（図 3）。

### (4) 2021 年埋設群

2020年12月から2021年9月に記録した地点別の水温を図4に示した。水温が24℃を超えるとサクラマスの生残等に悪影響があることから（佐藤ら 2001）、埋設地点は最高水温が20℃程度であった最上流部①（前年よりも約4.5 km上流の地点）とし、2021年11月30日に12千粒、同年12月6日に35千粒の合計47千粒を埋設放流した。埋設卵数は1地点あたり約500粒とした。

また、対照区として37,000尾（埋設数47,000尾×浮上率78.5%）の稚魚（耳石温度標識3H）を令和4年4月13日に埋設地点において放流した。

2021年は前年の天然親魚数が減少しており、前年の天然親魚数が比較的多かった2020年と比較して放流由来魚の割合が高かった（図 1）。このことから、天然親魚数が大きく減少した年級については、放流等による資源の添加が天然資源減少の穴埋めの役割を果たしていると考えられる。一方、ある程度天然資源が存在する年は、放流等による効果が低く、費用対効果も低いことが考えられる。放流コストを検証した2020年および2021年は、いずれも埋設放流が稚魚放流よりも低コストであると考えられることから、天然親魚数が少ない年に発眼卵を適切な場所に埋設放流することが、省コスト、省力化に繋がると考えられる。

ただし、2021年度終了時点では、放流魚の回帰率は不明であり、今後回帰率を踏まえての検証が必要である。

## 【引用文献】

- 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. 岐阜県水産研究所研究報告 62, 1-7.  
佐藤弘和・永田光博・鷹見達也・柳井清治（2001）河畔林の被陰がサクラマスの成長に及ぼ

す影響－夏季河川水温を指標とした解析－. 日本森林学会誌 83, 22-29.

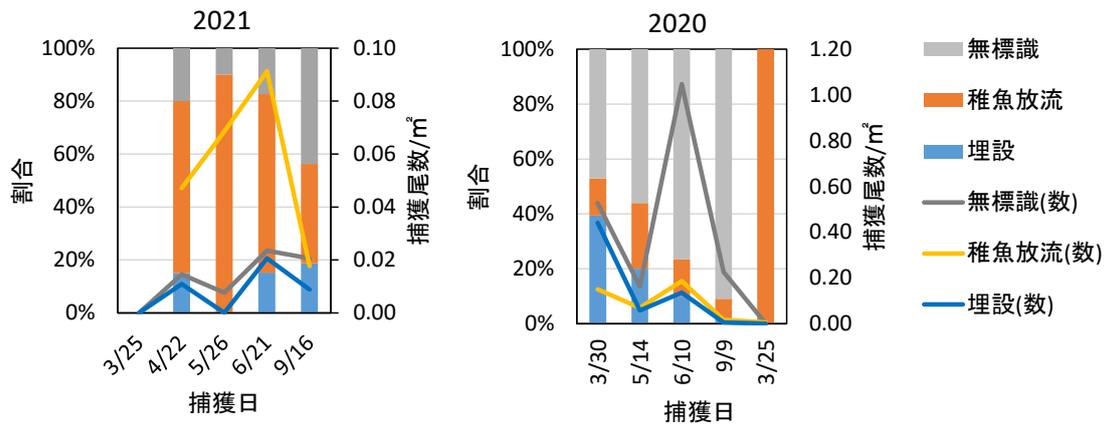


図1. 黒川における年度別サクラマス捕獲割合と捕獲尾数の推移

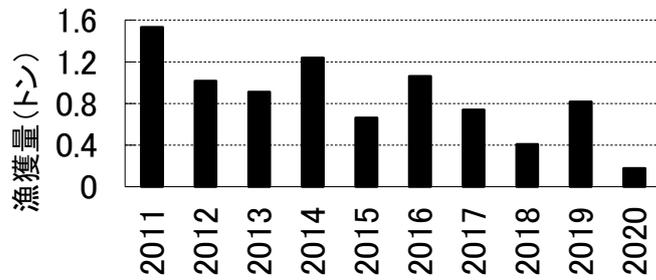


図2. 神通川における年別サクラマス漁獲量（富山漁協調べ）

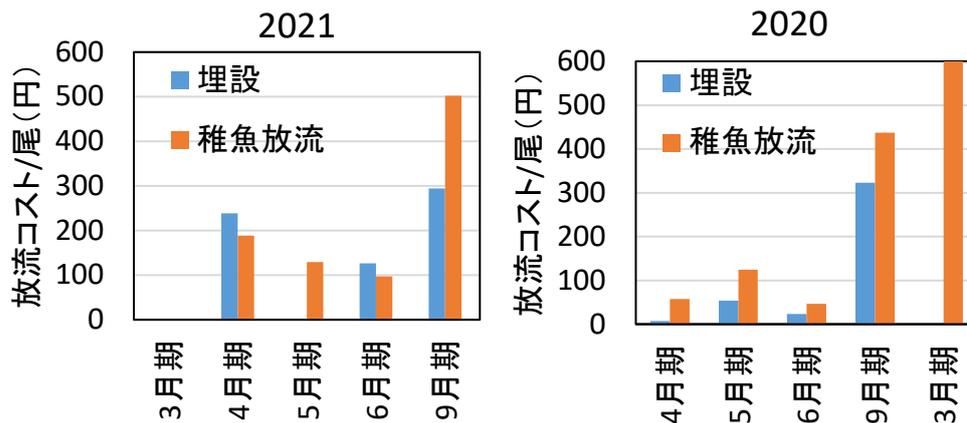


図3. 黒川における年度別放流コスト（尾/円）

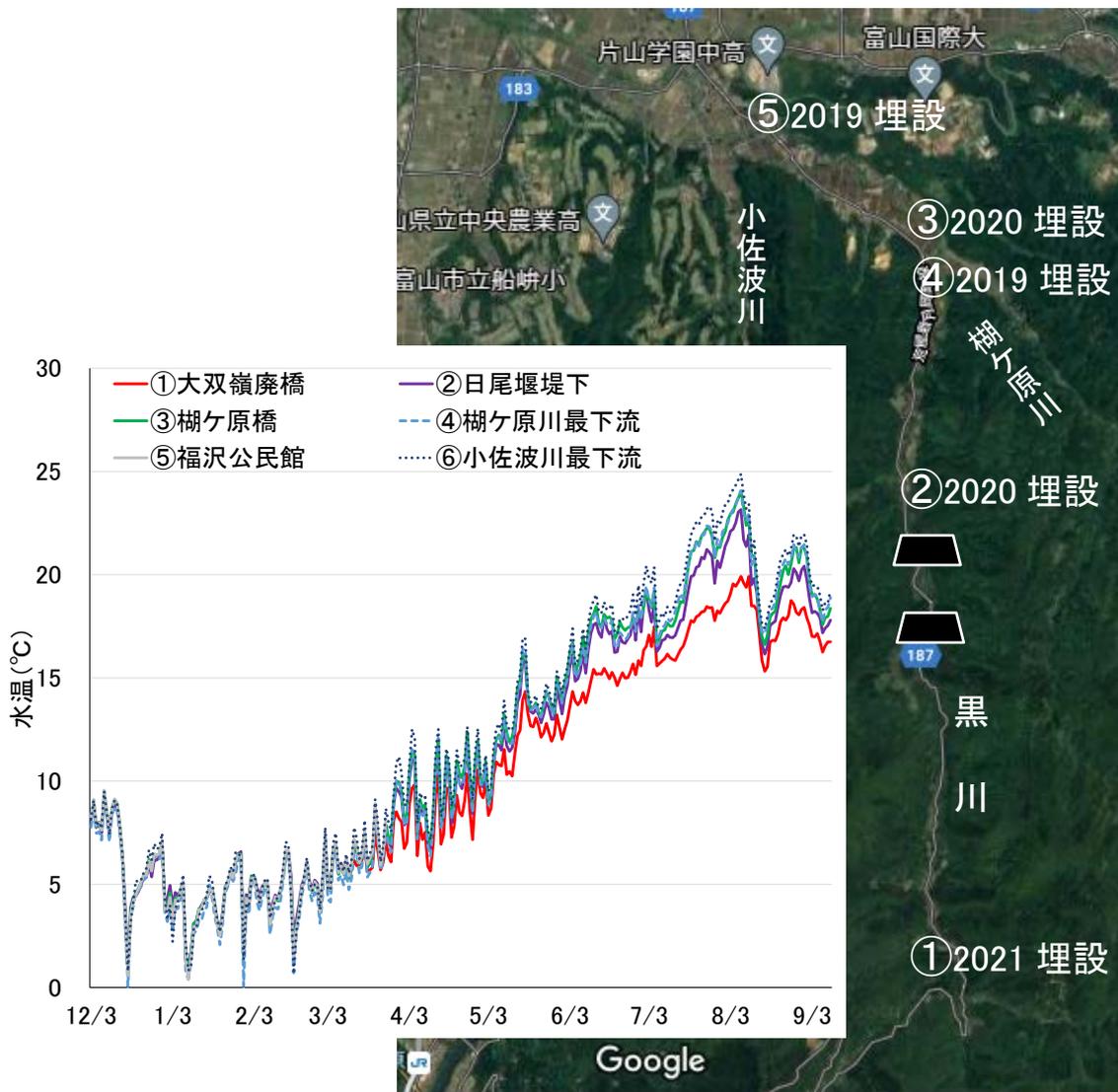


図4. 黒川における地点別河川水温の推移（2020年12月～2021年9月）と測定地点

表 1. 黒川における年度別サクラマス捕獲尾数

年度	サクラマス0+採捕尾数/m <sup>2</sup>					
	2021			2020		
<b>合計</b>	<b>0.07</b>			<b>0.54</b>		
	0.01	0.05	0.01	0.10	0.08	0.37
3月期	0.00					
	0.00	-	0.00			
4月期	0.07			1.12		
	0.01	0.05	0.01	0.44	0.15	0.53
5月期	0.08			0.28		
	0.00	0.07	0.01	0.06	0.07	0.16
6月期	0.14			1.37		
	0.02	0.09	0.02	0.14	0.19	1.05
9月期	0.05			0.25		
	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.23
3月期				0.01		
				0.00	0.01	0.00

左:埋設群 中央:稚魚放流群 右:無標識(天然魚)