渓流魚人工産卵河川における産卵場整備後の土砂の堆積状況

岸　大弼，佐々木　茂[1]，徳田幸憲[2]，徳原哲也[3]

Sediment deposition in two artificial spawning channels of stream-dwelling salmonid in Gifu, central Japan

DAISUKE KISHI, SHIGERU SASAKI, YUKINORI TOKUDA AND TETSUYA TOKUHARA

サケ科魚類の人工産卵河川は、野生個体の自然繁殖の補助を目的とし、旧河道または水路の転用、あるいは新規掘削により流路を造成した後、水制工の設置と砂利の敷設を実施して産卵に適した水深・流速・河床材料を整備したものである。国内の渓流には、防災や利水を目的とする河川工作物が多数設置されており、それに伴う河床材料組成の改変によって渓流魚の産卵適地は減少していると考えられる(柳井ほか, 1996; 石山ほか, 2009)。そうした背景から，野生個体の自然繁殖を促進する技術のひとつとして人工産卵河川の造成が実施されている。人工産卵河川の造成は1950年代に北米で確立された技術で、ダムの設置によって本来の産卵場まで遡上できなくなったカラフトマス（*Oncorhynchus gorbuscha*）やサケ（*O. keta*）など遡河回遊性サケ科魚類の代替産卵場として造成されてきた（Lucas, 1960; MacKinnon et al., 1961; Pollock, 1969)。この造成技術は、国内では主に河川陸封性のイワナ（*Salvelinus leucomaenis*）に応用されており、これまでに岐阜県の神通川・九頭竜川・木曽川水系、長野県の天竜川水系、山梨県の富士川水系の計5箇所に人工産卵河川が造成されている（中村ほか, 2009; 沢本, 2009; 石徹白漁業協同組合, 2011; 山梨県水産技術センター, 2013; 岸・徳原, 2017)。

人工産卵河川では，単に導水するだけでは産卵適地が形成されないため、産卵場の整備が必要である（岸・徳原, 2017)。人工産卵河川における産卵場の整備は、自然河川における人工産卵場の整備方法（中村, 1999）を流用して、底面の掘削、堆積土砂の除去、水制工の代替として礫止め石の配置を実施した後、そのすぐ上流側の下層に大礫および上層に砂利を敷設するという手順で行われている（中村・飯田, 2009)。こうした産卵場の整備は、秋の産卵期の直前に行われている（岸ほか, 2017)。

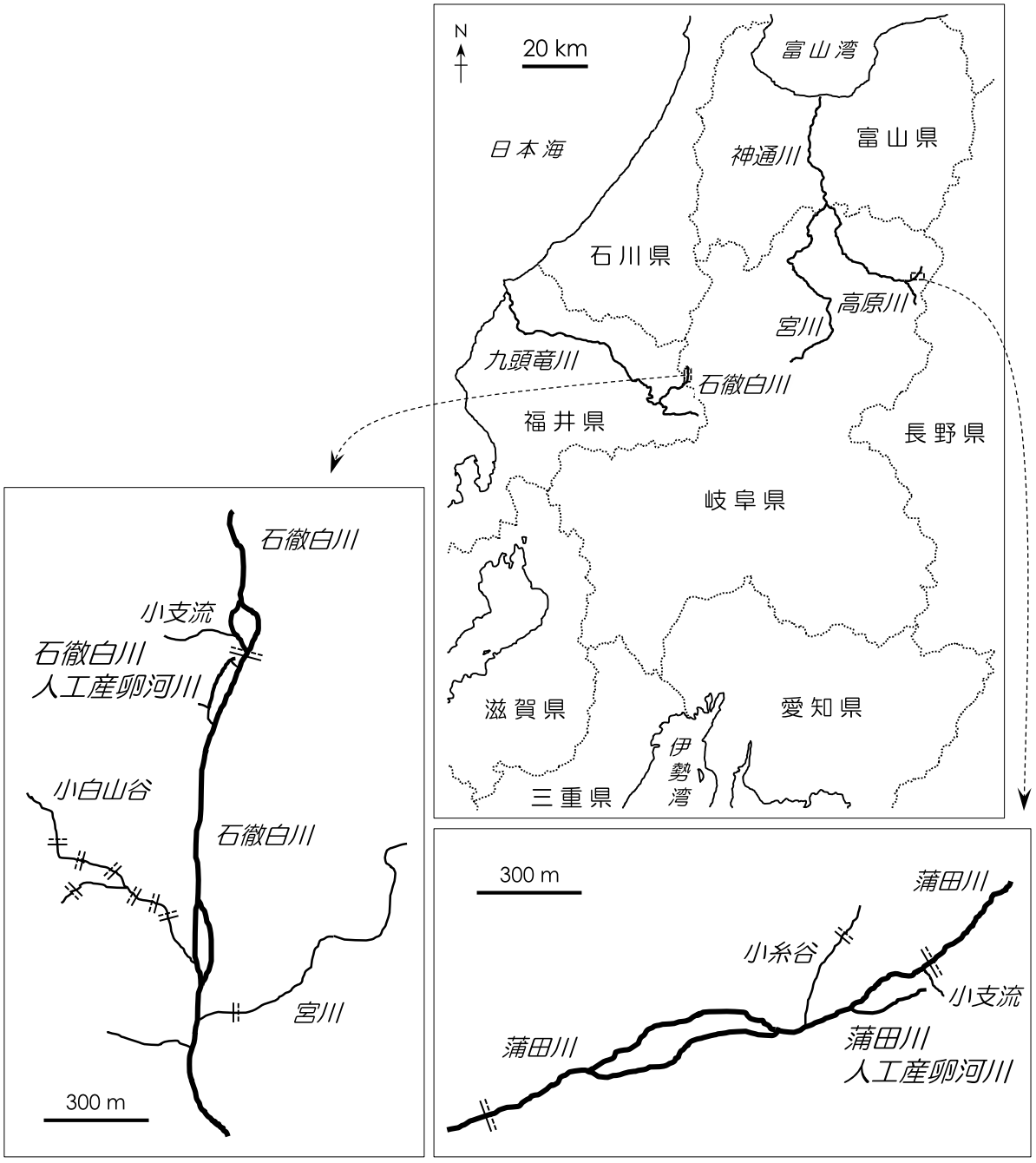
整備後の産卵場では、水源から流入した土砂の堆積が観察されている（高橋ほか, 2013)。サケ科魚類の卵やふ化仔魚の生残率は、産卵床への土砂の堆積によって低下することが多くの研究で明らかにされている(Chapman, 1988；Argent and Flebbe 1999；Kondou et al., 2001；Yamada and Nakamura, 2009)。人工産卵河川では、堆積した土砂を除去した上で産卵場を再度整備することが毎年必要とされており（中村ほか, 2007)、前年秋に整備した産卵場がそのまま使用されることはない。しかし、産卵場を毎年くり返し整備することの必要性については、まだ十分に裏付けられていないのが実情である。

人工産卵河川における土砂の堆積状況については、産卵場整備の8箇月後に河床材料をスコップで採取して調査した事例がある（高橋ほか, 2013)。しかし、この事例は、1箇所の人工産卵河川における3サンプルの分析という限定的な内容だった。また、スコップによる採取では、作業中にサンプルの一部が流失しやすく、調査の精度に改善の余地があった。そこで本研究では、より確実に採取可能な調査器材を採用するとともに、2箇所の

1 石徹白漁業協同組合
2 高原川漁業協同組合
3 岐阜県農政部里川振興課

人工産卵河川においてより多くのサンプルを採取し、産卵場における土砂の堆積状況をあらためて調査した。

キーワード：増殖、野生個体、自然繁殖、河床材料



第１図　石徹白川人工産卵河川（郡上市白鳥町石徹白）および蒲田川人工産卵河川（高山市奥飛騨温泉郷）の位置

材料と方法

調査は、2016 年 9 月に郡上市白鳥町石徹白の人工産卵河川および同 10 月に高山市奥飛騨温泉郷の人工産卵河川において実施した（第１図）。本研究では、前者を石徹白川人工産卵河川、後者を蒲田川人工産卵河川と表記する。

石徹白川人工産卵河川は、2009 年に九頭竜川水系石徹白川右岸側の陸域を掘削して造成された。区間長は 146 m、

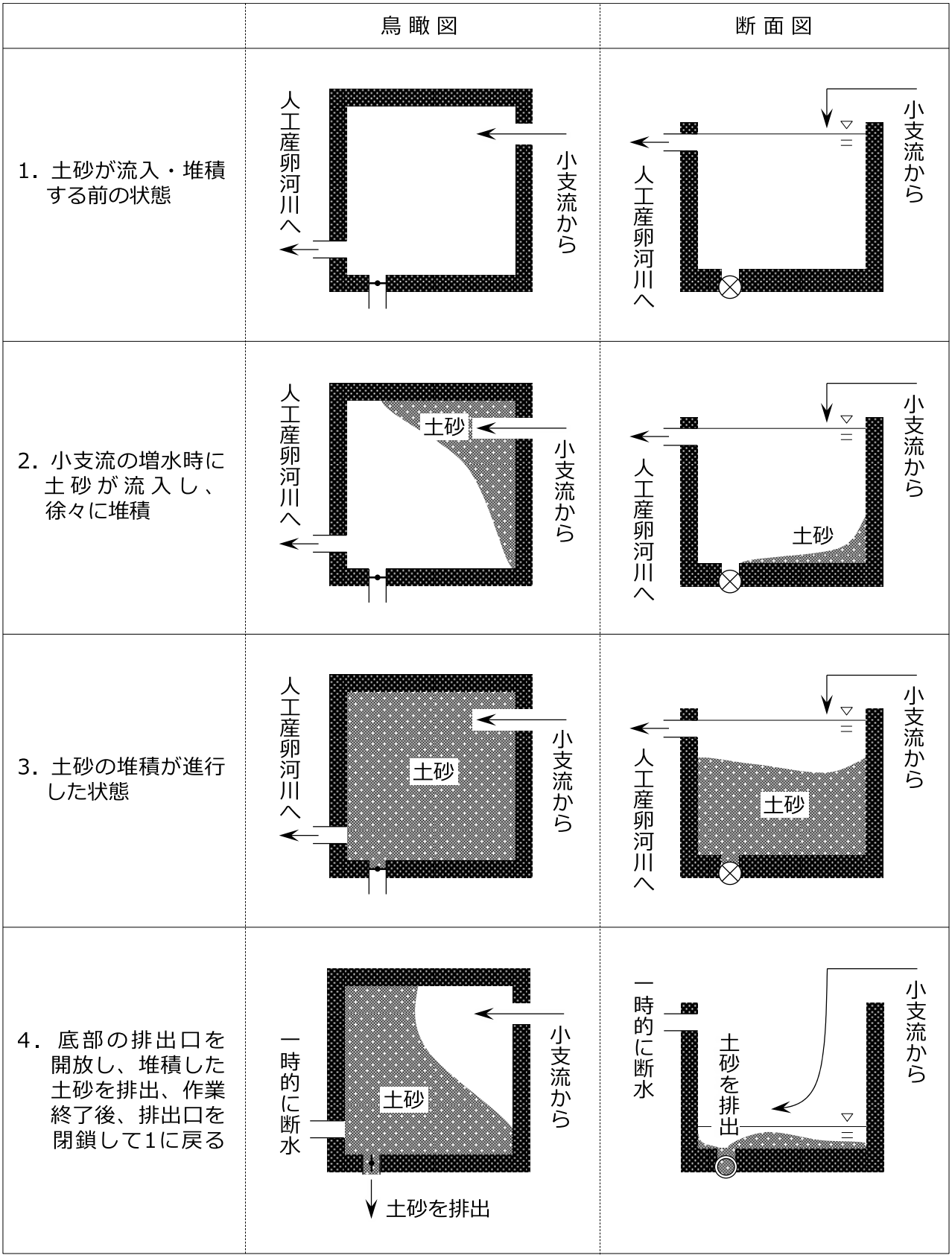
平均水面幅は1.2ｍである。当初はイワナのみの産卵が確認されていたが（石徹白漁業協同組合，2011）、2018年以降はイワナおよびアマゴ（*O. masou ishikawae*）の産卵が確認されている(岸，未発表)。石徹白川人工産卵河川は、146ｍ流下した後、前述の水源とは別の小支流と合流している。この小支流は、西方の山際の湧水を起源とするもので、湧出地点から人工産卵河川との合流点までの区間長および平均水面幅は34 mおよび1.0 m、人工産卵河川との合流点から石徹白川本流への流入地点までの区間長および平均水面幅は60 mおよび1.4 mである。水源は、石徹白川本流の表流水、北方約200ｍ付近にある小支流の表流水、隣接する堰堤の間隙からの流出水である。堰堤の間隙からの流出水は、堰堤上流側に堆積している砂礫中に浸透・通過したもので、常に清澄な状態が維持されている。一方、本流および小支流の表流水は、融雪・梅雨・台風の時期に土砂の流出が観察されている。人工産卵河川に堆積する土砂は、これら本流および小支流が主な発生源と推測されている。2019年7月現在、本流・小支流から人工産卵河川までの間に土砂の沈殿槽あるいは沈殿池は設置されておらず、表流水に混入する土砂がそのまま人工産卵河川に放出されているのが実情である。

石徹白人工産卵河川では、流路が造成された2009年以降、毎年9月下旬に石徹白漁業協同組合の組合員および市民ボランティアにより産卵場の整備が実施されている。前述のように人工産卵河川における産卵場の整備は、自然河川における人工産卵場の整備方法（中村，1999）を流用して、底面の掘削、堆積土砂の除去、水制工の代替として礫止め石の配置を実施した後、そのすぐ上流側の下層に大礫および上層に砂利を敷設するという手順で行われている（中村・飯田，2009）。産卵場に敷設する砂利は、近隣の河川で採取してサイズ選別を行ったものが使用されている。現地の仮置き場から砂利を採取してそれらの粒径組成を確認したところ、土砂（粒径 <2 mm）はごくわずかであり、ほぼすべてが小礫粗粒および中礫細粒（粒径9-32 mm）だった（第1表）。これは、中村・飯田（2009）が提示している敷設に適した砂利の条件（粒径 10-30 mm）にほぼ合致していた。調査前年の2015年は、石徹白川人工産卵河川の上流寄り80 mの区間に10箇所の産卵場が9月25日に整備された。土砂の堆積状況の分析用の河床材料は、整備から12箇月後の2016年9月25日に全10箇所のうち5箇所の産卵場から1サンプルずつ採取した。採取地点は、各産卵場の中央付近とし、水深および流速を測定した後に河床材料を採取した。水深は、棒尺を使用して測定した。流速は、プロペラ式流速計（Tanida et al., 1985）を使用して1地点につき3回ずつ60%水深の位置で測定し、3回の平均値をその地点の流速とした。

河床材料は、25×25 cmコドラート付きサーバーネット（網長100cm、目合225μm）を使用して採取した。先行事例（高橋ほか，2013）のスコップによる採取では、作業中に粒径の小さい河床材料が流失しやすいという欠点があった。一方、サーバーネットは、本来は底生動物の定量採集に使用される調査器材だが、河床の掘削時に流下するサンプルを捕捉できる袋網状の構造であり、産卵場の河床材料の採取にも適している（Yamada and Nakamura, 2009）。そのため、本研究では、スコップではなく、サーバーネットを採用した。産卵場から採取した河床材料は、研究所に持ち帰って風乾させた。その後、Bain（1985）および岸・徳原（2017）の方法を参考に、土砂（粒径 <2 mm）、小礫細粒(2-8 mm)、小礫粗粒(9-16 mm)、中礫細粒(17-32 mm)、中礫粗粒以上(>32 mm)の5階級に分類して重量を測定し、それらの重量を百分率に変換した。

蒲田川人工産卵河川は、2005年に神通川水系高原川支流の蒲田川左岸側の小支流の跡を転用して造成された(中村ほか，2009)。区間長は270 mである。当初はイワナの産卵のみが確認されていたが（中村ほか，2007，2009；高橋ほか，2013）、2016年以降はイワナおよびヤマメ（*O. masou masou*）の産卵が確認されている（徳田，未発表）。平均水面幅は、流路が造成された2005年は1.0 mだったが（中村ほか，2009）、今回の調査対象となった2016年は1.6ｍだった。水源は、隣接する小支流の表流水および堰堤の水平ボーリング穴からの流出水である。堰堤の水平ボーリング穴からの流出水は、堰堤上流側に堆積している砂礫中に浸透・通過したものである。この流出水は、清澄な状態が常に維持されているため、人工産卵河川に直接供給されている。一方、蒲田川人工産卵河川の水源のひとつである小支流では、融雪・梅雨・台風の時期に土砂の流出が観察されている。人工産卵河川に堆積する土砂は、この小支流が主な発生源と考えられる。その対策として、人工産卵河川への給水前の地点に沈殿槽が設置されている(第2図)。沈殿槽は、粒径の小さい浮遊状態の土砂（濁水）は捕捉できないものの、粒径の大きい土砂を捕捉・堆積させることが可能である。沈殿槽に堆積した土砂は、底部から蒲田川本流に排出可能な構造となっており、土砂の堆積状況に応じて年2回ほど排出作業が実施されている。

蒲田川人工産卵河川では、流路が造成された2005年以降、取水施設が災害によって破損した一部の年を除いて、毎年10月に高原川漁業協同組合の組合員および市民ボランティアにより産卵場の整備が実施されている。産卵場へ



第２図　蒲田川人工産卵河川の沈殿槽およびその使用方法の概念図（実物の構造とは一部異なるが、沈殿槽の使用方法を説明するため、簡略化して図示した。矢印は流向を示す）

第1表　石徹白川人工産卵河川および蒲田川人工産卵河川における産卵場への敷設に使用した砂利の粒径組成

調査地	サンプル番号	粒径組成（%）				
		< 2 mm	2-8 mm	9-16 mm	17-32 mm	> 32 mm
石徹白川人工産卵河川	1	< 0.1	0.9	41.5	57.5	0
	2	0.1	0.7	52.3	46.9	0
	3	< 0.1	0.2	33.2	66.5	0
	4	0.1	0.5	42.8	56.5	0
	5	0.1	0.1	35.9	63.9	0
	平均±標準偏差	0.1±0.0	0.5±0.3	41.2±7.4	58.3±7.6	0±0
蒲田川人工産卵河川	1	< 0.1	0	26.5	73.5	0
	2	< 0.1	0	62.4	37.6	0
	3	< 0.1	0	47.6	52.4	0
	4	< 0.1	0	43.6	56.3	0
	5	< 0.1	0	33.1	66.9	0
	平均±標準偏差	0.02±0.01	0±0	42.6±13.9	57.3±13.9	0±0

の敷設用の砂利には、単粒度砕石が使用されている（岸ほか, 2017）。現地の仮置き場から砂利を採取して敷設前の粒径組成を確認したところ、土砂（粒径 <2 mm）はごくわずかであり、ほぼすべてが小礫粗粒および中礫細粒（粒径 9-32 mm）だった（第1表）。これは、中村・飯田（2009）が提示している敷設に適した砂利の条件（粒径 10-30 mm）にほぼ合致していた。調査前年の 2015 年は、蒲田川人工産卵河川の上流寄り 200 m の区間に 20 箇所の産卵場が 10 月 24 日に整備された。本研究では、整備から約 11 箇月後の 2016 年 9 月 27 日には、全 20 箇所のうち 10 箇所の産卵場から河床材料を 1 サンプルずつ採取した。水深および流速の測定、河床材料の採取、サンプルの処理および測定については、石徹白川人工産卵河川と同様の方法で実施した。

解析では、統計ソフト R およびパッケージ MuMIn を使用し（R Development Core Team, 2005 ; Bartoń, 2018）、土砂（粒径 <2 mm）の割合を応答変数、水深、流速、地域（石徹白川または蒲田川）を説明変数、誤差構造を二項分布、logit をリンク関数に指定した一般化線形モデル（ロジスティック回帰）を作成し、土砂の割合が小さくなる水深および流速の特定を試みた。すべての説明変数の線形結合によるモデルをもとに、説明変数の総当たりの組み合わせによりモデルを作成し、赤池情報量基準（AIC）が最小のものをベストモデルとして採用した。

結　果

石徹白川人工産卵河川で現地の仮置き場から採取した敷設前の砂利には、土砂（粒径 <2 mm）はほとんど含まれていなかったが（第1表）、整備から 12 箇月後の産卵場における土砂の割合は、2 箇所では 5.5-11.8%に増加、3 箇所では 22.2-36.0%と大幅に増加していた（第2表）。

蒲田川人工産卵河川で現地の仮置き場から採取した敷設前の砂利には、土砂（粒径 <2 mm）はほとんど含まれていなかったが（第1表）、整備から 11 箇月後の産卵場における土砂の割合は、5 箇所では 1.2-15.2%に増加、1 箇所では 41.2%と大幅に増加していた（第 2 表）。それらに対して、残り 4 箇所における土砂の割合は、0.4%以下と敷設前と同様の状態だった。

解析の結果、ベストモデルには水深、流速、地域のいずれの説明変数も採用されず、土砂の割合が小さくなる水深および流速は特定されなかった（第3表）。

考　察

蒲田川人工産卵河川の水源のひとつである小支流では、融雪・梅雨・台風の時期に土砂の流出が観察されている。人工産卵河川に堆積する土砂は、この小支流が主な発生源と考えられる。その対策として、人工産卵河川への供給前の地点に沈殿槽が設置されている（第2図）。この沈殿槽は、粒径の大きい土砂の捕捉・堆積が可能な構造となっている。一方、ここで捕捉できなかった粒径の小さい浮遊状態の土砂（濁水）は、人工産卵河川に流入・堆積するため、毎年、産卵場の整備作業の数日～1 週間前にそれらの除去が実施されている。堆積した土砂は、粒径が小さく、鋤簾

第 2 表　石徹白川人工産卵河川および蒲田川人工産卵河川における整備 11-12 箇月後の産卵場の水深、流速、河床材料の粒径組成（産卵場番号は上流側から順に付与したもの）

調査地	整備後の経過期間	産卵場番号	水深 (cm)	流速 (cm/s)	粒径組成 (%)				
					< 2 mm	2-8 mm	9-16 mm	17-32 mm	> 32 mm
石徹白川人工産卵河川	12 箇月	1	11	34.1	22.2	2.3	19.1	54.6	1.8
		2	13	40.7	5.5	6.4	27.2	60.9	0
		3	16	29.3	11.8	3.5	13.6	71.2	0
		4	14	41.6	36.0	33.5	4.6	13.7	12.1
		5	9	40.1	33.1	20.9	16.7	29.4	0
	平均±標準偏差		12.6±2.7	37.1±5.3	21.7±13.2	13.3±13.5	16.2±8.2	45.9±23.7	2.8±5.3
蒲田川人工産卵河川	11 箇月	1	13	19.4	0.1	0.7	55.4	43.7	0
		2	17	14.8	8.3	4.8	50.8	36.1	0
		3	15	15.6	3.2	2.2	49.8	41.0	3.9
		4	16	17.0	0.4	0.4	56.2	43.0	0
		5	17	15.0	15.2	10.9	32.2	31.7	0
		6	10	23.1	41.2	2.4	24.8	31.9	0
		7	14	26.1	2.6	0.2	41.2	55.4	0
		8	15	20.0	0.2	0.2	53.0	43.5	3.2
		9	22	12.7	1.2	0.1	53.2	45.4	0
		10	14	41.7	< 0.1	0.1	43.2	52.6	4.0
	平均±標準偏差		15.3±3.1	20.5±8.5	7.2±12.9	2.2±3.4	47.0±9.5	42.4±7.8	1.1±1.8

第 3 表　土砂の割合を説明する一般化線形モデル(上位 4 つのモデル)

係数 (SE)				AIC	ΔAIC
切片	水深	流速	地域(石徹白川)		
−1.97 (0.79)*				5.9	0.0
−3.36 (2.43)		0.05 (0.08)		7.9	2.1
−2.55 (1.22)*			1.27 (1.63)	8.0	2.1
1.96 (4.07)	−0.29 (0.31)			8.0	2.2

*$P < 0.05$

やスコップでは浚渫が困難である。そのため、上流から下流に向けて移動しながら水中ポンプで流下させる方法が採用されている（第 3 図）。この流下作業は 200m の区間に 3 時間程度を要する。ただし、もし沈殿槽が設置されていなければ、人工産卵河川に土砂がさらに多く堆積し、その流下作業により長時間を要していたものと考えられる。したがって、この沈殿槽は、人工産卵河川における土砂の流下作業の労力軽減に一定の効果があると考えられる。石徹白川人工産卵河川においても、蒲田川人工産卵河川と同様に鋤簾やスコップでは土砂の浚渫が困難であるため、水源のひとつである北方の小支流からの導水管の高度差を利用したサイフォンの高圧水により土砂を流下させる方法が採用されている。この作業は、毎年、産卵場の整備作業の直前に実施されている（第 3 図）。これは、80m の区間の作業に 2 時間程度を要している。その労力を軽減するためには、石徹白川人工産卵河川でも沈殿槽を新設することが望まれる。ただし、立地や施工費用の制約があるため、蒲田川人工産卵河川の沈殿槽のような構造物の新設は困難である。代替案としては、既存の流路を利用した簡易な沈澱池の造成が挙げられる。人工産卵河川の最上流部には、第 4 図のように石徹白川本流に流下する副流路が付設されている。この副流路は、石徹白川本流からの産卵親魚の遡上経路として敷設されたものだが、人工産卵河川との分岐地点に沈澱池を造成すれば、土砂の排出経路としても活

第3図 石徹白川人工産卵河川（サイフォンを使用）および蒲田川人工産卵河川（水中ポンプを使用）における土砂を流下させる作業

用できる（第4図）。この沈澱池による土砂の捕捉および副流路からの排出が可能になれば、人工産卵河川への土砂の流入量を減少させることができると予想される。これは、人工産卵河川における土砂の流下作業の労力軽減はもちろんのこと、好適な産卵環境の維持にも寄与するものと期待される。

サケ科魚類の産卵床の卵やふ化仔魚の生残率は、堆積土砂の増加によって低下することがよく知られている（例えば、Chapman, 1988；Kondou et al., 2001）。Argent and Flebbe (1999) は、イワナと同属のブルックトラウト（*S. fontinalis*）の卵の発生初期からふ化を経て浮上期までの生残率と土砂の堆積との関係を水槽実験で検証し、土砂（粒径 0.43-0.84 mm）の割合が 25%の実験区の浮上率は0%の実験区の半分程度になることを例示している。また、ヤマメの回遊型であるサクラマスの発眼卵を対象とした野外実験では、土砂（粒径 <2 mm）の割合が 20%を超過すると生残率が急低下することや、60%以上の場合はほとんど生残できないことが報告されている（Yamada and Nakamura, 2009）。これら2事例は、実験設定や魚種の相違を考慮する必要はあるものの、土砂の割合が 20-25%を超過すると卵やふ化仔魚の生残に大きく影響するという点で共通している。石徹白川人工産卵河川の3箇所の産卵場は 22.2-36.0%、蒲田川人工産卵河川の 1 箇所の産卵場は 41.2%と、土砂の割合が大幅に増加していた。こうした土砂が多い地点は、そもそも産卵に利用されない可能性があるが、仮に産卵した場合でも卵やふ化仔魚の生残は困難と考えられる。今回の解析では、土砂が堆積しにくい水深および流速は特定されず、個々の産卵場における水深および流速の調節だけでは好適な産卵環境を維持することは不可能と考えられる。したがって、毎年、産卵期の前に土砂の流下作業を実施することが必要である。

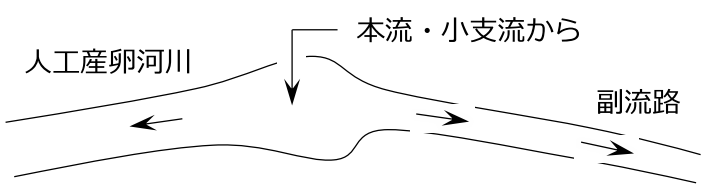
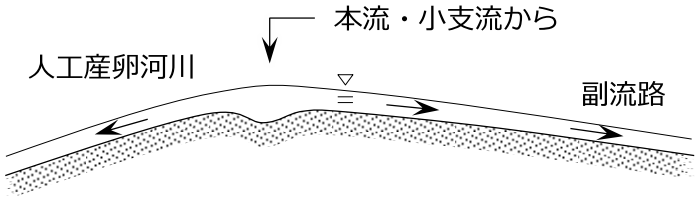
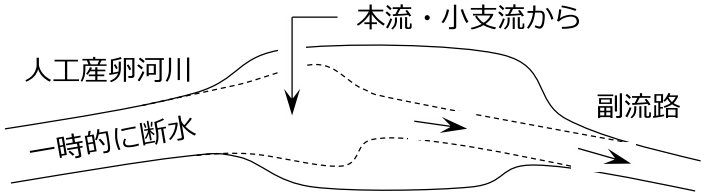
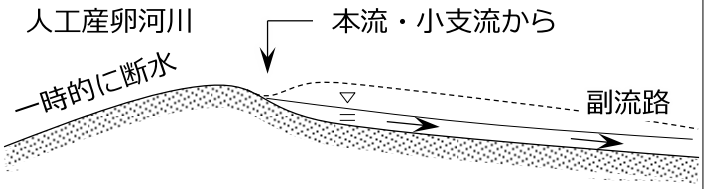
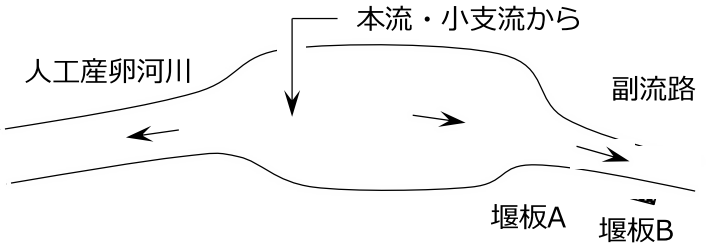
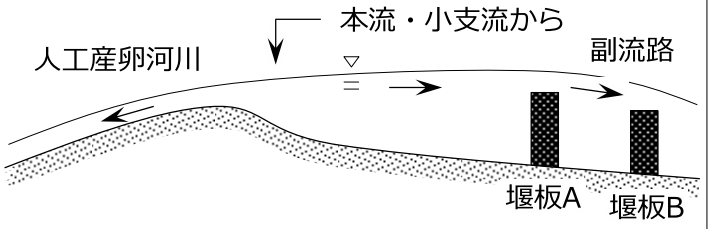
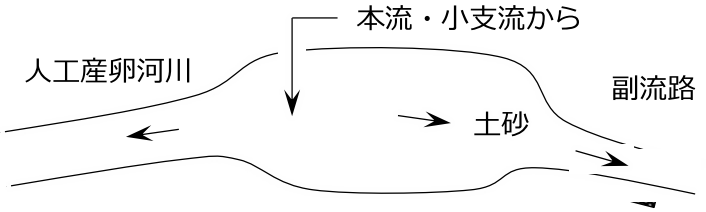
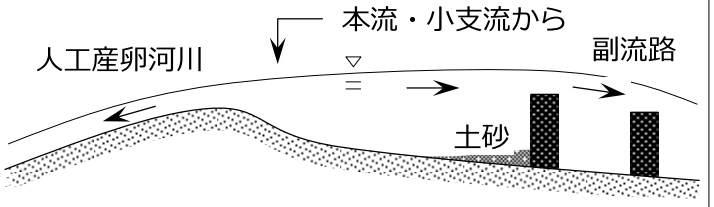
今回調査対象とした石徹白川人工産卵河川の 5 箇所の産卵場のうちの2箇所は 5.5-11.8%、蒲田川人工産卵河川の 10 箇所の産卵場のうちの 5 箇所は 1.2-15.2%と、土砂の割合は前述の産卵場と比較すれば小さい値だった。しかし、そうした産卵場でも、上流側の産卵場で土砂を流下させる作業を実施した場合は、その土砂が新たに堆積することになるため、やはり土砂を流下させた上で産卵場を再度整備する必要がある。また、蒲田川人工産卵河川の4箇所の産卵場は 0.4%以下と、土砂はほとんど堆積していなかったが、これらも同様の理由で、土砂を除去した上で産卵場を再度整備する必要がある。人工産卵河川の機能を十分に発揮させるためには、沈殿槽または沈澱池を設置して土砂の流入量を減少させるとともに、毎年、土砂の流下作業および産卵場の再整備を実施することが不可欠といえる。

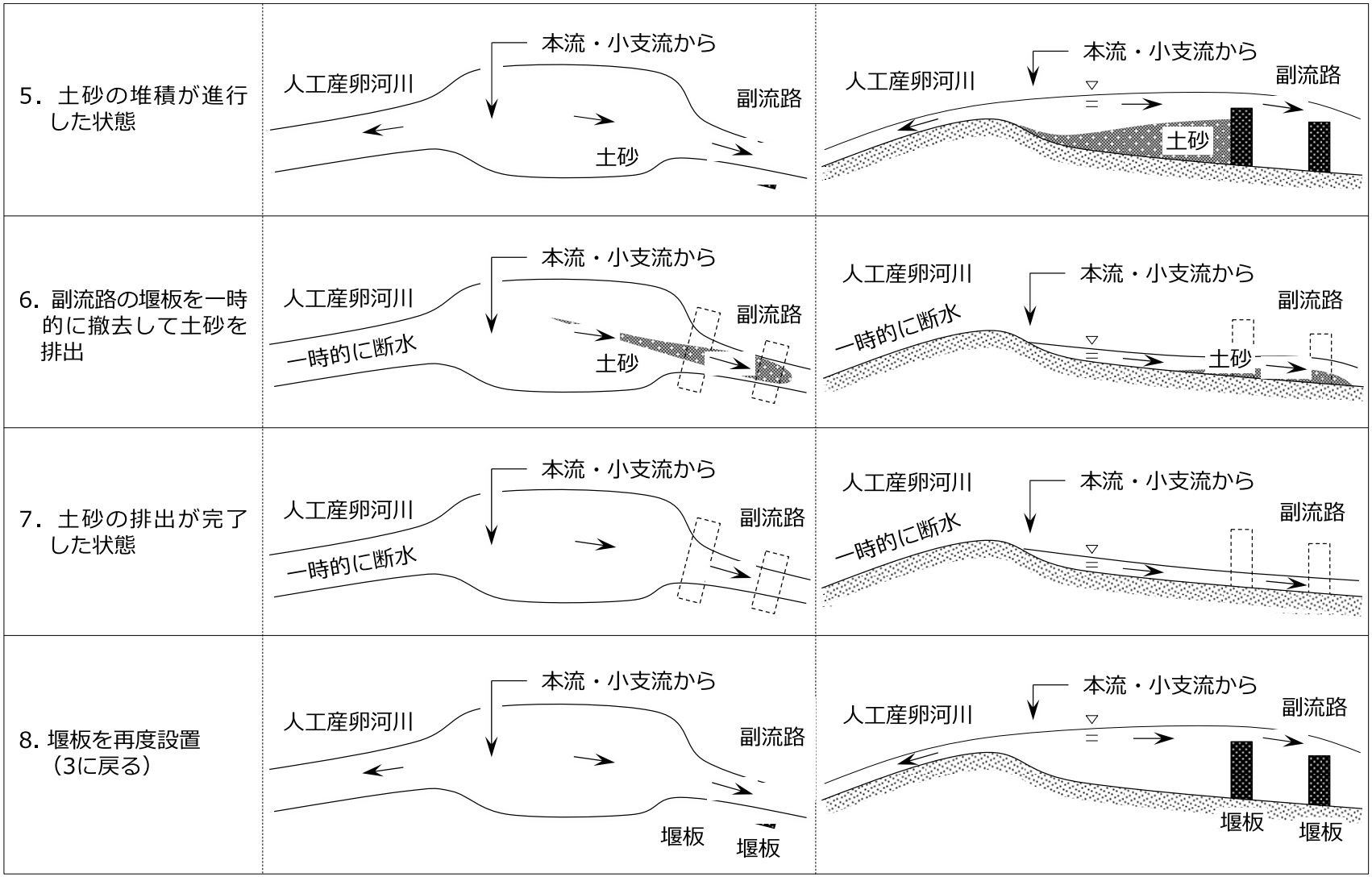
謝　辞

現地調査や産卵場整備では、石徹白漁業協同組合および高原川漁業協同組合の組合員の方々や市民ボランティアの方々に協力していただいた。ここに記して各位に感謝する。

要　約

1. 石徹白川人工産卵河川および蒲田川人工産卵河川において、産卵場整備の翌年の土砂の堆積状況を調査した。
2. 石徹白川人工産卵河川では、沈澱池を設置して土砂流入を抑制することが望まれる。また、既存の副流路を土砂の排出経路として活用することが可能と考えられる。

	鳥瞰図	断面図
1．2019年7月現在の人工産卵河川および副流路		
2. 本流・小支流からの給水地点を拡幅・掘り下げ、副流路を掘り下げ		
3. 副流路に土砂止めの堰板Aを設置、魚道として機能するよう遡上用の堰板Bを下流側に設置		
4. 本流・小支流の増水時に土砂が流入、徐々に堆積		



第4図　石徹白川人工産卵河川への沈澱池の設置案およびその使用方法の概念図（実際の流路の構造とは一部異なるが、沈殿池の使用方法を説明するため、 簡略化して図示した。矢印は流向を示す）

3. 沈殿槽または沈澱池による土砂流入の抑制は可能だが、粒径の小さい土砂はそれらでは捕捉できない。人工産卵河川の機能を十分に発揮させるためには、毎年、そうした土砂の流下作業と産卵場の再整備が不可欠といえる。

文　献

Argent, D. G. and P. A. Flebbe. 1999. Fine sediment effects on brook trout eggs in laboratory streams. Fish. Res., 39: 253-262.

Bartoń, K. 2018. Package "MuMIn": Multi-Model Inference. R package, Version 1.42.1. https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/MuMIn.pdf. (参照 2019-3-14)

Chapman, D. W. 1988. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. Trans. Am. Fish. Soc., 117: 1-21.

石山信雄・渡辺恵三・永山滋也・中村太士・劒持浩高・高橋浩揮・丸岡　昇・岩瀬晴夫. 2009. 河床の岩盤化が河川性魚類の生息環境に及ぼす影響と礫河床の復元に向けた現地実験の評価. 応用生態工学, 12: 57-66.

石徹白漁業協同組合. 2011. 渓流魚産卵用人工河川事業報告書. 石徹白漁業協同組合, 岐阜県郡上市.

岸　大弼・徳原哲也. 2017. 岐阜県下呂市馬瀬に整備された人工産卵河川の物理環境およびイワナの産卵状況. 応用生態工学, 19: 221-231.

岸　大弼・上田利章・徳田幸憲・徳原哲也. 2017. 渓流魚人工産卵河川における産卵場整備での砂利の使用量. 岐阜県水産研究所研究報告, 62: 9-13.

Kondou, T., N. Takeshita, A. Nakazono and S. Kimura. 2001. Egg Survival in a fluvial population of masu salmon in relation to intragravel conditions in spawning redds. Trans. Am. Fish. Soc., 130: 969-974.

Lucas, K. C. 1960. The Robertson Creek spawning channel. Can. Fish Culturist, 27: 3-23.

MacKinnon, D., L. Edgeworth and R. E. McLaren. 1961. An assessment of Jones Creek spawning channel 1954-1961. Can. Fish Culturist 30: 1-14.

中村智幸. 1999. 人工産卵場におけるイワナの産卵と産着卵のふ化. 日本水産学会誌, 65: 434-440.

中村智幸・飯田　遥. 2009. 水産総合研究センター叢書 守る・増やす渓流魚. 農山漁村文化協会, 東京.

中村智幸・高橋剛一郎・谷田一三・太田猛彦・徳田幸憲. 2007. 渓流魚の人工産卵河川のつくり方＜マニュアル編＞. 国土交通省北陸地方整備局神通川砂防事務所, 岐阜県飛騨市.

中村智幸・徳田幸憲・高橋剛一郎. 2009. 人工産卵河川におけるイワナの産卵と当歳魚の動態. 応用生態工学, 12: 1-12.

Pollock, R. D. 1969. Tehana-Colusa Canal to serve as spawning channel. Progressive Fish-Culturist, 31: 123-130.

R Development Core Team. 2005. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria: http://www.R-project.org. (参照 2016-2-7)

沢本良宏. 2009. 遠山川に造成した人工産卵河川. 長野県水産試験場水産だより, 29: 3.

高橋剛一郎・徳田幸憲・中村智幸. 2013. 人工産卵場における粒径組成とイワナの産着卵の生残について. 砂防学会誌, 66: 40-44.

Tanida K., K. Yamashita and A. Rossiter. 1985. A portable current meter for field use. Jpn. J. Limnol., 46: 219-221.

Yamada, H. and F. Nakamura. 2009. Effects of fine sediment accumulation on the redd environment and the survival rate of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) embryos. Landsc. Ecol. Eng., 5: 169-181.

山梨県水産技術センター. 2013. 渓流魚の生息場所の造成・復元技術の開発. 水産総合研究センター増養殖研究所内水面研究部 (編), pp.166-199. 渓流域資源増大技術開発事業研究報告書. 水産庁, 東京.

柳井清治・永田光博・積丹川共同調査グループ. 1996. 河川改修がサクラマス *Oncorhynchus masou* (BREVOORT) の産卵環境に及ぼす影響. 砂防学会誌, 49: 15-21.