

模擬的な堰堤からの落下が魚類に与える物理的影響

藤井 亮吏

The physical damage to fishes dropped from a simulated dam

RYOUJI FUJII

ダムや堰堤などの河川横断工作物の存在は、魚類等の往来が妨げられ、生息域が分断化されている水域を多くつくりだしている可能性が高い。生息域の分断化は、河川横断工作物上流域での生息地の縮小、個体群の存続や遺伝的多様性への影響が指摘されてきた(例えば Morita and Yamamoto, 2002; Yamamoto et al., 2004; 遠藤ほか, 2006; Morita et al., 2009)。また、川と海を行き来する通し回遊魚にとっては、河川横断工作物がその生活史を全うするために不可欠となる河川遡上の障害となる。このため、このような遡上障害の低減のために中村(1995)で数多く例示されているような河川横断工作物への魚道の設計や設置、大浜・坪井(2009)で示された透過型の堰堤の魚道としての機能など、多くの研究が行われてきた。一方で、河川横断工作物は、増水による流下、移動や回遊に伴う降河の際に魚類等が落下するために物理的な影響(受ける衝撃による魚体の損傷や死亡など)を及ぼす可能性もある。このような落下による魚類等への影響に関する研究は、遡上障害に関する研究に比べてあまり多くはないものの、ニジマス *Oncorhynchus mykiss* (Shirahata, 1970), イワナ *SaIvelinus leucomaenoides* (土居・中村, 2001; 土居ほか, 2002; 2003), ニジマス・ハナカジカ *Cottus nozawae*・フクドジョウ *Nemacheilus barbatulus toni*(佐川ほか, 2004), モクズガニ *Eriocheir japonica*(浜野ほか, 2005), サクラマス *O. masou masou*(森田ほか, 2009)等の落下実験の知見が徐々に蓄積されてきている。本研究は、河川横断工作物からの落下が魚類へ与える物理的な影響について、飼育魚を用いた落下実験により検討した。

キーワード：河川横断工作物、物理的影響、落下実験

方 法

岐阜県河川環境研究所下呂支所敷地内の建物の地上4mの位置に直径約11cmの出水管を設置し、そこを河川横断工作物の上部と見なし、水とともに供試魚を塩化ビニール製水槽(100×55×60cm, 以下塩ビ水槽と呼ぶ), ポリプロピレン樹脂製水槽(120×74×18cm, 左官用プラ舟: プラ舟と呼ぶ), あるいはコンクリート面に落下させる方法により以下の実験を行った。(第1図)

実験1(第1図, 第2図)

- ① 落下地点に何も置かずコンクリート地面直接落下
- ② 落下地点に塩ビ水槽を設置し水を溜めずに直接落下

③ 落下地点に塩ビ水槽を設置し水深を10cm, 20cm, 30cm, 40cmに設定したプールに落下

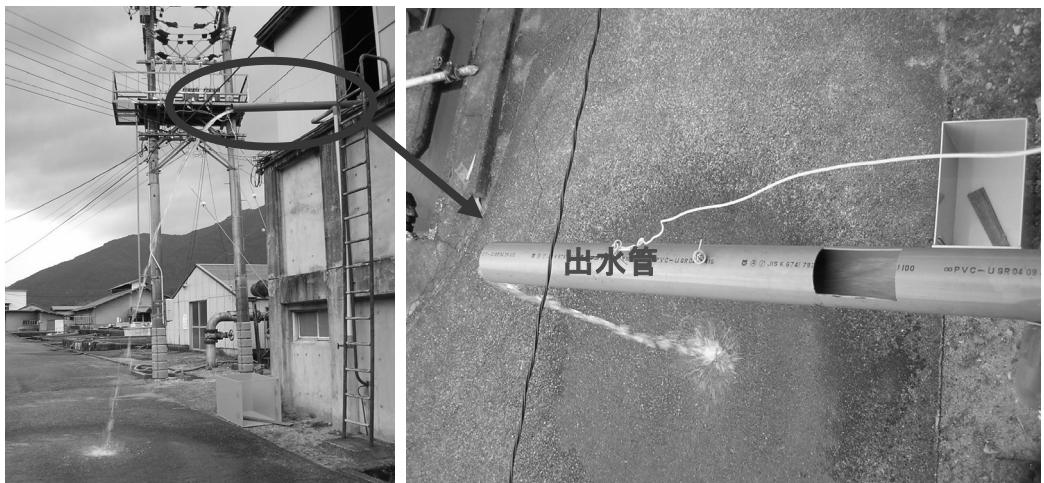
実験2(第3図)

- ① 落下地点にプラ舟を設置し水深を18cmに設定したプールに落下
- ② 上記水槽にコンクリートブロックを置き、水深を5cmとして落下

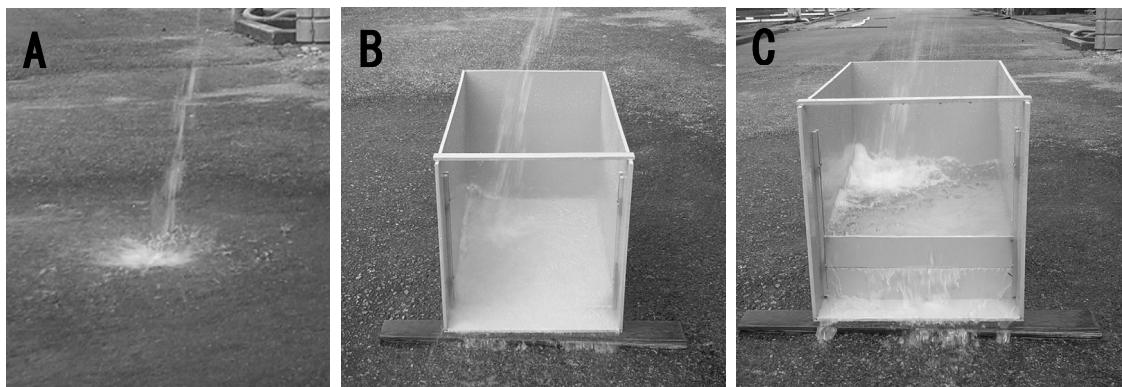
供試魚

実験には下呂支所で生産、飼育したカジカ小卵型 *C. sp. SE*, アジメドジョウ *Niwaella delicata*, アマゴ *O. m. ishikawae*を用いた。

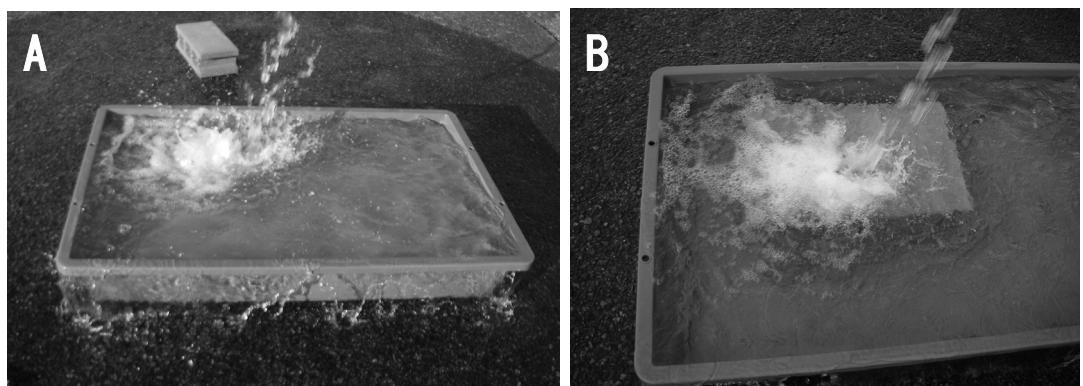
実験1: カジカ小卵型0歳魚35個体(平均体重0.8g), カ



第1図 落下実験に用いた建物と出水管の設置状況



第2図 塩ビ水槽への水の落下状況 (A: コンクリート路面に直接落下 B: 水槽底面へ直接落下; C: 水深を 20cm に設定)



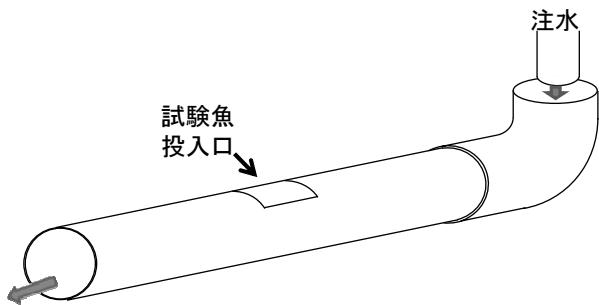
第3図 プラ舟への水の落下状況 (A: 水深 18cm; B: コンクリートブロック設置により水深 5cm に設定)

ジカ小卵型 2 歳魚 20 個体(平均体重 21.7g), アジメドジヨウ 0 歳魚 20 個体(平均体重 0.5g), アマゴ 0 歳魚 25 個体(平均体重 22.7g)

実験 2 : カジカ小卵型 3 歳魚 20 個体(平均体長 113mm), アマゴ 1 歳魚 20 個体(平均体長 163mm), アマゴ 2 歳魚 30 個体(平均体長 217mm)

出水管の構造(第4図)

供試魚を落とさせるために用いた出水管は、浜野ほか(2005)の実験で用いられたものを元に、塩ビパイプ(直径 11cm, 長さ 200cm)を用いて作製した。管の片側に塩ビ継手エルボを、上部を開口方向として接続して入水口とした。管の中央部上方には 8cm×15cm の開口部を作り、供



第4図 出水管の構造

試魚を入れる投入口とした。管に針金を取り付け、出水口がやや下方に位置するように建物からつり下げた。この時、入水口から注入した井戸水は、投入口部分での流速は約130cm/secであった。井戸水は下呂支所第2井戸水を用いた。

飼育

落下実験後の個体飼育は、タライ水槽(直径40cm)およびステンレス製水槽(140cm×55cm×15cm(D))で行い、実験後5日間、毎日1回供試魚の状態を確認した。飼育水には下呂支所第5井戸水を用いた。観察期間中は無給餌とした。

結 果

実験1(第1表)

実験1は2007年10月17日から10月29日に実施した。

①(コンクリート路面に直接落下)

カジカ小卵型0歳魚では、5個体中2個体が落下直後には失神状態だったものの回復し、その後の飼育では体の損傷や死亡は認められなかった。カジカ小卵型2歳魚では、5個体中1個体が落下直後に死亡し、1個体が頭部に損傷(右眼に出血)が認められ(第5図)、1個体が落下直後に失神状態となったものの回復、落下直後に死亡し



第5図 落下により頭部を損傷したカジカ小卵型

た個体以外はその後の飼育で死亡することはなかった。アジメドジョウ0歳魚では、全5個体すべて、落下直後、その後の飼育いずれにおいても異常は認められなかった。アマゴ0歳魚では、5個体中1個体が翌日までに死亡したほか、異常は見られなかった。

②(塩ビ水槽底面に直接落下)

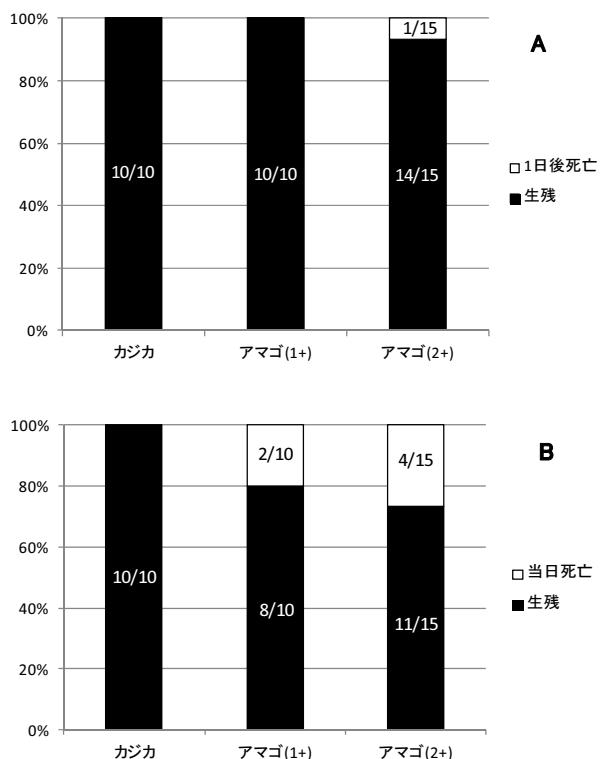
カジカ小卵型2歳魚では、5個体中2個体が落下直後には失神状態だったものの回復し、その後の飼育では体の損傷や死亡は認められなかった。カジカ小卵型0歳魚、アジメドジョウ0歳魚、アマゴ0歳魚では、いずれも実験に供した5個体すべて落下直後、その後の飼育とともに異常は見られなかった。

③(水をためた塩ビ水槽に落下)

水深を10cmに設定した場合では、カジカ小卵型0歳魚・2歳魚、アジメドジョウ0歳魚、アマゴ0歳魚のいずれにおいても、実験に供した5個体すべて落下直後、その後の飼育とともに異常は見られなかった。水深20cmではカジカ小卵型0歳魚、アジメドジョウ0歳魚、アマゴ

第1表 実験1により確認された落下魚類が受けた影響(死亡・頭部の損傷・一時的に動かなくなるなどのダメージが見られた個体数/落下個体数)

魚種	年齢	平均体重(g)	水深(cm)					
			0		10	20	30	40
			コンクリート路面	塩ビ水槽底面				
カジカ小卵型	0+	0.8	2/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5
	2+	21.7	3/5	2/5	0/5			
アジメドジョウ	0+	0.5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5
アマゴ	0+	22.7	1/5	0/5	0/5	0/5		



第6図 実験2により確認された落下魚類の死亡と生残の割合。A: 水深18cm; B: 水深5cm (バーに表記の数字は死亡個体数/落下個体数)

0歳魚で実験を行い、水深30cmと40cmではカジカ小卵型0歳魚、アジメドジョウ0歳魚で実験を行ったが、いずれの場合でも各5個体の供試魚すべてで落下直後、その後の飼育とともに異常は見られなかった。

実験2(第6図)

実験2は2008年12月4日に実施した。

①(水深18cmとしたプラ舟に落下)

アマゴ2歳魚で15個体中1個体が落下1日後に死亡したほかは、カジカ小卵型3歳魚10個体、アマゴ1歳魚10個体のすべての供試魚で落下直後、その後の飼育とともに異常は見られなかった。

②(コンクリートブロック設置で水深5cmとしたプラ舟に落下)

カジカ小卵型3歳魚では供試した10個体すべて落下直後、その後の飼育とともに異常は見られなかった。アマゴ1歳魚では10個体中2個体、アマゴ2歳魚では15個体中4個体が実験当日に死亡した。その他のアマゴ1歳魚とアマゴ2歳魚には、落下直後、その後の飼育のいずれも異常は見られなかった。

考 察

今回の実験結果では、落下した魚が死亡する、一時的に動かなくなる、頭部を損傷するといった魚体へのダメージが認められたのは、水深18cmのプラ舟に落下したアマゴ2歳魚の一部を除き、コンクリート路面に直接、塩ビ水槽底面に直接、あるいはコンクリートブロック面まで5cmの水深とした場合であった。モクズガニの場合は落差1mであってもコンクリート面への落下は体の損傷を生じるケースがあるとされる(浜野ほか, 2005)。イワナの場合は、落下先に淵がない場合には高い割合で落下魚が死亡することや(土居ほか, 2002), 落下先の水深が成魚では50cm, 稚魚の場合では30cm以上となると死亡率が低くなるとされる(土居ほか, 2003)。サクラマスの場合では、落下速度が10m/s程度以下の場合では落下先のプール水深が0.4m以上となると落下魚の生存率は非落下魚と差が無くなり、落下速度が15m/s程度以上となると落下先のプール水深が0.7mと1.0mとで生残率が大きく異なり、1.0mでは非落下魚と差が無いことなどが報告されている(森田ほか, 2009)。これらは、落下先の水深が浅いほどダメージが大きいことで一致しており、河川横断工作物から水生生物が落下する際の影響は、落下生物が工作物下部のタタキ部と呼ばれるコンクリート面に直接たたきつけられるか、副堤などにより作られるプールによって落下の衝撃が減衰されるのかによって大きく異なることを示唆するものである。ところが、土居・中村(2001)では、淵のある低い堰堤と淵のない低い堰堤のいずれにおいても死亡魚が見られ、落下高さや淵の有無だけでは死亡率の違いが無いという例が示されている。このため、今後もデータの蓄積を進めた上で、落下先に淵(プール)が存在するか否かで落下生物へのダメージが異なるかどうかを判断する必要がある。

本研究では、カジカ小卵型の場合、コンクリート路面に直接落下した場合に0歳魚では死亡魚が無かったのに対して2歳魚では1個体が死亡、1個体が頭部の損傷が認められ、アマゴの場合、水深18cmでは1歳魚は死亡は認められなかったのに対して2歳魚は1個体が死亡し、水深5cmでは1歳魚は2個体(20%)が死亡したのに対して2歳魚では4個体(27%)が死亡した。また、アジメドジョウ0歳魚はどの実験でも異常は認められなかった。このことから、魚体が大きいものの方が落下による魚体へのダメージを受けやすいと考えられそうであるが、これは、Sirahata(1970)や佐川ほか(2004)が報告した、若齢(小型)個体の方が生残率が低くなった結果とは異なるもの

第2表 本研究および関連研究における落下実験の条件設定

実験場所	本研究 実験設備	Shirahata(1970) 滝	実験設備	土居・中村(2001) 砂防堰堤
魚種 (年齢、平均体長 (甲幅)、平均体重)	カジカ小卵型 (0+, 0.8g; 2+, 21.7g; 3+, 113mm) アジメドジョウ (0+, 0.5g) アマゴ (0+, 22.7g; 1+, 163mm; 2+, 217mm)	ニジマス (10.1, 127, 508g)	ニジマス (16, 68, 401g)	イワナ (0+, 60mm, 7g; 1+, 200mm, 90g)
落下高さ	4m	55m (傾斜 45°)	1~5m	4.3~16.4m
落下条件	出水管流速 130cm/s	流量 0.8 m³/s	自由落下	堰堤上流量 0.16~0.76 m³ 堰堤上流速 16.6~203.8cm/s
落下先条件	コンクリート路面 塩ビ水槽底面 水深 5・10・18・20 ・30・40cm	水深 20~50cm	乾燥 コンクリート面	コンクリート面(水 深 5cm) ～水深 135cm
土居ほか(2002)	土居ほか(2003) 実験設備	佐川ほか(2004) 床固工	浜野ほか(2005) 実験設備	森田ほか(2009) 実験設備
イワナ (0+, 107mm, 13.4g; 2+, 274mm, 261.8g)	イワナ (0+, 124mm, 27.7g; 1+, 184mm, 86.1g)	ニジマス (0+, 85mm, 5g; 1+, 183mm, 75g; 2+, 273mm, 220g; 3+, 481mm, 1297.5g) ハナカジカ (81mm) フクドジョウ (108mm)	モクズガニ (49.4mm, 54.2g; 49.0mm, 54.1g; 50.6mm, 57.4g; 79.6mm, 278.9g)	サクラマス (尾叉長 150mm 以 下)
8m・12m・15m	8m・15m	2m	1~11m	3・5・10・15・20 ・25m
バケツの水とともに に落下	バケツの水とともに に落下	堰堤自然流量で落 下	出水管流速 40cm/s 以上	落下速度 8・9.7・13.2・15.5 ・16.6・16.6m/s
FRP 水槽底面 水深 30cm	水深 10・30・50cm	平均値 11.3・77.9cm	コンクリート路面 水深 60cm	水深 40・70・100cm

であるため、ここでは、年齢や体サイズと落下による魚体へのダメージの関係について結論づけることはできない。仮に体サイズが大きいほどダメージを受けやすい場合には、アマゴ(サツキマス)やヤマメ(サクラマス)のように、ある程度成長してから能動的に河川を降下する種にとって、河川横断工作物の存在が降河回遊時の生残に大きな影響を及ぼす可能性がある。このような体サイズと魚体へのダメージの関係について明らかにするには、より詳細な検討や知見の蓄積が望まれる。

これまでに行われてきた高所からの落下が落下生物に及ぼす影響に関する研究は、実際に河川にある工作物を用いて調査された事例や、工作物を想定して設定された実験設備での落下試験の事例があり、また、試験設定も落差、落下速度などの落下条件設定、落下先の条件設定、供試した水生生物の種類など、ほとんどが異なる条件で行われてきた(第2表)。そのため、多くの実験結果は単純には比較できない。さらに、本研究と以前の研究例との間では、年齢(体サイズ)と魚体へのダメージの関係の傾向が全く一致しないことも明らかとなった。今後、さらなる検討やデータ集積を行う際には、より多くの研究例と比較検討を行いやすいうように、実験条件を慎重に設定していくことが必要であろう。

要 約

1. 地上4mの位置から水とともに魚を落下させる実験を行い、実験直後から5日後まで飼育を行い魚体へのダメージを観察した。
2. 落下により魚体にダメージを受けたのは、水深18cmのプラ舟に落下したアマゴ2歳魚の一部を除き、コンクリート路面に直接、塩ビ水槽底面に直接、あるいはコンクリートブロック面まで5cmの水深とした場合であり、落下先の水深が浅いほど魚体にダメージを受けやすいと考えられた。
3. カジカ小卵型やアマゴの場合、体サイズが大きい、または高齢であるほど魚体にダメージを受けやすいと思われたものの、体サイズが小さい、または若齢であるほど生残率が低いとした既知の事例とは一致せず、より詳細な検討や知見の蓄積が望まれる。

文 献

土居隆秀・中村智幸. 2001. 在来水産資源生態調査研究－イワナの堰堤落下試験－(平成11年度). 栃木県

水産試験場研究報告, 44: 73-75.

土居隆秀・福富則夫・久保田仁志・阿久津正浩. 2002. 在来水産資源生態調査研究－イワナの堰堤落下試験－(平成11年度～平成12年度). 栃木県水産試験場研究報告, 45: 95-97.

土居隆秀・福富則夫・沢田守伸・久保田仁志. 2003. イワナ等渓流魚適性増殖手法開発事業－イワナの堰堤落下試験－(平成11年度～平成13年度). 栃木県水産試験場研究報告, 46: 108-111.

遠藤辰典・坪井潤一・岩田智也. 2006. 河川工作物がイワナとアマゴの個体群存続におよぼす影響. 保全生態学研究, 11: 4-12.

浜野龍夫・飯田 健・荒木 晶・竹下直彦. 2005. 模擬的な堰堤からコンクリートやプールに落下したモクズガニの生残率. 日本水産学会誌, 71(2): 131-137.

Morita, K and S. Yamamoto. 2002. Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. Conserv. Biol., 16(5): 1318-1323.

Morita, K., S. H. Morita and S. Yamamoto. 2009. Effects of habitat fragmentation by damming on salmonid fishes: lessons from white-spotted charr in Japan. Ecol. Res., 24: 711- 722.

森田茂雄・桑原 誠・真山 紘・山下彰司. 2009. 堰堤工作物からの落下がサクラマスの生態に及ぼす影響. 水工学論文集, 53: 1201-1206.

中村俊六. 1995. 魚のすみよい川づくり 魚道のはなし 魚道設計のためのガイドライン. 山海堂, 東京.

大浜秀規・坪井潤一. 2009. 透過型堰堤における魚道としての機能. 応用生態工学, 12(1): 49-56.

佐川志朗・近藤 智・渡辺雅俊・三沢勝也・中森 達. 2004. 床固工の改良が落下魚類の生存率へ与える影響. 応用生態工学, 6(2): 121-129.

Shirahata, S. 1970. Survival of trout dropped from a waterfall. Bull. Freshwater Fish. Res. Lab., 20(2): 93-100.

Yamamoto, S., K. Morita, I. Koizumi and K. Maekawa. 2004. Genetic differentiation of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenensis*) populations after habitat fragmentation: Spatial-temporal changes in gene frequencies. Conserv. Genet., 5: 529-538.