「棚田式魚道」における稚アユの遡上経路

馬渕和三¹・板垣 博²・平松 研³・清水英良⁴

Ascending Route of Juvenile Ayu at Terrace Type Fishways

Kazumi Mabuchi¹, Hiroshi Itagaki², Ken Hiramatsu³ and Hideyoshi Shimizu⁴

Abstract: A fishway is a kind of facilities attached to a river-crossing structure to aid fishes to ascend it. The entrance of conventional pool-type fishway or fishslope is, however, located apart downstream from the facility, which often let fishes lose the entrance. A fan-shaped fishway and a terrace type fishway that is a modified form of the fan-shaped one are improved versions of pool-type fishway and fishslope whose entrances are widely opened in order for fishes to find them safely and surely. The effectiveness of their widely-opened entrance is known qualitatively by several surveys, whereas not known quantitatively. The aim of this paper is to confirm its superiority over the conventional ones by investigating the ascending routes of juvenile Ayu (*Plecoglossus altivelis*) at two terrace type fishways. The path of each fishway is spatially divided by sand bags into three routes, i.e. right side, center and left side and the number of ascending fish is counted by using video-cameras installed at the upper end of each route. As a result, 66.6% of ascended fish entered the fishways from sides. They might have lost the entrance, if the entrance were the conventional shape. The choice of route seemed to depend on location of the thalweg or gut. Ayus ascended only in daytime from noon to around 6 p.m. in both fishways, which might be due to water temperature, light intensity and their periodic habit. More than 1,000 Ayus ascending the fishways were seen in each day during the investigation period, which would indicate that these terrace type fishways works properly.

Keywords: Ayu, Ascending route, Fishway; Terrace type; River environment

1 はじめに

魚道は、河川内における水棲動物、主に魚類の移動障害を除去・軽減するものであり、一般に河川構造物に附設される施設である。17世紀には簡易な形態のものが設置されたとの記録があり、300年以上の歴史がある (Clay, 1995)。その形式はしばしば、プールタイプ (階段式、バーチカルスロット型など)、ストリームタイプ (斜路型、デニール型など)、その他 (ロック式など) の3種類に分類される。西日本におけるアユなどの小型魚を対象とする魚道では、プールタイプの一種である階段式の魚道が比較的適していると考えられおり、数多くの設置が見られる。また、特に河川上流では、維持管理の容易さから粗石付斜路型魚道などの設置も数多く見られる。これらの魚道は設計時に想定する適切な条件下においては本来の性能を発揮するはずであるが、過去に設置されたものの中には機能不全に陥っているものも少なくない。これらにおいては、「流量あるいは流速が適切でないため魚が遡上できない」といった魚道内の遡上プロセスにおける問題だけでなく、「堆砂あるいは洗掘により魚が魚道へ入

れない」、さらには「魚が魚道入り口を見つけられない」という魚道に入るまでのプロセス部分に問題を有していることが多い。

この問題に対して、魚道を折り返すことにより入り口を河川構造物に近づける手法や開口部を扇形あるいは半円状にして入り口を大きくする手法が考案され、近年、これらを導入する事例が増えつつある。このうち、後者は、一般に扇形魚道 (ダム水源地整備センター, 1991; 和田, 2003) と呼ばれている階段式魚道との組み合わせが多いが、粗石付斜路型魚道の一部 (ドイツ水資源・農業土木協会, 1996) やプールタイプとストリームタイプの両者の特徴を有するハイブリット型魚道である「棚田式魚道」においても同様の手法が導入されている。その流下状況・水理学的な条件は、たとえば、扇形魚道について Fujihara and Fujita (2009)、「棚田式魚道」については馬渕ら (2003) の研究が見られるが、一方で、魚類の遡上に関する有効性については定性的な評価しかされておらず、広くした開口部が実際にどのように利用されているかについて、これまでに検証した例は見あたらない。

本研究では、両側回遊魚であるアユ (*Plecoglossus altivelis*) を対象魚として、岐阜県西部を流れる根尾川の第3床固工および同地域を流れる牧田川の第13床固工に設置された「棚田式魚道」において、魚道への侵入箇所を確認することで、広くした開口部の有効性を明らかにすることを目的とする。また、時系列計測数より、アユの遡上特性についても言及する。

2 対象魚道と調査条件

¹岐阜大学大学院連合農学研究科学生、株式会社山辰組代表取締役 Graduate Student, The United Graduate School of Agricultural Science, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan, President, Yamatatsu-gumi Construction Company, 203-1 Inabata, Ohno-cho, Ibi-gun, Gifu 501-0511, Japan

²岐阜大学応用生物科学部名誉教授 Professor Emeritus, Department of Environmental Science, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

³岐阜大学応用生物科学部准教授, Associate Professor, Department of Environmental Science, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan (Corresponding Author) E-mail: hira@gifu-u.ac.jp

⁴岐阜大学応用生物科学部教授 Professor, Department of Environmental Science, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

2.1 「棚田式魚道」

「棚田式魚道」は、開口部を変形した半円状にすることで、魚道正面からの侵入の他に、堰堤に沿った方向からの侵入も可能にしているほか、水深 20cm 程度のプール部を有し、さらに縦方向の勾配 (1:10) と横方向の勾配 (1:6) を変えることにより、流量低下時においても遡上経路を確保する点や、流量や水位の変化に強く、維持管理が容易であるというストリーム型と同様の利点を有していることに特徴がある (馬渕ら, 2003)。現在、根尾川第 3 床固工、牧田川第 13 床固工等に設置されているが、多くのアユの遡上が確認されており、比較的段差の小さな河川構造物においては、階段式魚道に加えて、新たな選択肢の一つになりうると考えられている (図 1)。

図 1: 根尾川に設置された棚田式魚道

2.2 根尾川第 3 床固工設置の「棚田式魚道」

当該魚道は、1999 年に岐阜県本巣地域を流れる根尾川の第 3 床固工に設置されている (図 1,2)。根尾川第 3 床固工は揖斐川との合流点から約 10.8km 上流にあり、根尾川管内で魚道が設置されている床固工のうちでは最上流になる。床固工の全幅は 133.75m であり、落差は 1.40m となっている。当該魚道は河道中央部に設置されており、河道方向の長さが約 10.0m、横断方向の長さが約 32.7m、8 段のプールで構成されている。また、右岸には本魚道設置前に設けられた 2.5m 幅の階段式魚道があり、河道右側の一部を分離するような形となっている。この既設魚道は、河床低下により上り口に落差が生じている上に、その先の下流部には土石が堆積しており、遡上が困難な状況になっている。近辺で見られる主な魚種は、アユ、アマゴ、オイカワ、ヨシノボリ類、カジカ、ウナギとされている。

調査は平成 14 年 5 月 24 日から 5 月 26 日にかけて行い、時間は午前 5 時から午後 7 時までとした。調査期間は 26 日に一時曇りとなったほかは晴天であり、日中の平均気温は 23°C、水温は、調査を開始する午前 5 時に 15°C 程度、午後 5 時から午後 7 時が最も高く、19°C 程度になっていた。第 3 床固工上流部に設置された量水標での水深は、5 月 24 日から順に 36cm、33cm、32cm であり、流量は同じく 26.84m³/s、24.56m³/s から 23.20m³/s であった。調査期間中は水深、流量ともにやや減少傾向にあるが、流況としては大きな違いは見られなかった。これまでの調査により当日の魚道入り口の平均流速は 75cm・s⁻¹ 程度であると推定されている。

2.3 牧田川第 13 床固工設置の「棚田式魚道」

当該魚道は 2001 年に岐阜県大垣・養老地域を流れる牧田川の第 13 床固工に設置された (図 2)。牧田川第 13 床固工は揖斐川との合流点から約 12.2km 上流にあり、全幅 65.6m、落差 0.65m となっている。魚道は前述の魚道同様に河道中央部にあり、河道、横断方向の大きさがそれぞれ約 6.2m と約 20.8m、プール段数が 6 段となっている。近辺で見られる主な魚種は根尾川とほぼ同じであるとされており、この他に調査時にはエビ類 (種名不明) やモクズガニなども確認されている。

魚道下流部の左岸側には大規模な洲が形成されており、左岸を流下する流れは魚道の下流で大きく河道中央方向に湾曲していた。このことから、魚道左岸部からの遡上は見られないことが予想されたため、稚アユの遡上を確認される前に魚道下流 30m の土砂を移動させたが、滞筋は右岸側のままで大きくは変化しなかった。

調査は平成 14 年 7 月 3 日から 7 月 4 日にかけて行い、時間は午前 5 時から午後 7 時までとした。調査期間は両日ともに晴天であり、日中の平均気温は初日が 28°C と二日目が 29°C であった。水温は 5:30、10:30、13:00、17:00 に計測したが、両日とも午前中は 15°C~16°C、午後は 18°C~19°C となった。第 13 床固工の直上流部で計測した水深は初日が 6cm、二日目が 5cm となり、両日の流況はほぼ同じとなっていた。同年の 6 月には本床固工の下流約 1,000m で、河川水がすべて伏流化し、断流が確認されており、稚アユの遡上が阻害されていた。調査期間も流量は平年流量を大きく下回る状況にあった。

図 2: 対象魚道位置

2.4 調査方法

調査では、棚田式魚道を土嚢により、左岸側、中央部、右岸側の 3 経路に分離し、それぞれの経路を遡上するアユの数を時刻とともに記録した。なお、それぞれの経路を遡上するアユは誘導ネットによりビデオカメラの前を通過するようになっており、計測は右岸高水敷に設置されたモニターで行った。計測数は 1 時間単位でとりまとめた。アユに警戒させないために土嚢の色は黒色とし、上部が水面からわずかに出るように積み上げた (図 3~7)。

3 調査結果

3.1 根尾川第 3 床固工

調査初日は、調査開始からしばらくは遡上が見られず、正午になってから遡上を確認されはじめた。午後は継続して遡上が見られたが、14 時から遡上個体数が増えはじめ、

16時から17時の間にピークを迎えた。この時間帯には、概ね5～10分毎に5～15個体の群れの遡上が見られた。この時間帯の遡上個体数は当日の遡上個体総数の約25%を占める結果となった。遡上経路については、15時から16時までと18時から19時までの時間帯で左岸側の遡上経路をとる個体が中央部を通過する個体よりも多かった以外は、中央部の遡上経路をとる個体が最も多く、1158個体、全体の51%を占めた。左岸側を遡上経路とした稚鮎は929個体と全体の41%、右岸側については188個体と全体の8%であった。

図3: 調査設備概要

調査二日目は、前日同様に午前中に遡上が見られず、12時50分から遡上を確認されるようになった。午後は継続して遡上が見られたが、18時以降、急激に遡上個体数が減少し、18時20分にはほぼ皆無となった。この日最も多くの遡上個体が見られたのは14時から15時までの時間帯であり、当日の遡上個体数の27%を占めた。遡上経路については、左岸側の遡上経路をとる個体がいずれの時間帯においても最多であり、続いて中央部、右岸側の順となっている。左岸側、中央部、右岸側の経路を通過した個体は、それぞれ688個体(65%)、267個体(25%)、112個体(10%)となった。

調査三日目では、遡上は12時から17時20分の間に見られ、午前中および17時20分以降は全く確認されなかった。最も多く遡上を確認された時間帯は14時から15時までであり、全体の33%を占めた。遡上経路については、左岸側からの遡上経路をとる個体が各時間帯において最多となっており、続いて中央部、右岸側の順になっている。1日全体としても左岸側を遡上経路とする個体が最も多く、668個体、全体の56%となっている。また、中央部と右岸側を遡上経路とした個体は、それぞれ、339匹(29%)、177個体(15%)となった。(表1, 図8)

3.2 牧田川第13床固工

調査初日、稚アユの遡上を確認されたのは正午からの時間帯で、午前中の遡上は確認されなかった。12時から14時までの時間帯に多くの遡上が見られ、その割合は当日の遡上確認個体数の64%になった。また、17時以降は遡上を確認されなかった。遡上経路については、13時から14時までの時間帯では右岸側からの遡上経路をとる個体が多くみられたが、それ以外の時間帯はすべて左岸側からの遡上経路が最多となった。中央部の経路をとる個体数が最多となることはなかった。1日を通して集計すれば、左岸側を遡上経路とする稚アユが644個体、全体の

図4: 土嚢による遡上経路区分（根尾川第3床固工）

図5: 調査設備全体（根尾川第3床固工）

図6: 調査設置状況（牧田川第13床固工）

図7: カメラ設置箇所（牧田川第13床固工）

表 1: 第 3 床固工における稚アユの遡上時間帯と経路

Term	Ratio in Term	Right	Center	Left	Total
5/24					
5:00-12:00	0%	0	0	0	0
12:00-13:00	6%	11	60	60	131
13:00-14:00	3%	2	52	9	63
14:00-15:00	19%	46	223	160	429
15:00-16:00	24%	33	253	266	552
16:00-17:00	25%	30	367	174	571
17:00-18:00	7%	20	98	44	162
18:00-19:00	16%	46	105	216	367
Total	100%	188	1158	929	2275
5/25					
5:00-12:00	0%	0	0	0	0
12:00-13:00	5%	5	11	36	52
13:00-14:00	18%	14	37	145	196
14:00-15:00	27%	34	50	208	292
15:00-16:00	21%	25	48	147	220
16:00-17:00	14%	16	54	78	148
17:00-18:00	14%	4	67	74	145
18:00-19:00	1%	14	0	0	14
Total	100%	112	267	688	1067
5/26					
5:00-12:00	0%	0	0	0	0
12:00-13:00	12%	10	16	116	142
13:00-14:00	26%	39	85	181	305
14:00-15:00	33%	43	161	189	393
15:00-16:00	17%	36	53	118	207
16:00-17:00	11%	45	24	63	132
17:00-18:00	0%	4	0	1	5
18:00-19:00	0%	0	0	0	0
Total	100%	177	339	668	1184

図 8: 遡上時間変化と遡上経路 (根尾川)

50%を占め、中央部と右岸側の経路はそれぞれ、329 個体、全体の 26%と 306 個体、全体の 24%であった。

調査二日目、前日同様に 12 時から稚アユの遡上が始まり、12 時から 17 時にかけて一様に遡上が確認できたが、中では 12 時から 13 時までの遡上確認個体数が最も多く、73 個体、この日全体の 26%となった。遡上経路については、左岸側からの遡上経路をとる稚アユがいずれの時間帯においても最多となっており、続いて右岸側、中央部の順となっている。1 日を通した集計では、左岸側を遡上

経路とする稚アユが 730 個体となり、全体の 54%を占め、右岸側および中央部は、316 個体 (同 24%) と 293 個体 (同 22%) となった。(表 2, 図 9)

表 2: 第 13 床固工における稚アユの遡上時間帯と経路

Term	Ratio in Term	Right	Center	Left	Total
5/25					
5:00-12:00	0%	0	0	0	0
12:00-13:00	35%	53	117	276	446
13:00-14:00	29%	174	73	121	368
14:00-15:00	17%	35	68	111	214
15:00-16:00	7%	8	23	54	85
16:00-17:00	13%	36	48	82	166
17:00-18:00	0%	0	0	0	0
Total	100%	306	267	644	1279
7/4					
5:00-12:00	0%	0	0	0	0
12:00-13:00	26%	73	92	186	351
13:00-14:00	14%	45	26	119	190
14:00-15:00	21%	45	106	130	281
15:00-16:00	14%	47	33	104	184
16:00-17:00	25%	106	36	191	333
17:00-18:00	0%	0	0	0	0
Total	100%	316	293	730	1339

図 9: 遡上時間変化と遡上経路 (牧田川)

4 考察

根尾川第 3 床固工に設置した魚道における調査では、右岸側から遡上した個体が全体の 11%、中央が 39%、左岸側が 50%という結果となった。前述の通り、第 3 床固工には右岸部に既設の魚道があり、さらに、その下流部に堆砂が見られた。結果として、魚道付近の流れは中央と左岸部に集中し、数十 m 下流で右岸方向にも拡がる形になっていた。すなわち、右岸側を遡上してきた個体群は、堆砂部を迂回するように、魚道のやや下流で中央方向に向きを変える必要があったものと考えられる。

次いで、牧田川第 13 床固め工に設置した魚道における調査では、右岸側から遡上した個体が全体の 24%、中央が 24%、左岸側が 52%という結果となった。第 13 床固工では、滞筋が右岸側に形成されていることから、稚アユは強い流れを避け、左岸側から多く遡上したものと考えられる。

両魚道を通じて、右岸側と左岸側から遡上した個体は全体の 66.6% を占める。左岸から魚道左岸部までの間の床固工段差に到達した個体は、到達後に河川横断方向に移動して左岸側から魚道に侵入し、右岸側から魚道右岸部までの部分に到達した個体は右岸側から、中央の経路の入り口約 15m の間に到達した個体は中央から魚道に侵入すると考えられるとすれば、魚道入り口が下流側に突出した旧来型の魚道であれば遡上できなかったであろう個体を相当数遡上させていることになる。右岸側と左岸側のいずれからの遡上個体数が多くなるかは滞筋などの流れの状況に強く影響されており、さらに自然河川において滞筋は時間に応じて場所を変えることが多いが、本魚道のように河道に対してシンメトリックな形状を持つ魚道であれば、このような滞筋の変化に対応がしやすい。右岸側と左岸側の両者を合わせて考えると、流れの状況あるいは滞筋に拘わらず、遡上個体を集めることが可能であり、扇形状あるいはそれに類似する形状の開口部は有効であると結論づけられる。

アユの遡上行動には、水温、水位、照度などの外的要因、アユ自体の集団密度や栄養状態などの内的要因、落水などの外的刺激要因が関係しているとされている（たとえば、戸井, 1999）。また、海からの遡上行動には、この他に海水温度、塩分濃度、濁度などが関係していると考えられている（たとえば、嶋田ら, 2006）。今回の調査では、計測した項目が、現地における気温、水温および水深のみであったため、厳密にアユの遡上特性を把握することは困難であるが、2 箇所、延べ 5 日間の調査を通じて、一定の共通点が確認できた。そのうち最も明確な点として、いずれの調査日においても稚アユの遡上が確認できたのは午後であったということが挙げられる。根尾川と牧田川の調査時期には 1ヶ月強の差があるが、午前中は水温は 15°C から 16°C まで、午後の水温は 18°C から 19°C までとなっており、大きな差は見られなかった。このことから、稚アユの遡上は水温に依存している可能性が考えられるが、去年までの根尾川における予備調査では、14°C から 18°C 間で遡上が確認されていることから、その依存性は限定的であると考えられる。さらには根尾川の 5 月 24 日の調査以外では、日没直前に急激に遡上個体数が減少していること、5 月と 7 月の調査を比較すると日没の早い 7 月の方が遡上の終了時間が早いことから、これらの魚道における稚アユの遡上は、日没と強い関係を持ち、すなわち水温以外にも照度あるいは時間帯等に強く依存しているのではないかと推察される。

棚田式魚道における遡上調査の結論をまとめると、次のようになる。

- 1) 遡上個体総数の 66.6% が右岸側および左岸側から魚道に侵入しており、扇形状あるいはそれに準ずる形状の魚道開口部が稚アユの魚道誘導に有効であることが明らかになった。右岸側あるいは左岸側のいずれから遡上するかについては、流れの状態や滞筋の位置により規定されるが、扇形状あるいはそれに類する形状の魚道が河道中央部に設置されている場合は、全体としての遡上個体総数には影響を受けないと考えられる。
- 2) 今回対象となったような比較的上流部に位置する魚道においては、午前中の遡上は見られない、あるいは極

めて少数であり、遡上は正午から日没前の午後 5 時前後までに集中する。

- 3) 第 3 床固工での調査時には午後 2 時前後に遡上数が増加したことが見て取れるが、第 13 床固工では正午から午後 1 時の間に遡上数が最大となっており、遡上が見られる時間帯における遡上数分布については明確な傾向を見ることは出来ない。
- 4) 稚アユが遡上を試みる条件として、絶対的な水温以外に午前と午後の水温差なども影響している可能性があること、照度あるいは時間帯等にも依存していることが推察される。
- 5) 今回、床固工下流部に到達した稚アユのうち、どの程度が魚道に侵入したかといった客観的な判断材料はないが、調査 5 日間を通じてすべての調査日において 1,000 個体以上の遡上が確認されたことにより、プールタイプとストリームタイプのハイブリットである棚田式魚道は一定の機能を果たしていると考えられる。すなわち、今回の床固工のように比較的高低差の少ない河川横断構造物の段差部に設置する魚道として同形式の魚道は有効であるといえる。

アユが漁業対象魚であることから、調査時期や調査方法には制限がかけられており、結果として、得られた知見は限定的となつてはいるが、扇形に準じる形状である「棚田式魚道」での稚アユ遡上状況と侵入経路および開口部形状の効果が明らかになった。今後も調査を継続し、魚道の効果をより定量的な形で明らかにするとともに、より一層の改善についても検討を加えていく必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省中部地方整備局木曽川上流河川事務所には様々な便宜を図っていただくとともに、情報も提供して頂いた。また、調査には山辰組社員ならびに岐阜大学学生の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- [1] Clay, C. H.(1995):Design of fishways and other fish facilities Second Edition, CRC Press, p.4.
- [2] ドイツ水資源・農業土木協会 (1996):多自然型魚道マニュアル, リバーフロント整備センター訳, 山海堂, p.33.
- [3] Fujihara, M. and Fujita, A. (2008): A simple estimation method of flow structure in a fan-shaped fishway, *JRCSA*, 14(2), pp. 29-33.
- [4] 馬淵和三・平松研・板垣博 (2003):「棚田式魚道」の水利特性と有効性に関する検証, 日本雨水資源化システム学会誌, 9(1), pp.37-42.
- [5] 嶋田啓一・後藤浩一・山本一生・和田吉弘 (2006): 長良川における稚アユ遡上量の予測に関する検討, 日本水産学会誌, 72(4), pp.665-672.
- [6] 戸井真一郎 (1999): アユによる魚道遡上条件の検討, 広水試研報, 20, pp.5-9.
- [7] 和田吉弘 (2003): 魚道見聞録, 山海堂, pp.36-37.
- [8] (財)ダム水源環境整備センター (1991): 魚道の設計, 山海堂, pp.170-171.

この論文の公開の質疑または討議は 2010 年 12 月 31 日まで受付けます。