

長良川河口堰におけるA I 技術を活用した アユ遡上数自動計数システムの構築

○田中 幹大¹・國枝 信明²・市原 裕之³・米澤 喜弥⁴

概要：

長良川のアユは、長良川流域の貴重な水産資源および観光資源であり、長良川河口堰の魚道の機能を確保するうえでの注目種として、その稚アユの魚道での遡上状況を管理開始より継続的に調査するとともに、日々の調査で得られた遡上数をホームページにて公開している。

この稚アユ遡上調査は、魚道を撮影したビデオ映像から人の目視により稚アユの遡上数を手動計数しているが、より効率的な計数方法を目指し、近年、技術向上が著しいAI（人工知能）技術を活用したアユ遡上数自動計数システムの構築を平成31年より進めてきた。

このシステムは、魚道を遡上する魚類等を撮影したビデオ映像をもとに、稚アユの泳ぎ方などを予めAIで学習させることでアユかアユ以外かの魚種判定を行いつつ、稚アユの遡上数を自動で計数するものであり、令和2年の稚アユ遡上期における試行運用では、人の目視による手動計数結果と比較して正解率90%以上の精度を確保することができ、実用化レベルでの有効性が確認できた。

本稿は、長良川河口堰管理所のアユ遡上数自動計数システムの構築と、その本格運用に向けたこれまでの取組みを報告するものである。

キーワード：長良川、魚道、アユ遡上、A I、自動計数

1. はじめに

長良川のアユは、世界農業遺産「清流長良川の鮎」や岐阜県の地域ブランド「郡上鮎」に代表されるように、長良川流域の貴重な水産資源および観光資源であり、特に海から長良川へ遡上する天然アユについては、長良川流域のみならず全国の方々にとっても関心の高い注目種となっている。長良川河口堰は、河口から5.4km上流の地点に位置し、当施設の魚道の機能を確保するうえでの注目種の一つとして、その稚アユの魚道での遡上状況を継続的に調査（H7～）しており、日々の調査で得られた遡上数を平日毎日ホームページにて公開することにより魚道の効果を示すとともに、漁業関係者や遊漁者などの一般の方々への貴重且つ重要な情報を提供している。

長良川河口堰における稚アユの遡上調査は、これまで人の目視による計数作業を行っており、4月～6月の稚ア

ユの遡上盛期には毎日調査員を配置している。そのため、調査員を継続的に確保するための予算の確保や調査を行う調査員の確保が懸念されていることから、稚アユの遡上数を自動的に計数する方法の確立が課題となっていた。

自動計数装置としては、光電管方式、超音波方式、電気伝導度の変化を利用した電極棒方式のほか、ビデオカメラによる画像解析方式が挙げられる¹⁾。このうち、超音波方式については、長良川河口堰建設時に開発を進めてきたものの、連続的に遡上する魚影を一尾ずつ分離するまでには至らず現在の目視による手動計数に至っている経緯がある。また、その他の方式も特定した魚種のみを自動計数するには至っておらず、様々な魚類が遡上する長良川河口堰での採用は不適と考えられた。

近年、ICT技術の進展によりAI（人工知能）による画像認識技術が著しい進化を遂げ、映像から特定の物体を認識することも可能となっている。一方、機構において

1. 長良川河口堰管理所 環境課 主査

2. 岩屋ダム管理所（前 長良川河口堰管理所 機械課）

3. 経営企画部 国際課 課長（前 長良川河口堰管理所 副所長）

4. 長良川河口堰管理所 環境課 課長

は平成 28 年より i-Construction&Management の取り組みが始められているところであり、長良川河口堰では ICT 技術を活用することで稚アユ遡上数の自動計数化と省力化が図られるものと考え、本社や総合技術センターと相談しながら平成 31 年より自動計数システムの構築を進めた。

2. 稚アユ遡上数の自動計数化における事前調査

2.1 目視による稚アユ遡上数の調査状況

長良川河口堰における稚アユの遡上数調査は、稚アユの遡上が確認される 2 月頃から 6 月末までの期間において、遡上盛期（4 月 1 日～6 月 10 日）は毎日、それ以外の日には 2～3 日に 1 回の間隔で日の出から日の入りまでを対象に、左岸呼び水式魚道の陸側において、魚道を真上から撮影したビデオ映像から人の目視により、稚アユの遡上数を手動計数している（写真-1）。

この目視により手動計数を行う調査員は、稚アユの体長が遡上初期は 100mm 程度、終期にかけて 50mm 程度まで小型化することを把握しつつ、同時期に同程度の体長で遡上するボラの稚魚等を形や色、泳ぎ方などでアユとそ

れ以外の魚種を判別しつつ計数作業を行っている。また、当日の調査結果は翌日夕方（平日のみ）に公表するため、調査員は当日のうちに調査を終えることを基本としている。

2.2 自動計数の事前調査

自動計数化への検討に先立ち実施した事前調査では、矢作川明治用水頭首工で導入された「魚数カウンター」や水産養殖向けに開発された「フィッシュカウンター」において、いずれも魚種判定はなされていないものの映像から魚の自動計数を行っている事例を確認した。

一方、AI による画像認識技術においては、2012 年頃から登場したディープラーニングによって画像認識の精度が大幅に向上し、工場での不良品判別や顔認証によるセキュリティ対策など、様々な用途に活用される状況にあった。

事前調査で得られた情報から、AI による画像認識技術と自動計数技術を組み合わせることにより、長良川河口堰が必要とする稚アユ遡上数の自動計数が可能となると考えられた。

3. アユ遡上数自動計数システムの構築

アユ遡上数自動計数システムは、左岸呼び水式魚道の陸側を真上から撮影したビデオ映像から稚アユを特定したうえでその遡上数を自動計数し、その結果を出力するシステムである。

このシステムの根幹をなす稚アユとそれ以外の魚種の判定と稚アユのみの遡上数の自動計数を行う「アユ遡上数計数モデル」の作成に当たっては、これまでの稚アユ遡上の計数で培われた経験を生かしてモデルの有用性を確保したうえで構築する必要があった。

3.1 アユ遡上数計数モデルの検討

3.1.1 アユ遡上数計数モデルの概要

アユ遡上数計数モデル（以下「アユモデル」という。）は、稚アユの遡上状況を撮影したビデオ映像データから、稚アユとそれ以外の魚種とを判別するとともに、稚アユのみを検出し、遡上が認められた稚アユの個体数を計数し、計数結果を出力できる機能を持つコンピュータプログラムである。この稚アユとそれ以外の魚種の判定には、AI による画像認識を利用し、AI が判定した稚アユは計数アルゴリズムによりカウントを行う。

AI による画像認識においては、機械学習技術（教師あり学習）を使用した物体検出を活用することとし、機械



写真-1 目視による稚アユ遡上数調査状況

学習に必要な教師データの準備は、既往の稚アユ遡上調査により撮影した4月中旬から5月下旬までのビデオ映像から抽出した稚アユ約17,000尾と、魚種の判別のため、それ以外の魚種約3,200尾の画像データに一尾ごとにタグ付けすることにより行った。

3.1.2 アユモデルの精度評価

アユモデルの精度指標は、目視による計数結果が存在することから、「目視による計数結果」を正解とした場合の「AIによる計数結果」の差の割合による『正解率』を用いることとした。また、AIがアユを見逃した件数と他の物体をアユと誤判定した件数が同数の場合、正解率が100%になる可能性があることを考慮し、実際にアユである物体をAIがアユと判定された割合とする『再現率』の2つを用い、それぞれの目標値は、正解率90%以上、再現率80%とした。これは正解としている「目視による計数結果」にも魚種判定の誤りなどの誤差を含んでいることや再現率は正解率より難易度が高いことを踏まえ設定したものである。正解率と再現率の数式をそれぞれ**数式-1**、**数式-2**に示す。

このアユモデルを用いて平成31年稚アユ遡上盛期から終期（4月1日～6月30日）の映像データより計数を行った結果を図-1に示す。稚アユ遡上数の増加や収束が同じ傾向であり、AIによるアユの判定ができていることが分かるものの、4月末以降は累計の乖離が大きくなった。累計の正解率については79.4%となり、目標値の達成には至らなかった。

$$1 - \frac{|count - model|}{count}$$

目視による計数結果	count
アユ遡上数計数モデルによる計数結果	model

数式-1 正解率を算出する式

$$\frac{a}{a + c}$$

		目視による計数結果	
		アユ	その他
アユ遡上数計数モデルによる計数結果	アユ	a	b
	その他	c	d

数式-2 再現率を算出する式（混同行列）

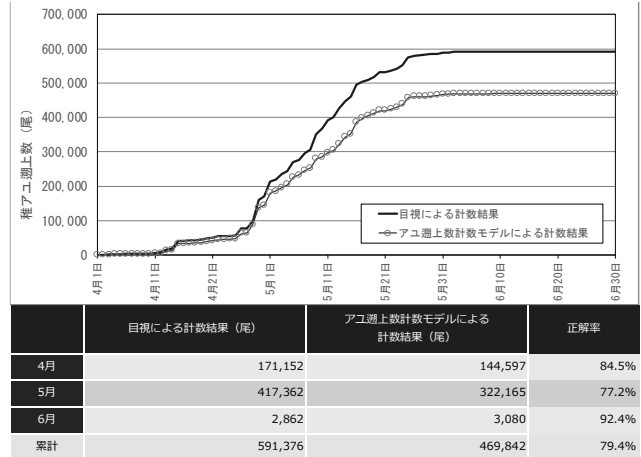


図-1 稚アユ遡上数計数結果（アユモデル改善前）

3.1.3 アユモデルの改善

計数結果の分析により、**写真-2**に示すようにビデオ映像が明るくはっきりと稚アユが見えている場合には稚アユの検出ができているものの、**写真-3**に示すように稚アユの誤検出や検出ができていないケースが確認された。

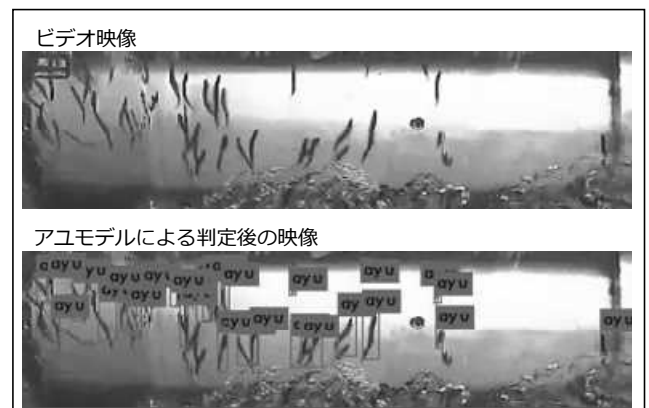


写真-2 アユの検出ができている例

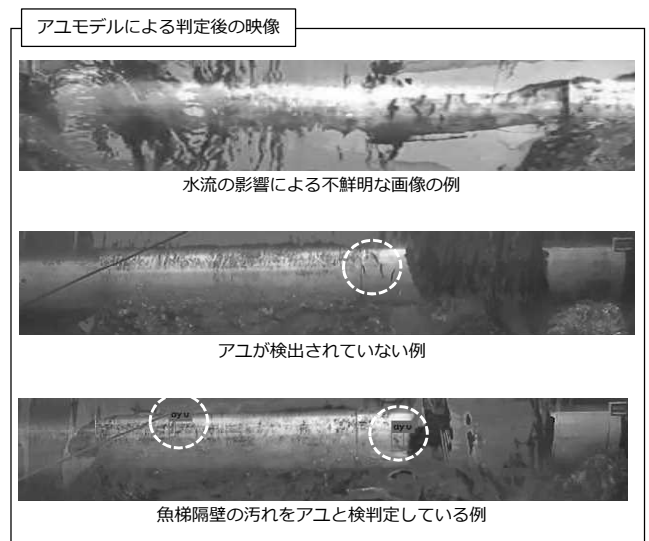


写真-3 アユの検出ができていないなどの例

これらの課題については、アユの検出の確率を高めることを目的とした「検出の向上」、魚梯隔壁の汚れなどをアユとして判定してしまう場合があることからアユ以外の画像に対してアユと判定しない「判定の向上」の対応を実施し、アユモデルの改善を図った（図-2）。

(1) 検出の向上

○魚道が屋外であり水面を撮影することから、水流や光量の影響を強く受ける。そのため、ビデオ映像を静止画像に変換する際に画像加工を行うことで、稚アユ検出の向上を図ることとした。具体的には、画像の明るさの調整や鮮鋭化を行った。

○計数作業で使用したビデオ映像のうち、アユとして検出できなかった画像を抽出し、教師データとして追加学習を実施した。

(2) 判定の向上

○魚梯隔壁部の汚れや水流の影、水面の光の反射をアユと判定しているものが確認され、この場合、静止画中の同じ座標で繰り返しアユと判定していた。このように繰り返し検出している座標のデータについては計数を行わないよう計数アルゴリズムの改善を行った。

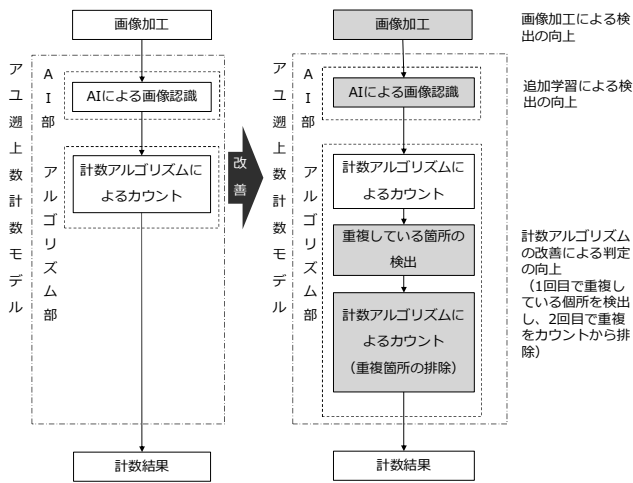


図-2 アユモデルの改善

3.1.4 アユモデル改善後の計数結果

改善後のアユモデルによる再計数の結果を図-3 に示す。

目視による計数結果とアユモデルによる計数結果の差が縮まり、正解率は目標値 90%を達成した。また、改善前のアユモデルにおいて正解率の低かった時間帯を抽出した再現率は、12.1%から 82.6%への大幅な改善が見られ、目標値 80%以上を達成した（表-1）。

このことから「検出の向上」と「判定の向上」の対応により、アユモデルの改善が図られたと考えられる。

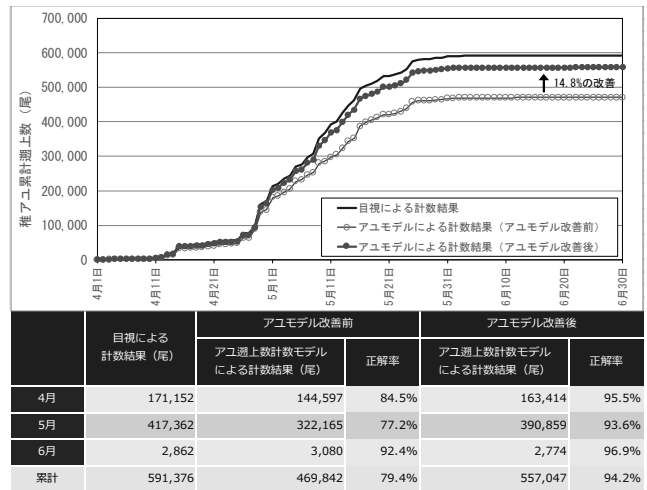


図-3 稚アユ遡上数計数結果（アユモデル改善後）

表-1 アユモデル改善前後の再現率

No	対象データ	目視による計数結果 (尾)	アユモデル改善前				アユモデル改善後			
			計数結果 (尾)	正解率	アユをアユと判定した数 (尾)	再現率	計数結果 (尾)	正解率	アユをアユと判定した数 (尾)	再現率
1	4月30日 13:20~13:30	1,191	422	35.4%	308	25.9%	1,089	91.4%	969	81.4%
2	5月3日 8:10~8:20	1,626	224	13.8%	185	11.3%	1,471	90.5%	1,328	81.7%
3	5月9日 13:00~13:10	520	15	2.9%	12	2.3%	533	97.5%	461	88.7%
4	5月10日 15:20~15:30	157	3	1.9%	3	1.9%	149	94.9%	132	84.1%
5	5月10日 17:30~17:40	49	0	0.0%	0	0.0%	38	77.6%	37	75.5%
6	5月13日 18:20~18:30	82	1	1.2%	1	1.2%	80	97.6%	66	80.5%
7	5月16日 5:30~5:40	706	19	2.7%	17	2.4%	658	93.2%	583	82.5%
8	6月2日 17:00~17:10	12	1	8.3%	1	8.3%	11	91.7%	10	83.3%
	合計	4,343	685	15.8%	527	12.1%	4,029	92.8%	3,586	82.6%

3.2 アユ遡上数自動計数システムの構築

改善後のアユモデルを採用し、令和2年の稚アユ遡上期における試行運用に向けて構築した「アユ遡上数自動計数システム」の構成図を図-4 に示す。

(1) 魚道監視カメラネットワーク

左岸呼び水式魚道の陸側を遡上する稚アユの遡上状況を、魚道に設置した2台のネットワークカメラで撮影する。

(2) ビデオ映像データ取得・転送サブシステム

魚道監視カメラネットワークからアユ遡上数計数サブシステムへビデオ映像データを送るサブシステムであり、次の機能から構成される。

○魚道監視カメラネットワークで撮影したビデオ映像データを録画サーバに保存する機能

○取得したビデオ映像データをアユ遡上数計数サブシステムに転送する機能。

(3) アユ遡上数計数サブシステム

アユを判別しカウントするサブシステムであり、次の機能から構成される。

○ビデオ映像データを取得し、静止画として切り出し

ながら画像の加工を行う機能

- ビデオ映像データ中にアユが存在するかどうかを判別するAIを使用した判定機能
- AIが判別したアユをカウントする計数機能
- 計数結果を出力する機能

なお、アユ遡上数計数サブシステムは長良川河口堰管理所内で運用するオンプレミス形態とすることも可能であるが、初期コストやハードウェア障害時の対応の懸念を考慮し、パブリッククラウド環境に構築した。

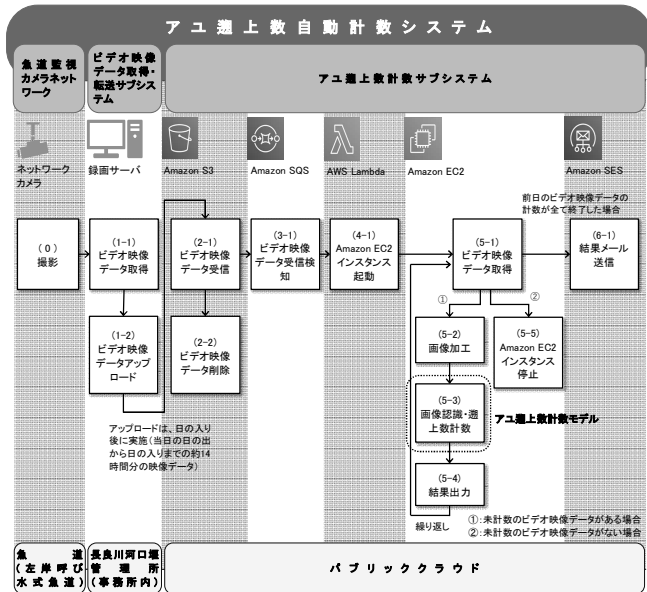


図-4 アユ遡上数自動計数システム構成図

3.3 令和2年の試行運用

3.3.1 計数結果

アユ遡上数自動計数システムの運用が可能となった令和2年4月21日から試行運用を開始し、6月30日まで計数を行った結果を図-5に示す。

月ごとおよび累計ともに、前年に引き続き正解率は目標値90%を達成し、アユモデルの汎化性能の高さを確認することができた。

なお、正解率は、「目視による計数結果」と「自動計数結果」の差の絶対値を分子として算出するため、自動計数の結果が目視による計数結果より多くても少なくとも100%以下となり、多い場合と少ない場合の情報が見えない。そのため、10分ごとの目視計数結果と自動計数結果の比とする計数比(自動計数結果/目視計数結果)により、計数の違いの傾向を確認することとした(図-6)。

計数比は、平均で92.1%であり、その多くが80%~120%に集中している。また、稚アユ遡上数が多いときも高い精度を維持して計数ができていることを確認した。

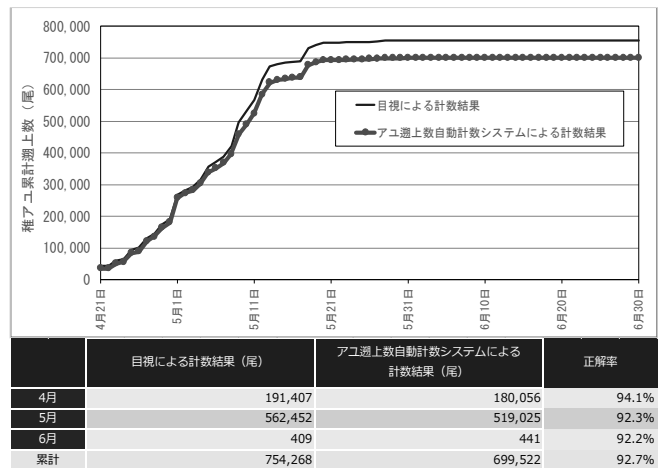


図-5 稚アユ遡上数計数結果(令和2年)

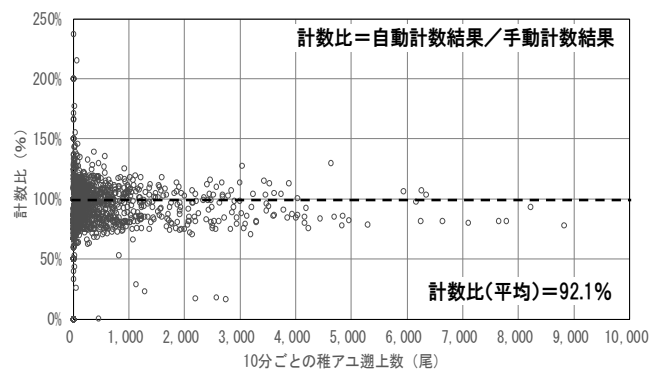


図-6 10分ごとの目視計数と自動計数との比(計数比)

3.3.2 計数結果のメール送信までに要した時間

アユ遡上数自動計数システムは、当日の日の入り後に日の出から日の入りまでの映像データをパブリッククラウドへアップロードを行った後に計数処理を行うものである。試行運用での計数結果出力までに要した各処理の所要時間を表-2に示す。

ビデオ映像データのアップロードから結果出力までの合計所要時間は15時間であった。

今回の試行運用における所要時間を踏まえ、各種処理の開始時刻を見直すことで、翌日の正午頃に結果出力が行われ、翌平日の昼間にホームページによる計数結果の公表も可能であることが確認できた。

表-2 1日分の自動計数処理の所要時間

処理名	所要時間	処理開始時刻	処理終了時刻	備考
ビデオ映像データのアップロード	50分	20:30	21:20	14.5時間分(18GB)
アユの判別・計数	14時間	翌0:00	翌14:00	
結果出力(メール送信まで)	10分	翌16:40	翌16:50	

4. 稚アユ遡上数の自動計数化によるコスト縮減

長良川河口堰における稚アユ遡上数の計数調査について、これまでの目視による手動計数からアユ遡上数自動計数システムによる自動計数に変更した場合の調査費用を試算した結果、年間で約300万円のコスト縮減が図られることを確認した。これは、目視による人件費に比べ、自動計数を行うパブリッククラウドの使用料が安価であるためである。

5. まとめ

本稿では、長良川河口堰の魚道を遡上する稚アユの計数方法について、これまでの人の目視による手動計数から自動計数化することを目的に、「アユ遡上数自動計数システム」の構築を行った。これにより次の成果が上げられた。

○長良川河口堰で管理開始以来からの課題であった稚アユの遡上数の自動計数化が、AIによる画像認識技術を用いることにより可能となり、管理の効率化を図ることができる。

○目視による手動計数からアユ遡上数自動計数システムを用いた自動計数の運用へ移行することにより、コスト縮減を図ることができる。

今後の課題としては、アユ遡上数自動計数システムの稚アユ検出精度の維持を図るため、魚梯隔壁の清掃やビデオ撮影箇所における遮光設備の設置はこれまで通り継続が必要である。

今回、i-Construction&Managementの一環としてAIによる画像認識技術を活用し、稚アユという特定した魚種のみを自動計数するシステム構築を示したが、この手法は環境調査への応用としては国内において先駆的な例となるものと考えられる。堰施設で魚道を遡上する魚類の調査は広く行われており、ビデオ映像から人の目で魚種を判別できる状況にあれば、応用可能と考えられることから、今回構築したシステムの今後の活用が期待される。

謝辞

アユ遡上数自動計数システムの構築を進めるにあたり、関西・吉野川支社淀川本部の後藤利水者サービス課長（前長良川河口堰管理所副所長）、総合技術センターの田村チーフ、思川開発建設所の上野機械課長様（前長良川河口堰管理所機械課長）千葉用水総合管理所の松橋様（前長

良川河口堰管理所）、池田総合管理所の吉村様（前長良川河口堰管理所）には、多大なるご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 廣瀬利雄・中村中六(1991). 魚道の設計. 財団法人ダム水源地環境整備センター. p. 332-335.