

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	Modeling of fish preference for designing river works to facilitate migration
氏 名	RINA FEBRINA

Migration of fishes from downstream to upstream or vice versa takes place for the purpose of food, spawning and so on. Barriers across rivers often have negative impacts on natural fish populations and, along with other factors, may contribute to the diminished abundance, disappearance or even extinction of species. To minimize the severe impact on the river ecosystem, fish passage is installed. The general principle of fish passage is to attract fish that move up the river to a specific location in the river downstream of the obstruction so as to induce them actively, or even make them passively, pass upstream by opening a waterway or by trapping them in a tank and transferring them upstream. In Japan, the pool and weir fishways are intended mainly to provide passage upstream for ayu (*Plecoglossus Altivelis Altivelis*). Ayu is an amphidromous species and is the most important commercial fish in Japan.

The design of a fish passage, the effectiveness of which is closely linked to the water velocities and flow patterns, should take into account the behavior of the target species. The most important factor in designing fish passage is the easiness to find the entrance of fish passage. Water currents are believed to play an important role in guiding or directing fish on their migrations. Thus the water velocities in the pass must be compatible with their swimming capacity and behavior. A large water level difference between pools, excessive aeration or turbulence, large eddies or low flow velocities can act as a barrier for fish. In addition to hydraulic factors, fish are sensitive to other environmental parameters (sound, air bubble, level of dissolved oxygen, temperature, noise, light, etc.), which can have a deterrent effect.

This study is divided into two parts. In the first part, I determine approach to entrance of fish passage. In this part I select sound and rheotaxis as controlling parameters because sounds are believed to elicit changes in the behavior of fish and the movement of fish in response to current (rheotaxis) has been treated as a priori driving force that can determine swimming direction. In this research, I determine preference of rheotaxis and sound based on laboratory experiments, and build a model to determine fish migration path. In the second part, I evaluate a fish passage itself. Recently, stone embedded fish passage (SEF) is getting popularity in some

areas of Japan as an inexpensive small-scale river restoration works. I select Fushino River SEF because the efficiency of the SEF has not been evaluated and the design parameters of it are not clear enough yet. In this research, I evaluate the condition of Fushino River SEF whether ayu can rest at pools and swim through channels or not based on preference of adult and Juvenile Ayu.

In rheotaxis experiment, I conducted pair comparison of Ayu distribution between upper and lower section of a test watercourse using several velocity conditions (10, 30, 40 cm/s for Juvenile and 20, 30, 50, 70, 90 cm/s for adult). Through these experiments, I revealed that ayu shows positive rheotaxis under 30 cm/s and 40 cm/s for juveniles, and 50 cm/s for adults.

Sound experiments were conducted by using a watercourse at the end of which an underwater speaker was installed. I emitted sound from speaker with different sound pressure level. Sound source were pure tone (100 Hz, 200 Hz, 400 Hz and 800 Hz), white noise, a recorded sound at a weir in Fushino River, and a recorded sound at a fish ladder in Misumi River. The result showed juvenile and adult ayu avoid pure sound of 100 Hz and the recorded sound at the Fushino River weir, but they prefer pure sound of 200 Hz and the recorded sound at the fish ladder.

Based on above findings, I define a procedure to calculate preference of rheotaxis and sound then build them into our fish behavior simulation model on GIS software. The model could successfully reproduce observed fish migration behavior in the actual river.

For evaluating Fushino River SEF, I reproduced the condition of the SEF in laboratory, which consists of a pool and a channel. Based on experimental results using various discharge, channel slope, channel length, and pool size, I develop decision tree to estimate the passability of a pair of channel and pool. Then I propose an equation to estimate whole SEF combining the estimation result of the decision tree. Lastly I verify the equation through field experiments. The equation could show a framework of SEF estimation.

**Key words:** Ayu, preference, rheotaxis, sound, SEF

## 【論文審査結果の要旨】

魚類の遡上や降下などの回遊行動は、産卵や摂餌のために行われる。回遊行動を妨げるような障壁は、多くの場合天然魚の個体数に負の影響を持ち、生物量の減少や、種の絶滅をもたらす恐れすらある。このため、国土交通省の魚がのぼりやすい川づくり推進モデル事業に代表されるように、魚が自由に上下に移動できる河川が求められている。

このような障壁が河川生態系に与える影響を最小限に抑えるために設置される人工構造物として、魚道がある。山口県では、小わざ魚道と称する安価で小規模な施設を提案し、自然な外観から全国的に高く評価されているが、その設計条件は明確ではない。本研究では、小わざ魚道の施設設計に寄与することを目指し、淡水域で最も重要な商業魚であるアユ (*Plecoglossus Altivelis*) を対象魚として、魚道にとって最も重要な要素である入口の見つけやすさと、魚道本体の通過のしやすさが説明できる魚の選好性モデルを開発することを目的とした。

本研究の主要部分は2つのパートからなる。最初のパート(第3章, 第4章)では、魚道入口への魚の接近経路の評価法を取り扱う。2つ目のパート(第5章)では、魚道そのものの通過容易性の評価法を取り扱う。本論文の構成と内容は以下の通りである。

第1章では、研究の背景、目的および論文の構成について述べている。

第2章では、従来の研究についてまとめた。

第3章では、魚の遡上行動の主たる誘因である走流性を室内実験によりモデル化した。稚魚では10, 30, 40cm/s, 成魚では20, 30, 50, 70, 90cm/sの速度条件下で実験水路の検査区間を同一寸法で2分した上流部と下流部の2つの部分におけるアユの存在分布の対比較を行い、稚魚では30~40cm/s, 成魚では50cm/sの時、アユは強い走流性を示すことを明らかにした。以上の知見を元に、GISソフトウェア上に走流性シミュレーションモデルを作成した。このモデルにより実際の河川におけるアユの挙動観察結果を再現することに成功した。

第4章では、魚が魚道の入口を発見する重要な誘因である水中音に対する選好性を室内実験によりモデル化した。一端に水中スピーカが設置された水路を用い、純音(100 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz), ホワイトノイズ, 榎野川の堰で録音された音, 三隅川の魚道で録音された音を種々の音圧レベルで放音し、水路内のアユの分布を記録した。その結果、稚魚, 成魚とも100 Hzの純音と堰で録音された音を忌避する一方、200 Hz純音と魚道で録音された音を選好することが明らかになった。また、実際の河川に水中スピーカを設置し、100Hz純音または200Hz純音を放音して、100Hzは忌避され、200Hzは選好されるとの観察結果を得た。以上の知見を元に、第3章で述べた走流性シミュレーションモデル上

に水中音の選好性を付加した遡上行動シミュレーションモデルを作成した。このモデルにより先述の実際の河川における放音実験観察結果を再現することに成功した。

第5章では、山口県樫野川の小わざ魚道の水路ープール対の環境条件を再現できる室内実験模型を作成し、魚が通過できる流量・勾配・プール水深を評価できる決定木を作成した。また同魚道で魚の遡上実験を行い、本研究で作成した決定木で魚の遡上成功率が説明できることを示した。

第6章の結論では、本論文を総括しその成果と今後の研究課題について述べている。

以上の研究成果を用いることで、魚が小わざ魚道入口に導かれるかどうか、魚が小わざ魚道を通過しやすいかどうかを設計形状と流量から評価することが可能となった。

公聴会には、学内外から約30名の参加があり、活発な質疑応答がなされた。公聴会での主な質問内容は、①走流性実験における流速設定範囲の適切性、②試験魚の畜養、馴致条件、③100Hz, 200Hzの音の発生源、④決定木と魚道入口発見の関係、⑤決定木で抽出/除去された変数の意義、⑥決定木の適用性を高める方法、⑦選好性のウェイトの決定法など、多岐にわたるものであったが、いずれの質問に対しても発表者から適切な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性および完成度ともに非常に優れており、博士(工学)の学位論文に十分値するものと判断した。