

1. はじめに

アユは、河川環境の保全を考える上で特に重要な魚種であり、その生息環境や産卵環境の整備・保全には、アユの瀬・淵の利用状況や短・長期的な河川内での移動特性、出水等の流量変動に対する応答特性などを把握することが望ましい。アユは、遡上期・成長期・降下産卵期と季節によって異なる生活様式を示すことが知られており、その行動特性の把握には、長期間、連続的に追跡・調査することが求められる。しかし、実河川において、夜間や出水時も含め、長期にわたり連続的に目視で調査することは困難であり、機械的に調査する技術が必要となる。著者は、このような技術の確立を目指し、RFID（無線周波数認識システム）を用いた小型魚検知システムを構築してきた[1]。本稿では、このシステムを用いて新たに実施した、出水のような流量変動に対するアユの行動特性に関する室内実験について報告を行う。

2. システムの概略

構築したシステムは、アユにICタグを装着して放し、複数の検知用アンテナを用いて、アユ個々の動きを非接触で長時間、自動的に追跡するものである。図1にあるように、本システムは、ICタグおよびリーダ/ライタユニット（以下RWU、米TI社製）、システム制御・データ収集解析用ソフトウェア（独自開発）搭載PC、水中アンテナ（独自製作）で構成される。RWUは、ICタグを動作させるための信号送信やICタグからのID情報信号受信・復調等の役割を持っている。また、ホストPCは、同時に多数のRWUの制御を行い、複数のアンテナで検知したICタグ情報を収集・記録し、ICタグを装着した小型魚の動きを個別に解析するために用いられる。

3. 流量変動に対するアユの応答実験

3.1 実験の概要

FRP製回流水槽内に、速い流れから遅い流れへと変化する試験区間を設け、5つの検知用アンテナ（高さ0.65m、幅0.6m）を配した（図2）。そして、ICタグを装着した成長期のアユ（図3）13尾を放した上で、水槽内の流量を10台の水中ポンプを用いて大きく変動させ、アユ個々の行動を追跡・記録した。試験区間内に異なった流速場を作るため、水深を4条件（0.3m、0.4m、0.5m、0.6m）設定し、各条件3回の実験を繰り返し行っている。

3.2 実験結果

予備実験として、駆動ポンプ数を除々に増やして緩やかに流量を増加させ、その後、緩やかに流量を減少させ（図4）、この間のアユの行動を追跡したところ、流量変動に反応して行動したアユは一部で、流量の増減に関わらず、アユは元々定位していた場所に定位し続ける傾向

にあった。そこで、本実験では、図5のように、ポンプ1台のみを稼働している状態（T1）から10台同時に可動させ（T2）、その後また1台のみの稼働に戻す（T3）ことにより、急激な流量変化を発生させ、この間のアユの行動を追跡することとした。各時間の試験区間内の流速分布を図6に示す。

本実験では、予備実験と比較して、流量変動に反応し、定位場所を大きく変えるアユの行動が数多く記録された。例えば、図7は、流量増加時（T1→T2）に流れの遅い場所から速い場所へ移動し、流量減少時（T2→T3）に流れの速い場所から遅い場所へ移動したアユの行動記録である。図より、流量が変化する時間に、あきらかに大きく場所を移動している事がわかる。一方、この逆の例として、流量増加時（T1→T2）には流れの速い場所から遅い場所、流量減少時（T2→T3）には流れの遅い場所から速い場所へと移動するアユの行動も記録されている（図8）。また、全てのアユが流量変化時毎に反応し、定位場所を変えるわけではなく、流量増加には反応するが流量減少には無反応なアユ（図9）や、流量変化には全く無反応で実験中は終始流れの速い場所もしくは遅い場所に定位したままのアユ（図10、11）も確認された。このように、アユの流量変動に対する反応行動は個々のアユによって異なっており、供試魚全てに共通した行動を一見して把握する事はできなかった。そこで、行動追跡データ（のべ156尾分）に対し、ヨソキール・タプストラ検定（時系列データ等における増加や減少の傾向を検定するためのノンパラメトリック検定の一種）を用いて統計的に解析したところ、以下のような傾向にあることがわかった。

- ・最大流量は予備実験と同量であるが、流量を急激に増加させた場合、元々の流れが0.1m/s以上の場所にいたアユは、忌避反応を示し、流れの遅い場所へと移動する傾向にあった。一方、流れが0.1m/s以下の場所にいたアユは、元々定位していた場所に留まり続ける傾向があった。
- ・流量が急激に減少し、流れが短時間のうちに遅くなる条件下では、アユは定位していた場所の流速によらず、その場に留まり続ける傾向にあった。
- ・以上の傾向は、アユの雌雄の別には関係ない。

流量が緩やかに変動する条件、急激に変動する条件での各実験結果から、アユが流れの変化に忌避行動を示す条件について考察を行った結果、アユが定位している場所の流速の時間変動量、つまり、流れの加速度が行動特性に影響を与えていることが示唆された。本実験においては、流量増加中の流れの加速度が約0.01 m/s²以上になると、アユが忌避行動を示す傾向にあった。

参考文献 [1]無線認識技術を用いたアユの行動特性実験・周囲の明るさ変化に対する反応：山本亮介・本田晴朗、水工学論文集、第56巻、2012。

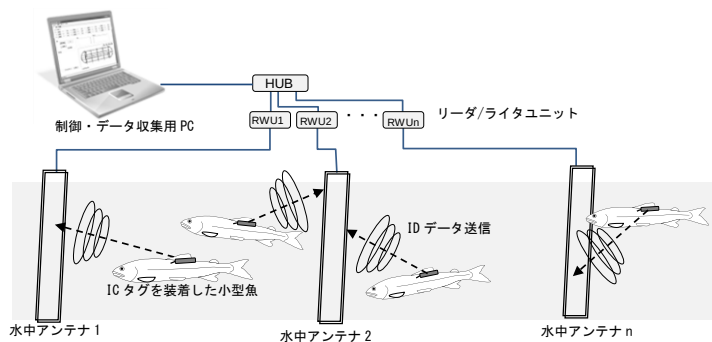


図1 構築したシステムの概略

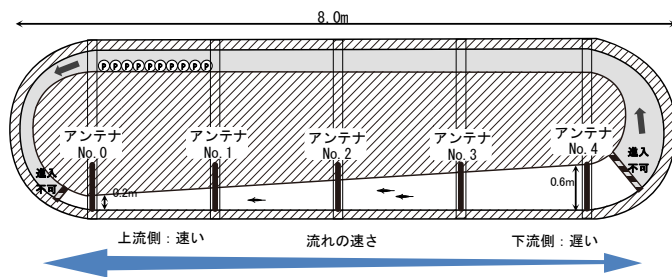


図2 実験回流水槽の概略



図3 IC タグを装着したアユ

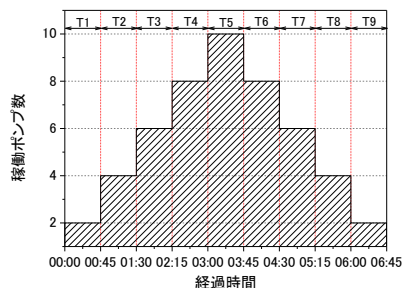


図4 稼働ポンプ数と経過時間（予備実験）

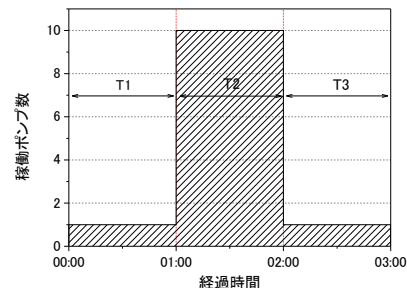


図5 稼働ポンプ数と経過時間

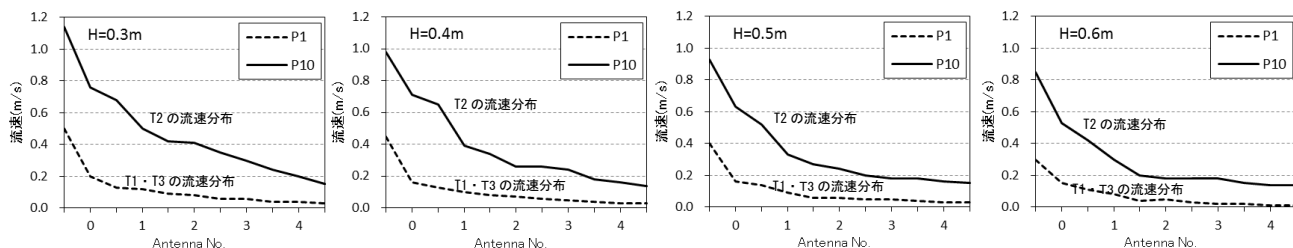


図6 各時間帯の試験区間流速分布（水深 0.3m, 0.4m, 0.5m, 0.6m 時）

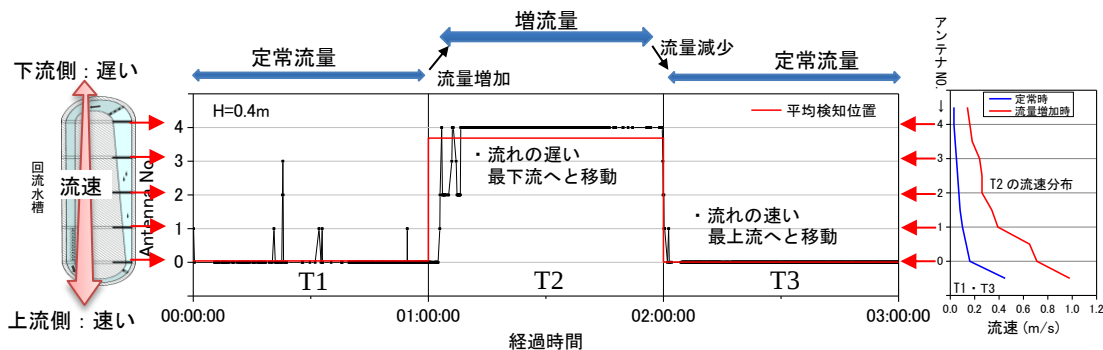


図7 アユの行動追跡記録の例

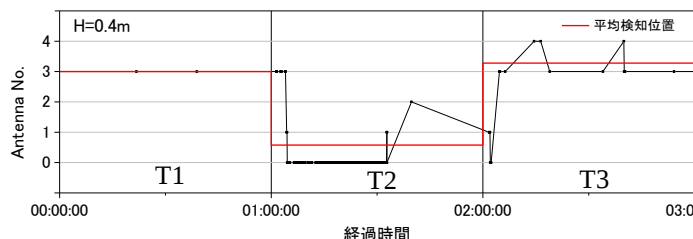


図8 アユの行動追跡記録の例

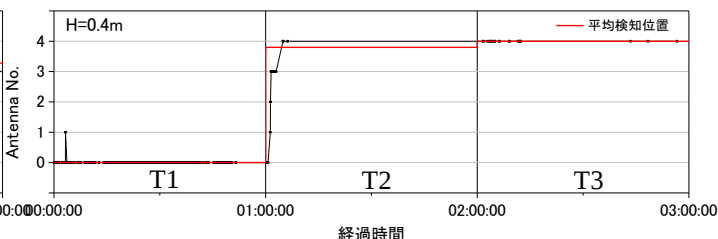


図9 アユの行動追跡記録の例

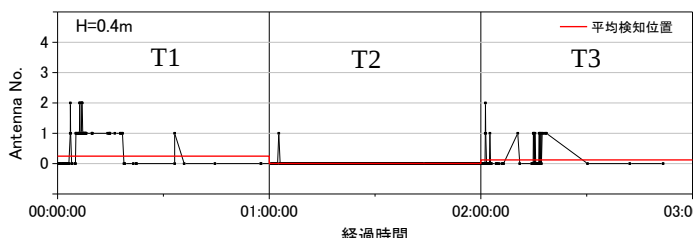


図10 アユの行動追跡記録の例

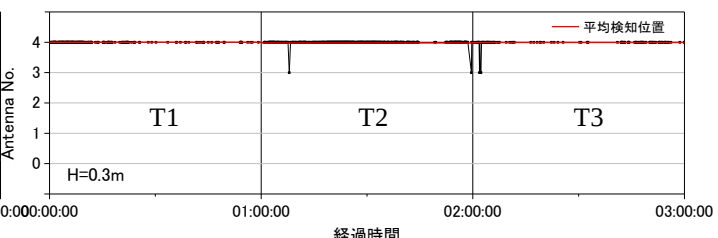


図11 アユの行動追跡記録の例