

繁殖期におけるシロザケの行動計測手法と 応用に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

シロザケ *Oncorhynchus keta* は、一般にサケと称され、重要な食料資源として古来より人々に親しまれてきた。シロザケは母川回帰するサケ科魚類であり、シロザケの繁殖行動と河川環境とは密接な関係をもつ。シロザケを含むサケ科魚類の繁殖行動は、比較的河川の浅いところで行われることもあり、海産魚類と比べて直接観察が容易で、昔から数多くの研究が行われてきた。しかし、観察の容易なその繁殖行動も、夜間や濁水の状況下では一変して観察が困難になる。さらに、野外で目視やビデオカメラで行動を記録し続けるには限界がある。これまでの研究手法では、シロザケの自然環境下での行動や環境の変化に対する応答反応を詳細に明らかにする事は困難である。本研究では、バイオテレメトリー手法の一つである加速度センサ搭載型のデータロガー(以下、ロガー)を繁殖期のシロザケに装着し、ロガーに記録されるシロザケの繁殖行動に伴う動きの加速度値と映像記録を対応させることで、繁殖行動を数値的に定量化しロガーの記録のみで「再現」する手法の確立を目指した。さらに、その手法の発展として、シロザケをモデルに環境変化に応じて、繁殖行動がどの様に変化するかを明らかにすることを目的として、河川平水時と増水時のシロザケの繁殖行動を「再現」し、行動の性質を比較することで、環境変化に対するシロザケの応答を明らかにし、河川増水がシロザケの繁殖行動に与える影響を考察した。

【実験材料および方法】

実験には最大 5 つのセンサ(水温、深度、速度、2 軸の加速度)を内蔵できる 3 種類(W190-PD2GT, W-200-PD2GT, M190-D2GT)のロガーを使用した。ロガーの加速度センサにより魚体の動きに伴う加速度値と重力の合成値を記録し、魚体の姿勢や運動を記録することができる。実験はロガーの記録と実際の行

動との対応が確認できるように、2つの河川(北海道渡島半島の南西部に位置する原木川と渡島半島の基部の国縫川)と実験水路で行った。実験は河口に遡上してきたシロザケを捕獲してロガーを背鰭前端基部に外部装着し、3時間以上馴致してから放流した。ロガーの記録時間が終了してから回収して解析を行った。この間、可能な限りビデオカメラでシロザケの行動を記録してロガーのデータと行動との整合性を高めた。

【実験結果および考察】

産卵期におけるシロザケの行動の「再現」方法 ロガーによるシロザケの行動測定を、2001年10月から11月と2002年9月から11月に原木川で、2005年11月から12月に国縫川で行い、オス14個体とメス16個体の84～120時間の連続した速度・深度・加速度・温度のデータを得た。シロザケは、繁殖行動において4種類の姿勢変化を示した。まず、映像記録と加速度波形を同期させ、姿勢変化を行っている期間の加速度波形を抽出し、魚体の姿勢変化に合わせて周波数解析を行った。0.8Hz以下の低周波成分が魚体の姿勢変化を、中・高周波成分によって魚体の動きを数値的に定量化できることが分かった。本研究では、加速度値から swimming とメスの行動7種類(nosing, exploratory digging, nest digging, probing, oviposition, covering and post-spawning digging), オスの行動2種類(quiver and sperm release)を「再現」することができた。本実験においても、実験個体はこれまでの観察による報告と同様の行動過程を示した。さらに本実験で確立したロガーによる行動の再現方法により、これまでは連続的に記録することが困難であった夜間における一連の行動や産卵の時刻を正確に捉えることができた。本手法は、これまでの観察に頼っていた行動研究方法と比べて、精度と信頼度ははるかに優れており、この方法によって、実験魚の行動を直接観察することなく、ロガーの記録のみでこれまでよりも正確かつ非常にわかりやすく再現できるようになった。

行動の性質の定量化 繁殖戦略や物理的環境等を評価するために行動を指標とするならば、行動の基本的な性質を明らかにしておかなければならない。そこで、ロガーで記録される加速度値によって分類された各行動の持続時間により行動の性質を定量的に評価することにした。解析には自然環境下と実験水路で得られたシロザケのメス7個体とオス10個体の記録データを使用した。メスの産卵場所の選択(nosing, exploratory digging)の回数や時間配分は体サイズと負の傾向がみられ、体サイズの大きい個体がより産卵場所を形成しやすい場所を確保していたことが推測できた。従って、産卵場所の選択にお

ける行動回数からは体サイズ優位性が示唆された。一方、メスの産卵場所の選択と産卵床形成(nest digging, probing, covering)の持続時間は個体変異が小さく、また個体の全長にかかわらずほぼ一定であった。メスの産卵場所の選択(nosing, exploratory digging)と産卵床形成(nest digging, probing, covering)の持続時間は個体変異が小さく、また個体の全長にかかわらずほぼ一定であった。行動の持続時間には体サイズは影響していないことが示唆された。従って、行動の性質の一つである持続時間は、産卵床形成に対して最適化されていると考えられた。また、メスと同様にオスの quiver の持続時間も体サイズによる傾向は見られず、各個体間でほぼ一定であった。一方、quiver の振動周波数には、負の相関関係が見られた。この事は、振動周波数から、個体の体サイズを認識できる可能性を示唆している。

環境変化に対する行動の応答 2002 年の実験期間に台風 23 号の通過により原木川の水量は大きく増加した。この状況を河川増水時とし、2001 年の期間を河川平水時として増水による環境変化とシロザケの繁殖行動の応答について解析した。解析には、各年 2 個体のロガー記録を用い、本研究の「再現」手法により、各個体の産卵関連行動の各行動回数、さらに行動時間配分と swimming における尾鰭の振動数を算出した。増水時では産卵場所の選択に関する行動である nosing と exploratory digging のみが記録された。増水時における産卵関連行動に費やされた割合は平水時の約 1/4 であった(平水時: 7.2%, 増水時: 1.8%)。平水時の産卵場所の選択に費やされた時間は平均 4.28 時間であり、増水時では平均 1.84 時間と平水時に比べて短かった。Swimming に費やした時間割合は平水時に比べて増水時の方が多かった(平水時: 92.8%, 増水時: 98.3%)。Swimming 中に尾鰭の振動していた割合は平水時に比べて増水時の方が大きく、平水時の約 5.3 倍を占めた(増水時: 15.6%, 増水時: 82.6%)。Swimming 時の尾鰭の振動回数は増水時の方が有意に多かった。これらの結果より、河川の増水がメスの産卵関連行動に直接影響を与えており、増水によって産卵関連行動が swimming に限定され繁殖行動が遅延することが明らかになった。また、増水による土砂の堆積や河床の変化により、潜在的な産卵場所としての機能が低下していることが示唆された。これにより、河川環境の変化はメス自身の産卵成功だけでなく、子孫の生残率にも負の影響を与えると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 齊 藤 誠 一

副 査 教 授 埴 山 雅 秀

副 査 准教授 平 石 智 徳

副 査 准教授 宮 下 和 士

(北方生物圏フィールド科学センター)

学 位 論 文 題 名

繁殖期におけるシロザケの行動計測手法と 応用に関する基礎的研究

河川遡上期のシロザケの行動を解析することは、シロザケの自然産卵を増加させる環境を調べるために重要な課題である。現在実施されているサケの孵化・放流事業においては放流される種の遺伝的な多様性の低下や、採卵方法等の見直し等の見地から、河川の改修等も含めた自然産卵を可能とする環境の構築が必要となってきた。このためには産卵親魚の行動の解析が重要な課題となるが、現在の研究手法では野外での継続的な行動観測が困難であることから、主に実験室での産卵行動の解析や、環境要因との関連が調べられている。したがって、自然での河川環境と産卵行動との関連の正確な解析はほとんど行われていない。

本研究は、生物の行動や環境状況を記録するデータロガーとして近年開発された加速度センサー搭載のデータロガーを用いることによりシロザケの繁殖行動を明らかにしたものである。データロガーを河川遡上直後のシロザケに装着し、データロガーに記録される加速度値により魚体の運動を数値化し、ビデオカメラと目視による観測と対応させることで繁殖行動を分類し、データロガーの記録のみで行動を「再現」する手法を開発した。さらに、その手法の発展として、シロザケをモデルに環境変化に応じて繁殖行動がどの様に変化するかを明らかにするために、河川平水時と増水時の繁殖行動を「再現」し、行動の性質を比較した。これにより環境変化に対するシロザケの応答を明らかにし、河川増水がシロザケの繁殖行動に与える影響を考察したものである。得られた主な成果を以下に示す。

- 1) データロガーの加速度センサーの波形からシロザケの魚体の運動を捉える手法を確立した。

- 2) 加速度センサーの波形解析を行い、繁殖期のシロザケの産卵行動としてメスの行動を産卵場所の詮索、試し掘り、穴掘り、巣の探査、放卵、穴埋め、巣の保全の7種類に、オスの行動を求愛行動と放精の2種類に分離する手法を確立した。
- 3) 行動を分類することにより、それぞれの行動の持続時間と頻度を算出し、産卵行動の過程を正確に再現することを可能とした。
- 4) 行動の質として振動回数、振幅、波長、持続時間を数値化し、波形データのみで各行動が判別できることを明らかにした。
- 5) メスの産卵場所の選択には体サイズの優位性があること、産卵床形成の持続時間は個体の全長にかかわらずほぼ一定であることを明らかにした。
- 6) 台風によって増水した河川におけるシロザケは、ほとんどの時間を遊泳行動に費やしており、産卵行動が大きく阻害されていたことを明らかにした。

以上の成果は、加速度データロガーによるバイオテレメトリー手法がシロザケの行動解析に有効な手法であることを具体的に示したものであり、この手法を用いることで魚類の行動の正確な解析が可能となり、この研究分野のさらなる発展に資するものとして高く評価できる。よって審査員一同は申請者が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。