

学位論文題名

Physiological and behavioral studies on functional evaluation of fish passage during upstream migration of Pacific salmon

(太平洋サケの遡上行動時における魚道の機能評価に関する生理・行動学的研究)

学位論文内容の要旨

ダムや頭首工のような河川横断工作物により、河川内の魚類の生息地が分断され、魚類の絶滅や生息個体数の減少を誘発する危険性が指摘されている。そのため、日本では、河川横断工作物における魚類の遡上・降下を可能とする魚道が約50年前から設置されてきたが、未だ魚類の移動が困難なものが数多く存在する。このような状況から、近年、魚道評価の重要性が見直されてはじめている。しかし、既往の魚道研究では、設計を目的とした流速や水深などの水理的な研究が数多く行われ、評価を目的とした魚類の生理・行動学的な研究事例は未だ数が少ない。今後、魚類の移動が困難な魚道の問題点を抽出し、その問題点を改善していかなければ、魚道が存在しないのと同様に絶滅の危機に瀕する魚種数の増加が懸念される。そして、魚類が容易に移動できる魚道进行评估するためには、魚類の魚道接近時および通過時の行動を詳細に解析し、魚道機能の有効性を的確に評価する必要がある。

本研究では、北海道の河川に設置された魚道における太平洋サケの遡上行動を生理・行動学的に解析するため、対象魚種として北海道に広く分布し、河口から産卵場に到達するために魚道を通過しなければならないシロザケ (*Oncorhynchus keta*) とサクラマス (*O. masou*) の2種を用いた。魚道に求められる機能の一つとして、この2種のような魚類が必要最小限のエネルギー消費で遡上できることが挙げられる。そこで本研究では、自由遊泳している魚類の位置・行動・生理学的データ（筋電位など）を得ることが可能なバイオテレメトリー手法を用いて、シロザケとサクラマスの魚道遡上行動に関する詳細な生理・行動学的知見を集積することを目的とした。これらの魚類行動から得られる新たな知見により、魚道内を魚類が遡上する際の潜在的な問題点が明らかされ、これまでは評価できなかった魚道の機能評価を行うことが可能となる。

第1章では、バイオテレメトリー手法で用いる発信機のシロザケにおける装着影響を解析した。産卵間近の魚類に発信機を装着した後、一刻も早く放流することが望ましい。そのため、発信機装着の麻酔・手術後に安全な放流を行うことができる回復時間を解析した。第2章では、後志利別川美利河ダムに設置されている魚道におけるサクラマスの遡上行動を解析した。第3章では、石狩川旧花園頭首工に設置されている形式の異なる魚道におけるシロザケの遡上行動を比較解析した。第4章では、魚道内における太平洋サケの遡上行動に関する生理・行動学的知見から、魚道の機能評価を試みるための総合考察を行った。

第1章：バイオテレメトリー手法は、魚類行動を解明するために有効であることから、研究例が増加している。しかし、サケ科魚類にバイオテレメトリー手法の発信機を装着した後の回復時間は、

2時間から13日間と既往研究ごとで大きく異なり、魚を安全に放流するための回復時間が未解明のままであった。そのため、筋電位 (EMG) 発信機を外部装着するための麻酔・手術が、シロザケにどのような生理学的影響を与えるかについて、臨界遊泳速度 (U_{crit})・酸素消費量 (MO_2)・筋肉活動 (EMG値) の3項目をパラメーターとして、麻酔・手術の0、1、6、12、24、30時間後の値を解析した。実験条件として、麻酔+EMG装着 (EMG群)、麻酔のみ (麻酔群)、操作なし (コントロール群) の3ケースを設定し、流速可変式回流水槽を用いて実験を行った。麻酔・手術1時間後のEMG群および麻酔群の MO_2 は、コントロール群と比較して高かった。しかし、その後の6~30時間後では、コントロール群と有意差がなかった。 U_{crit} とEMG値は、1~30時間後のすべてでコントロール群と有意差が確認できなかった。EMG発信機を外部装着されたシロザケは、麻酔・手術の6時間後までに通常の遊泳能力を取り戻し、自然環境に安全に放流することができることが判明した。

第2章：サクラマスが産卵遡上する後志利別川美利河ダムには、日本一の延長を有する魚道が設置されている。しかし、魚道の有効性と、ダムで行っているサクラマスの遡上意欲の向上に有効とされる弾力的試験放流についての評価は、今まで行われていなかった。そこで、2011年のサクラマスの産卵期である8月から10月に、31尾のサクラマスに電波発信機と超音波発信機を装着するバイオテレメトリー手法を用い、美利河ダム周辺および魚道内において産卵行動追跡調査を行った。移動距離は雄が雌の約3倍大きく、産卵期の行動に大きな性別差があることが分かった。サクラマスは魚道内を自由に移動できる遊泳力を有しており、さらに、魚道はサクラマスに遡上と休憩の選択を可能にしていた。また、ダムによる弾力的試験放流は、サクラマスの遡上意欲を向上させ、通常、流量が少ない減水区間に生息場を提供することが判明した。

第3章：シロザケが産卵遡上する石狩川旧花園頭首工には、形式の異なる2つの魚道 (バーチカルスロット魚道とロックランプ魚道) が左右岸に設置されている。しかし、2つの魚道の有効性についての評価は、今まで行われていなかった。そこで、2010年から2012年のシロザケの産卵期である9月から11月に、66尾のシロザケに電波発信機と超音波発信機を装着するバイオテレメトリー手法を用い、旧花園頭首工周辺および魚道内において産卵行動追跡調査を行った。ロックランプ魚道に放流した魚の遡上成功割合はバーチカルスロット魚道と比べて高かった。一方、バーチカルスロット魚道に放流した魚は、ロックランプ魚道と比べて著しく通過時間が長く、エネルギー消費が大きかった。旧花園頭首工の500m下流から放流した魚におけるバーチカルスロット魚道とロックランプ魚道への到達割合は1:3となり、ロックランプ魚道に到達する割合が大きかった。ロックランプ魚道はバーチカルスロット魚道と比較して容易に魚道入口へ到達でき、効率的に遡上できることが判明した。このように、バイオテレメトリー手法は魚道の機能評価に役立つことが明らかになった。

第4章：バイオテレメトリー手法を用いて、シロザケとサクラマスの産卵遡上期における河川横断工作物周辺および魚道内における有益な生理・行動学的知見を得ることができた。得られた知見は、今後の魚道の設計や魚道の改良点の抽出に役立つことが期待される。さらに、魚道内における魚類の遊泳行動を把握することは、魚道の機能評価を行うために有効であることが明らかになった。しかし、魚道内における太平洋サケの詳細な遡上行動を把握するためには、以下のような解明しなければならない課題は多い。1) 魚道には植生などの日射を遮るものがなく魚道内の水温が高くなる傾向にあるため、高水温が産卵遡上にどのように影響があるか不明である。2) 魚道は河川と比べて幅が狭いため、魚道内での魚同士の接触が頻繁に起こり、それが魚類の遡上行動にどのような影響を与えるか不明である。バイオテレメトリー手法は、このような課題を解消するために有効であり、今後のバイオテレメトリー技術の発展により魚道の機能評価が強化されることが期待される。

学位論文審査の要旨

主査	教授	上田	宏
副査	教授	宮下	和士
副査	助教	小泉	逸郎
副査	准教授	工藤	秀明 (大学院水産科学研究所)
副査	准教授	棟方	有宗 (宮城教育大学理科教育講座)

学位論文題名

Physiological and behavioral studies on functional evaluation of fish passage during upstream migration of Pacific salmon

(太平洋サケの遡上行動時における魚道の機能評価に関する生理・行動学的研究)

成熟した太平洋サケが、産卵場まで効率的に到達するため、河川横断工作物に設置されている魚道へ簡単に進入でき、魚道内を容易に遡上できることが不可欠である。しかし、魚類行動から得られる情報に基づく魚道の機能評価は未だ知見が少なく、十分に機能しない魚道が数多く存在する。本研究の目的は、バイオテレメトリー手法を用いてシロザケとサクラマスの産卵遡上時における魚道遡上行動に関する詳細な生理・行動学的知見を集積し、魚道の機能評価を行うことであり、下記の研究成果をあげている。

産卵間近の太平洋サケは発信機を装着した後、一刻も早く放流することが望ましい。そのため、シロザケに筋電位 (EMG) 発信機を装着し、臨界遊泳速度、酸素消費、筋肉活動の回復時間を解析した。EMG発信機を外部装着されたシロザケは、6時間後までに通常の遊泳能力を回復し、安全に自然環境に放流できることを解明した。

後志利別川美利河ダムに設置された魚道とダムで行っている弾力的試験放流が、サクラマスの遡上行動に与える影響を明らかにするために、電波発信機と超音波発信機を併用し産卵遡上行動の解析を行った。魚道は、産卵期におけるサクラマスに適切な遊泳環境を提供し、弾力的試験放流はサクラマスの生息場の創出と遡上行動を改善することを提示した。

石狩川旧花園頭首工に設置された形式の異なる魚道における、シロザケの遡上効率の比較を行うために、電波発信機と超音波発信機を併用し産卵

遡上行動の解析を行った。ロックランプ魚道は、シロザケの遡上成功率が高く、通過時間が短く、魚道への到達割合が大きかったことから、パーチカルスロット魚道に比べ遡上効率が良いことを明らかにした。

バイオテレメトリー手法は、魚道における太平洋サケの遡上行動を把握するための手段として有効であり、今後のバイオテレメトリー技術の発展により、魚道の機能評価が強化されることが期待される。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。