バイオテレメトリーによるコイの出現測定と
遺伝的アルゴリズムを用いた
出現に影響を与える環境要因の評価に関する研究

学位論文内容の要旨

【目的】

魚の位置・時間情報を把握することができるバイオテレメトリーは自然水域における魚の移動を推定するための有効な測定手法として用いられているが、魚の移動や行動に関わる要因を分析するまでには至っていない。近年では、取得されたデータを水温と比較するなど、要因と行動の関係を導出しようとする試みが増えている。しかし、魚の行動には単独の環境要因が影響を及ぼすのではなく、様々な環境要因が複雑に絡み合い影響していると考えられる。したがって、複数の要因から行動との関係を解析する試みが必要となる。また、従来のバイオテレメトリーでは測定期間が最大で数ヶ月間であり、季節回遊など1年を単位とした長期スケールでの移動を把握するには至っていない。本研究では、自然環境下におけるコイ *Cyprinus carpio* の出現と環境要因を2年7ヶ月にわたって測定し、調査水域におけるコイの出現と複数の環境要因との関係を評価することを目的とした。はじめに、琵琶湖においてバイオテレメトリーによる魚類の出現測定と小型流速計による流速、水温の測定を行い、出現と環境要因を同時に取得する計測系をブルーギルとギンプナを用いて確立した。この手法を用いて、環境要因と魚の出現に関する経験則が多数存在する琵琶湖のコイを対象に、調査水域においてバイオテレメトリーを用いたコイの出現を測定した。そして、出現に関わる環境要因を一般化加法モデルによって分析し、コイの出現に関連する環境要因の評価を試みた。また、調査水域に設置されている小型定置網のコイの漁獲量を同じモデルによって分析し、調査水域における標識個体の出現と定置網の漁獲特性の違いを評価し、本手法の有効性を議論した。

【超音波テレメトリーを用いた出現測定と環境要因の同時取得】

自然水域における魚の出現と環境要因の経日変化を把握するために、ギンプナとブルーギルを対象と

したバイオテレメトリー調査を実施した。調査水域は琵琶湖南湖下阪本沖とし、本調査水域で捕獲されたギンブナ 4 尾とブルーギル 4 尾の腹腔内に超音波発信機を装着し音響標識個体として、ギンブナを 2004 年 5 月、ブルーギルを 2004 年 11 月に調査水域に放流した。超音波発信機の信号を受信記録する設置型受信機を調査水域に設置し、音響標識個体の出現日時を放流から約 3 ヶ月にわたって記録した。同時に水温センサを搭載した小型メモリア流速計を調査水域に設置して流速、水温を測定した。また、水位の変化は調査水域に近い観測点で測定された国土交通省水文水質データベースの値を用いた。放流から 3 ヶ月間、標識個体の出現の記録と環境要因の連続した測定値が得られ、出現記録に対応した環境要因の変動を捉えることが可能となった。

【環境情報に基づいた重回帰モデルの構築】

ギンブナとブルーギルの出現と環境要因の記録を用いて、各々の環境要因が魚の出現にどの程度関連するのかを把握するための重回帰モデルの構築を行った。1 日毎の標識個体の出現数を目的変数、1 日毎の流速、水温、水温変化量、水位、水位変化量を説明変数とした一般線形モデル、一般化線形モデル、一般化加法モデルの適合度を比較した。本研究では一般化したパラメトリックに決定される非線形モデルを一般化加法モデルとして扱った。非線形モデルのパラメータ同定では、初期値依存性が強く、解を一意に定めることができないという非線形最小二乗法の問題を克服するため、2 個体分散遺伝的アルゴリズムを用いた。遺伝的アルゴリズムは一様乱数と発見的な多点探索により、観測値に適合する説明変数の組合せを取捨選択しながらモデルを最適化する。3 つの重回帰モデルの予測値を比較した結果、一般化加法モデルの予測値が最も適合していたことから、2 個体分散遺伝的アルゴリズムを用いた一般化加法モデルが有効であることが示された。

【コイの出現に関わる環境要因】

有効性が認められた一般化加法モデルを用いて、コイの出現に関わる環境要因を分析した。調査水域を琵琶湖南湖の西岸中部沿岸とし、湖岸に沿って 5 個の設置型受信機を連続して設置しコイの出現を記録し、同時にメモリア流速計により流速、水温を測定した。電池寿命が約 2 年の超音波発信機をコイ 9 尾の腹腔内に装着し、2005 年 5 月から 7 月にかけて放流した。最長で 911 日の受信記録が得られた個体があった。1 日毎の流速、水温、水温変化量、水位、水位変化量を用いて一般化加法モデルを 2 個体分散遺伝的アルゴリズムによって構築した。構築されたモデルはコイの出現数の変動をよく表していた。構築されたモデルを要因別に感度解析した結果、モデルは水温と水位変化量の影響を強く受けていた。水温の感度は、5~17℃ではコイは調査水域に出現する方向に作用し、18℃から 28℃では調査水域から離れる方向に作用していた。水位変化量の感度は急激に水位が上昇したときに出現する方向に作用

していた。

【漁獲量解析への応用】

定置網は敷設箇所が一定であることから漁獲の有無を魚の出現として考えることができる。調査水域には小型定置網が敷設されており毎年4～8月にコイを漁獲している。このコイの漁獲量を目的変数とし、音響標識個体の解析に用いた説明変数に年効果を組み込んだ一般化加法モデルを用いて漁獲量に関連する環境要因を分析した。分析期間は流速、水温の連続した測定値のある2001年～2006年の4月～8月とした。2個体分散遺伝的アルゴリズムで構築された一般化加法モデルの予測値は観測値の変動をよく表していた。要因別の感度解析によると、このモデルは水温、水位変化量の影響を強く受けていたが、他の要因の影響は弱かった。水温の感度は12～28℃まで広い水準で漁獲量が上昇する方向に作用していたが、10～12℃、28℃以上では漁獲量が低下する方向に作用していた。水位変化量の感度は0～2cm/dayの時に増加する方向に作用していた。高い感度を示した水温15～25℃の範囲は4月～7月にかけてのコイの漁期の水温とほぼ一致していた。小型定置網漁業がコイの接岸する時期や急激な水位の上昇による接岸をうまく利用した漁法であることが推察された。

コイの標識個体の出現と漁獲量の分析から、水温、水位変化量がコイの湖岸への来遊に大きく影響していることがわかった。水温の感度曲線の比較により、水温の上昇によるコイの移動量の増加が小型定置網の漁獲量に影響していると推察できた。その他の説明変数の感度、水準別の感度については標識個体、漁獲量共にほぼ同じ傾向を示していた。

本研究では、自然水域におけるコイの出現と複数の環境要因との関連を分析することにより、出現に影響する環境要因を評価することができた。また、2個体分散遺伝的アルゴリズムによる一般化加法モデルを用いた解析は、重要な説明変数を取捨選択できる有効な分析手法であることが示された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 飯 田 浩 二
副 査 教 授 木 村 暢 夫
副 査 准教授 平 石 智 徳
副 査 准教授 高 木 力 (近畿大学)

学 位 論 文 題 名

バイオテレメトリーによるコイの出現測定と 遺伝的アルゴリズムを用いた 出現に影響を与える環境要因の評価に関する研究

魚類の行動を測定する手法として近年バイオテレメトリーが用いられるようになったが、従来の方法では主に個体の位置・時間情報を知ることしか出来なかった。魚類の移動には周囲の環境が大きく影響することから個体の位置と、そのときの環境要因を測定し、両者の関係を解析することが現在課題となっている。したがって、複数の要因から行動との関係を解析する試みが必要となる。また、従来のバイオテレメトリーでは測定期間が最大で数ヶ月であり、季節回遊など1年を単位とした長期スケールでの移動を把握するには到っていない。このため1年以上の長期間の個体の追跡を可能な技術の開発と、個体の移動に関わる環境要因を同時に測定し、行動を誘発する環境要因の解析手法が求められている。

本研究は自然環境下におけるコイ *Cyprinus carpio* の湖岸への出現と環境要因を同時に測定し、調査水域とした琵琶湖におけるコイの出現と複数の環境要因との関係を調べたものである。最初にギンブナとブルーギルを用いてバイオテレメトリーによる魚類の出現測定と環境要因を同時に取得する計測系を確立し、この手法を用いてコイの出現と環境要因とを測定した。この出現に関わる環境要因を一般化加法モデルによって分析し、コイの出現に関連する環境要因の評価を行った。また、調査水域に設置されている小型定置網のコイの漁獲量を同じモデルによって分析し、調査水域における標識個体の出現と定置網の漁獲特性の違いを評価し、分析手法の有効性を調べたものである。得られた主な成果を以下に示す。

1. バイオテレメトリーと同時に環境要因を測定し、魚の行動と環境要因との対応を正確に調査

出来る方法を確立した。

2. 従来のバイオテレメトリーでは行われていない2年7ヶ月におよぶコイの出現と、環境要因との測定が行えることを示した。
3. 長時間の大量のデータを解析するために2個体分散遺伝的アルゴリズムを適用した統計モデルを構築し感度解析によりコイの出現に影響する環境要因の違いを数値的に示す方法を示した。
4. 構築されたモデルの要因別の感度分析から、モデルは水温と水位変化量の影響を強く受けており、水温の感度は5~17℃では調査水域にコイが出現する方向に作用し、18~28℃では調査水域から離れる方向に作用し、急激に水位が上昇したときに出現する方向に作用することを明らかにした。
5. 琵琶湖の小型定置網が定時、定点観測を行うサンプリング漁具として捉えることができることを示し、漁獲量の予測に統計モデルを当てはめ、漁獲に影響する環境要因を抽出した。
6. 統計モデルの感度解析から、コイの湖岸での出現が小型定置網の漁獲を高めるのではなく、夏期の活発な行動が魚取り部への進入の要因になっていることを明らかにした。

以上の成果は、バイオテレメトリーによるコイの行動の測定と環境要因とを同時に記録し、2個体分散遺伝的アルゴリズムによる統計モデルから、コイの移動に影響する環境要因を見いだす手法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に影響する環境要因を見いだすことが可能となり、この研究分野の発展に貢献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。