



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	多元的計測による降海型アメマスSalvelinus leucomaenisの回遊特性の可視化に関する研究 [全文の要約]
Author(s)	黒田, 充樹
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第15672号
Issue Date	2023-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91180
Type	doctoral thesis
File Information	Mitsuki_Kuroda_summary.pdf



学 位 論 文 内 容 の 要 約

博士（環境科学）

氏 名 黒田 充樹

学 位 論 文 題 名

多元的計測による降海型アメマス *Salvelinus leucomaenis* の

回遊特性の可視化に関する研究

Study on visualization of migration characteristics of anadromous white-spotted charr

(*Salvelinus leucomaenis*) using multiple sensing method

回遊は時空間的に変動する資源に対する適応としての個体の移動であり、個体の成長や生残、繁殖に直接的に関係する現象である。回遊を理解することは、その移動の至近要因だけでなく、究極要因や適応進化の議論においても必要である。これまでに動物の移動や回遊を可視化するために様々な手法が開発されており、近年ではバイオロギングやバイオテレメトリー手法により、遠隔的・連続的に動物の移動や回遊に関する情報を取得できるようになった。一方、現在でも魚類の回遊を可視化することは陸上動物に比べて困難である。水中では電波通信が困難であるため、電波による情報の送受信ができないだけでなく、水平位置情報を取得するためのGPSを利用することもできない。そのため水中でも情報伝達が可能

な音波を用いたテレメトリー手法が発展し、魚類の移動動態を計測する手法として現在では広く用いられるようになった。魚類の回遊特性を理解するための手法としては、古典的な標識再捕法や漁獲統計の分析も有用であり、加えて化学的な手法として非代謝組織の微量元素分析も存在する。魚類の回遊を理解するための手法は多岐にわたるが、それぞれの手法には長所と短所が存在し、得られるデータの量や質の論理的な制限や、利用できる資金・労力の多寡といった現実的な制限もある。また対象種の生息環境や行動特性により、適した計測手法も異なる。このような中で、魚類の回遊という生物現象について研究分野間や研究者間の認識の差異を明らかにし、技術的・方法論的な知見も統合して一般性の高い研究スキームを提供することは、当該分野における状況を整理して、新たな方向性を示すために有意義である。本研究では遡河回遊魚である降海型アメマスを対象とし、音響テレメトリーやバイオロギングをはじめとした複数の手法を導入してその回遊特性の可視化し、その特性と環境との関係を解明することを目的とした。この結果から、本種の回遊様式の究極要因を考察するだけでなく、魚類の回遊を可視化する研究における手法の整理および新しい研究スキームを提案した。

第 1 章では、魚類の水平移動動態を可視化する音響テレメトリー手法を用いて、降海型アメマスの回遊特性や、生息場の時空間的変動を可視化した。北海道東部の別寒辺牛川水系にて周年にわたる実験を行うために、結氷の有無が音波の検出範囲に与える影響を検証した。当該水系の下流域および中流域の 2 定点において、非結氷期と結氷期の音波検出範囲

を計測した結果、氷の有無に関わらず当該河川では川幅に対して十分な受信率を持つことが示され、個体の位置情報を解釈する上で氷の有無による支障がないと判断された。追跡対象となる実験魚は当該水系の河川部分および河口に位置する厚岸湖にて秋季および冬季に捕獲された計 36 尾であり、音波発信機を装着する施術ののち放流された。水系内の上流域から河口まで計 33 機の音波受信機を設置し、約 1 年間にわたり実験魚が発する音波を受信した。追跡実験期間中、音波受信機は正常に動作した。得られたデータから各個体の移動動態を可視化した結果、降海は 4 月下旬から 5 月下旬の間に、遡河は 6 月下旬から 9 月下旬の間に生じていた。回遊タイプを 4 つに分類した結果、海洋を利用した降海タイプが 18 尾、河口域を連続的に利用した河口タイプが 3 尾、降海せず周年河川を利用した残留タイプが 0 尾であり、他の 15 尾については降海期前に検出が途絶えたため、回遊様式を分類できなかった。対象魚の利用場所の河口からの距離を時系列で説明するために、一般化加法モデルを構築した。モデルは有意なものとなり、季節的な移動動態が示された。11 月中旬から 4 月中旬までは追跡対象魚が河口から 10-20 km 上流の位置を利用し、それ以降から 5 月下旬までは河口周辺へ利用場所を変化させた。降海期以降は 8 月下旬からは急激に利用場所を上流域へ変化させ、10 月上旬には河口から 30 km 上流を利用した。本章では、観測のボトルネックであった冬季を含め、北海道東部における降海型アメマスの移動動態を周年にわたり可視化することに成功した。

第 2 章では、本種の回遊を規定する要因を特定するため、環境情報や個体の状態と本種

の回遊動態の関係性について検証した。解析には前章の音響テレメトリー実験により得られた対象魚の検出データやその魚体情報、および環境情報を用いた。河川内における降下と遡上の有無、降海と遡河のタイミングを応答変数とし、個体の体重や尾叉長、検出時の水温や塩分、雨量、潮汐を説明変数として3つの統計モデルを構築した。その結果、降下遡上の動態と雨量等、相関が見られる要因が特定された。

第3章では、音響テレメトリー手法が適用できない環境において、複数の手法を統合して降海型アメマスの回遊様式を可視化した。北海道南西部の島牧村周辺には冬季に海洋を利用する特殊な生息場利用を示す降海型アメマスが生息している。本地域は海における波浪が大きく、河川も溪流の様相を呈していることから、安定的な受動的音響テレメトリーシステムの運用が難しい環境である。そこで対象種の移動動態を計測するために標識再捕法、バイオロギング、目視観察、釣獲量のアンケート調査、耳石のストロンチウム：カルシウム比分析を実施した。標識放流個体は152尾であり、そのうち10尾が再捕された。再捕はすべて放流場所から海岸線に沿って30 km以内で観測された。深度温度データロガーを装着して放流した個体は2尾が再捕され、106日間および325日間の行動記録が得られた。この記録から、2月と6月の遡河行動および4月と10月の降海行動が判明した。当該海域で捕獲された9尾の降海型アメマスの耳石をストロンチウム：カルシウム比分析に供した結果、初降海年齢は2-4歳であり、初降海以降は河川生活期間と海洋生活期間の繰り返しに年周性が見られた。これらの結果から本地域において、孵化後2-4年の河川生活を経て、銀

毛して初夏に降海，盛夏になると遡河し，秋に河川で産卵したのちに再び降海し，厳冬期になると再び遡河する回遊様式をもつ降海型アメマスが存在が示された．一方で，目視観察とアンケート調査の結果から，厳冬期でも海において降海型アメマスの存在が確認された．よって当該地域では，厳冬期に海を利用する個体と河川を利用する個体が同時的に存在することが示された．

第4章の総合考察では，まず北海道東部と南西部において可視化された降海型アメマスの回遊様式を比較し，冬季に海を使うか否かという回遊様式の大きな差異が生じることを示した．北海道東部では冬季の海水温が 0°C を下回ることがある一方，北海道南西部では 5°C 程度までしか水温が低下しない．また，サケ科魚類は海水温が低すぎると浸透圧調節に支障をきたすことがわかっており，これらから本研究で観測された冬季の生息場の差異は当該地域の海水温の差異に起因すると推察された．また，通し回遊の進化を説明する生産性仮説を踏まえると，海水温への適応が降海型アメマスの回遊様式を決定する究極要因であると推察された．

本種の回遊を可視化し，その至近要因と究極要因を探求する過程から，魚類の回遊を可視化するための研究手法の現状を整理し，理解するための新しい研究スキームを構築した．魚類の回遊を可視化する手法は，文献的手法，野外における観察手法，電子的な計測手法，研究室における化学的な分析手法の4つに質的に分類され，それぞれの手法には長所と短所，理論的な限界が存在すると推察された．漁獲統計の分析や樹脂製標識を用いた標識再捕法，

音響テレメトリーやバイオロギングといった手法に加え、古典的な目視観察や捕獲調査、標識再捕法、さらにはアンケート調査や微量元素分析といった手法も併用し、それらの結果を統合することが、魚類の回遊を可視化する上で効果的であることを提示した。このスキームは種や環境に関わらず適用され、魚類の回遊生態の理解、水圏生物資源をとりまく課題の解決に寄与することが期待される。