



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	河川生物の保全に向けた遺伝子流動評価に関する研究
Author(s)	中島, 颯大
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第7234号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.r7234
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99850
Type	doctoral thesis
File Information	NAKAJIMA_Souta_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称： 博 士（農学）

氏名 中 島 颯 大

審査担当者	主 査	准教授	石 山 信 雄
	副 査	教 授	森 本 淳 子
	副 査	特任教授	山 田 孝
	副 査	名誉教授	中 村 太 士
	副 査	教 授	東 城 幸 治（信州大学学術研究院理学系）

学 位 論 文 題 名

河川生物の保全に向けた遺伝子流動評価に関する研究

本論文は和文 96 項、図 23、表 11 からなり、参考論文が 3 編付されている。

河川生態系は生息地の分断化に脆弱なため、河川生物において種や地域個体群の絶滅を防ぐためには、質の高い生息地を増やすと同時に、生息地の連結性を確保することが重要である。本研究では、気候変動による夏季水温上昇の影響が特に危惧される冷水性魚類ハナカジカを材料として、集団間の遺伝子流動と景観要素との関係を包括的に評価するとともに、遺伝子流動評価における現地調査の簡便化と解析手法の拡張に資する検討を行った。これにより、1) 気候変動下において冷水性魚類の長期的存続を実現するために保全優先度の高い区間の特性を明らかにすること、2) 流域内スケールでの河川生物の遺伝子流動を評価するための調査・解析フローを提案することを目的とした。

最初に、ハナカジカの遺伝子流動と各生息地の夏季水温との関係について、景観遺伝学の解析手法を駆使して複数の観点から検証した。夏季水温の異なる支流が入り混じる石狩川水系空知川上流域の 20 地点においてハナカジカの組織片を採取し、抽出した DNA（組織 DNA）を MIG-seq 法によるゲノムワイド SNP 解析に供試した。集団遺伝解析の結果、集団間の遺伝的分化は地理的距離が離れるほど大きくなる「距離による隔離」のパターンはみられたものの、遺伝的分化と地点間の夏季水温差との関係（「環境による隔離」）はみられなかった。一方で、夏季水温の低い地点から高い地点への「ソース・シンク構造」が検出され、夏季水温の低い支流が流域内において個体供給源として機能し、流域全体の遺伝的多様性が維持されている可能性が示された。

次に、このような遺伝子流動評価に必要な現地調査の簡便化を図るため、近年生物相調査での活用が進んでいる環境 DNA 調査の景観遺伝学への適用可能性を検証した。組織片を採取した早瀬の下流側において環境 DNA サンプル（河川水）を採水し、新たに設計したプライマーを用いてミトコンドリア DNA D-loop 領域のメタバーコーディング解析を行った。サンプル内におけるハプロタイプの相対リード数を遺伝子頻度とみなした集団遺伝解析の結果、ハプロタイプの分布パターンは組織 DNA の解析から得られたものと概ね一致していた。また、環境 DNA で得られたデ

ータから集団間の遺伝的分化を計算したところ、組織 DNA から計算した結果と高い相関を示した。さらに、組織 DNA の解析で示されていた距離による隔離がみられ、環境による隔離がみられないパターンが環境 DNA の解析によっても得られることを確認した。環境 DNA で得られたデータからはソース・シンク構造の特定に有用な個体情報を用いる解析などは困難だが、これらより基礎的な景観遺伝学的解析は一定程度行えることが示された。

最後に、これまで河川生物での解析が難しかった河川ネットワーク全体の様々な景観要素が遺伝子流動に与える影響（「抵抗による隔離」）、および気候変動による遺伝子流動の将来変化について検証・推定した。これらは、流量・水温を空間異質性を加味して予測する水文モデルおよび近年開発された河川景観遺伝モデリングの手法を取り入れることで実現した。河川区間ごとの遺伝子流動の強度を景観要素で説明するモデルを作成した結果、夏季水温が低い区間ほど、また、河川次数の大きい区間ほど遺伝子流動が豊富であることが示された。さらに、モデルを用いて気候変動シナリオ（IPCC RCP8.5）下での遺伝子流動の将来変化を推定した結果、遺伝子流動の強度は 21 世紀末までに流域全体で低下することが示された。これは、水温上昇を抑える気候変動緩和策および低水温・本流区間を保全する適応策の推進を強調するものである。

以上の結果は、ハナカジカの保全において夏季水温の低い支流そのものや、これら支流と他の支流を結びつける本流が遺伝子流動の維持において特に重要であることを示しており、他の冷水性魚類とも共通する点が多い。本種は水流などで受動的に流されることが移動分散の主要な原動力と考えられることから、本流における流下や、流された個体の生息適地である支流への移動を阻害しないような横断工作物の設計・改良や、低水温区間および本流区間における生息場の保全・創出が有効な保全方策だと考えられる。最後に、今後の河川生物の生息地の連結性評価と保全管理への適用を推進するため、一連の成果を踏まえて河川生態系の保全に資する遺伝子流動評価の具体的な手順や留意点を提示した。

本研究は、遺伝情報を多角的手法で評価し、時空間的に変動する河川環境における冷水性魚類の保全指針や、管理現場での遺伝情報の活用方法を体系的に整理・提示したものであり、学術・応用の両面から高く評価できる。

よって、審査員一同は、中島颯太氏が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。