



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Addressing the discrepancy between predicted and observed local extinction of Dolly Varden charr under global warming : the roles of local environments, seasonal timing, and interspecific competition [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	植村, 洋亮
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16225号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95132
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	UEMURA_Yohsuke_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士（環境科学）

氏 名 植村 洋亮

学 位 論 文 題 名

Addressing the discrepancy between predicted and observed local extinction of Dolly Varden charr under global warming: the roles of local environments, seasonal timing, and interspecific competition
(温暖化による局所絶滅予測と実際の絶滅とのギャップを説明する局所環境、影響する季節、および種間競争：サケ科魚類オショロコマにおける実証)

過去数十年間の気候変動は生物多様性の喪失を著しく加速させている。特に温暖化は個体群の局所絶滅リスクを高めており、これまで将来の分布を予測し、その変化を定量する絶滅リスク評価研究が数多く実施されてきた。しかし、分布を予測した後、実際に生じた局所絶滅を比較し、その予測の信頼性を確かめた研究はほとんどない。また、数少ない実証研究では、いずれも分布予測と実際の分布との相関係数は小さく、分布変化の予測は実際の変化をほとんど説明できなかった。そして、その理由として、種の分布に対する至近要因の未考慮が指摘されている。

序章では、上記の背景を踏まえ種の分布や個体群の局所絶滅を予測する上で、これまでの多くの研究で未考慮であった至近要因：1) 局所環境、2) 影響する季節、3) 種間競争の3点の重要性を示した。そして、これらを検証する最適なモデルとして、Nakano et al. (1996) により温暖化による局所絶滅が30年前に予測された北海道の在来サケ科魚類オショロコマ（絶滅危惧II類）に着目した。北海道のオショロコマは分布域の南限に位置し温暖化の影響を受けやすい。さらに同属のアメマスとの種間競争において劣位であり、高水温下で影響がより顕著になると示唆されている。また、過去30年で北海道の平均気温は約0.5℃、8月の夏期平均気温は約0.8℃も上昇している。

第2章では、オショロコマのアバンダンスに対する水温を含む局所的な物理環境、およびアメマスの影響を調べるため、北海道空知川水系の本流に注ぐ27支流で夏季に調査を実施した。まず、オショロコマの相対アバンダンス（両種に占めるオショロコマの割合）に対する局所的な物理環境変数の相対重要性をしらべた結果、あらゆる環境変数の中で平均水温が最も重要な説明変数として選択された。実際、9–11℃の水温変化でオショロコマの割合は30%以上変化した。次に、オショロコマの密度に対する水温とアメマスの密度を調べたところ、平均水温、アメマス密度、および相互作用の影響が検出された。また、空知川水系のいくつかの支流-本流間には構造物がありアメマスの侵入が制限される。そこで、通常支流とアメマスが制限された支流を比べた結果、オショロコマの密度はアメマスが制限された支流の方が高かった。以上の結果は、水温がオショロコマのアバンダンスに強く影響し、競争種アメマスがその影響を増幅させることを示唆している。

第3章では、まず、過去の研究でオショロコマが確認された北海道全域の141地点を再訪し、過去20–30年で実際にどのくらい局所絶滅が起こったのかを明らかにした。その結果、年間平均気温に基づいたNakano et al. (1996) の地下水温モデルでは4.3%しか局所絶滅しないと予測されたが、実際には9.2%の局所絶滅が確認された。そこで、このギャップを説明する要因として、第2章で推定された、夏季の水温、水温と競争種アメマスとの相互作用を考慮

したモデルを新たに構築した。具体的には、年間平均気温（上昇幅は局所で異なる）、8月平均気温（一律に上昇・上昇幅は局所で異なる）、地下水温（上昇幅は局所で異なる）とアメマスと各温度変化との相互作用（弱・中・強）を考慮したモデルと、それぞれを組み合わせた19モデルを構築した。それらを用いた地下水温モデルで局所絶滅を予測し、実際の絶滅を予測した。各モデルで複数の予測性指標を統合した結果、8月平均気温が一律に上昇するモデルがベストモデルとして選ばれ、8月平均気温を考慮したモデルが上位を占めた。局所的に上昇率が異なる地下水温を考慮したモデルも上位であった。また、上記の解析とは別に、局所気温上昇（年間平均、8月平均）・局所地下水温の上昇による局所絶滅への直接効果、過去20年間でのアメマスの侵入（侵入 = 1, 変化なし = 0）を介した間接効果を構造方程式モデリングで調べたところ、局所地下水温の上昇から局所絶滅へのパスのみが有意な正の効果として検出された。これらをまとめると、オショロコマの局所絶滅が過去の予測よりも実際には多く起こっていた要因として、影響する季節（年間平均気温ではなく夏季平均気温が重要）と局所環境（地下水温上昇）が重要であると推定された。夏季はオショロコマの稚魚の生存率（分布の決定に重要）に大きな影響を与えるため、このことと整合性がある。一方、競争種アメマスの効果は北海道全域スケールでは検出されなかった。しかし、アメマスの分布地点は過去20年間で増加し、オショロコマと共出現地点は約2倍に増加していた。この理由として、オショロコマの絶滅を伴わないアバンダンス減少が、アメマスのニッチ拡大につながったのかもしれない。

終章では、絶滅の実証研究が少ない潜在的な理由、本研究によって判明した局所絶滅の要因の重要性を述べた上で、最後に種の保全における本研究の立ち位置を示した。実証が極めて少ない背景として、温暖化による将来予測研究が1990年代から台頭したことを考慮すると、未だ「将来」には達しておらず、それらのシナリオと現状と比較することは困難と考えられる。本研究では、過去の予測が黎明期に行われたことで長期インパクトの検証が可能となった。つまり、本研究は温暖化による局所絶滅予測の信頼性を実データによって検証した稀有な研究と言える。また、予測と実際の絶滅とのギャップを説明する各要素について統合的に検証した研究は現在、皆無である。これまでの数多くの研究はマクロな環境（気候）要因に着目していたが、それらは空間階層を経て非常に複雑に相互作用しながら分布に影響する。そのため、影響が検出されるまで長期的なタイムラグを要し、さらに検出のタイミングを見極めるのは困難である。一方、局所環境の変化は個体の生理作用に直結し、わずかな変化でも比較的短い期間で個体や個体群に影響する。特に、オショロコマは冷水性かつ狭温性であるため、第2章で示したようにわずかな温度変化でもアバンダンスが大きく変化したり、第3章で示したように温度上昇幅が1度以内でも絶滅・存続の結果が異なったりする。また、季節によって個体群に対する温暖化の影響の方向性や大きさは異なる。オショロコマの場合、夏季は稚魚の成長、生存を決定する上で重要な期間であるため、この時期の影響が後のアバンダンスや分布にまで影響しうる。これら温暖化の影響における空間解像度とタイミング、種の生活史特性との一致が予測精度の向上につながったと考えられる。最後に、競争種アメマスの影響が検出されなかった理由として、他のサケ科魚類であるサクラマスとニジマスの影響が考えられる。これらのサケ科魚類の間では温暖化への応答や種間競争の強度が異なるため、野外では、それらが複雑に影響し合っていると考えられる。

現在、オショロコマに関しては具体的な保全活動は行われていない。そのため、本検証により判明した局所絶滅要因の提示は、オショロコマにおける現在の絶滅評価基準の再検討や更新に大きく貢献する。さらに、保全科学においては必要なデータと利用可能データとのギャップが活動への障壁となる。本研究による種の分布範囲広域にわたる再調査は、過去の分布データの再整備にもつながる。これらのことから本研究は、今後本格的に進展していく温暖化による局所絶滅の実証、そしてそれを踏まえた保全で広く適用されるフレームワークとなると期待される。