2026 年 4 月 17 日

長野大学　淡水生物学研究所

限られたデータでも絶滅リスクを信頼性高く推定できる - 新しい統計手法が Methods in Ecology and Evolution に掲載：ニホンウナギに適用

2026 年 4 月 17 日、長野大学淡水生物学研究所の研究成果が英国生態学会(British Ecological Society)の国際学術誌「Methods in Ecology and Evolution」に掲載されました。本研究では、利用できる時系列データが限られている場合でも、絶滅確率を信頼区間付きで精度よく推定するための新しい統計的枠組みを提示しました。

本研究はさらに、長期分散推定に基づき、加法的観測誤差や短期的な自己相関に対して頑健な OEAR（observation-error-and-autocovariance-robust）拡張法を提案し、1957 年から 2020 年までのニホンウナギ（*Anguilla japonica*)の全国漁獲指標 2 系列に適用しました。
本研究の中核となる「*w-z* 法」は、R パッケージ「extr」として CRAN 上で実装されています。

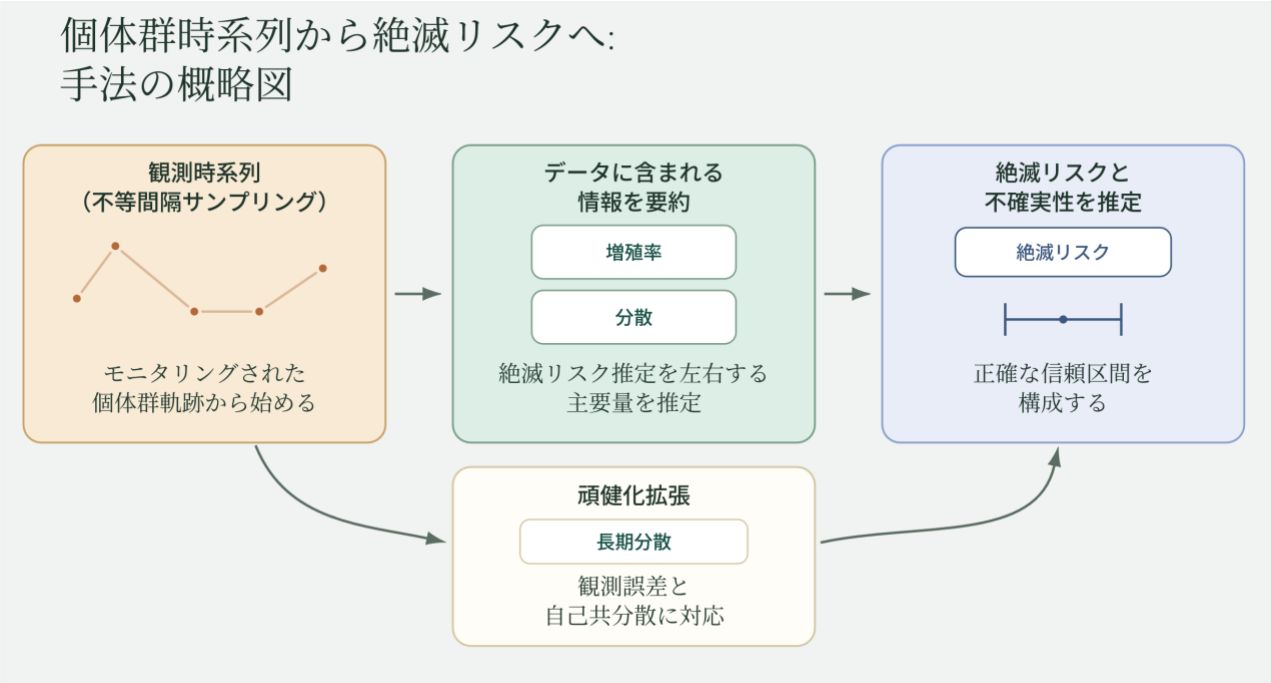

図. 観測された時系列データから絶滅リスクと正確な信頼区間を推定するまでの流れと、長期分散に基づく頑健化拡張の位置づけを示した概略図

研究のポイント

1. 絶滅動態の標準的モデルである drift-Wiener process に対して、絶滅確率の信頼区間を解析的に構成する新しい手法を開発しました。

2. 真の絶滅リスクが十分に低い、あるいは十分に高い場合には、時系列データが限られていても意味のある絶滅リスク推定が可能であることを示しました。

3. 加法的観測誤差や短期的な自己相関を含むデータに対し、長期分散推定に基づく、より頑健な OEAR 推定量を提案しました。

4. ニホンウナギに適用した結果、IUCN Criterion E に基づく絶滅確率は、信頼区間を含めても脅威区分の閾値を大きく下回ることが示されました。一方で、ニホンウナギは現在 Criterion A に基づき Endangered と評価されています。本研究は、drift-Wiener モデルのもとで、十分に大きな個体群では Criterion A の減少基準が Criterion E によって定量化される絶滅リスクを系統的に過大評価することを理論的に示しました。

背景

絶滅リスクの定量評価は、IUCN レッドリストや CITES など、現代の保全評価における重要な要素です。しかし、短い、あるいはノイズの大きい生態時系列データから絶滅確率をどこまで信頼して推定できるのかについては、長年議論が続いてきました。特に、利用可能なデータが限られている場合、信頼区間が 0 から 1 のほぼ全域に広がってしまい、推定値が実用的な意味を持たなくなるのではないか、という懸念がありました。

その一方で、保全の現場では定量的な判断材料が必要です。Population Viability Analysis（PVA）は将来の絶滅リスクを評価するうえで最も透明性の高い方法の一つですが、その有用性は、不確実性を統計的に適切に評価できるかどうかにかかっています。

研究の目的

本研究の目的は、現実的なデータ制約の下でも、どのような場合に絶滅リスク推定が有益になりうるのかを明らかにし、統計的に適切な被覆率を持つ信頼区間を導出することでした。あわせて、観測誤差や短期的な時間依存を含む場合にも適用できるように、手法を拡張することを目指しました。

方法

本研究では、絶滅動態の標準的な確率モデルである drift-Wiener process に注目しました。元のモデルパラメータで直接絶滅リスクを推定する代わりに、w と z という 2 つの変換パラメータを導入し、この変換空間で推論を行いました。これらの最尤推定量は非心 t 分布に従うため、絶滅確率の信頼区間を解析的に構成することができます。

手法の性質は解析的に検討するとともに、モンテカルロシミュレーションで評価しました。さらに、AR(1) 事前白色化と Bartlett カーネルを用いた HAC 型の長期分散推定に基づく OEAR 拡張法を導入し、観測誤差や短期的な自己相関に対する頑健性を高めるとともに、有限標本でも分散推定値が負にならないようにしました。

そのうえで、本研究で開発した枠組みを、ニホンウナギの全国漁獲時系列 2 系列、すなわちシラスウナギ（沿岸＋内水面）指標と、黄ウナギ・銀ウナギの内水面漁獲指標に適用しました。

主な結果

本研究は、絶滅確率の信頼区間幅が、データ量だけでなく効果量（effect size）、すなわち真の絶滅確率が最大不確実点からどれだけ離れているかにも強く依存することを示しました。このことは、従来考えられていたよりも、限られたモニタリングデータからでも絶滅リスクを高い精度で推定できる場合があることを意味します。

新しい信頼区間法は、シミュレーションにおいて名目水準に近い正確な被覆率を示しました。一方、比較したいくつかの既存手法では、被覆率のずれがより大きく見られました。加法的観測誤差や短期的な依存を含む設定では、OEAR 拡張法も安定した性能を示し、少なくとも本研究で検討した範囲では、実用上の閾値判断を変えない頑健性が確認されました。

ニホンウナギは現在、個体数減少に基づく IUCN Criterion A によって Endangered と評価されていますが、本研究で推定した IUCN Criterion E に基づく絶滅確率は、評価すべき時間スケールにおいて脅威区分の閾値を大きく下回り、信頼区間の上限もそれらの閾値を下回ることが示されました。この結論は、採用した 2 つの全国時系列のいずれでも、ナイーブ法と OEAR 法のいずれでも、さらに努力量トレンド補正と個体数スケール較正の感度分析を行っても変わりませんでした。

本研究は、drift-Wiener モデルのもとで、十分に大きな個体群では、Criterion A の減少基準が Criterion E によって定量化される有限時間の絶滅リスクを系統的に過大評価することを示しました。この理論結果は、上で示したニホンウナギにおける Criterion A と Criterion E の食い違いを説明するものです。

IUCN では、複数の基準のうち一つを満たせば絶滅危惧種に該当しうるため、このような系統的過大評価は、本来は絶滅危惧種ではない種を絶滅危惧種としてランクしてしまうおそれがあります（false-positive threat classification）。その結果、より高い絶滅リスクに直面している分類群に保全努力が十分に向けられなくなる可能性があります。これはニホンウナギだけの問題ではなく、個体数の大きな海洋生物に広く当てはまる論点です。

意義と今後の展望

本研究は、drift-Wiener process の下で絶滅確率の信頼区間を厳密に構成すると同時に、OEAR 拡張によって、観測誤差や短期依存を含む幅広いクラスの確率過程を有効拡散近似として扱う一般的な枠組みを示しました。個体群動態の数理モデルと、信頼区間の統計理論とを統合することで、保全評価に直接使える絶滅リスク推定の枠組みを提示した点に、本研究の大きな意義があります。

本研究で示した枠組みは、今後の IUCN Criterion E の適用、保全意思決定における不確実性の方法論研究、さらにはレッドリストの各基準相互の関係の再検討にも有用と考えられます。今後は、より広いクラスの確率的個体群モデルや、他の保全重要種への展開が期待されます。

謝辞

本研究は水産庁（水産資源調査・評価推進事業）の助成を受けて実施されました。

論文情報

・論文名：Confidence Intervals for Extinction Risk: Validating Population Viability Analysis with Limited Data

・掲載誌：Methods in Ecology and Evolution

・著者：Hiroshi Hakoyama

・掲載日：2026 年 4 月 17 日

・掲載 URL

DOI：https://doi.org/10.1111/2041-210X.70294

arXiv プレプリント DOI：https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.09965

R パッケージ DOI：https://doi.org/10.32614/CRAN.package.extr

淡水生物学研究所の取り組み

淡水生物学研究所は、地域の自然や生物資源を対象とし、生態学や統計数理学を中心とした研究・教育を行っています。また、産学官連携の研究プロジェクトを進めており、国際的な淡水生物学の研究拠点となることを目指しています。

・所在地：長野県上田市小牧 1088

・代表者名：淡水生物学研究所　所長　箱山　洋

・現在の主要な研究内容：ニホンウナギの資源学的研究
千曲川再生に向けた河川生態学的研究
動物の個性の研究
フナ類の有性型と無性型の共存に関する研究

・URL：https://ifb-research.jp/ja/

お問い合わせ先

長野大学　淡水生物学研究所

〔担当者〕所長　箱山　洋

〔TEL〕0268-22-0594

〔FAX〕0268-22-0544

〔E-mail〕ifb@nagano.ac.jp