

絶滅危惧種ニホンウナギの分布域を環境 DNA 解析で推定

ポイント

- ・日本全国の 265 の河川で調査を行い、ウナギは太平洋側で多く、日本海側で少ないことを発見。
- ・生物を捕獲することなく、生態系にやさしい、環境 DNA 法による調査を実施。
- ・産業上重要種でありながら絶滅危惧種でもあるニホンウナギの天然資源の保護と管理に貢献。

概要

北海道大学大学院水産科学研究院の笠井亮秀教授，龍谷大学先端理工学部の山中裕樹准教授，国立環境研究所生物・生態系環境研究センターの亀山 哲主任研究員，京都大学フィールド科学教育研究センターの益田玲爾教授，弘前大学農学生命科学部の東 信行教授，東京大学大学院新領域創成科学研究科/大気海洋研究所の木村伸吾教授，東北生活文化大学短期大学部生活文化学科の黒川優子准教授らの研究グループは，全国 265 河川 365 地点で環境 DNA^{*1} 調査を行い，これまで謎の多かったニホンウナギ（以下，ウナギ）の分布を調べました。その結果，ウナギは関東以西の本州太平洋側や瀬戸内海，そして九州西岸の河川で多く生息していることがわかりました。一方日本海側では，能登半島以西には生息していますが，北陸東北地方にはほとんど生息していないことが明らかとなりました。そして北海道の河川にも，ウナギはほとんどいませんでした。

また，南方から海流によって日本まで運ばれてくるウナギの仔魚（シラスウナギ）の輸送状況をシミュレーションによって調べたところ，仔魚が到達する場所と環境 DNA 調査でウナギが生息していると推定された場所がよく一致しました。このことから，海洋でのシラスウナギの輸送状況が日本国内の河川におけるウナギの分布を決める主要因になっていると考えられます。また，ウナギの環境 DNA 濃度が高かった河川は全窒素^{*2}濃度も高い傾向にありました。これは高栄養環境にある河川ほどウナギの生残や成長が良いことを示唆しています。本研究結果は，日本人にとって重要な水産物でありながら絶滅危惧種にも指定されているウナギの保護と資源管理に重要な知見を与えるものといえます。

なお，本研究成果は，2021 年 2 月 25 日（木）公開の *Frontiers in Ecology and Evolution* 誌にオンライン掲載されました。



(左) シラスウナギ，(右) 河川に生息するニホンウナギ

【背景】

ウナギは、蒲焼などのご馳走としてとても馴染み深い魚です。しかし現在では、その漁獲量はかなり少なくなっており、環境省やIUCN^{*3}によって、絶滅危惧種に指定されています。今後もウナギを保護しながら、水産物として持続的に利用していくためには、その資源を適切に管理することが重要です。しかしこれまで、ウナギがどこに、どれくらいいるのかすらよくわかっていませんでした。それは、普段ウナギが岩陰に隠れたり砂泥中に潜って暮らしていたりするので、捕獲したり見つけたりすることが難しいからです。また、河川や湖沼から河口域、沿岸域まで様々な環境に生息しているため、統一した手法で生息量を調べるのが難しかったという問題もあります。

そこで笠井教授らの研究グループは、環境 DNA 解析と呼ばれる最新技術を用いて、統一した手法で全国の河川におけるウナギの分布を詳細に調べました。

【研究手法】

最近の技術の進歩により、ごくわずかな DNA でも、環境中に存在しているかどうかを判断することができるようになりました。本研究で用いた環境 DNA 解析は、対象生物を捕獲しないため、絶滅危惧種など貴重な生物の分布調査にとっても有効な手法です。それだけでなく、短期間のうちに広範囲にわたる調査を行うことができるという利点もあり、環境 DNA 解析は対象の生物の分布を調べる上で非常に役立ちます。また生物の個体数が多ければ環境 DNA も多く放出されると予想されるため、環境 DNA の濃度から、その環境に生息している生物量も把握できる可能性があります。過去の研究では、ウナギについては、従来の捕獲による方法よりも、環境 DNA 解析の方が精度よく生物量を調べられると報告されています。

本研究では、北海道から沖縄に至る全国の 265 河川、365 地点で環境 DNA 調査を行いました。現場で行ったことは、水温や塩分の測定、堰の有無の確認、そして河川水を数百 ml 採って、その水をフィルターでろ過をする（図 1）だけです。従来の手法に比べると、現場での作業はさほど大掛かりなものではありません。河川水をろ過したフィルターは研究室に持ち帰り、フィルター上に捕集されている DNA を抽出しました。そして、ウナギの DNA を検出できる定量 PCR^{*4} 解析によって、環境 DNA の濃度を調べました。

全国のウナギの分布が何によって決まるのかを考える際には、ウナギの生活史も考慮に入れなければなりません。ウナギは日本から 2,500 km も離れた太平洋マリアナ海溝付近で産卵するといわれています。生まれたばかりのウナギの卵や仔魚は、北赤道海流に乗って西方に運ばれフィリピン付近に達したのち、黒潮によって北方に輸送されます。その後行きついた東アジア各国の河川に遡上して数年から 10 年ほどかけて河川、湖沼または河口域付近で成長します。よって、海にいる仔魚期にどのように運ばれてくるかが、その後の生息場所を決めるうえで重要になると考えられます。

そこで本研究グループは、まだ海にいる段階で、ウナギの仔魚がどこにどのように運ばれるかをシミュレーションによって調べました。シミュレーションには、気象庁が 2020 年秋に運用を開始した MRI.COM-JPN モデルによって計算された流れを用いました。このモデルは、東アジアの沿岸域を広く網羅しているにもかかわらず、水平解像度が 2 km ととても緻密で、これまでにないほどの高精度で沿岸域の流れをよく再現できます。ウナギの仔魚に見立てた 8 万個の粒子を台湾東方の黒潮域に放流し、日本のどの地域に運ばれてくるかについて、2008 年から 2017 年の各年 12 月から翌年 4 月までのシミュレーションを 9 回行い、各河川に運ばれてくる粒子数を計算しました。

【研究成果】

ウナギの環境 DNA は、関東以西の本州太平洋側や瀬戸内海そして九州西岸の河川において、高濃度で確認されました（図 2）。一方日本海側は、能登半島以西では低濃度ながら検出されましたが、能登半島以北ではほとんど検出されませんでした。そして北海道の河川からも、ほとんど検出されませんでした。この結果はウナギ仔魚の輸送シミュレーションの結果とよく一致しています（図 3）。

このことから、海洋での仔魚の輸送状況が日本国内の河川におけるウナギの分布を決める主要因になっていると考えられます。一方ウナギは、北海道を除く全国の様々な地域で放流されています。そこで都府県別のウナギの放流量と環境 DNA 濃度を比較したところ、両者はまったく一致しませんでした。これらのことから、日本の河川に生息しているウナギの多くは天然のウナギであり、その分布は仔魚期の海洋での輸送状況によって決まると考えられます。

また、ウナギの環境 DNA 濃度が高かった河川は全窒素濃度も高い傾向にありました。これは高栄養環境にある河川ほどウナギの生残や成長が良いことを示唆しています。全窒素濃度は富栄養化の指標とされ、水質の良し悪しの判断に用いられています。高度経済成長期に日本の水環境が著しく悪化したことに基づき、かつては全窒素濃度が高いといわれる汚れた川と判断されていました。しかし近年の下水処理技術の発達や、様々な面から水環境に対する配慮が行われてきたおかげで、日本の河川は目を見張るほどきれいになりました。そのため本研究で得られた全窒素濃度が高い河川というのは、一昔前のように汚れた河川ではなく、むしろ生産性が高く豊かな河川ととらえた方がよいでしょう。つまり本研究で、全窒素濃度とウナギの環境 DNA 濃度の間に正の相関が得られたことは、豊かな河川にウナギが多く生息していることを反映していると考えられます。

【今後への期待】

ウナギのような貴重な生物を、捕獲したり傷つけたりすることなく、広範囲にわたる分布を詳細に明らかにできる環境 DNA 解析は、ほかの生物の調査にも広く適用できるでしょう。絶滅危惧種だけでなく、例えば外来種がどの程度生息域を広げているか、といったことも調べられます。

本研究の成果は、今後ウナギを保護したり増やしたりするためには、どこで漁獲するのがよいのか、またどこで放流すればよいのか等の資源管理に繋がると期待されます。また堰の設置や河川改修を行う際に、生態系にフレンドリーな方法をとる際の参考になることも期待されます。

【謝辞】

本研究は、科研費基盤研究 (A)「環境 DNA を用いた全国の河川におけるニホンウナギの分布・生息量推定 (17H01412)」の助成を受けて行われました。

論文情報

論文名 Distribution of Japanese eel *Anguilla japonica* revealed by environmental DNA
(環境 DNA により明らかにしたニホンウナギの分布)

著者名 笠井亮秀¹, 山崎 彩¹, 安 孝珍¹, 山中裕樹², 亀山 哲³, 益田玲爾⁴, 東 信行⁵, 木村伸吾⁶, 唐木達郎^{1,7}, 黒川優子⁸, 山下 洋⁴ (¹北海道大学大学院水産科学研究院, ²龍谷大学先端理工学部, ³国立環境研究所生物・生態系環境研究センター, ⁴京都大学フィールド科学教育研究センター, ⁵弘前大学農学生命科学部, ⁶東京大学大学院新領域創成科学研究科/大気海洋研究所, ⁷京都大学学際融合教育研究推進センター, ⁸東北生活文化大学短期大学部生活文化学科)

雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution (生態学・進化学の専門誌)

DOI 10.3389/fevo.2021.621461

公表日 2021年2月25日(木)(オンライン公開)

【参考図】



図1. 採水した河川水をろ過している様子。注射筒の先についている白い物が、フィルターの入ったカートリッジ。

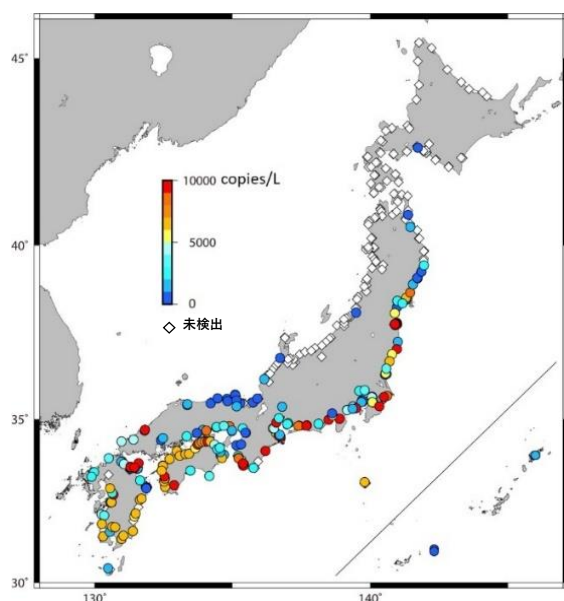


図2. 河川下流域におけるニホンウナギの環境 DNA 濃度(河川水中の DNA 断片の数)。

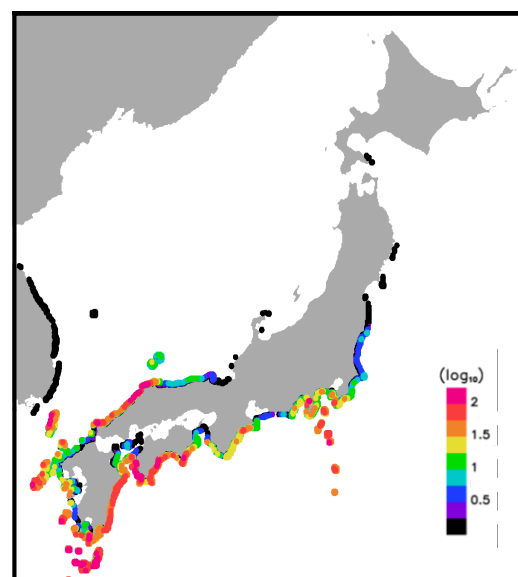


図3. ニホンウナギ仔魚が海流によって各地の沿岸域に輸送されてくる数。2008年から2017年のシミュレーション結果の平均値。

【用語解説】

- *1 環境 DNA … 生物の糞やはがれた表皮などによって、環境中に放出された生物由来の DNA の総称。本研究では、河川水中に含まれる DNA のことを指す。
- *2 全窒素 … 水中のアンモニウム、亜硝酸、硝酸に相当する無機態窒素と有機物に含まれる窒素の合計。全窒素濃度は、湖沼・河川・沿岸域の富栄養化や水質汚濁の指標として用いられており、環境省は全窒素濃度を測定し、水域の富栄養化のモニタリングを行っている。
- *3 IUCN … International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 国際自然保護連合。種の保存や環境教育などに関する活動を行っており、絶滅のおそれのある野生生物のリスト（レッドリスト）を作成していることで有名。
- *4 定量 PCR … DNA を増幅させて、サンプルに含まれる対象種の DNA の量を推定すること。