

# 森川海の生態系の繋がりに着目したウナギ属魚類の生態学的研究

板倉 光 (東京大学大気海洋研究所)

hikaruitakura@aori.u-tokyo.ac.jp

ウナギは古来より食資源や信仰の対象として、多様な生態系サービスを人間社会へ提供してきた。しかし近年、その資源状態は全球規模で悪化しており、その保全が急務となっている。本稿では、ウナギの保全と持続的利用に貢献するため、不明な点が多い河川生活期のウナギ属魚類の生態を明らかにするとともに、ウナギの保全や河川の生物多様性保全における、森川海の生態系連環機構の重要性についての、我々の取り組みを紹介する。

## はじめに

ウナギ属魚類は外洋で生まれ、沿岸の河川や湖沼で成長する降河回遊魚である。その広範囲を回遊する生活史の中で、気候変動や海洋環境の変化といった自然環境に起因する要因のほか、乱獲や生息環境の改変といった人為的な要因の影響<sup>22</sup>を受ける。このうち、人為的な要因については、ある程度管理することが可能であるため、河川生活期の生態を深く理解することは重要である。我々は、本邦に生息するニホンウナギ (*Anguilla japonica*) とオオウナギ (*A. marmorata*) を対象とし、不明な点が多い河川生活期の生態解明に取り組むとともに、資源減少の一因と考えられている河川環境の問題に着目して研究を展開した。我々が河川調査を開始した 2011 年、世界初となるニホンウナギの天然卵の採集が達成され<sup>1</sup>、産卵場探索や外洋での初期生活史研究が盛り上がりを見せていた。一方で、本種の河川生活期の生態に関する査読付き論文は非常に限定的であった。そこでまずは、ニホンウナギの活動の日周性や季節性、生息域利用等の基礎生態を調べることにした。

## ウナギの活動特性と生息環境への固執性

バイオテレメトリーを用いてニホンウナギの行動を追跡したところ<sup>23</sup>、本種が夜間、特に日没直後・日出前に活発に活動する夜行性・薄明性であること、水温が高い春季から秋季に活発に活動する一方で、水温が低下する冬季に活動を停止することが分かった。また、夜行性の程度は光条件を変化させる生息環境の深度や気象条件によって柔軟に変化することも分かった。

ニホンウナギの年間のホームレンジは、河岸に沿ったエリアを中心として数百 m の範囲に限定されていた<sup>23</sup>。また、個体をホームレンジ外の水域へ移送放流したところ、2 週間以内に元々のホームレンジ内へ回帰した。奄美大島の河川で標識再捕調査の結果からは、オオウナギの大部分は 20m 以内の地点で再捕され、活動範囲は非常に限定的であった<sup>4</sup>。以上より、ウナギ属魚類は生活史の中で海と川間を大規模に回遊し、さらに成長期には海から河川上流まで非常に幅広い範囲に生息するが、成長期における河川での行動範囲は極めて限定的で、特定の生息環境への非常に強い固執性・定着性を持つことが明らかとなった。

## 海と川の繋がり：河川の生物多様性保全におけるウナギの役割

ウナギの重要な成育場の一つである淡水域は、地球表面の 2.3% の面積にしか満たない水域であ

るが、単位面積当たりの生物種数は陸や海域よりも格段に多く、生物多様性に富む水域である。しかし同時に、淡水域は人間活動の影響で劣化が著しく、生物多様性の減少も顕著であるため、淡水生態系の回復はウナギだけでなく生物多様性全体の保全にとって急務である。我々は、ニホンウナギとオオウナギの独自の生態に着目し、ウナギが生態系を保全する上で重要な存在であるアンブレラ種・指標種・フラグシップ種<sup>5</sup>の全ての概念に当てはまることを示し、河川の生物多様性保全の包括的なシンボル種として機能する可能性を提案した<sup>6</sup>。国内6河川78地点で実施した野外調査に基づき、(1)ウナギは他の生物よりも河川内で広域分布する頂点捕食者であり、多様な生物の保護に繋がるアンブレラ種となること、(2)ダムや堰がウナギと通し回遊生物の遡上を妨げることで、河川の生物多様性が著しく減少することから<sup>6,7</sup>、ウナギが海と川の生態系の繋がりの程度を指標し、これを介して河川の生物多様性の高低を説明可能な指標種となること、(3)ウナギが多くの子体の保全活動への参画を促進される効果が期待できるフラグシップ種となることを科学的に示した。すなわち、堰やダムの影響を改善し、海と川の繋がりの回復を通してウナギの個体数を回復させる活動は、ウナギのみならず河川の生物多様性全体の保全と回復にも貢献できるものと考えられる。

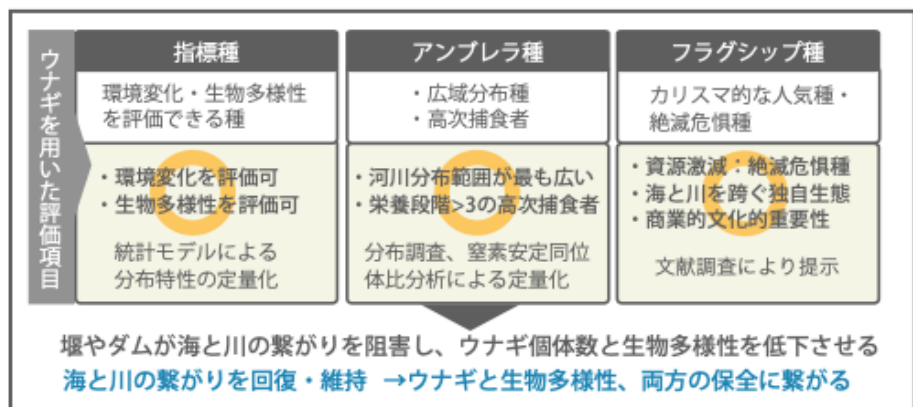


図1 海と川の繋がり：生物多様性保全の包括的なシンボル種としてのウナギ

### 森と川の繋がり：陸域資源流入がウナギの生産を支える

川や池での魚釣りの餌の代表格といえば、言うに及ばずミミズである。私は少年時代、生粋の釣り少年で、毎日のようにミミズを餌に魚を釣っていた。その頃から「なぜ土の中にいるミミズで川魚が釣れるのだろうか？」と疑問を持っていた。大学院でウナギを解剖していた際、胃から大量のミミズを見つけ、この疑問に時空を越えて自問自答する瞬間がやってきた。以下に、ウナギの食性研究から見えてきた、河川生態系における陸棲ミミズ流入の重要性について紹介する<sup>8,9</sup>。

研究の背景として、生態系は物質や餌生物の移動（系外資源）を通して隣接する生態系と密接に繋がり、系外資源は捕食者や生物群集に重大な影響を与える。例えば、河川上流では、陸域からの無脊椎動物が河川の捕食者にとって重要なエネルギー源となる。この影響は、受け手の生態系が隣接する生態系と接する長さ、受け手の生態系の面積の比（Perimeter-to-area ratio: PAR）が大きい生態系で特に強くなる<sup>10</sup>。上流域は PAR が高く、系外資源が主要なエネルギー源になるが、下流域では PAR が低く、河川内の内部生産が主なエネルギー源になる。さらに、系外資源と、受け手の生態系内における系外資源と同等資源との比（系外資源の比）が高いほど生態系ほどその効果も強まることが知られている<sup>11</sup>。低頻度であるが集中した系外資源流入（パルスの資源流入）は、PAR が低い場所でも一時的に影響を及ぼす可能性があるが、その影響については未解明の部分が多い。

我々は、利根川水系における3年間毎月実施した採集調査に基づき、降雨に伴い陸から河川へ流入するミミズが、上流域と比べて陸域と河川との接点が低いと認識されてきた下流域に生息す

るニホンウナギの最重要な餌資源となっていることを発見した<sup>8)</sup>。ミミズの流入は降雨の直後に大量の餌を集中的に河川へもたらすパルス的な資源流入であり、河川内の資源に対する系外資源の比を一時的に高めることで、ウナギがミミズに大きく依存することを明らかにした。また、岸辺がコンクリート護岸によって覆われると、河川へのミミズの供給が阻害され、陸域・河川生態系の重要な繋がりが遮断されることも明らかにした<sup>8)</sup>。人工護岸水域では岸辺に土や植生が残る水域と比較してウナギの生息数や栄養状態が低いことも見出し、陸域・河川生態系の繋がりが遮断される影響も示した<sup>8)</sup>。さらに、護岸化が極端に進んだ河川や湖沼ほど、ニホンウナギ漁獲量の減少率が高くなることも発見した<sup>12)</sup>。以上より、水域内の多様な環境の確保のみが注目されがちな従来の河川環境の修復において、森と川の繋がりを回復・維持することの重要性を指摘した。

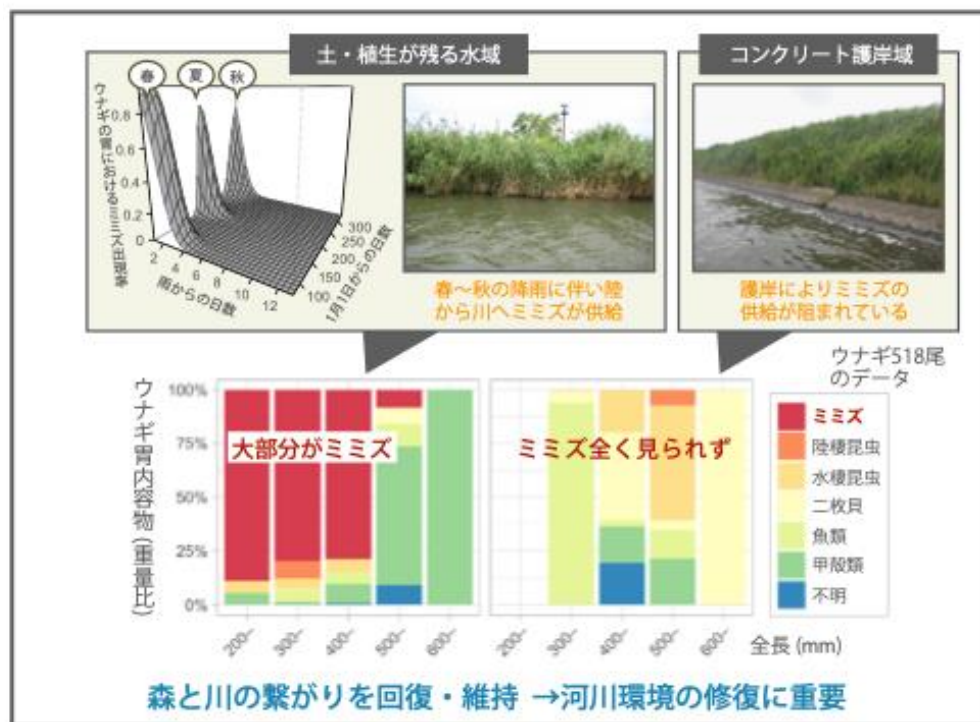


図2 森と川の繋がりに：護岸が陸棲ミミズの河川への供給を断ち切る

一連の研究から、ウナギ属魚類の河川生活期の生態に関する数々の新知見が明らかになったとともに、人為的環境変化に伴う森川海の生態系連環機構の崩壊がウナギに与える影響の一端を明らかにすることができた。本成果は、これまで産卵場探索に代表される外洋における初期生活史や完全養殖技術の開発に関する研究が中心であったウナギ属魚類の保全において、森川海の生態系連環機構の重要性を指摘するものである。

## 謝辞

本賞の受賞にあたり、公益社団法人日本水産学会からのご推薦を賜りました。東海正会長をはじめ学会関係者の先生方に厚く御礼申し上げます。本稿の一連の研究は、これまで支えてくださった共同研究者や漁業協同組合など多くの方々のご尽力があって初めて成し遂げることができました。特に、東京大学の木村伸吾先生、北川貴士先生、水産研究・教育機構の三宅陽一先生には大学院生としての研究開始時から大変親身なご指導を賜りました。中央大学の海部健三先生、京都大学の佐藤拓哉先生、米国メリーランド大学の David Secor 先生にはポストドク時代に丁寧なご

指導をいただきました。東京大学の脇谷量子郎博士にはこれまで多大なご協力をいただきました。心より御礼申し上げます。また、私が現在所属する東京大学大気海洋研究所の先生方および学生の皆様に深く感謝申し上げます。最後に、いつも遠くから暖かく見守ってくれる両親と兄弟、そして、出張の多い研究生活にちょっとだけ愚痴を言いつつも常に暖かく支えてくれる妻と3人の子どもたちに心から感謝申し上げます。

## 文献

1. Tsukamoto K, Chow S, Otake T, et al. Oceanic spawning ecology of freshwater eels in the western North Pacific. *Nat Commun.* 2011;2:179.
2. Itakura H, Miyake Y, Kitagawa T, Kimura S. Site fidelity, diel and seasonal activities of yellow-phase Japanese eels (*Anguilla japonica*) in a freshwater habitat as inferred from acoustic telemetry. *Ecol Freshw Fish.* Published online 2017:1-15.
3. Itakura H, Miyake Y, Wakiya R, Kimura S. Environmental influences on late-summer individual Japanese eel diel activity and space utilization patterns in a shallow western Japan brackish lake. *Fish Sci.* 2022;88(1):29-43.
4. Itakura H, Wakiya R. Habitat preference, movements and growth of giant mottled eels, *Anguilla marmorata*, in a small subtropical Amami-Oshima Island river. *PeerJ.* 2020;8:1-28.
5. Simberloff D. FLAGSHIPS, UMBRELLAS, AND KEYSTONES: IS SINGLE-SPECIES MANAGEMENT PASSÉ IN THE LANDSCAPE ERA? *Biol Conserv.* 1998;83(3):247-257.
6. Itakura H, Wakiya R, Gollock M, Kaifu K. Anguillid eels as a surrogate species for conservation of freshwater biodiversity in Japan. *Sci Rep.* 2020;10:8790.
7. Itakura H, Wakiya R, Yamamoto S, Kaifu K, Sato T, Minamoto T. Environmental DNA analysis reveals the spatial distribution, abundance, and biomass of Japanese eels at the river - basin scale. *Aquat Conserv.* 2019;29:361-373.
8. Itakura H, Kaino T, Miyake Y, Kitagawa T, Kimura S. Feeding, condition, and abundance of Japanese eels from natural and revetment habitats in the Tone River, Japan. *Environ Biol Fishes.* 2015;98(8):1871-1888.
9. Itakura H, Miyake Y, Kitagawa T, Sato T, Kimura S. Large contribution of pulsed subsidies to a predatory fish inhabiting large stream channels. *Can J Fish Aquat Sci.* 2021;78(2):144-153.
10. Polis GA, Anderson WB, Holt RD. Toward an integration of landscape and food web ecology: The dynamics of spatially subsidized food webs. *Annu Rev Ecol Syst.* 1997;28:289-316.
11. Marczak LB, Thompson RM, Richardson JS. Meta-analysis: Trophic level, habitat, and productivity shape the food web effects of resource subsidies. *Ecology.* 2007;88(1):140-148.
12. Itakura H, Kitagawa T, Miller MJMJ, Kimura S. Declines in catches of Japanese eels in rivers and lakes across Japan: Have river and lake modifications reduced fishery catches? *Landsc Ecol Eng.* 2015;11(1):147-160.