

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K14510

研究課題名（和文）ニホンウナギの降河回遊開始メカニズムの解明

研究課題名（英文）Mechanism of timing of downstream migration for Japanese eels

研究代表者

板倉 光 (Itakura, Hikaru)

東京大学・大気海洋研究所・助教

研究者番号：40749040

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：秋季の銀化/回遊開始を夏季に個体レベルで予測できる方法を確認させ、ウナギ属魚類の降河回遊開始に関わる一連の意思決定機構を明らかにすることを目的として研究を進めてきた。雌のニホンウナギを用いた野外人工池における標識再捕実験により、春機発動個体の秋季における卵径が未春機発動個体に比べ顕著に発達していることが明らかとなり、夏季に卵径を測定して春機発動の有無を調べることで、秋季の回遊開始を事前に個体レベルで予測することが可能となった。また、島根県神西湖で採集された個体の成長解析から、高成長パターン個体が若齢で回遊開始することが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の実施により、これまで困難であった秋季におけるウナギ属魚類の銀化/回遊開始予測について、夏季に卵径を測定して春機発動の有無を調べることで、秋季の銀化/回遊開始を事前に個体レベルで予測することが可能となった。これにより、黄ウナギをその年に銀化/回遊開始個体か残留個体かに判別することで両者の成長パターンなどの比較から、ウナギ属魚類の回遊開始に関わる意思決定機構の解明が可能となるため学術的意義は高い。また、事前の銀化/回遊開始の予測は銀ウナギの確保を可能とするため、社会的意義も高いものと判断できる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to establish a method to predict the onset of downstream migration of Japanese eels at the individual level in summer, and to clarify the process of decision-making mechanisms related to the onset of the migration of eels. Using mark-recapture experiment of female Japanese eels in an artificial pond, it was found that the diameter of egg of puberty individuals was significantly larger than that of non-puberty individuals in fall, indicating that the onset of migration of eels in fall is predictable at the individual level during summer. In addition, growth analysis of eels collected in Lake Jinzei, Shimane Prefecture, revealed that individuals having high growth pattern start their migration at younger age than low growth pattern individuals.

研究分野：魚類生態学

キーワード：回遊開始機構 ニホンウナギ 春機発動 標識再捕 耳石成長解析

1. 研究開始当初の背景

ウナギ属魚類は外洋で生まれ、河川で成長する降河回遊魚であり、降河回遊行動はその生態の根底をなす。そのため、成長期にあたる黄ウナギが銀ウナギへと変態し(銀化)、降河回遊を開始する意思決定プロセスを理解することは、生活史戦略を理解する上で重要であるだけでなく、生活史特性を考慮した保全策を立案するために不可欠である。魚類の回遊行動は生態学的・生理学的・行動学的条件が順序よく満たされることで解発される。ニホンウナギでは、一定以上の全長に達した後、秋季の水温低下により血中アンドロゲン(11KT)量が上昇することで銀化が生じ、11KTの上昇と月周期により回遊の動因が高まり、環境刺激により降河回遊が解発されると考えられている。しかし実際には、降河回遊を開始した銀ウナギの全長や年齢には大きな個体差が認められる。すなわち、必要な全長を満たしていても秋季の水温低下時に生理的・行動的变化が生じず銀化しない個体が存在するため、上記モデルだけでは本種の降河回遊行動を説明できない。本研究の学術的「問い」は「どのような個体が秋季に銀化/降河回遊を開始し、あるいは黄ウナギのまま成育場に留まるのか? 銀化サイズはどのように決まるのか?」である。そのためには、秋季の降河回遊開始を個体レベルで事前に予測することが必要である。

春～夏季(5-8月)の雌の黄ウナギは卵母細胞が未発達な個体(周辺仁期)と比較的発達が進んだ個体(油球形成前期)に分かれ、油球形成前期の個体は周辺仁期と比べて銀化に重要な血中11KT量が有意に高いことが分かっている(萩原ら、未発表)。このことは、初夏には既に春機発動を開始した銀化/回遊予定個体(油球形成前期)が存在する可能性を示す。秋季以降は銀ウナギも出現し始めるが(油球形成後期と第一次卵黄球期)、油球形成前期の個体は見られなくなる。つまり、春～夏季に周辺仁期の個体が黄ウナギとして成育場に留まり、春機発動個体が秋季に銀化/回遊を開始することを野外で証明すれば、秋季の降河回遊開始を春～夏季のうちに予測できるようになる可能性が高い。加えて、春～夏季に春機発動を開始するかしないかの意思決定は前年までの生態学的プロセスが重要であると考えられる。サケ科魚類では、河川残留と降海の意思決定に成長が関連することが広く知られており、ウナギにおいても河川生活期初期の下流残留と上流移動の意思決定に成長が関係することが報告されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ニホンウナギの春～夏季における春機発動から秋季における降河回遊開始までの一連の意思決定プロセスを明らかにすることで降河回遊開始メカニズムを総合的に理解することである。具体的には、ニホンウナギ雌の生殖腺の組織観察と野外人工池における標識再捕実験の組み合わせにより、秋季の回遊開始を春～夏季に個体レベルで予測できる方法の確立を試みた。また、野外で採集した銀ウナギの耳石輪紋解析から成長パターンを検討した。

3. 研究の方法

春機発動個体が秋季に銀化して降河回遊を開始する一方で、未春機発動個体は銀化/回遊せず、翌年以降まで黄ウナギとして残留することをバイオプシーによる生殖腺の組織観察と標識再捕実験により検証した。2018年の夏季に、静岡県浜名湖と宮崎県の複数河川においてニホンウナギを定置網、電気ショッカーにより採集した。採集した個体に麻酔を施し、雌と判定された個体についてバイオプシーにより生殖腺の一部を摘出した。摘出した生殖腺は組織切片を作成し、組織観察から春機発動個体と未春機発動個体に判別した。形態各種を測定したのち、PITタグによって個体識別して野外人工池に放流した。同年の秋季に放流個体を再捕獲し、放流時の春機発動個体が銀化/回遊を開始している一方で、放流時の未春機発動個体は銀化していないことを確認した。また、同様の実験を2017-18年に島根県出雲市の神西湖においても行った。2017年と2018年の夏季に、神西湖の流入河川において電気ショッカーにより採集し、上記と同様に生殖腺の摘出、放流を行った。その後、秋季に、湖内で漁業者によります網によって採集される銀ウナギの買取りを行った。

2016-18年に神西湖でます網によって採集されたニホンウナギを入手した。入手した個体は銀化指数により銀ウナギと黄ウナギに判別し、全長、体重を計測後に解剖し、耳石を摘出した。耳石は切片を作成し、年齢査定と輪紋間隔の測定を行ったのち、成長履歴逆算法の一種であるModified Fly Modelにより個体毎の各年齢時の全長を推定し、成長パターンを検討した。また、微量元素(Sr:Ca)分析を利用して、各個体の回遊型(淡水型と汽水・海水型)を決定した。その後、雌の銀ウナギのみを対象とし、個体毎に回遊を開始した年(採集年)と黄ウナギ期に相当する年(採集年以前の年)の成長の違いがどのように回遊開始に影響するか明らかにするための統計モデルを構築した。

4. 研究成果

静岡県浜名湖と宮崎県の複数河川において夏季に採集された雌の生殖腺の組織観察を行ったところ、黄ウナギは卵母細胞が周辺仁期にあたる未春機発動個体と油球形成前期にあたる春機発動個体に分けられた。特に、6月採集個体に比べて、8月採集の春機発動個体の方が卵径が大

きいことが分かった。標識再捕実験の結果、秋季における春機発動個体の最大卵群卵径が未春機発動個体に比べて顕著に発達してした。この結果は、夏季における春機発動個体が秋季に銀化/回遊を開始する一方で、夏季に周辺仁期の未春機発動個体が黄ウナギとして翌年以降も成育場に留まることを示しており、夏季に卵径を測定して春機発動の有無を調べることで、秋季の銀化/回遊開始を事前に個体レベルで予測できることが明らかとなった。さらに、秋季の銀化/回遊開始と残留の判別について、最大卵群卵径を用いて統計モデルにより検討したところ、全個体、6月採集個体のみを使った場合と比べて、8月採集個体のみを使った方がより正確に秋季の銀化/回遊開始を予測することができた。全個体を使用した場合であっても、肥満度や吻長などの他のパラメータを追加することで、予測精度の向上が見られた。神西湖においても標識再捕実験を行ったが、標識個体が秋季に再捕獲されなかったために、春機発動と銀化/回遊開始との関係を検討することはできなかった。現在は、神西湖で秋季に採集された黄ウナギについて、最大卵群卵径から銀化/回遊開始と残留個体に判別し、両者の成長パターンの比較から回遊開始機構を検討している。

神西湖で採集された黄ウナギと銀ウナギの成長パターンについて、混合分布モデルにより検討したところ、高成長から低成長まで多様な成長パターンが認められた。年齢・回遊型毎に黄ウナギと銀ウナギで成長パターンを比較したところ、黄ウナギに比べ銀ウナギは高成長パターン個体が多いことが分かった。また、銀ウナギのみで成長パターンを比較したところ、雄雌ともに高成長パターン分類された個体ほど、若齢で銀ウナギとなり回遊を開始していることが示唆された。さらに、雌の銀ウナギのみを対象とし、個体毎に銀ウナギの年と黄ウナギの年までに経験した成長について統計モデルにより検討した結果、銀ウナギとなる前の数年間の成長が停滞した場合に銀ウナギへとなり回遊を開始している可能性が示唆された。現在では、雄の銀ウナギについても統計モデルを拡張するとともに、他の年代や他の水域から採集された銀ウナギのデータも含めて、今回の結果の普遍性について検討している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Itakura Hikaru, O'Brien Michael H P, Secor David	4. 巻 78
2. 論文標題 Tracking oxy-thermal habitat compression encountered by Chesapeake Bay striped bass through acoustic telemetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ICES Journal of Marine Science	6. 最初と最後の頁 1049 ~ 1062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/icesjms/fsab009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Itakura Hikaru, Miyake Yoichi, Kitagawa Takashi, Sato Takuya, Kimura Shingo	4. 巻 78
2. 論文標題 Large contribution of pulsed subsidies to a predatory fish inhabiting large stream channels	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences	6. 最初と最後の頁 144 ~ 153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1139/cjfas-2020-0004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Itakura Hikaru, Wakiya Ryoshiro	4. 巻 8
2. 論文標題 Habitat preference, movements and growth of giant mottled eels, <i>Anguilla marmorata</i> , in a small subtropical Amami-Oshima Island river	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PeerJ	6. 最初と最後の頁 e10187 ~ e10187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7717/peerj.10187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hikaru Itakura, Ryoshiro Wakiya, Masayuki K. Sakata, Hsiang-Yi Hsu, Shih-Chong Chen, Chih-shao Yang, Satoshi Yamamoto, Toshifumi Minamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimations of Riverine Distribution, Abundance, and Biomass of Anguillid Eels in Japan and Taiwan Using Environmental DNA Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Zoological Studies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Itakura H, Wakiya R, Gollock M, Kaifu K	4. 巻 10
2. 論文標題 Anguillid eels as a surrogate species for conservation of freshwater biodiversity in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-65883-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Miyake Y, Tellier M, Takeshige A, Itakura H, Yoshida A, Kimura S	4. 巻 -
2. 論文標題 Past and Lost Influence of the Kuroshio on Estuarine Recruitment of <i>Anguilla japonica</i> Glass Eels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 1 - 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-020-00543-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Arai K, Itakura H, Yoneta A, Kaifu K, Shirai K, Miyake Y, Kimura S	4. 巻 102
2. 論文標題 Anthropogenic impacts on the distribution of wild and cultured Japanese eels in the Tone River watershed, Japan, from otolith oxygen and carbon stable isotopic composition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Biology of Fishes	6. 最初と最後の頁 1405 - 1420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10641-019-00915-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wakiya R, Itakura H, Kaifu K	4. 巻 58
2. 論文標題 Age, growth, and sex ratios of the giant mottled eel, <i>Anguilla marmorata</i> , in freshwater habitats near its northern geographic limit: a comparison to tropical regions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Zoological Studies	6. 最初と最後の頁 e34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6620/ZS.2019.58-34	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 海部健三, 竹野遼馬, 市川光太郎, 高木淳一, 脇谷量子郎, 板倉光, 平江多績, 猪狩忠光, 三田村啓理, 荒井修亮	4. 巻 22
2. 論文標題 超音波テレメトリーを用いた人工池における石の間隙がニホンウナギの隠れ場所として果たす機能の把握	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 応用生態工学	6. 最初と最後の頁 83 - 92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3825/ece.22.83	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 海部健三, 竹野遼馬, 市川光太郎, 三田村啓理, 高木淳一, 脇谷量子郎, 板倉光, 石井潤, 荒井修亮	4. 巻 22
2. 論文標題 超音波テレメトリーを用いた, 汽水域におけるニホンウナギの生息場利用の把握	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 応用生態工学	6. 最初と最後の頁 73 - 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3825/ece.22.73	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Itakura Hikaru, Wakiya Ryoshiro, Yamamoto Satoshi, Kaifu Kenzo, Sato Takuya, Minamoto Toshifumi	4. 巻 29
2. 論文標題 Environmental DNA analysis reveals the spatial distribution, abundance, and biomass of Japanese eels at the river basin scale	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems	6. 最初と最後の頁 361 ~ 373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aqc.3058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない, 又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 YONETA AKIHITO, ITAKURA HIKARU, ARAI KOHMA, KAIFU KENZO, YOSHINAGA TATSUKI, MIYAKE YOICHI, SHIRAI KOTARO, KIMURA SHINGO	4. 巻 85
2. 論文標題 Distribution of naturally recruited wild Japanese eels in Japan revealed by otolith stable isotopic ratios and document investigation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NIPPON SUISAN GAKKAISHI	6. 最初と最後の頁 150 ~ 161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2331/suisan.18-00038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない, 又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itakura Hikaru, Arai Kohma, Kaifu Kenzo, Shirai Kotaro, Yoneta Akihito, Miyake Yoichi, Secor David H., Kimura Shingo	4. 巻 93
2. 論文標題 Distribution of wild and stocked Japanese eels in the lower reaches of the Tone River catchment revealed by otolith stable-isotope ratios	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Fish Biology	6. 最初と最後の頁 805 ~ 813
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jfb.13782	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Miyake Yoichi, Itakura Hikaru, Takeshige Aigo, Onda Hiroaki, Yamaguchi Akira, Yoneta Akihito, Arai Kohma, Hane Yulina V., Kimura Shingo	4. 巻 66
2. 論文標題 Multiple habitat use of Japanese sea bass <i>Lateolabrax japonicus</i> in the estuary region of the Tone River system, implied by stable isotope analysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ichthyological Research	6. 最初と最後の頁 172 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10228-018-0655-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyake Yoichi, Takeshige Aigo, Itakura Hikaru, Itoh Hajime, Onda Hiroaki, Yamaguchi Akira, Yoneta Akihito, Arai Kohma, Hane Yulina V., Kimura Shingo	4. 巻 84
2. 論文標題 Correction to: Predation on glass eels of Japanese eel <i>Anguilla japonica</i> in the Tone River Estuary, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 1015 ~ 1016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12562-018-1257-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kaifu Kenzo, Yokouchi Kazuki, Higuchi Tomihiko, Itakura Hikaru, Shirai Kotaro	4. 巻 84
2. 論文標題 Depletion of naturally recruited wild Japanese eels in Okayama, Japan, revealed by otolith stable isotope ratios and abundance indices	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 757 ~ 763
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12562-018-1225-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Itakura Hikaru, O'Brien Michael H P, Secor David
2. 発表標題 Tracking oxy-thermal habitat compression encountered by Chesapeake Bay striped bass through acoustic telemetry
3. 学会等名 151st Annual Meeting American Fisheries Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 祝 倩怡・熊 觀梅・萩原聖士・脇谷量子郎・羽根由里奈・板倉 光・木村伸吾
2. 発表標題 北西太平洋におけるオオウナギの幼生分散過程
3. 学会等名 令和4年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Itakura H, Arai K, Yoneta A, Kaifu K, Shirai K, Kimura S
2. 発表標題 Distribution of naturally recruited Japanese eels in rivers as inferred from otolith stable isotope ratios
3. 学会等名 6th International Otolith Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 脇谷量子郎・板倉光・海部健三
2. 発表標題 奄美大島におけるオオウナギの年齢と成長
3. 学会等名 東アジア鰻学会、第二回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀内萌未・中司大智・長谷川祐也・萩原聖士・板倉光・山下洋・久米学・寺島佑樹・塚本勝巳・井尻成保・足立伸次
2. 発表標題 天然二ホンウナギの生殖腺の性分化
3. 学会等名 東アジア鰻学会、第二回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 脇谷量子郎・板倉光・海部健三
2. 発表標題 奄美大島におけるオオウナギの年齢と成長
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀内萌未・中司大智・長谷川祐也・萩原聖士・板倉光・山下洋・久米学・寺島佑樹・塚本勝巳・井尻成保・足立伸次
2. 発表標題 天然二ホンウナギにおける形態的性分化開始時期
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板倉光・脇谷量子郎・海部健三
2. 発表標題 ウナギ属魚類は淡水域の生物多様性保全の指標種となる
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 塚本 勝巳	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 240
3. 書名 ウナギの科学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------