

国内外の放流に係る既往知見の整理・分析

学校法人 中央大学
法学部

要旨

国内外の放流に係る既往知見を収集し、整理・分析したところ、以下の知見が得られた。

(1) 放流には当該水域のウナギ个体数を増大させる効果がある程度あるが、ウナギ个体群を回復する効果については不明である。(2) 大量のシラスウナギまたは数 g の黄ウナギを大量に耳石標識することが可能であり、ヨーロッパ及び北米では、多くの場合ウナギ放流のモニタリングが行われている。(3) 放流に適したサイズは、シラスウナギから数 g 程度と考えられ、200g 程度の大型個体は放流後の環境に順化しにくい可能性が高い。ヨーロッパの主流はシラスウナギであり、黄ウナギの場合も数 g 程度と小型個体が放流されている。(4) 天然ウナギの密度がより低い水域にウナギを放流することで、より高い歩留まりが期待できる。(5) 飼育個体の放流によって、ウナギヘルペスウィルスなどの病原体の拡散、種内競争の激化、低成長個体の選抜、性比の攪乱が生じる可能性がある。(6) ウナギの放流が当該水域の生態系に負の影響を与える可能性があるが、かつて生息していた水域においては、生態系を保全する機能を発揮する可能性も否定できない。(7) ウナギの放流は、個体の添加と年齢や性別など生物学的パラメータの攪乱を通じ、資源解析を困難にしている可能性がある。なお、上記(1)から(7)の情報には異なる種に関するものが混在しているが、以下の情報がウナギ属内で大きく異なるとは想定しにくい。

緒言

近年、ニホンウナギの稚魚（シラスウナギ）の採捕量は低水準にあり、平成 26 年 6 月には国際自然保護連合（IUCN）のレッドリストに絶滅危惧 I B 類として掲載されるなど（Jacoby & Gollock 2014）、ウナギの資源の増大が急務となっている。こうした中、各地で資源増大を目的とした放流が行われ、漁獲量の増加及び漁業者の収入増加につながっている可能性もある。しかしながら、ウナギの生態には不明な点が多く、放流したウナギがどの程度生き残っているのか、生息場所や移動状況といった知見もほとんどなく、一定の費用をかけて放流を行っている漁業者や養殖業者等からは、放流に適した時期やウナギの大きさ、環境条件等、放流したウナギの生残率を高めるための効果的な放流手法が求められている。また、この検討は、今後、産卵に寄与するウナギ資源の増大に資する放流手法の開発にも役立つことが期待されている。このため本課題では、

国内外の既報の論文や報告をまとめ、産卵に寄与するウナギ資源の増大に資する放流手法の開発につなげ得る、効果的な放流手法の開発に貢献することを目的とする。

なお、本報告書ではシラスウナギとして沿岸域に進入し、採捕されることなく成長した個体を「天然ウナギ」、一度採捕され、養殖場で飼育されたのちに自然の水域へ放流された個体を「放流ウナギ」と記載する。

方法

本課題では、国内外の学術論文、事業報告、ガイドラインなどの文献の整理などによって、効果的な放流手法の開発に資する知見を集約する。

結果

最終年度の結果として

国内外のウナギの放流に関する以下の学術論文を収集し、概要を和文でまとめた。

- ✓ Noda T, Wada T, Iwasaki T, Sato T, Narita K, Matsumoto I, Hori T, Mitamura H, Arai N (2019) Post-release behaviors and movements of cultured and wild Japanese eels (*Anguilla japonica*) in a shallow brackish water lagoon in northeastern Japan. *Environmental Biology of Fishes*
平均全長 60cm 程度の養殖されたニホンウナギ 30 個体と天然のニホンウナギ 6 個体に超音波発信器を装着し、養殖個体は 2014 年 6 月に、天然個体は 2014 年の 7 月から 10 月に福島県松川浦に放し、その後の行動を追跡した。養殖個体と天然個体はともに、主に夜間に行動した。4 個体の天然個体の信号が 6 ヶ月以上受信されていたのに対して、養殖個体のうち 26 個体が、6 ヶ月以内に受信されなくなった。天然個体とは異なり、台風が通過したのちの 10 月、水温が低下したのちの 11 月に、養殖個体のうち 12 個体が海へと降河した。
- ✓ Félix PM, Costa JL, Monteiro R, Castro N, Quintella BR, Almeida PR, Domingos I (2019) Can a restocking event with European (glass) eels cause early changes in local biological communities and its ecological status? *Global Ecology and Conservation*
ヨーロッパウナギについて、ウナギの放流が生態系に及ぼす影響を調査した最初の研究。ダムなどによって自然加入の阻害されている水域にヨーロッパウナギのシラスウナギを放流した前後で、魚類相および大型無脊椎動物相を比較した。魚類相および大型無脊椎動物相が放流後の年に破壊的な影響を被ることはなかった。ただし、シラスウナギが成長したのちに、種間競争が激しくなるおそれは存在する。
- ✓ Arai K, Itakura H, Yoneta A, Kaifu K, Shirai K, Miyake Y, Kimura S (2019) 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. *Environmental Biology of Fishes*, 102, 1405-1420
耳石の酸素・炭素安定同位体比を利用して、利根川水系におけるニホンウナギの天然ウナギと放流ウナギの分布を明らかにした。霞ヶ浦を含む 5 地点で採集された 116 個体について調

査を行ったところ、河口から約 200km 上流の調査地点からも、天然遡上と判別された個体
が出現した。天然ウナギの割合は 56 から 100%と幅広く、当該水域への放流量が影響してい
ると考えられた。

各年度を通しての結果として

国内外のウナギの放流に関する学術論文、報告書計 34 報について、概要を和文でまとめた。詳
しい内容は「考察」に記載した。また、英国環境省が発行しているウナギ放流ガイドライン
（「Stoking European Eels」 Environment Agency (UK)）について、仮訳を作成した（平成 28 年度
報告書に資料として添付）。

考察

（1）ウナギ放流の効果

- A) **ウナギ漁業への効果**：ウナギ放流が漁業にどのような効果をもたらすのか、検討した研究例
は多くない。中島と立川（2005）は、物部川で養殖ウナギの標識放流調査を行なった。2000
年には 7,977 個体（右胸鰭切除、平均全長 34cm）、2001 年には 7,989 個体（左胸鰭切除、平
均全長 22cm）を放流し、漁業者に依頼して、天然ウナギとともに再採捕を行った。天然ウナギ
に対する放流ウナギの割合は、2000 年放流群では 2000 年に 9.32%（94/1009）、2001 年に 8.51%
（48/564）、2002 年に 2.97%（21/706）、2003 年に 2.67%（21/816）であった。2001 年放流群
では 2001 年に 0.35%（2/564）、2002 年に 0.28%（2/706）、2003 年に 1.02%（8/787）であっ
た。なお、中島と立川（2005）は 2001 年放流群の再採捕数が 2003 年に増加したことについ
て、漁具（「ころばし」あるいは「ウナギ筒」と呼ばれる木製のトラップ（5.2×6.5×70cm））
に漁獲される大きさにまで成長したことを理由として想定している。この調査では、ウナギ
の放流は一箇所で行われ、その周辺水域で採捕が行われた。採捕数の多かった 2000 年放流群
について考えても、約 8,000 個体を放流した結果、2、3 年後の天然ウナギに占める放流ウナ
ギの割合は 3%弱であった。このため、この放流によるウナギ漁獲量への寄与は、わずかで
あったと考えられる。

鈴木ら（2017）は秋季（10 月 24 日）に $24.3 \pm 17.2\text{g}$ の養殖ウナギを伊豆の 2 つの小河川
（伊豆宮川、伊豆仲川）に 100 個体ずつ放流し、電気ショッカーを用いて再採捕を行なっ
た。その結果、採捕率及び成長率はともに低く、漁場外への逸脱もあり、内水面漁業に貢献
するような十分な効果は得られないと考えられた、と結論づけている。

本事業の課題 3「効果的な放流手法の検討」では、全長 $297.2 \pm 17.1\text{mm}$ 、体重 $29.7 \pm 4.6\text{g}$ の養
殖ウナギに標識し、251.0 個体/ha（最小：220.9 個体/ha、最大：266.7 個体/ha）の密度で貝底
川（鹿児島県）、波多打川（静岡県）、三本木川（福井県）、長沢川（青森県）の 4 河川に放流
し、3 ヶ月後、1 年後、2 年後に再採捕調査を行なった。天然ウナギが採捕された貝底川およ
び波多打川について結果をみると、採捕された天然ウナギに対する放流ウナギの割合は貝底

川で放流3ヶ月後に40.9%、1年後に4.2%、2年後に5.9%であった。波多打川では放流3ヶ月後に50.0%、1年後に12.5%、2年後に22.2%であった。2年後に採捕された放流ウナギは貝底川が1個体、波多打川が2個体であることから、2年後の波多打川では天然ウナギの採捕数が少なかったため、放流ウナギが占める割合が高くなったものと推測される。

その一方で、放流ウナギが大きな割合を占める水域が存在することも報告されている。福井県の三方五湖（早瀬川水系）で行われた調査研究では、当該水系への天然遡上は非常に限られており、生息するニホンウナギのほとんどが放流由来であると結論づけている（Kaifu et al. 2014）。2018年には、耳石の酸素・炭素安定同位体比を利用して（Kaifu et al. 2018a）、岡山県で採捕されたニホンウナギの天然ウナギと放流ウナギの判別が行われている（Kaifu et al. 2018b）。その結果、県内の3つの一級河川では、内水面で採捕された個体のうち98.1%が放流ウナギと判別されている。Kaifu et al. (2018b)は岡山県の内水面で放流ウナギが優占する理由について、河川横断構造物によって天然ウナギの進入が阻害されている可能性を指摘している。また、Arai et al. (2019)は利根川における調査研究で、放流量と放流ウナギの割合が相関していることを報告している。このことは、ウナギの放流によって、当該水域のウナギ個体数が増大していることを示している。

国内におけるこれまでの研究では、ウナギの放流がウナギ漁獲量を2倍、3倍といったスケールで大幅に増大させる効果は確認されていない。特に天然ウナギがある程度生息している水域では、ウナギの放流が漁獲量を増大させる効果は小さいと考えられる。しかしながら、Arai et al. (2019)が報告しているように、ウナギの放流が当該水域のウナギ個体数を増大させている可能性は否定できない。また、福井県や岡山県での調査研究（Kaifu et al. 2014; Kaifu et al. 2018b）に見られるように、天然ウナギが非常に少ない水域においては、放流によってウナギの個体数が維持されていると考えられる。

- B) **ウナギ資源回復への効果**：ウナギ放流がウナギ資源を回復させる効果を持つのか、現在のところ不明である。国際海洋探査機構（ICES）のウナギ放流ワーキンググループは、放流が個体群に与える影響を評価するための科学的知見は限りなく弱い、としている（ICES 2016）。また、Dekker & Beaulaton (2016)は、ヨーロッパにおけるウナギ放流の歴史をレビューした結果、放流は地域レベルでは成功したかもしれないが、それによる資源や漁業全体の傾向や分布パターンの大きな変化または減少停止は見られなかった、としている。

ウナギ放流がウナギ資源を回復させる効果を持つかどうか、明確にすることができない理由として、放流したウナギが産卵場へたどり着き、産卵に参加することが可能であるのかどうか、判断するために必要な情報が不足していることが挙げられる。ウナギは接岸回遊時に方向を記憶し（刷り込み）、産卵回遊時にその記憶を利用するため、移送放流された個体は、刷り込まれた回遊ルートが混乱することによって、産卵場までの回帰能力が低下するという学説が存在する。この問題に関しては、バルト海におけるヨーロッパウナギの産卵回遊行動に関する研究が進んでいる。Westin (1990)はフランスで採捕され、シラスウナギとして

バルト海沿岸に放流されたヨーロッパウナギの銀ウナギを採捕し、標識放流を行った。これらの個体はバルト海の出口に近づくことなく、標識放流後 4 年を経過してから再採捕されるものもあった。また、天然ウナギと放流ウナギを比較した実験では、回遊行動に大きな相違が見られた (Westin 1998)。さらに、Westin (2003) はフランスで採捕され、クロコの状態ですウェーデンの湖に放流されたヨーロッパウナギについて、放流 13 年後に流出河川において銀ウナギ 128 個体を採捕し、標識を施して採捕地点の 75m 上流へ放流した。標識放流した個体のうち 8% (10 個体) が放流地点よりも下流で採捕されたが、残る個体は上流の湖へと戻った。これらの報告は、人為的に輸送された放流ウナギが、適切な降河回遊行動を取ることができない可能性を示唆している。

これに対して Westerberg et al. (2014) は、イギリスからスウェーデンに移送され放流された個体 (以下放流ウナギ) と天然加入した個体 (天然ウナギ) について、衛星通信型タグやアーカイバルタグ、音響タグを用いて産卵回遊の追跡を行なった。その結果、2,000 km 以上の距離 (リリース地点から産卵場までのおよそ 3 分の 1) を多くの個体で追跡することができた。また、放流ウナギと天然ウナギの河川や海洋における回遊ルートや遊泳速度、選好した遊泳水深には、統計的に有意な差は認められなかった。この研究は、サルガッソー海から加入した成育場までのルートの刷り込みが産卵回遊時の妥当な配向性や行動のために必要であるといった仮説を支持しないものであった。また、Béguer-Pon et al. (2018) はアメリカウナギについて、放流ウナギ、汲み下げ放流ウナギ、天然ウナギの降河回遊を、セントローレンス湾の開口部まで超音波テレメトリーを用いて追跡した。その結果、降河に成功する放流ウナギの割合は高かった (43 個体中 27 個体)。現在のところ、放流ウナギが天然ウナギと同じように成熟し、産卵回遊を行い、繁殖に貢献しているのかどうか、情報は不足しており、明確に回答することはできない。

C) 天然ウナギと放流ウナギを区別する手法：イギリスの Environment Agency の発行している

「Stocking European Eels (*Anguilla anguilla*)」では、可能な限り放流事業にモニタリングを組み込むよう記載されている。放流後のモニタリングを行うため、天然ウナギと放流ウナギとを区別する手法が用いられている。区別するための手法には、放流前に標識を施す標識放流と、標識を用いずに放流前の環境 (自然の水域か、養殖場か) の相違を利用して耳石の成分 (安定同位体比など) から事後判別する手法の 2 通りが存在する。

標識放流には、体内に IC タグを埋め込んだり、耳石に標識を施す内部標識と、外部から確認可能な標識を装着する外部標識がある。シラスウナギやクロコなど比較的小型の個体に大量の標識を行う場合は、薬浴によって標識が可能な耳石標識が用いられることが多い。

Wickström & Sjöberg (2014) は、2009 年以来、スウェーデンでは累計 550 万個体に Sr 標識が施されていること、また、スウェーデン経由でフィンランドに輸入される放流用種苗 60 万個体に対しては、2 輪の Sr 標識がなされていることを報告している。また、Kullmann et al.

(2017a) はアリザリンレッド S 溶液に 6.5-8g の養殖ウナギ、合計 3572kg を 9 時間薬浴させ

たところ、標識成功率は 100%であり、死亡率に影響はなかったと報告している。耳石標識は個体識別が難しいが、シラスウナギやクロコなど小型個体の大量標識が可能である。一方、ワイヤータグなどの外部標識は個体識別も可能となるが、装着するには個体がある程度大きく育っている必要があり、シラスウナギやクロコなどの小型個体に用いるのは難しい。

標識を行わずに天然ウナギと放流ウナギとを区別する手法として、耳石の酸素・炭素安定同位体比を利用する手法が開発されている (Kaifu et al. 2018a; Itakura et al. 2018)。この手法を岡山県の三つの一級河川および沿岸域に応用した研究では、内水面で採捕された個体のうち 98.1%が放流ウナギと判別されている (Kaifu et al. 2018b)。Itakura et al. (2018) では、Kaifu et al. (2018a) で用いた教師データに新たなデータを追加するとともに、判別モデルにランダムフォレストを用いることで、判別手法を改善した。改善した手法を利根川水系の中下流域において採捕したニホンウナギに応用した結果、下流側では天然ウナギが優占しているが、最上流の印旛沼では放流ウナギの割合が高いことが明らかにされている。同様の手法は利根川の上流域に対しても応用されているだけでなく (Arai et al. 2019)、日本全国の天然ウナギの分布の解明にも利用されている (米田ら 2019)。

(2) 効果的な放流

- A) **放流に適したサイズ**：放流時のサイズの違いがその後の生残や成長に与える影響は、ヨーロッパウナギで研究が進んでいる。Simon et al. (2013) は、6 つの独立した湖で 4 年間にわたり、ヨーロッパウナギのシラス期放流個体群と畜養後放流個体群を追跡した。その結果、シラス期放流個体は、畜養後放流個体よりも成長および肥満度の点において勝っていた。畜養後に放流されたウナギは、人工飼料から野生下での摂餌に移行し順応するのに、シラス放流期個体より多くの時間を擁すると推測している。また、Pedersen & Rasmussen (2015) は、3g と 9g のサイズの異なる養殖ウナギの放流後の加入あたり漁獲量を推定した。3g のウナギと 9g のウナギを放流し、漁業者によってそれぞれ元の放流量の 12.7%と 9.4%が再採捕された。成長率と死亡率は 2 群で異なり、小型群の方が良好であった。加入量あたりの漁獲量は 3g 群と 9g 群それぞれで、Brutto の推定で 13g と 9.2g、netto の推定で 9.8g と 0.31g となり、放流ウナギのサイズ比較において、9g 群より 3g 群の方が優れていると結論づけている。これらの結果は、より小さいサイズの個体を放流することで、放流後の歩留まりを向上することができる可能性を示唆している。

その一方で、Pedersen et al. (2017) で報告されている結果は、上記 2 つの論文とは異なる部分がある。この調査研究では、2-5g の天然ウナギと、3-6g の養殖ウナギを 200m² の浅い池に放し、12 ヶ月間生残及び成長を追った。はじめの 5 ヶ月間の死亡率は異ならなかったが、成長は養殖ウナギで有意に速く、天然ウナギよりも歩留まりが高かった。また、Kullmann & Thiel (2018) はヨーロッパウナギについて、シラスウナギ (約 0.33g) 117kg と養殖ウナギ (約 6.67g) 1040kg を 1:1 のコストで購入し、アリザリンで耳石標識を施したのちに放流し、

追跡調査を行なっている。2年後に採捕した養殖ウナギ（ $374\pm 36\text{mm}$ 、 $86.9\pm 25.8\text{g}$ ）はシラスウナギ（ $323\pm 39\text{mm}$ 、 $56.8\pm 25.0\text{g}$ ）よりも有意に体長と体重が大きかった。シラスウナギの死亡率は養殖ウナギよりも3.9倍高く、費用対効果においても養殖ウナギのパフォーマンスが高かったと報告している。

国内においては、脇谷ら（2017）は、 $8\text{m}\times 4\text{m}$ のコンクリートの池で約50gと約200gの養殖ウナギと天然ウナギについて、混合および養殖ウナギのみの2通りで2年間飼育した。50gサイズの個体は総重量が増加したが、200gサイズの個体は死亡率が高く、成長率も悪かったため、天然・放流ウナギの別、または混合・養殖のみの飼育方法の別を問わず、すべてのグループで2年後の総重量が飼育開始時よりも低くなった。このことは、200gサイズまで大きく育った個体が、環境変化に順化しにくい可能性を示唆している。

以上の知見を総合すると、放流に適したサイズはシラスウナギから数g程度の小型の個体であると考えられる。ただし、シラスウナギと数gまで飼育した個体とで、より歩留まりが高いのはどちらなのか、という問題については、結論は一致していない（Simon et al.2013; Pedersen et al. 2017; Kullmann & Thiel 2018）。200gサイズ程度の大型の個体は、順化能力が低く、放流には向かないと推測される。なお、現在のヨーロッパでは、シラスウナギまたは小型の黄ウナギが放流の中心となっている。例えばオランダでは、シラスウナギおよび小型の黄ウナギの放流が行われているが、大部分はシラスウナギであり、2017年にはシラスウナギ3,422,162個体、小型黄ウナギ599,000個体が放流されている（Bos 2018）。放流に用いる小型黄ウナギのサイズは1920年には平均30g程度だったが、2010年には3g程度まで小型化している。

- B) **放流に適した密度**：適切なウナギの放流密度を検討した調査研究例は少ない。イギリスのEnvironment Agencyの発行している「Stocking European Eels (*Anguilla anguilla*)」では、放流はウナギの個体数密度が2個体/ m^2 未満、バイオマス密度が $0.2\text{g}/\text{m}^2$ 未満の場所のみで行うように記載している。「Stocking European Eels (*Anguilla anguilla*)」では、毎年同じ場所でシラスウナギかクロコを放流する場合、放流するウナギの個体数密度は、自然死亡率が高いと推測される水域では6個体/ m^2 まで、低いと推測される水域では2.5個体/ m^2 までとしている。また、ある水域に一回のみシラスウナギかクロコを放流する場合、放流するウナギの個体数密度は、自然死亡率が高いと推測される水域では12個体/ m^2 まで、低いと推測される水域では5個体/ m^2 までとしている。小型のウナギの自然死亡率が比較的高いことから、大きなウナギはより低密度で放流すべきである、とも記述されている。

脇谷ら（2017）は、50g程度と200g程度のサイズのニホンウナギの養殖ウナギと天然ウナギを混合試験区、および養殖ウナギのみの対象区に分け、活きエビを餌に2年間飼育した。混合試験区においては、養殖ウナギの生残率と成長率が低く、天然ウナギとの競争の結果と推測された。本事業課題3では、天然ウナギの少ない河川において、放流ウナギの成長が速いことが明らかにされた。これらの結果から、天然ウナギの密度がより低い水域にウナギを

放流することで、より高い歩留まりが期待できる。

- C) **放流に適した環境**：ウナギを放流する水域の環境を検討した調査研究例は少ない。イギリスの Environment Agency の発行している「Stocking European Eels (*Anguilla anguilla*)」では、コア基準として以下の基準を示している。

- ① 水質がウナギに適切であること（pH が 5.0-8.0 の範囲にあること、溶存酸素が 2.0mg/l（15℃）より多く、非イオン化アンモニアが 0.2mg/l 未満、長期的あるいは突発的な汚染が起こるリスクが低い）
- ② 銀ウナギの降河が阻害されない
- ③ 銀ウナギが回遊する際に外的要因の影響を受けるリスク（同調のリスク）が低い
- ④ 漁業や保全団体からの強い反発がある地域は避ける
- ⑤ 他の敏感な種に及ぼす影響を最小限にとどめる

このほか、小さいウナギには植物が生えている浅瀬、大きいウナギには間隙のある大礫や巨礫など、物理的に多様な成育の場があることや、餌資源となる無脊椎動物が存在すること、縦の連続性（流路間の連続性）と横の連続性（河川と氾濫原の連続性）、低い漁獲圧などが放流場所選択の基準として挙げられている。さらに、脇谷ら（2017）および本事業課題 3 から、天然ウナギの密度が低い水域が、ウナギの放流に適していると推測される。

- D) **その他適切な放流**：Josset et al.（2015）は、異なる放流プロセスが短期的（放流後 15 日）な死亡率に与える影響を評価し、得られた結果から死亡率を減少させるために有効な情報を提供することを目的として、異なる変数を選択した線形モデルを構築した。そのモデルは死亡率を 56.4%説明し、最も死亡率に影響を与える要因は“operation”（放流過程における様々なハンドリングに関する要因を含む）であった。その他の要因としては、放流年、シラスウナギの提供者、放流までの保管期間、肥満度、標識の有無、野外実験か室内実験か、などが死亡率に影響した。これらの要因のいくらかは死亡率を減少させる可能性がある。例えば、放流するために最もふさわしい地点を選択する、あるいは肥満度が高い個体を選択し、放流までの保管期間を調整し、標識の装着を制限するなどの方法を用いることで、死亡率を減少させることが可能であると考えられる、としている。

（3）ウナギ放流の影響

- A) **ウナギに与える影響**：放流には一般的に分布域の攪乱、遺伝的攪乱、病原体の拡散のリスクが伴う。一部異なる学説もあるが、現在のところニホンウナギは単一の産卵集団によって構成されていると考えられているため（Han et al. 2010; Minegishi et al. 2012）、国内での放流であれば、分布域の攪乱および遺伝的攪乱が生じるリスクは低いと推測される。

病原体の拡散に関して、Kullmann et al.（2017b）は北ドイツで放流されたウナギがヘルペス性鰓弁壊死症を引き起こす anguillid herpesvirus 1（AngHV-1）に感染していたことを報告している。2016 年に採捕された 100 個体のうち、68%が陽性で、大型個体ほど感染率が高かつ

た。イギリスの Environment Agency の発行している「Stocking European Eels (*Anguilla anguilla*)」においても、放流に用いる個体を調達する際に、ウナギの健康に十分配慮する必要性が記載されている。

病原体の拡散の他にも、放流によって種内競争が激しくなり、個体の適応度が低下する可能性が考えられる。脇谷ら（2017）および本事業課題3で報告されているように、天然ウナギとの競争において、放流ウナギは不利な状況にあると考えられる。しかしながら、新たに添加された放流ウナギが加わることによって、それまでは存在しなかった競争が生じることになるため、放流に付随する種内競争は、天然ウナギの適応度も低下させる作用があると推測される。また、放流に用いられる種苗には、「ビリ」「ヒネ」と呼ばれる成長の遅い個体が多く使用されることが多い（海部 2016; 鈴木ら 2017）。ウナギの中には、遺伝的な理由で、生まれつき成長の悪い個体が存在する可能性もある。成長の遅いウナギを選択的に放流する行為は、成長の遅い遺伝的特性を人為的に選択し、次世代に残すことにつながる可能性がある

（海部 2016）。さらに、性比の問題も指摘されている（海部 2016）。一般的に、養殖場で育ったウナギにはオスが多い。養殖場のように高密度の環境で短期間に成長すると、オスになるウナギの割合が高くなるとされるが、これに対して、自然の河川で採集されたウナギの性比は、メスに偏っている場合が多い（Yokouchi et al. 2014）。本来のニホンウナギの性比がどのような割合であったのか、たとえば河川で採集したウナギの性比がメスに偏っている現状が適切なのか、判断することは難しいが、放流によって性比が攪乱されている可能性は否定できない。

- B) **生態系に与える影響**：ウナギの放流が当該水域の生態系に与える影響を検討した調査研究例は少ない。ヨーロッパウナギについて、ウナギの放流が生態系に及ぼす影響を調査した最初の研究（Félix et al. 2019）では、ダムなどによって自然加入の阻害されている水域にヨーロッパウナギのシラスウナギを放流した前後で、魚類相および大型無脊椎動物相を比較した。この調査では、魚類相および大型無脊椎動物相がウナギ放流1年後に悪影響を被ることはなかったが、シラスウナギが成長したのちに、種間競争が激しくなるおそれは存在する、としている。イギリスの Environment Agency の発行している「Stocking European Eels (*Anguilla anguilla*)」は、『放流されたウナギが在来の魚類や無脊椎動物に悪影響を及ぼす可能性がある』として注意を呼びかけている。捕食や種間競争を通じた悪影響が懸念される一方で、ウナギが捕食者として生態系を健全に保つ機能を果たしている可能性も否定できない。河川横断構造物などによってウナギの進入が阻害されている水域などでは、放流を通じてウナギを再導入することによって、当該水域の生態系の保全につながる可能性もある。

- C) **ウナギの資源解析に与える影響**：ウナギの放流が個体の添加と年齢や性別など生物学的パラメータの攪乱を通じ、資源解析を困難にしていることが指摘されている（Kaifu 2019）。

Kullmann et al. (2018) は、養殖下でヨーロッパウナギの耳石に形成されるストレスリングが、年輪と区別がつかないことを確認した。放流ウナギのストレスリングを年輪としてカウ

ントすることにより、ヨーロッパウナギの資源解析に大きな影響があることが示されている。

参考文献

- Arai K, Itakura H, Yoneta A, Kaifu K, Shirai K, Miyake Y, Kimura S (2019) 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. *Environmental Biology of Fishes*, 102, 1405-1420
- Béguier-Pon M, Verreault G, Stanley D, Castonguay M, Dodson JJ (2018) The migration of stocked, trapped and transported, and wild female American silver eels through the Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75, 2024-2037
- Bos OG (2018) Report on the eel stock and fisheries in the Netherlands 2016/2017 (No. 18.005). Stichting Wageningen Research, Centre for Fisheries Research (CVO)
- Dekker W, Beaulaton L (2016) Faire mieux que la nature? The History of Eel Restocking in Europe. *Environment and History*, 22, 255-300
- Environment Agency (UK) “Stoking European Eels (*Anguilla anguilla*)”
- Félix PM, Costa JL, Monteiro R, Castro N, Quintella BR, Almeida PR, Domingos I (2019) Can a restocking event with European (glass) eels cause early changes in local biological communities and its ecological status? *Global Ecology and Conservation*
- Han YS, Hung CL, Tzeng WN (2010) Population genetic structure of the Japanese eel *Anguilla japonica*: panmixia at spatial and temporal scales. *Marine Ecology Progress Series*, 401, 221-232
- ICES (2016) Report of the Workshop on Eel Stocking (WKSTOCKEEL), 20–24 June 2016, Toomebridge, Northern Ireland, UK. ICES CM 2016/SSGEPD:21. 75 pp.
- Itakura H, Arai K, Kaifu K, Shirai K, Yoneta A, Miyake Y, Secor DH, Kimura S (2018) Distribution of wild and stocked Japanese eels in the lower reaches of the Tone River catchment revealed by otolith stable-isotope ratios. *Journal of fish biology*, 93, 805-813
- Jacoby D, Gollock M (2014) *Anguilla japonica*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3.
- Josset Q, Trancart T, Mazel V, Charrier F, Frotté L, Acou A, Feunteun E (2015) Pre-release processes influencing short-term mortality of glass eels in the French eel (*Anguilla anguilla*, Linnaeus 1758) stocking programme. *ICES Journal of Marine Science*, 73, 150-157
- 海部健三 (2016) 「ウナギの保全生態学」 共立出版, 東京
- Kaifu K (2019) Challenges in assessments of Japanese eel stock. *Marine Policy*, 102, 1-4
- Kaifu K, Itakura H, Amano Y, Shirai K, Yokouchi K, Wakiya R, Murakami-Sugihara N, Washitani I, Yada T (2018a) Discrimination of wild and cultured Japanese eels based on otolith stable isotope ratios. *ICES Journal of Marine Science* 75, 719-726

- Kaifu K, Maeda H, Yokouchi K, Sudo R, Miller MJ, Aoyama J, Yoshida T, Tsukamoto K and Washitani I (2014) Do Japanese eels recruit into the Japan Sea coast?: a case study in the Hayase River system, Fukui Japan. *Environmental Biology of Fishes* 97, 921-928
- Kaifu K, Yokouchi K, Higuchi T, Itakura H, Shirai K (2018b) Depletion of naturally recruited wild Japanese eels in Okayama, Japan, revealed by otolith stable isotope ratios and abundance indices. *Fisheries Science*, 84, 757-763
- Kullmann B, Thiel R (2018) Bigger is better in eel stocking measures? Comparison of growth performance, body condition, and benefit-cost ratio of simultaneously stocked glass and farmed eels in a brackish fjord. *Fisheries Research*, 205, 132-140
- Kullmann B, Adamek M, Steinhagen D, Thiel R (2017b) Anthropogenic spreading of anguillid herpesvirus 1 by stocking of infected farmed European eels, *Anguilla anguilla* (L.), in the Schlei fjord in northern Germany. *Journal of fish diseases*, 40, 1695-1706
- Kullmann B, Neukamm R, Thiel R (2017a) Mass-marking of farmed European eels (*Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)) with alizarin red S. *Journal of Applied Ichthyology*, 33, 914-917
- Kullmann B, Pohlmann JD, Freese M, Keth A, Wichmann L, Neukamm R, Thiel R (2018) Age-based stock assessment of the European eel (*Anguilla anguilla*) is heavily biased by stocking of unmarked farmed eels. *Fisheries Research*, 208, 258-266
- Minegishi Y, Aoyama J, Yoshizawa N, Tsukamoto K (2012) Lack of genetic heterogeneity in the Japanese eel based on a spatiotemporal sampling. *Coastal Marine Science*, 35, 269-276
- 中島敏男・立川賢一 (2005) 「ウナギ資源調査 -胸鰭切除による標識放流試験-」高知県内水面漁業センター事業報告書, 14, 47-59
- Noda T, Wada T, Iwasaki T, Sato T, Narita K, Matsumoto I, Hori T, Mitamura H, Arai N (2019) Post-release behaviors and movements of cultured and wild Japanese eels (*Anguilla japonica*) in a shallow brackish water lagoon in northeastern Japan. *Environmental Biology of Fishes*
- Pawson M (2012) Does translocation and restocking confer any benefit to the European eel population?
- Pedersen MI, Rasmussen G (2015) Yield per recruit from stocking two different sizes of eel (*Anguilla anguilla*) in the brackish Roskilde Fjord." *ICES Journal of Marine Science*, 73, 158-164
- Pedersen MI, Jepsen N, Rasmussen G. (2017) Survival and growth compared between wild and farmed eel stocked in freshwater ponds. *Fisheries Research*, 194, 112-116
- Simon J, Dömer H, Scott RD, Schreckenbach K, Knösche R (2013) Comparison of growth and condition of European eels stocked as glass and farm sourced eels in lakes in the first 4 years after stocking. *Journal of Applied Ichthyology*, 29, 323-330.
- 鈴木邦弘・松山 創・木南竜平・川合範明・佐藤孝幸・鈴木基生・平井一行・増元英人 (2017) 「伊東市小河川における養殖ウナギの放流後の動向」月刊海洋, 49, 560-567
- 脇谷量子郎・今吉雄二・海部健三 (2017) 「天然ウナギと放流ウナギの競合試験」鹿児島県鰻資源増殖対策協議会 2016 年度研究報告

- Westerberg H, Sjöberg N, Lagenfelt I, Aarestrup K, Righton D (2014) Behaviour of stocked and naturally recruited European eels during migration. *Marine Ecology Progress Series*, 496, 145-157
- Wickström H, Sjöberg N (2014) Traceability of stocked eels—the Swedish approach. *Ecology of Freshwater Fish*, 23, 33-39
- Westin L (1990) Orientation mechanisms in migrating European silver eel (*Anguilla anguilla*): temperature and olfaction. *Marine biology*, 106, 175-179
- Westin L (1998) The spawning migration of European silver eel (*Anguilla anguilla* L.) with particular reference to stocked eel in the Baltic. *Fisheries Research*, 38, 257-270
- Westin L (2003) Migration failure in stocked eels *Anguilla anguilla*. *Marine Ecology Progress Series*, 254, 307-311
- Yokouchi K, Kaneko Y, Kaifu K, Aoyama J, Uchida K, Tsukamoto K (2014) Demographic survey of the yellow-phase Japanese eel *Anguilla japonica* in Japan. *Fisheries Science*, 80, 543-554
- 米田彬史・板倉光・荒井考磨・海部健三・吉永龍起・三宅陽一・木村伸吾（2019）「耳石安定同位体比分析と文献調査に基づく日本におけるニホンウナギの自然分布域」日本水産学会誌, 85, 150-161

担当者

平成 28～31 年度 中央大学 法学部 海部健三

平成 28～31 年度 中央大学 研究開発機構 脇谷量子郎

雌雄及び成熟状況を非致死的に把握する手法の検討

水産研究・教育機構 中央水産研究所

中央大学 法学部

要旨

放流用種苗の飼育環境、成長・成熟等の生理状態の実態を明らかにするため、ニホンウナギの雌雄及び成熟状態を非致死的に把握する手法の検討したところ、体外排出物中の代謝物の量と、血液中の性ホルモン濃度ならびに生殖腺の発達状況との関係性を検証することができた。放流用種苗の実態把握に利用できる評価手法としての活用が期待できる。

緒言

放流を行っている漁業者や養殖業者等からは、放流用種苗の飼育環境、成長・成熟等の生理状態を把握する要望があり、実態の把握と簡便な手法の開発が期待されている。平成26年度までに実施された「鰻資源増殖調査検討事業」においては、放流用種苗の性成熟に関する解析を実施してきた。

方法

国内で放流ウナギとして利用されているニホンウナギの大きさ、性比、成熟度及び飼育環境条件を把握・分析することにより、飼育環境による違いがウナギの成長・成熟等にどのような影響を及ぼすのか検討を行う。また体外排出物中の代謝物の量と、血液中の性ホルモン濃度ならびに生殖腺の発達状況との関係性を検証し、雌雄及び成熟状態を非致死的に把握する手法を立案する。

結果

最終年度の結果として

これまでに体外排出物中の代謝物の量と、血液中の性ホルモン濃度ならびに生殖腺の発達状況との関係性を検証してきた。昨年度までに体外排出物と血液中の性ホルモンに相関関係が確認できていた養殖個体に加えて、本年度は天然個体についてもその関係性を分析したところ、雄（図1）と雌（図2）の両者において、主要な性ステロイドホルモンであるエストラジオール（副図E）、テストステロン（副図T）、11-ケトテストステロン（副図11-KT）のそれぞれとの間で、正の相関関係が認められた。

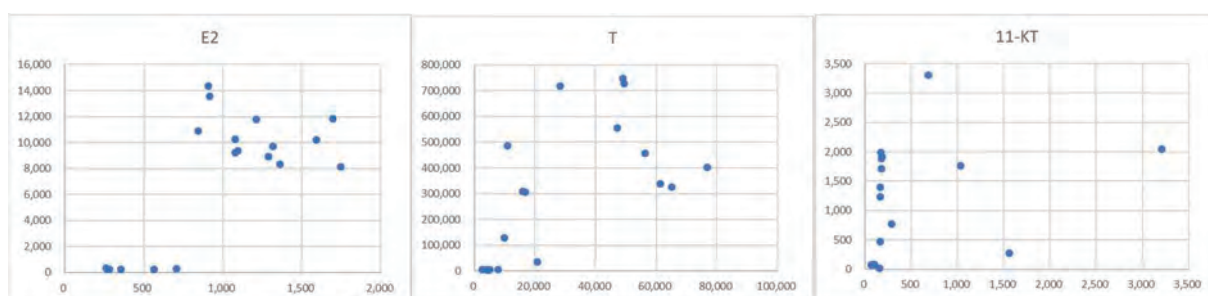


図 1. 雄の天然個体の体外排出物中（縦軸；pg/fish/h）と血液中（横軸；pg/ml）のステロイドホルモン量。

Spearman's test による相関の有意性は、それぞれ $P < 0.038, 0.003, 0.001$ 。

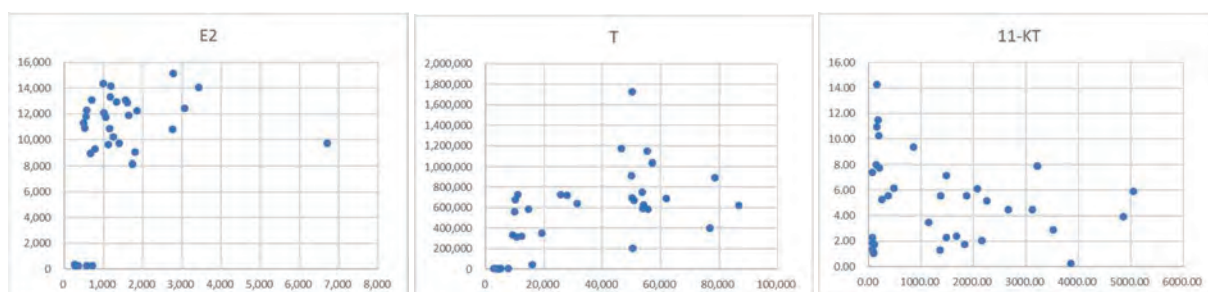


図 2. 雌の天然個体の体外排出物中（縦軸；pg/fish/h）と血液中（横軸；pg/ml）のステロイドホルモン量。

Spearman's test による相関の有意性は、それぞれ $P < 0.015, 0.001, 0.020$ 。

また、日本各地でニホンウナギの個体識別に使われている電磁コイル（PIT タグ）について、そのデータベース化を計るため、各地の自治体・大学・試験研究機関 64 団体に対してアンケート調査を行い、53 件の回答と 9 セットのデータを提供いただき、結果をとりまとめた。

抜粋を次頁に表 1 として挙げる。

表1. PIT タグデータの一部抜粋。

No.	事業名	放流年月日	放流場所			ビットタ グ	ビットタグ標識番号			放流魚		放流サイ ズ	全長 mm	体重 g	備考
			地域	河川	地点		上4桁	下4桁	4桁+4桁以外の場合	天然/養殖	産地				
1	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	8E0H		天然	白須川		465		第1回調査時に放流
2	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	916H		天然	白須川		496		第1回調査時に放流
3	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	917H		天然	白須川		361		第1回調査時に放流
4	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	918H		天然	白須川		483		第1回調査時に放流
5	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	91DH		天然	白須川		418		第1回調査時に放流
6	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	91EH		天然	白須川		498		第1回調査時に放流
7	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	921H		天然	白須川		380		第1回調査時に放流
8	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	928H		天然	白須川		369		第1回調査時に放流
9	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	92DH		天然	白須川		435		第1回調査時に放流
10	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	92FH		天然	白須川		456		第1回調査時に放流
11	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	930H		天然	白須川		422		第1回調査時に放流
12	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	932H		天然	白須川		536		第1回調査時に放流
13	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	933H		天然	白須川		496		第1回調査時に放流
14	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	934H		天然	白須川		463		第1回調査時に放流
15	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	935H		天然	白須川		354		第1回調査時に放流
16	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	936H		天然	白須川		426		第1回調査時に放流
17	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	937H		天然	白須川		395		第1回調査時に放流
18	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	938H		天然	白須川		468		第1回調査時に放流
19	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	93DH		天然	白須川		408		第1回調査時に放流
20	環境収容力推定手法開発事業	2019/09/09	阿武町	白須川	採石場奥の砂防堰上流	Bio8.B.03	9800	93FH		天然	白須川		374		第1回調査時に放流

No.	研究課題名事業名	放流年月日	放流場所			ビットタ グ	ビットタグ標識番号			放流種苗		放流サイ ズ	全長 mm	体重 g	備考
			地域	河川	地点		上4桁	下4桁	4桁+4桁以外の場合	天然/養殖	産地				
1	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C3A017F12	養殖	鹿児島県	20P	34.6	38	
2	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C3A01306F	養殖	鹿児島県	20P	38.8	76	
3	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C397B3E71	養殖	鹿児島県	20P	36.3	40	
4	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C397A2B22	養殖	鹿児島県	20P	35.2	46	
5	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39771275	養殖	鹿児島県	20P	36.8	53	
6	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C3975705C	養殖	鹿児島県	20P	34.0	43	
7	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39743B60	養殖	鹿児島県	20P	37.0	56	
8	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39735A46	養殖	鹿児島県	20P	34.6	40	
9	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39731B1C	養殖	鹿児島県	20P	39.0	65	
10	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39730956	養殖	鹿児島県	20P	36.9	58	
11	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39716F65	養殖	鹿児島県	20P	36.8	50	
12	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39712A25	養殖	鹿児島県	20P	33.9	40	
13	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39711604	養殖	鹿児島県	20P	33.7	39	
14	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C396E1F25	養殖	鹿児島県	20P	40.2	61	
15	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C396C7247	養殖	鹿児島県	20P	35.3	45	
16	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C396B712F	養殖	鹿児島県	20P	39.5	65	
17	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C396B1312	養殖	鹿児島県	20P	36.4	65	
18	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C396B80F3	養殖	鹿児島県	20P	32.8	40	
19	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39675260	養殖	鹿児島県	20P	35.3	47	
20	放流用種苗育成手法開発事業	2014/7/22	枕崎市	花渡川	St.8	BIO12.B			4C39670267	養殖	鹿児島県	20P	41.1	85	

No.	事業名	放流年月日	放流場所			ビットタ グ	ビットタグ標識番号			放流魚		放流サイ ズ	全長 mm	体重 g	備考
			地域	河川	地点		上4桁	下4桁	4桁+4桁以外の場合	天然/養殖	産地				
1	全内漁連事業	2017/8/31	福岡県豊前市	佐井川					8374D17	天然			32.5	42	追跡調査中
2	全内漁連事業	2017/8/31	福岡県豊前市	佐井川					8374D36	天然			40.0	102	追跡調査中
3	全内漁連事業	2017/8/31	福岡県豊前市	佐井川					85E2AA8	天然			39.2	74	追跡調査中
4	全内漁連事業	2017/11/16	福岡県豊前市	佐井川					8374D50	天然			27.8	24	追跡調査中
5	全内漁連事業	2017/11/16	福岡県豊前市	佐井川					85E2A66	天然			43.8	112	追跡調査中
6	全内漁連事業	2017/11/16	福岡県豊前市	佐井川					8374D21	天然			23.3	14	追跡調査中
7	全内漁連事業	2019/7/23	福岡県豊前市	佐井川					11172995	天然			39.2	82	追跡調査中
8	全内漁連事業	2019/7/23	福岡県豊前市	佐井川					11172974	天然			42.0	104	追跡調査中

No.	研究課題名事業名	放流年月日	放流場所			ビットタ グ	ビットタグ標識番号			放流種苗		放流サイ ズ	全長 mm	体重 g	備考
			地域	河川	地点		上4桁	下4桁	4桁+4桁以外の場合	天然/養殖	産地				
1	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 882002DH	天然			588	269	
2	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8820056H	天然			207	10	
3	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8820065H	天然			336	42	
4	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 85E2A23H	天然			469	110	
5	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8374C3BH	天然			480	149	
6	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8431276H	天然			407	86	
7	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 843129FH	天然			427	107	
8	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8431289H	天然			601	323	
9	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8431270H	天然			496	140	
10	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8431278H	天然			374	60	
11	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8431250H	天然			376	59	
12	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8431285H	天然			541	227	
13	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 843125FH	天然			572	309	
14	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 85E2A31H	天然			394	62	
15	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 843124BH	天然			382	64	
16	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 843124AH	天然			565	253	
17	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 843127FH	天然			486	124	
18	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 843124BH	天然			266	22	
19	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8431270H	天然			511	158	
20	鹿児島県ウナギ資源増殖対策協議会事業	10月25日	姶良市	網掛川	春日公園前	134.2kHz			3D6H 001 8431284H	天然			485	128	

各年度を通しての結果として

体外排出物と血液中の性ホルモンについて、生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン注射により催熟した養殖個体を用いてその関係性を分析したところ、雄（図 3）と雌（図 4）の両者において、主要な性ステロイドホルモンであるエストラジオール（副図 E）、テストステロン（副図 T）、11-ケトテストステロン（副図 11-KT）のそれぞれとの間で、正の相関関係が認められた。

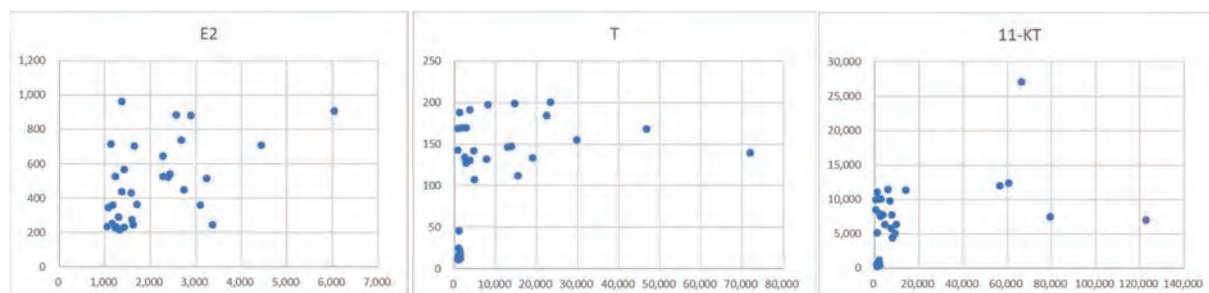


図 3. 雄の養殖個体の体外排出物中（縦軸；pg/fish/h）と血液中（横軸；pg/ml）のステロイドホルモン量。

Spearman's test による相関の有意性は、それぞれ $P < 0.001, 0.001, 0.017$ 。

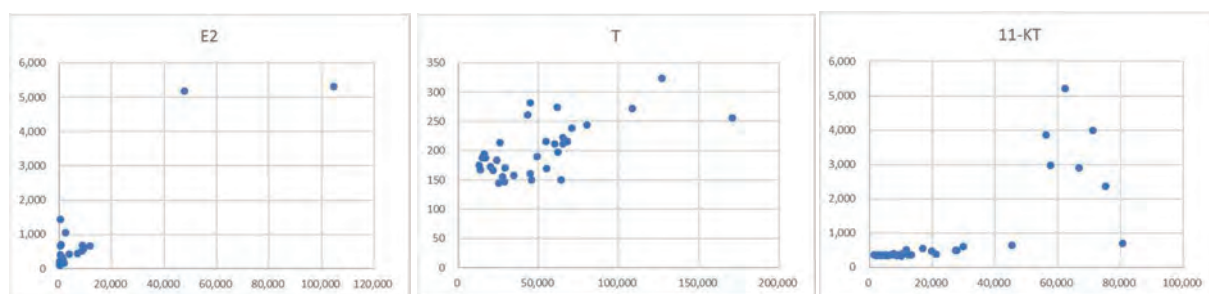


図 4. 雌の養殖個体の体外排出物中（縦軸；pg/fish/h）と血液中（横軸；pg/ml）のステロイドホルモン量。

Spearman's test による相関の有意性は、すべて $P < 0.001$ 。

天然の成熟個体では、体長・体重ならびに血液中の 11-ケトテストステロン、粘液を含む体外排出物中のテストステロン濃度は、雌が雄よりも高いことが認められた。

最後に雄と雌を合わせて、天然個体（図 5）ならびに天然と養殖を合わせた全個体（図 6）で解析した結果、体外排出物と血液中のエストラジオール（副図 E）、テストステロン（副図 T）、11-ケトテストステロン（副図 11-KT）のそれぞれとの間で、正の相関関係が認められた。

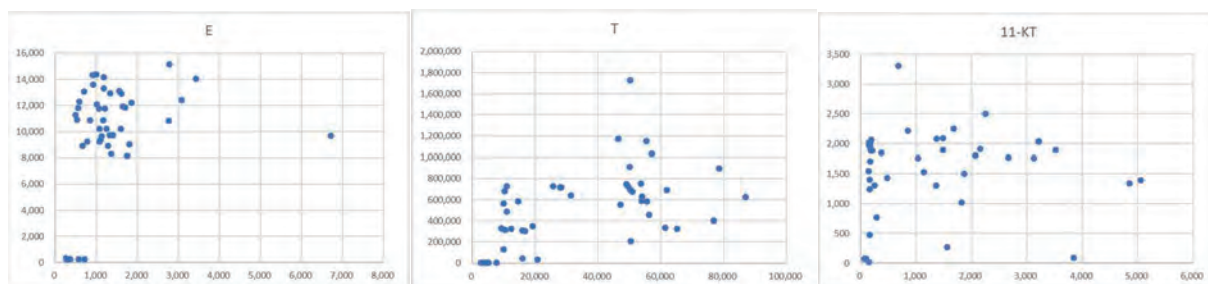


図5. 雌雄合わせた天然個体の体外排出物中（縦軸；pg/fish/h）と血液中（横軸；pg/ml）のステロイドホルモン量。Spearman's test による相関の有意性は、それぞれ $P < 0.001$, 0.001 , 0.015 。

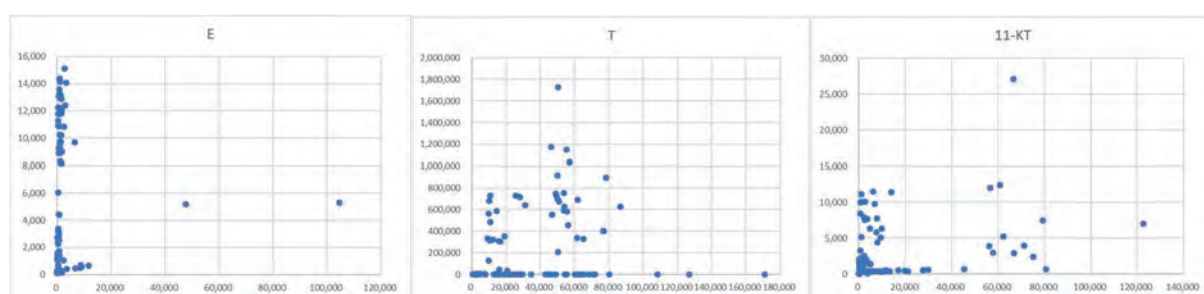


図6. 雌雄合わせた全個体の体外排出物中（縦軸；pg/fish/h）と血液中（横軸；pg/ml）のステロイドホルモン量。Spearman's test による相関の有意性は、それぞれ $P < 0.001$, 0.001 , 0.016 。

考察

ニホンウナギの天然・養殖のそれぞれの雌雄、ならびに雌雄合わせた全個体での組み合わせにおいて、主要な性ステロイドホルモンであるエストラジオール、テストステロン、11-ケトテストステロンのすべてについて、体外排出物中の代謝物の量と血液中の性ホルモン濃度には、統計的に有意な正の相関関係が確認できた。すなわち環境水などから非侵襲的に採取した体外排出物を用いることで、麻酔・採血により侵襲的にしか採取できない血液に替わる、性成熟の進行状況を生理学的に評価する指標を得ることができる手法を開発することができた。このことにより、放流用種苗の性成熟の状態を把握する際、放流後のさらなる性成熟の進行と回遊行動の開始に対する人為的な影響を、最小限に抑えることが可能となった。この手法は天然個体でも適用できることから、漁獲された個体においても性成熟の状態を確認することができるため、産卵に貢献する可能性が高いと評価された個体を再度リリースする根拠とする可能性が期待できる。

先行研究においては、主にシラス・クロコ期のニホンウナギ稚魚に対して、遺伝子ならびに体外排出物を用いてストレスの状態を評価する方法、また体外排出物中の遺伝子マーカーによる個

体識別法を開発してきた。また飼育・生息環境と性成熟状況の因果関係についても明らかにしてきたことから、本事業で可能となった非侵襲的な性成熟の評価法を用いて、養鰻場の飼育環境、ならびに自然状態の生息環境と性成熟の関係性について、PIT タグや遺伝子マーカーによる個体識別などと組み合わせて、より幅広く、かつ継続した調査が行われることを期待したい。

参考文献

水産庁（2019）「DNA マーカーを用いたニホンウナギの非侵襲的個体識別法マニュアル」

Yada T, Mekuchi M, Ojima N (2018) Molecular biology and functional genomics of immune-endocrine interactions in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. General and Comparative Endocrinology 157, 272-279.

水産庁（2017）「内水面資源生息環境改善手法開発事業」成果報告書 5-11 頁

水産庁（2016）「遺伝情報を活用した鰻資源管理育種等技術開発事業」成果報告書 157-159 頁

水産庁（2015）「鰻資源増殖調査検討事業」成果報告書

担当者

平成 28～31 年度 水産研究・教育機構 中央水産研究所 矢田 崇

阿部倫久

中央大学 法学部 海部健三

中央大学 研究開発機構 脇谷量子郎